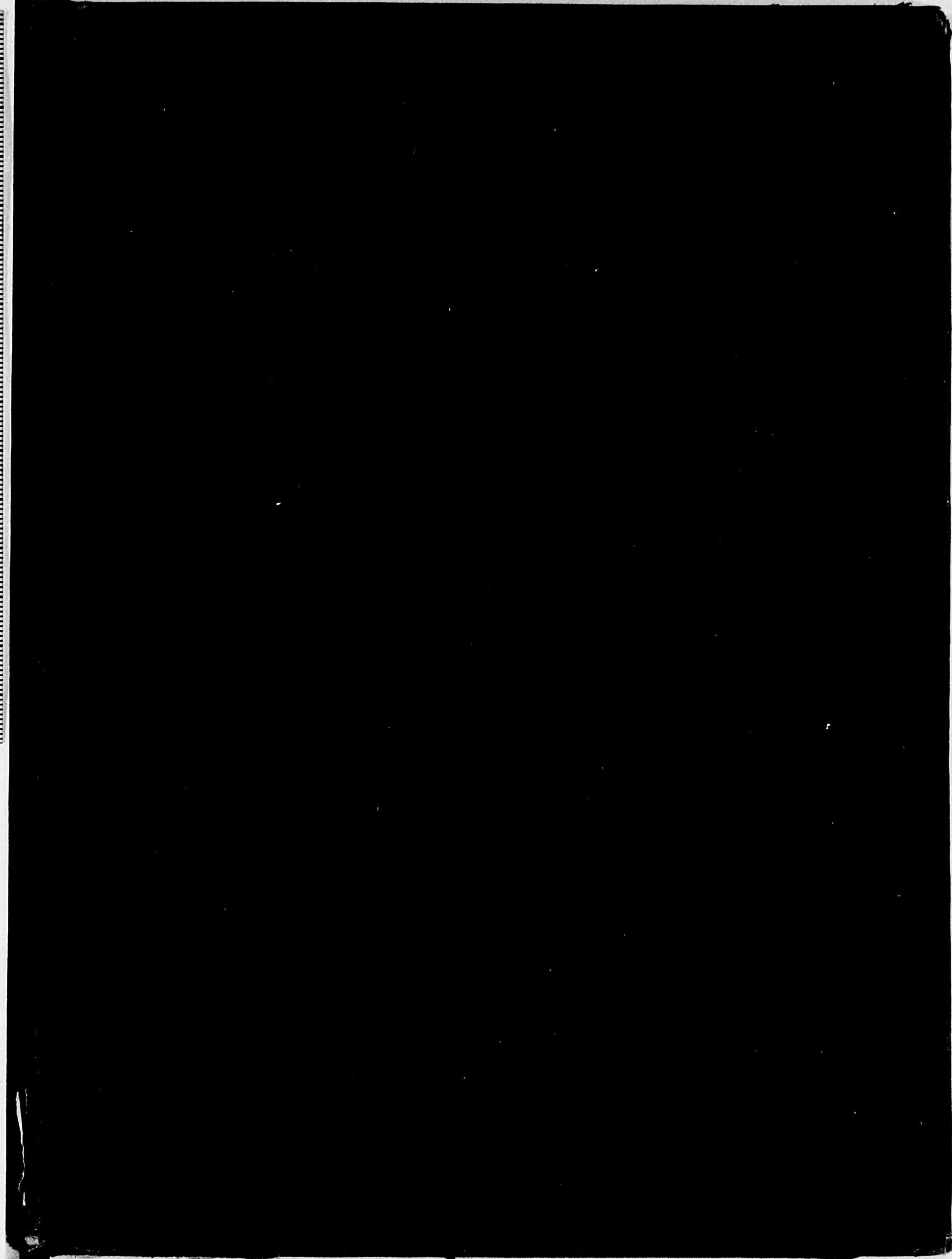


始



511.71
M045



鐵筋コンクリート構造設計

山梨高等工業學校教授

土木工學科長

工學士 森 慶 三 郎 著

11.11
24.11

17.11
1.11



907
106

序 言

本書はセメント、コンクリート及び鉄筋コンクリートの一般知識を述べ、鉄筋コンクリート梁、鉄筋コンクリート柱、鉄筋コンクリート版、鉄筋コンクリート基礎版等の設計法を説述したものであります。即ち鉄筋コンクリート構造物設計に際して、先づ知らねばならない各種構造物部材の設計法を、かなり詳しく、述べた積りでありまして、鉄筋コンクリート完全構造物設計法に関しては、近く之の續巻として書いてみたいと思ふて居ります。

書中、引用せる土木學會標準示方書の規定は昭和15年3月改正の規定であります。本書の最初の若干頁中には昭和14年9月改正案の規定が引用されておますが、本書内容の大部分即ち構造物部材の計算、設計法に関しては總て昭和15年3月の改正規定を参照しました。尙卷末には、本書中に引用せる14年9月改正案の中、15年3月改正規定と異なるものは、其15年改正規定を、附記として列挙しておきました。

本書は初等程度及び高等程度の工業學校の教科書又は参考書、或は技術者の参考書として述べたものであります。書中、掲げてある多數の例題は理論の實地の運用に對して一助となると思ひます。本書が多少なりとも御参考とならば誠に幸であります。

昭和15年12月 著 者 識

鉄筋コンクリート構造設計

目次

第一章 コンクリート

(1) コンクリート.....	1	(10) 強度.....	9
(2) 材料, 稠度, 水セメント比.....	2	(11) 粉末の程度.....	10
(3) セメント.....	4	(12) 単位重量.....	10
(4) 凝結及び硬化.....	6	(13) 高爐セメント.....	10
(5) 風化.....	7	(14) ソリヂチット.....	11
(6) 膨脹性龜裂.....	7	(15) 高級セメント.....	11
(7) セメントの化學成分.....	7	(16) アルミナセメント.....	13
(8) セメント焼塊の組成.....	8	(17) セメントの混和劑.....	13
(9) セメントの凝結及び硬化の理論.....	9		

第二章 骨材及び水

(18) 骨材.....	15	(22) 細骨材.....	18
(19) 骨材の粒度及び空隙.....	15	(23) 粗骨材.....	20
(20) 容積及び重量の計算.....	17	(24) 水.....	22
(21) イナnderター.....	18		

第三章 コンクリートの配合, 使用水量及びウォーカビリチー

(25) 概論.....	23	(28) 水セメント比と壓縮強度との關係.....	25
(26) セメントの最小使用量.....	23	(29) ウォーカビリチー.....	27
(27) 使用水量.....	24		

第四章 コンクリート配合の設計

(30) 概論.....	29	(35) 表面率法.....	39
(31) 骨材の空隙に応じて配合を定める方法.....	30	(36) セメント空間比法.....	39
(32) 水セメント比及び粗粒率法.....	30	(37) 配合に関する結論.....	44
(33) 米國標準示方書附録表を用ひる方法.....	34	(38) コンクリート及びモルタルを作るに要する材料の數量.....	45
(34) セメント糊状体主成分法.....	30		

第五章 混合

(39) 概論.....	49	(40) 材料の計量.....	49
--------------	----	-----------------	----

(41) 混合の方法..... 51	(43) 機械練り..... 52
(42) 手練り..... 51	

第六章 コンクリート打ち及び養生

(44) 準備..... 57	(48) レイタンス及びコンクリートの打継ぎ..... 60
(45) コンクリートの運搬..... 57	(49) 寒中コンクリートの施工..... 61
(46) コンクリート打ち..... 59	(50) コンクリートの養生..... 62
(47) 湧水箇所に於けるコンクリート打ち... 60	

第七章 繼 目

(51) 概 論..... 65	(55) 伸縮繼目..... 66
(52) 打 継 目..... 65	(56) 滑 面 繼 目..... 67
(53) 柱に於ける打継目..... 66	(57) 水 密 繼 目..... 68
(54) 床組に於ける打継目..... 66	(58) 伸縮繼目の構造..... 68

第八章 型枠及び表面仕上げ

(59) 型 枠 71	(61) 塗 油..... 74
(60) 覆 板..... 71	(65) 一時的開口..... 74
(61) 型枠及び支保工..... 71	(66) 型枠の取外し..... 75
(62) 組 立 て..... 73	(67) 表面仕上げ..... 75
(63) 面 取 り..... 74	(68) 型枠各部の構造..... 76

第九章 コンクリートの性質

(69) コンクリートの重量..... 87	(79) コンクリートの弾性、壓縮應力に対する應力歪曲..... 91
(70) コンクリートの膨脹係數..... 87	(80) 引張應力に対するコンクリートの應力歪曲..... 92
(71) コンクリートの強度..... 87	(81) コンクリートの硬化による膨脹と收縮... 92
(72) セメントの性質の影響..... 87	(82) 温度變化による膨脹と收縮..... 93
(73) 骨材の性質..... 88	(83) 乾濕による膨脹と收縮..... 94
(74) 使用水量..... 88	(84) コンクリートの耐火性..... 94
(75) 材齡と強度との關係..... 88	(85) コンクリートの水密性..... 95
(76) 養生法及び温度..... 90	(86) 防 水 工..... 95
(77) コンクリートの引張強度..... 91	(87) コンクリートの許容應力度..... 99
(78) 押貫剪斷に対するコンクリートの強度..... 91	

第十章 鐵 筋

(88) 鐵筋の材質..... 101	(90) 鐵筋のヤング係數..... 103
(89) 鐵筋の應力歪曲..... 101	(91) 鐵筋の膨脹係數..... 103

(92) 鐵筋の形状及び寸法..... 103	(94) 鐵筋の組立..... 105
(93) 鐵筋の加工..... 104	(95) 鐵筋の継手..... 108

第十一章 鐵筋コンクリートの性質

(96) 鐵筋コンクリートの固有初應力..... 108	(98) 鐵筋の保護として必要なるコンクリートの厚さ..... 110
(97) 硬化收縮に依る均等に分布する固有初應力..... 108	(99) 海水の作用を受くる鐵筋コンクリート..... 110

第十二章 鐵筋コンクリート部材に於ける應力度の計算及び断面の算定—總説

(100) 鐵筋コンクリート部材の種類..... 112	(102) 記 號..... 113
(101) 鐵筋コンクリート部材の應力算定及び断面決定に対する根本的假定..... 112	(103) 計算の精度..... 114

第十三章 單鐵筋矩形梁に於ける曲げ應力度の計算及び曲げモーメントに対する梁断面の算定

(104) 概 論..... 115	(106) 抵抗モーメント..... 119
(105) 應力度の計算..... 115	(107) 断面の算定..... 120

第十四章 複鐵筋矩形梁に於ける曲げ應力度の計算及び曲げモーメントに対する断面の算定

(108) 概 論..... 126	(111) 断面の設計..... 130
(109) 曲げ應力度の計算..... 126	(112) 對稱複鐵筋を有する断面の設計..... 133
(110) 抵抗モーメント..... 129	

第十五章 T形梁に於ける曲げ應力度の計算及び曲げモーメントに対する断面の算定

(113) 概 論..... 135	(117) 断面の近似的設計..... 143
(114) 應力度の計算..... 136	(118) 負の曲げモーメントを受けるT形梁..... 145
(115) 抵抗モーメント..... 140	(119) 複鐵筋T形梁の應力度の計算及び断面の設計—概論..... 145
(116) 断面の設計..... 140	

(120) 應力度の計算.....145	(121) 断面の設計.....148
----------------------	---------------------

第十六章 正八角形断面, 圓形断面, 壁厚比較的薄い圓形中空断面の梁の計算

(122) 正八角形断面の梁の曲げ應力度の計算.....149	(124) 壁の厚さ比較的薄き圓形管の曲げ應力度の算定.....152
(123) 圓形断面の梁の曲げ應力度の計算.....150	

第十七章 曲げ應力度の圖式解法

(125) 概論.....154	(126) 曲げ應力度の圖式解法.....154
------------------	--------------------------

第十八章 曲げモーメントと同時に軸方向圧縮力又は偏心軸方向圧縮力を受ける矩形断面の計算

(127) 概論.....156	鉄筋量 A_s 及び A_s' を求む.....169
(128) 心の幅及び應力度の算定.....156	(135) 矩形断面の寸法が與へられて居る時に, 引張及び圧縮鉄筋断面積の和が最小となる様な鉄筋断面積の算定.....170
(129) 鉄筋コンクリート柱の應力度算定に關する標準示方書の規定.....159	(136) 對稱断面の鉄筋断面積及び断面寸法の算定.....172
(130) 軸方向圧縮力の作用點が矩形断面の心の外にある場合の應力度の計算.....160	(137) 矩形断面に軸方向圧縮力と曲げモーメントとが働き全断面に圧縮應力度のみを生ずる場合の断面の算定.....173
(131) 三次方程式の解法.....162	(138) コンクリートに於ける圧縮應力度が許容曲げ圧縮應力度を超過しないための對稱な圧縮鉄筋断面積の算定.....175
(132) 對稱鉄筋の場合(軸方向圧縮力の作用點が矩形断面の心の外にある場合).....164	
(133) 單鉄筋の場合(軸方向圧縮力の作用點が矩形断面の心の外にある場合).....168	
(134) 断面及び鉄筋量の算定 断面の寸法及び σ_c , σ_s が與へられて居る時,	

第十九章 軸方向圧縮力と曲げモーメントとを受けるT形断面の計算

(139) 断面に引張應力度を生じない場合の應力度の計算.....177	(140) 断面の一部に引張應力度が生ずる場合の應力度の計算.....178
--------------------------------------	--

第二十章 軸方向圧縮力と曲げモーメントとを受ける正八角形断面の部材に於ける應力度の計算及び断面の算定

(141) 軸方向圧縮力の作用點が等値全断面の心の内にある場合の應力度の計算...180	面に圧縮應力度のみを生ずる場合の鉄筋断面積の算定.....182
(142) 軸方向圧縮力の作用點が等値全断面の心の外にある場合の應力度の計算...180	(144) 正八角形断面の寸法が與へられ, 断面に圧縮應力度と引張應力度とを生ずる場合の鉄筋断面積の算定.....183
(143) 正八角形断面の寸法が與へられ, 断	

第二十一章 軸方向圧縮力と曲げモーメントとを受ける圓形断面の部材に於ける應力度の計算及び断面の算定

(145) 断面に圧縮應力度のみが働く場合の應力度の計算及び鉄筋断面積の算定.....186	(146) 断面に圧縮應力度と引張應力度とが働く場合の應力度の計算及び鉄筋断面積の算定.....187
--	---

第二十二章 軸方向圧縮力と曲げモーメントとを受ける中空圓断面の部材に於ける應力度の計算及び断面の算定

(147) 断面に圧縮應力度のみが働く場合の應力度の計算.....189	(149) 断面に圧縮應力度及び引張應力度が働く場合の應力度の計算及び鉄筋断面積の算定.....190
(148) 断面に圧縮應力度のみが働く場合の断面の設計.....189	

第二十三章 曲げモーメント及び軸方向圧縮力を受ける部材の直接應力度を求める圖式解法

(150) 直接應力度を求める圖式解法.....192

第二十四章 剪断應力度及び附着應力度の計算

(151) 概論.....196	(154) 單鉄筋T形梁に於ける剪断應力度及び附着應力度の計算.....198
(152) 單鉄筋矩形梁の剪断應力度及び附着應力度の計算.....196	(155) 複鉄筋T形梁に於ける剪断應力度及び附着應力度の計算.....200
(153) 複鉄筋矩形梁の剪断應力度及び附着應力度の計算.....198	(156) 軸方向圧縮力と曲げモーメントとを受ける部材に於ける剪断應力度の計算...201

第二十五章 斜張應力鉄筋の算定

(157) 斜張應力.....203	(166) 大梁の三等分點に小梁からの間接荷重が加はる場合の腹鉄筋の配置.....229
(158) 斜張應力に對する配筋方法.....204	(167) 等分布荷重を受ける高さの大である壁梁の腹鉄筋の配置.....229
(159) 助鉄筋の計算.....205	(168) 梁の高さが大で、スパンが比較的短い壁梁が二つの小梁を受ける場合の腹鉄筋の配置.....230
(160) 折曲鉄筋の計算.....208	(169) 梁が長く、高さが小である場合、折曲鉄筋を緩傾斜に配置する場合.....230
(161) 折曲鉄筋を曲上げ得る點の計算.....211	(170) 梁の高さが一定である場合、剪斷應力度圖を用ひて、連續梁の内部支承部に於ける腹鉄筋の配置を決定する方法.....231
(162) 曲げモーメント圖を用ひて、梁の高さが一定である場合及びハンチを有する場合、固定支承部又は連續梁の内部支承部に於ける腹鉄筋の配置を決定する方法.....218	(171) 大きい固定荷重を受ける矩形断面の壁梁の内部支承部.....232
(163) 單純梁の高さが一定なる場合、剪斷應力度圖によつて腹鉄筋の配置を決定する方法.....220	(172) ハンチの有る連續梁の腹鉄筋の配置.....233
(164) 片持梁の腹鉄筋配置を決定するに剪斷應力度圖を用ひる方法.....224	
(165) 中央に小梁が載る兩端單純支承の大梁に於ける腹鉄筋の配置.....228	

第二十六章 中心軸方向荷重を受ける鉄筋コンクリート柱の應力度の計算及び断面の算定

(173) 概 論.....237	σ_c が與へられて、断面及び配筋の算定.....244
(174) 柱の種類.....237	(183) 中心軸方向荷重 P 及び許容壓縮應力度 σ_c が與へられて、螺旋鉄筋柱の最小断面及び配筋の計算.....246
(175) 柱の高さ.....237	(184) 中心軸方向荷重 P 、柱の断面寸法及び σ_c が與へられて、螺旋鉄筋柱に於ける配筋の計算.....248
(176) 長柱と短柱.....237	(185) 鉄筋コンクリート長柱の許容中心軸方向荷重の計算.....249
(177) 帶鉄筋柱の許容中心軸方向荷重の計算.....239	(186) 帶鉄筋柱の高さ、負擔すべき中心軸方向荷重及び許容壓縮應力度 σ_c が與へられて、長柱断面の算定.....250
(178) 帶鉄筋柱の各部の寸法及び中心軸方向荷重が與へられてコンクリート及び鉄筋に於ける壓縮應力度の計算.....240	(187) 螺旋鉄筋柱の高さ、支持すべき中心軸方向荷重及び σ_c が與へられて、長柱断面の算定.....251
(179) 柱の高さ、負擔すべき中心軸方向荷重及び許容壓縮應力度が與へられる時、帶鉄筋柱断面の算定.....241	合成柱及び鋼コンクリート柱の許容中心軸方向荷重の計算
螺旋鉄筋柱の許容中心軸方向荷重の計算及び断面の算定	(188) 概 論.....252
(180) 概 論.....242	
(181) 螺旋鉄筋柱の許容中心軸方向荷重の計算.....242	
(182) 螺旋鉄筋柱の高さ、支持すべき中心軸方向荷重 P 及び許容壓縮應力度	

(189) 合成柱の許容中心軸方向荷重の計算.. 252	(190) 鋼コンクリート柱の許容中心軸方向荷重の計算253
------------------------------	--------------------------------------

第二十七章 版の設計

(191) 版の種類.....254	(201) 二方向に主鉄筋を有する版が其全面に等分布荷重を受ける場合の曲げモーメントの算定.....269
(192) 版及び梁に關する標準示方書の諸規定.....254	(202) 二方向に主鉄筋を有する版が集中荷重を受ける場合の曲げモーメント及び剪斷力の計算.....270
(193) 一方向のみに主鉄筋を有する版の設計.....255	(203) 二方向に主鉄筋を有する版に於ける鉄筋の配置.....271
(194) 單純版の設計.....256	(204) 四邊單純支承の二方向主鉄筋版の設計.....272
(195) 固定版の設計.....257	(205) 二方向に主鉄筋を有する四邊固定支承版及び二方向に主鉄筋を有する連續版の設計.....272
(196) 片持版及び持出し版の設計.....260	
(197) 連續版の曲げモーメント及び剪斷力の計算に關する標準示方書の規定.....262	
(198) 連續版の設計.....263	
(199) 鋼梁を支點とする連續版の設計.....267	
(200) 二方向に主鉄筋を有する版の設計.....263	

第二十八章 基礎版の設計

(206) 概 論.....274	(212) 正八角形基礎版.....278
(207) 壁の基礎版.....274	(213) 二方向に主鉄筋を有する正八角形基礎版.....279
(208) 柱の正方形基礎版.....275	(214) 放射状又は四方向に主鉄筋を有する正八角形基礎版.....279
(209) 邊に平行なる二方向に主鉄筋を有する正方形基礎版.....276	(215) 偏心荷重を受ける基礎版.....280
(210) 對角線の方向に主鉄筋を有する正方形基礎版.....276	(216) 連續基礎版.....280
(211) 矩形基礎版.....277	(217) 筏基礎.....281

第二十九章 梁の設計

(218) 概 論.....288	(221) 片持梁及び持出し梁の設計.....291
(219) 單純梁の設計.....290	(222) 連續梁の設計.....292
(220) 固定梁の設計.....291	(223) 鉸梁の設計.....296

第三十章 無梁版構造

(224) 概 論.....297	無梁版の近似的解法.....301
(225) 無梁版の鉄筋配置の方法.....297	(228) 無梁版構造に於ける簡易公式による近似解法.....302
(226) 無梁版に於ける應力の算定.....299	(229) 無梁版構造の設計.....307
(227) 柱と版とからなるラーメンとしての	

第三十一章 一般設計細目

(230) 鉄筋の長さ.....311	(232) 鉄筋の継手.....311
(231) 鉄筋の屈曲及び交叉鉄筋.....311	

第三十二章 中心軸方向荷重を受ける鉄筋
コンクリート柱の設計

(233) 鉄筋コンクリート柱に加はる外力.....314	(235) 柱頭、柱脚及び柱の継手.....315
(234) 帯鉄筋柱の設計.....315	(236) 螺旋鉄筋柱の設計.....317

第三十三章 軸方向圧縮力と曲げモーメント
とを受ける柱の設計

(237) 概 論.....319	(240) 両端が迴轉端である柱の設計.....321
(238) 偏心軸方向荷重を受ける上端が自由 で下端が固定端である柱の設計.....320	(241) 上端が迴轉端で下端が固定端である 柱の設計.....322
(239) 偏心軸方向荷重と水平荷重とを受け る上端が自由で下端が固定端である 柱の設計.....321	(242) 偏心軸方向荷重を受ける両端が固定 端である柱の設計.....323

第三十四章 合成柱及び鋼コンクリート柱
の設計

(243) 概 論.....325	(244) 合成柱及び鋼コンクリート柱の設計 細目.....325
附 記.....327	

(目次終)

第一章 コンクリート

(1) コンクリート コンクリートはセメントと骨材と水とから成る。是等の外に或場合には種々の混和剤を加へて、防水性、防凍性、急硬性、耐海水性等を與へんとすることがあるが、是等は特種成分と見なすべきものである。セメントと砂とから成るものをモルタルと云ふ。モルタルとコンクリートとは種々の性質を支配する法則が此兩者に共通であるために、其性質を研究するには大抵モルタルとコンクリートとを區別する必要はない。

コンクリート中に於ける各原料の實積の割合の概念を得る爲に重量比 1:2:4、水セメント比 70% (軟練) の場合を例示すると、空氣の混入は無しとして次の如くである。

砂利 0.46 砂 0.23 セメント 0.10 水 0.21

分離 填充直後のコンクリートの組織は硬練にては大體其儘硬化するが、軟練にては分離と云ふ現象を生ずる。之は水量が多くてセメント、砂、砂利の各粒子が自由に沈下し得る時に生ずるもので、多くは砂利、砂が先づ沈降し、上層はセメント液の多いコンクリートとなり、更に其セメントが沈降して最上層は水だけとなる。又、セメント粉末中の比重の軽いものは上層に近く存在し、之は硬化力が無く **レイタンス** (Laitance) と稱して嫌はれる。土木學會鐵筋コンクリート標準示方書 (昭和14年9月改正案) に依るとレイタンスとはモルタル、又はコンクリートを施工したる際、水分の上昇に従ひ、其表面に浮び出て沈澱せる微細なる物質より成る表皮であると謂ふ。此例は鐵筋コンクリート施工の如く軟練を使用する場合には或程度は止むを得ぬことであるが、餘り極端なる軟練は用ひぬをよしとする。

空隙 コンクリート中に混入する空氣の状態には 2種の別がある。其一は假杵の粗悪、打込みの際の突固めの不十分、又は調合の不良に基因して不規則に大なる空隙を生じた場合である。突固め不十分に原因する空隙は硬練のものほど生じ易いが、鐵筋コンクリートの施工の如く狭い假杵内に多量の鐵筋を配置する場合には餘程軟練としても此缺點は生じ易い。其二は硬練のものを十分に突固めたときに、尙、見られるもので、之は微小な氣泡として一様に混在する。此種の氣泡は硬練りには避け難いものであるが、それにも拘はらず打込み易いものには硬練を使用する理由は水量の減少による強度の増加が氣泡による強度の低下を十分に補ふからである。

硬練 (Dry consistency) 之はコンクリートの原料に重量に於て凡そ 4%~6% の水を加へたるもので、十分に突固める際に表面に水が滲出する程度のもので、或は濕土の程度のものである。硬練コンクリートは之を十分に突固めて施工すれば同じ配合比のコンクリート中で最も強度が大なるものであるが、其水分が少ないために充分の突固めを行ふも、尙、其中に空隙を残す虞があ

り、突固めの不充分なる場合には殆んど蜂の巣の如きものとなり、強度も大いに減少し、且、其防水性を期待することが出来なくなる。又、鉄筋コンクリートの場合にあつては之を型枠及び鉄筋の間に充分に行き直らしめること殆んど不可能であるから、之を鉄筋コンクリートに使用することは稀である。

中練 (Medium Consistency) 之は重量に於て約 8%~10% の水を加へたもので、其表面に何等かの方法によつて溝、又は穴を作つた場合、暫くは其儘に残つてをる程度のものである。強度は完全に施工した硬練のものに劣るが、施工が比較的容易で、充分に突固めをすれば、之を鉄筋コンクリートに使用しても鉄筋、又は型枠の間に空隙を残す様なことはない。故に基礎、橋臺、橋脚等の如きコンクリート構造物、又は鉄筋コンクリート構造物でも其断面が大で型枠や鉄筋が比較的簡単に突固めを充分に行ひ得るもの、又は特に大なる強度を必要とするものに使用せられる。

軟練 (Wet consistency) 之は重量に於て凡そ 12%~15% の水を使用し、其自身に於て流れ出す程度のものである。強度は初期に於ては硬練、又は中練のものに劣るが、長期に於ては相當の強度を發揮するものである。軟練のコンクリートは其中の気泡を追出すために相當の突固めを必要とするが、其自身流動性のものであるから鉄筋、又は型枠の狭い間隙にも充分に行き直り、且、樋卸し等の方法を以て多量の均様性のコンクリートを連続的に施工することが出来る。従つて現在に於ては普通の鉄筋コンクリート工事に於て最も広く使用せられてをるものである。但し餘り多量の水量を用ひるとコンクリート施工に際し粗骨材が分離し、強度を大いに減少し、水密性を失ひ、又はレイタンス (Laitance) を生ずる等種々の不利益なる現象を生ずるから、水量は施工に差支へなき限り、可及的少なくする方が強度の上から考へても望ましいことである。

(2) **材料、稠度、水セメント比** セメント 1 部分と骨材 (Aggregate) m 部分とから成るコンクリートの組成を 1 : m にて表はす、但し骨材は砂も砂利 (又は碎石) も含めて云ひ表はされてゐる。細骨材である砂と粗骨材である砂利、又は碎石との配合を別々に云ひ表はさんとすれば、1 : m : n とし、 m は砂の部分 (重量、又は容積に於て) の数であり、 n は粗骨材の部分 (重量、又は容積に於て) の数である。

充分なる膠着力の外に、コンクリートが用ひられる目的によつて、或強度と稠度 (Consistency) とが得られねばならぬ。稠度とはコンクリートを練り上げた場合の軟かさ、又は粘さの程度を意味し、従つて、又流動性と稱することもある。往々、ウオーカビリティー (Workability) と稠度とを混同するが、ウオーカビリティーとはコンクリート構造物、又は鉄筋コンクリート構造物を造る場合、コンクリートの流動性による施工容易の程度及び材料の分離に抵抗する程度を決定するコンクリートの性質である。勿論ウオーカビリティーは流動性によつて左右せられるものであるが、

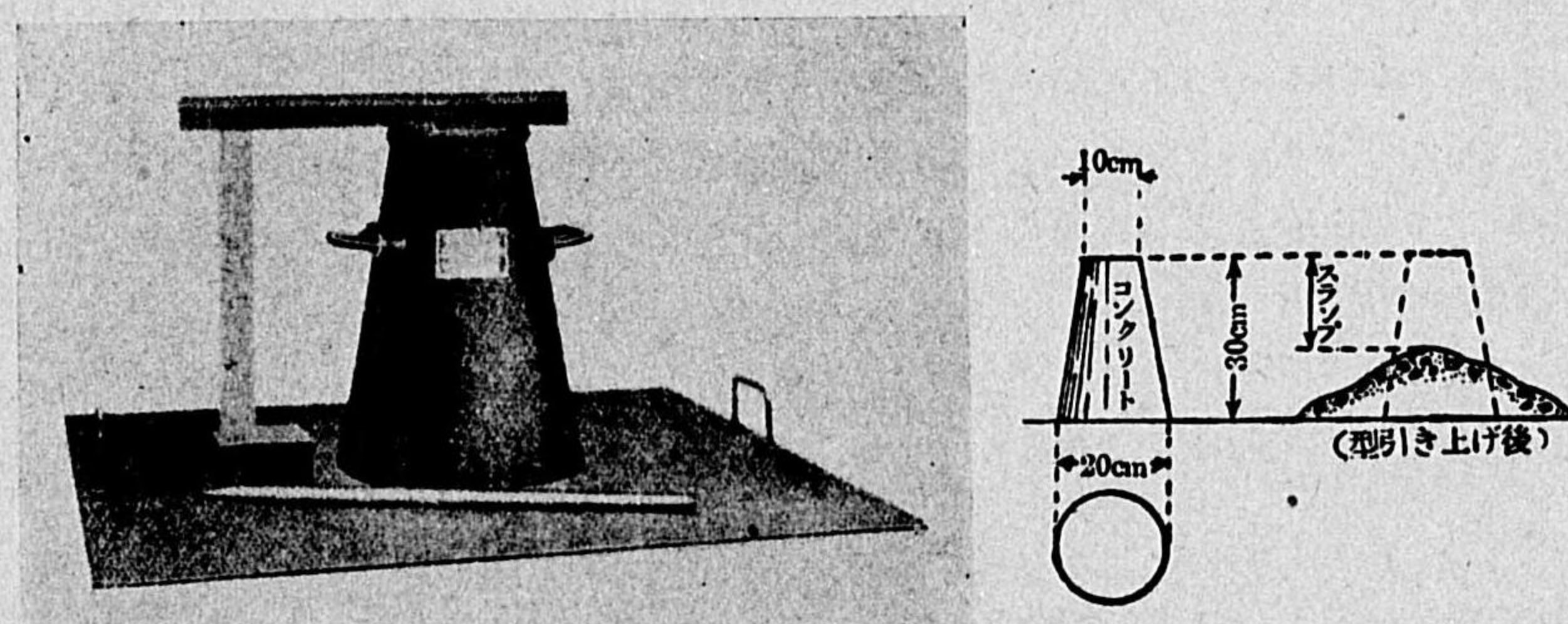
同一流動性を有するコンクリートであつても、之を施工する工事の種類によつて其ウオーカビリティーは異なるものである。

水セメント比 (Water cement ratio) (W/C、又は W.C.R.) は亞米利加合衆國から紹介せられたるものである。之は水とセメントとの比 (W/O) を與へるものである。水セメント比は本邦及び獨逸では重量比、米國では容積比を以て表はしてゐる。モルタル、或はコンクリートの壓縮強度に關する水セメント比説を要約すれば、モルタル、又はコンクリートの壓縮強度は配合比、水量、又は骨材の粒度等に依つては直接には影響を受けず、唯其セメント糊狀體 (Cement paste, セメントに水を加へて混捏すれば粘り氣のあるセメント糊狀體を生ずる) の稠度、即ち水セメント比のみに依つて決定せられると言ふのである。配合比、水量及び骨材の粒度等は勿論モルタル、或はコンクリートの強度に影響を與へるものであるが、是等は先づ其水セメント比に影響を與へ従つて是等は水セメント比を介在して初めてモルタル、或はコンクリートの強度に影響を與へるものである。但し此場合セメントの品質、モルタル、或はコンクリートの製作方法、養生方法、及び其強度試験方法等は總て同じ條件でなければならないことは勿論である。

コンクリートの流動性を試験する實際に廣く行はれる方法はスランプ試験 (Slump test) とフロー試験 (Flow test) との二方法である。此外に落下試験も用ひられる。

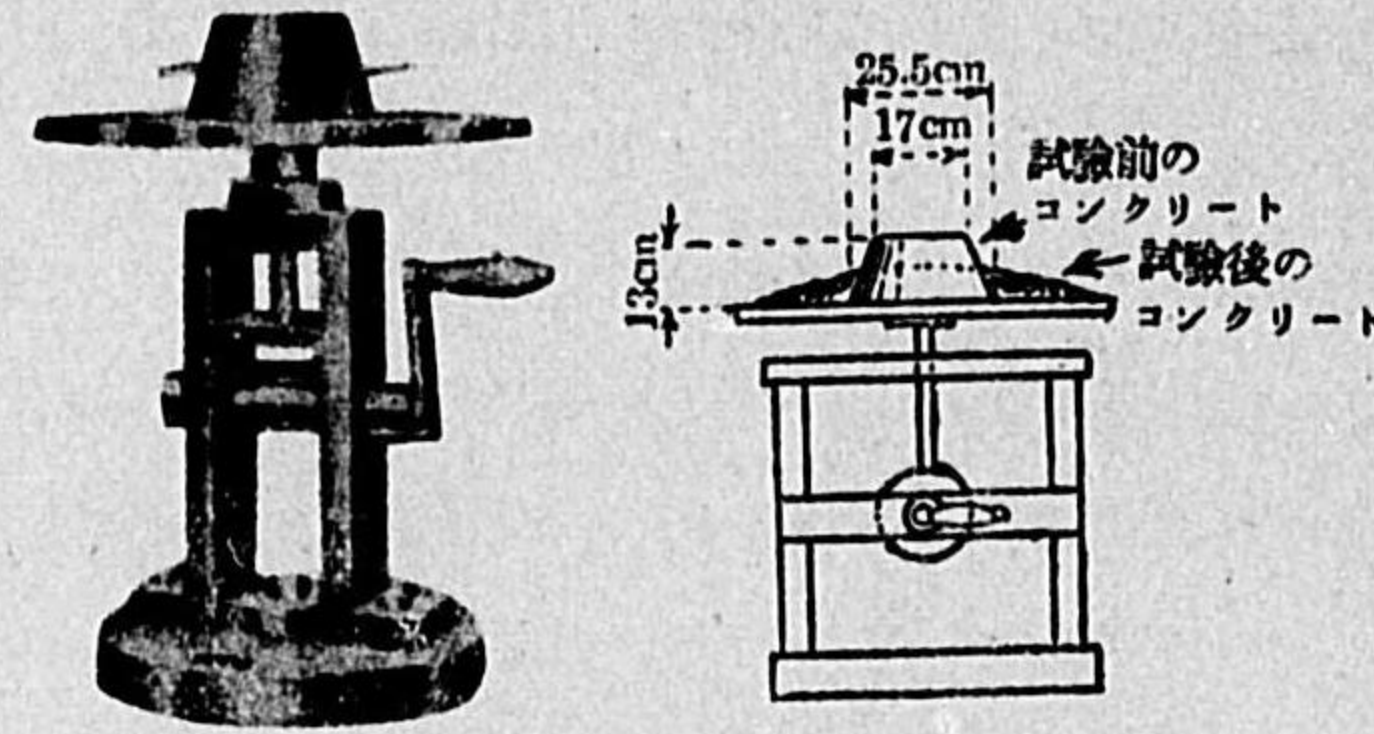
スランプ試験 上面内径 10cm、底面内径 20cm、高さ 30cm の金屬製截頭圓錐形を平板上に置き、之にコンクリートを 4 層に分つて填充し、其上面を均らす。填充に際し、毎層は突棒 (直徑 16mm、長さ 50cm にして一端を長さ約 8cm の間鈍き球狀に尖したる鐵棒) の尖端を以て 30 回之を突く。鐵棒の突入は其前層に漸く達する程度とする。

次に型を鉛直に靜かに引上げ、填充コンクリートの頂の〔下り〕を測定する。流動性は前項測定〔下り〕を cm にて測り、之を〔スランプ〕何 cm とし示すものである。



第 1 圖 スランプ試験器

フロー試験 適當なる構造により反覆式に高さ 1.3cm 引上げては落下し得る装置を有する平面板の中央に上面内径 17cm、底面内径 25.5cm、高さ 13cm の金屬製截頭圓錐形を置き、之にコンクリートを 2層に分ちて填充し其上面を均らす。填充に際し毎層は突棒（直径 16cm、長さ 50cm にして一端を長さ約 3cm の間鈍き球狀に尖したる鐵棒）の尖端を以て 30 回之を突く。突棒の突入は其前層に漸く達する程度とする。次に型を鉛直に靜かに引上げた後、平面板を約 10秒間に 15回、高さ 1.3cm 上下に運動せしめて板上に於けるコンクリートの〔擴り直径〕の平均値を測定する。流動性は前項規定の〔擴り直径〕の型の底面内径 25.5cm に對する此の百分率を〔フロー〕何程として示すものである。



第 2 圖 小型フロー試験器

(3) **セメント** セメントを大別すれば**水硬セメント** (Hydraulic cement) と**非水硬セメント** (Non-hydraulic cement) との二種である。前者は空氣中にて、又は水中に於ても硬化し、後者は水中に於ては硬化せぬ。是等に就いて**天然セメント**と**人工セメント**とがある。現今主として使用せられるものは水硬セメントであり、且、人工セメントである。一般に使用せられるものは

- ポルトランドセメント
- 高級セメント……高級ポルトランドセメント；アルミナセメント
- 高爐セメント類……高爐セメント；鐵ポルトランドセメント；鍍滓石膏セメント

現今我國に於て、鐵筋コンクリートに普通に使用するセメントはポルトランドセメント及び高爐セメントであつて、是等のセメントの品質に關して、土木學會標準示方書（昭和14年9月改正案）は次の通り。

「第 7 條 **ポルトランドセメント** 及 **高爐セメント**

ポルトランドセメント及高爐セメントは夫々 JES 第 28 號及第 29 號に合格したるものたるべし。」

建築學會の標準示方書は次の通り。

「第 2 條 **セメント**

セメントは日本標準規格第 28 號若しくは第 29 號に合格せるものとす。」

ポルトランドセメントに關する規格 (JES第28號) の要點を抜萃すれば次の通り。

「第一章 製造法

第一條 「ポルトランドセメント」ハ主成分トシテ珪酸、礬土、酸化鐵及ビ石灰ヲ含有スル原料ヲ適當ノ割合ニテ十分ニ混和シ之ヲ殆ンド熔融セントスル迄灼熱シタル後、粉碎シテ粉末ト爲シタルモノトス。

「ポルトランドセメント」(以下單ニ「セメント」ト稱ス) ニハ他ノ物質ヲ混和スルコトヲ得ズ。但シ其重量ノ 3% 以下ノ石膏ヲ混和スルハ此限ニ在ラズ。

第二章 試験法

比 重

第二條 「セメント」ノ比重ハ 3.05 以上ナルコトヲ要ス。……

粉末ノ程度

第三條 「セメント」ハ 1cm²ニ付 4900 孔ヲ有スル篩ヲ以テ篩ヒ別ケ其殘滓量 12% ヲ超エザルコトヲ要ス。……

凝 結

第四條 普通ノ用途ニ供スル「セメント」ハ 15°C 乃至 25°C ニ於テ注水ヨリ 1 時間以後ニ凝結ヲ始メ 10 時間以内ニ凝結ヲ終ルコトヲ要ス。……

膨脹性龜裂

第五條 「セメント」ハ次ノ試験ニ於テ膨脹性龜裂(歪曲ヲ含ム以下同ジ)ヲ生ゼザルコトヲ要ス。

膨脹性龜裂ヲ試験スルニハ浸水法ニ依ルモノトス。

但シ浸水法ニ依ル試験時日ヲ有セザル場合ハ沸煮法ニ依ルコトヲ得

浸水法 淺頭形體 2 個ヲ成形後凡ソ 24 時間ヲ經テ水中ニ浸シ 27 日間ニ於テ膨脹性龜裂ノ有無ヲ檢スルモノトス。此期間ニ於ケル水ノ溫度ハ 15°C 以下ニ降ラシメザルコトヲ要ス。

沸煮法 淺頭形體 2 個ヲ成形後凡ソ 24 時間ヲ經タル後水ヲ充タセル鍋中ニ沈メ徐々ニ熱シテ凡ソ 1 時 30 分間沸騰セシメ漸次之ヲ冷却シタル後膨脹性龜裂ノ有無ヲ檢スルモノトス。……

強 度

第六條 「セメント」ノ強度ハ第七條乃至第十條ニ依リ製作シタル供試體ヲ用ヒ耐壓試驗ニ依リ之ヲ定ムルモノトス。但シ抗張試驗ヲ以テ之ニ代フルコトヲ得。

耐壓試驗及抗張試驗ハ成形後 7 日(空氣中 24 時間、水中 6 日間)及ビ 28 日(空氣中 24 時間、水中 27 日間)ヲ經タル供試體ニ付之ヲ行ヒ次表ノ規定ニ合格シ且 28 日ノ力ハ 7 日ノ力ヨリ大ナルコトヲ要ス。

成形後ノ日數	7 日	28 日
耐 壓 力 kg/cm ²	220 以上	300 以上
抗 張 力 kg/cm ²	20 以上	25 以上

試験ハ各 6 個ノ供試體ニ付之ヲ行ヒ平均値ヲ以テ其成績ヲ表ハスモノトス。

第十一條 第六條ニ依ル試験ヲ行フ時日ナキ場合ニハ第七條乃至第十條ニ依リ製作シタル供試體ニ付成形後 3 日(空氣中 24 時間、水中 2 日間)及ビ 7 日(空氣中 24 時間、水中 6 日)ヲ經タル後耐壓試驗ヲ行ヒ強度ヲ定ムルコトヲ得。其耐壓力ハ次表ノ規定ニ合格シ且 7 日ノ力ハ 3 日ノ力ヨリ大ナルコトヲ

要ス。

成形後ノ日數	3 日	7 日
耐 壓 力 kg/cm^2	150 以上	220 以上

試験ハ各 6 箇ノ供試体ニ付之ヲ行ヒ平均値ヲ以テ其成績ヲ表ハスモノトス。

試験用水

第十三條 「セメント」ノ試験ニ用ヒル水ハ淡水トス。

但シ海水工事ニ用ヒルモノニ付テハ之ヲ海水トス。

第三章 試料及受渡

第十四條 「セメント」ノ試料ハ 50 箇又ハ其端數毎ニ其平均品質ヲ表ハス様 5 箇ノ包装ヨリ之ヲ採リ能ク混和シタルモノトス。

包装及重量

第十五條 「セメント」ノ受渡ニ用ヒル重量ノ單位ハ箇トス。

第十六條 「セメント」ハ袋入トスル場合ニハ正味 50kg、樽入トスル場合ニハ正味 170kg トス。

昭和 5 年 8 月商工省告示第 42 號の高爐セメントの規格 (JIS 第 29 號) の要點を抜萃すれば次の通り。

「第一章 製造法

第一條 高爐「セメント」ハ冷碎シタル鐵熔鑪ノ渣滓ノ重量 100 對シ「ポルトランドセメント」燒塊 45 以上ヲ混和シ粉砕シテ粉末ト爲シタルモノトス。

高爐「セメント」ニハ他ノ物質ヲ混和スルコトヲ得ズ。

但シ其重量ノ 5% 以下ノ石膏及 3% 以下ノ石灰ヲ混和スルハ此ノ限りニ在ラズ。

第二章 試験法

第二條 高爐「セメント」ノ比重ハ 2.85 以上ナルコトヲ要ス。

但シ 2.85 ニ達セザル場合ニハ試料ヲ暗赤色ニ熱シタル後更ニ試験スルモノトス。

第三條乃至第十一條及び第十三條乃至第十七條は前記のポルトランドセメントの規格と同じである。

土木學會標準示方書及び建築學會標準示様書は、特種のセメント及び規格に不合格なセメントを使用する場合には觸れて居ない。斯かるセメントの使用に就いては特別の注意を必要とする。

(4) 凝結 (Setting) 及び硬化 (Hardening) セメントに水を加へて混捏すれば粘り氣のあるセメント糊狀体 (Cement paste) を生じ、時日の経過と共に此粘性を失ひ可塑性 (Plastic) のものとなる。之をセメントの凝結と云ふ。其後、時日を経過するに従ひて石の如き硬きものとなり、其強度を漸次増大する。之を硬化と云ふ。而して急速に例へば 30 分以内凝結を始める様な

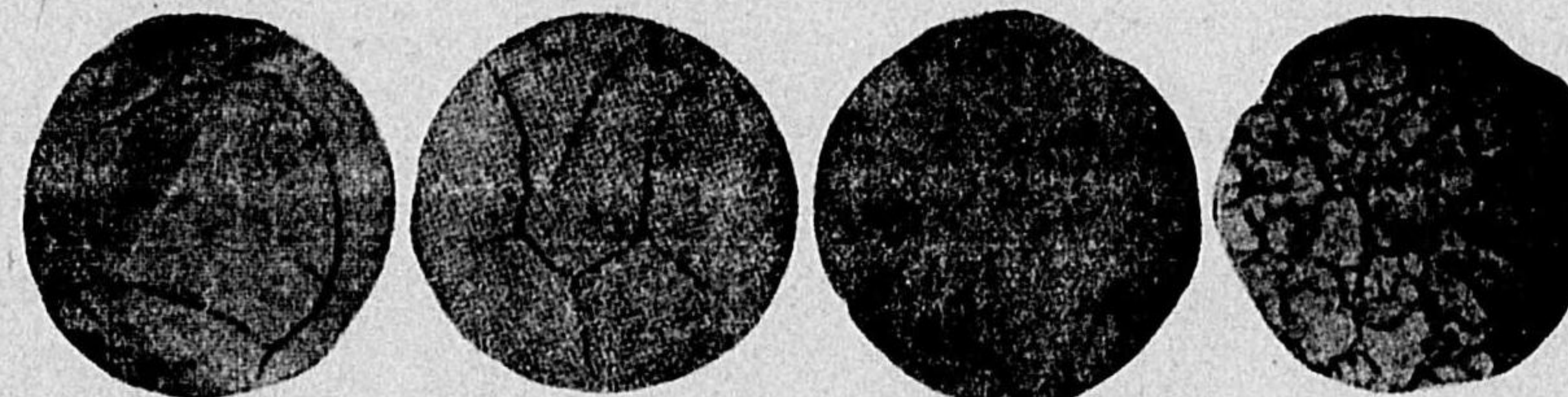
セメントを急結性セメントと云ひ、緩漫に凝結するものを緩結性セメントと云ふ。普通のセメントは緩結性セメントである。短時日の間に硬化が進行する様なセメントを急硬性セメントと云ふ

(5) 風化 セメントは之を空氣中に放置して置く間に空氣中の濕氣を吸収し、其粒子の表面から輕微なる加水分解を受け、其結果生じたる水酸化カルシウムは炭酸瓦斯を吸ひ炭酸カルシウムを生じ水を分離する。此水は再びセメントに作用して加水分解を繰返す。斯くしてセメントは強度を減少し、凝結が遅延し、其容積が膨れる。此現象をセメントの風化と云ふ。

(6) 膨脹性龜裂 (Expansion crack) セメントを使用して作れるコンクリートが、其成形後、其体積、形狀を變化し、龜裂を生じ、或は崩壊する様なことがあれば、構造物の永久性は失はれ且、危険であることは明かである。是等の事に就いてセメントの耐久性及び不變性を試験するには普通膨脹性龜裂の試験と呼ばれる試験をする。

セメントに適量の水を加へてセメント糊狀体を作り、之を以て硝子板上に直徑約 10cm、中央の厚さ約 1.5cm の饅頭形體 (Pat) を作り、之を成形後約 24 時間空氣中に置いた後、水中に浸し 27 日間に於て膨脹性の龜裂、表面のひび割れ (Checking)、崩壊 (Disintegration)、又は歪曲 (Distorsion) の有無を調べるのである。此方法を行ふ時目の無い場合には饅頭形體を成形後約 24 時間の後、鍋の中で煮沸して其變化を調べてもよい。

第 3 圖に示す膨脹性龜裂に於て、此様な變化を生ずるセメントの品質は之を信用することは出來ない。之と屢々見誤られる所謂收縮性龜裂 (Shrinkage crack) はセメントの品質とは關係なく饅頭形體が浸水前に乾燥し過ぎた爲に生ずるものであつて、試験方法の缺陷に原因するものである。(第 3 圖参照)



乾燥ひびわれ、饅頭形體浸水前の保存中に生ずる。

乾燥ひびわれ、收縮性龜裂、饅頭形體浸水前の保存中に生ずる。

膨脹性龜裂、周邊に放射狀に生ずることがある。

膨脹甚だしく崩壊することがある。

第 3 圖 膨脹性龜裂及び收縮性龜裂

(7) セメントの化學成分 日本ポルトランドセメント業技術會の報告によると、昭和 3 年度の本邦セメントの化學成分は平均に於て次の通り。

灼熱減量 1.09%、不溶解殘渣 0.86%、珪酸 22.09%、礬土 5.66%、酸化鐵 3.16%、石灰 64.79%、苦土 1.26%、無水硫酸 1.23%

ポルトランドセメントの主成分は其石灰質原料から来る石灰と粘土質原料から来る珪酸、礬土酸化鐵である。石灰質原料から来る石灰は鹽基性であり、粘土質原料から来る珪酸、礬土、酸化鐵は酸性である。故に是等は焼成中、高温度に於て互に化合して珪酸石灰鹽、礬土酸石灰鹽及び鐵酸石灰鹽等を作る。是等鹽類は水硬性の本体を成すものであつて、ポルトランドセメント以外のセメントに就いても多くは是等を基調とするものであり、唯セメントの種類によつて其何れを主とするかの別に歸するものである。

上記の主成分の外に副成分として苦土、無水硫酸、アルカリ及び灼熱減量等を含有する。本邦の規格では苦土は 3% 以下、無水硫酸は 2% 以下なる限度がある。苦土は従來セメントの膨脹性龜裂の原因と見做されてゐたものであるが、最近では數%迄は無害であることが一般に認められてゐる。無水硫酸は焼成後に加へる石膏に由來するものである。灼熱減量とは約 900°C に加熱した時の重量減少量を云ふのである。之は風化による水分、無水炭酸等の吸收物が逸失するのであつて風化度を知る一の指數となる。我國の規格では灼熱減量を 4% 以下と規定してをる。

セメントの各成分の多少を論議することも、セメントを批判する一方法であるが、是等成分間の量的比率に依つた方が一層明かで實際的に便利である。此比率には種々あるが其中最も重要なものは水硬率 (Hydraulic modulus) であつて、各國のセメント規格中には之に就いて規定してをるものもある。水硬率とは次の比率である。

$$\text{水硬率} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

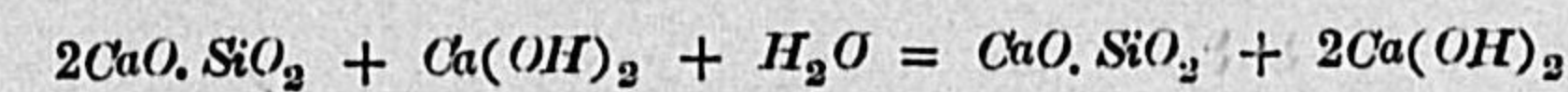
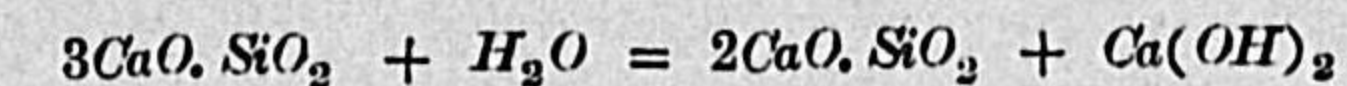
此値はポルトランドセメントの場合には 1.8~2.2 位である、即ち CaO の量が減少して水硬率の値が 1.8 より小になると力の弱い、しかも水中にて硬化しにくいセメントになり、水硬率の値が 2.2 より大になると膨脹性龜裂を生ずる様な危険を伴つて来る。故にセメント製造業者は常に此水硬率に標準を置いてセメントを作つてをる。又、 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ を活動係數 (Activity index) と稱し、又 $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ の比を鐵率 (Iron modulus) と稱して研究せられてをる。

(8) セメント焼塊の組成 セメントの化學成分は上記の如くであるが、是等の成分がどんな化合物を作つて居るかは興味ある問題であつて、各國に於て研究せられてをり、現在信ぜられて居る説は次の通り。セメント焼塊は顯微鏡で調べると四種の物質から成つて居る。其中で殆んど大部分を占めてをるものをアリット (Alit) と云ひ、次に多いのがセリット (Celit) 及びベリット (Belit) であつて、比較的少量であつて次に位するものがフェリット (Felit) である。是等に就いては多くの研究が行はれ、現在アリットは $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ であり、セリットは恐らく $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ であらうとされてゐる。ベリット、フェリット等はなほさら明かでないが $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ であ

らうと考へられてゐる。尙、焼塊は $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 及び $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ が合せて 80% 位、 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 及び $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ が各 10% 前後及び少量の MgO から成ると云はれてゐる。而してアリット、即ち $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ が多いセメント程よいセメントであると稱せられてゐる。

(9) セメントの凝結及び硬化の理論 一般にセメントが固まると言ふ事はセメントと水とが化合する結果であつて之を水和 (Hydration) と言ふ。セメント水和の状態を二分して見ると、一はセメントに水を加へた時に生ずる流動体が固形体に變化することと、他は此固形体が漸次其硬度と強度とを増加してゆく事とに分れる。前者を凝結、後者を硬化と呼び、凝結と硬化とは要するにセメント中に含まれる種々の物質の水和作用の時間的差違に基因すると考へられる。

セメントの主成分は石灰 (CaO)、珪酸 (SiO_2)、礬土 (Al_2O_3) 及び酸化鐵 (Fe_2O_3) であるが、是等の成分はセメント中に於ては次の如くに結びついてゐると考へられる、即ち珪酸三石灰 ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) 珪酸二石灰 ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) 礬土三石灰 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)、酸化鐵二石灰 ($2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) が之であつて、是等の物質の水和作用の化學的説明は學者によつて意見を異にしてゐるが、其中、珪酸三石灰の水和の説明の一例は次の通り。



即ち、高次の珪酸石灰が低次の珪酸石灰 ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) に分解すると同時に水酸化石灰 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) を生ずるのであつて、此水酸化石灰こそはコンクリートの密度と強度とを増すために最も重量なる物質である。

而して是等の珪酸石灰や礬土石灰の水和作用には著しい時間的の差違があり、水和完成までに要する時間は礬土三石灰が 4 時間以上、珪礬三石灰が 7 日以上、珪酸二石灰が 6 ヶ月以上、普通のポルトランドセメントでは 9~12 ヶ月に及ぶ、即ち凝結は礬土石灰の水和、硬化は珪酸石灰の水和の結果であると考へられ、其中でも珪酸三石灰は水和が急速に行はれるから、所謂急硬セメントには其含有量を特に多くするものである。

(10) 強度 セメントの強度はモルタル及びコンクリートの強度に關係するものであるから、セメントの強度は其の大切な性質の中の一である。セメントの壓縮強度はコンクリートの壓縮強度に關係するもので重要な性質である。セメントの壓縮強度は其種類によるは勿論であつて其他使用水量、溫度、材齡 (混捏以後の経過時間) 等によるものである。セメントの空隙を充填する範囲内に於て水量が少ない程、氣温が高い程、材齡が古い程、壓縮強度は大である。

セメントの強度と稱するは重量に於てセメント 1 分に砂 3 分を混じたるセメントモルタルの強度を意味する。之は純セメントに就いて強度を試験するも、セメントをコンクリートに使用した場合のコンクリートの強度、又はセメントと骨材との結合力等に關して何等の判定も下し得な

いからである。

セメントモルタルの標準試験方法は福島縣相馬郡産の天然石英砂を洗滌篩分して精選したる標準砂 8 分にセメント 1 分 (重量比) を加へ之に適量の水 (セメント重量の凡そ 32~33 %) を加へて規定通り混捏し、之を一邊が 7.07cm なる立方供試体に成形し成形後 20 時間以上を経て脱型し、成形後 24 時間を経て水中に養生して、成形後 7 日 (空气中 24 時間、水中 6 日間) 及び 28 日 (空气中 24 時間、水中 27 日間) を経たる供試体を試験するのである。若し時日の都合で上記の試験を行ひ得ない場合には短期試験として成形後 3 日 (空气中 24 時間、水中 2 日間) 及び 7 日 (空气中 24 時間、水中 6 日間) を経たる供試体に就いて試験することも出来る。而して壓縮強度は 3 日で 150kg/cm^2 以上、7 日で 220kg/cm^2 以上、28 日で 300kg/cm^2 以上を以て合格として居る。然るに實際我國で現在製造されて居るセメントの壓縮強度は昭和 4 年度の全國の平均値が 3 日で 334kg/cm^2 、7 日で 456kg/cm^2 、28 日で 572kg/cm^2 であつて殆んど高級セメントの様な試験値を示してゐる。

引張強度も壓縮強度の如く使用水量、溫度、材齡等に関係し、一般に壓縮強度の大なるセメントは引張強度も亦大である。我商工省の規格に依れば引張強度は 7 日で 20kg/cm^2 以上、28 日で 25kg/cm^2 以上と規定されてをる。我國で現在製造されてをるセメントの昭和 4 年度の引張強度試験値の平均は 3 日で 26.5kg/cm^2 、7 日で 28.7kg/cm^2 、28 日で 34.5kg/cm^2 である。脆度係數、即ち壓縮強度と引張強度との比は凡そ 3 日で 12.6、7 日で 15.9、28 日で 16.6 である。

(11) 粉末の程度 セメント工業の進歩は粉碎機の進歩である位に、セメントの粉末度に就いて努力が拂はれ、最近のセメントは極めて微粉であつて規格では 4,900 目篩 (1 cm^2 につき 4,900 孔) 殘滓量が 12% 以下となつてをるが、大抵は 3% 前後位のものである。セメントは其粉末度が高い程、之を使用したコンクリート、又はモルタルの強度が大となり、均一性に富む良いコンクリートが出来る。

(12) 單位重量 土木學會及び建築學會の標準示方書、内務省の市街地建築物施行規則等に於ては、セメントの單位重量は 1.50t/m^3 と規定されてをる。

(13) 高爐セメント 鐵熔鑛爐で鉄を精鍊する際に、鐵鑛中の不純物である珪酸及び粘土分は之に加へられる石灰と複雑に化合して鑛滓 (Slag) として爐外に排出せられる。此鑛滓が未だ高溫度の熔融状態にあるときに、之に高壓の水を吹き掛けて急激に冷却せしめて粉碎すると凡そ次の様な化學成分と凝結力及び水硬性を有するセメント類似のものが得られる。此急冷鑛滓に他の適當なる原料を混和して製造したる人工セメントを總稱して廣義の意味に於て高爐セメント、又は鑛滓セメントと呼ぶ。本邦にては主として八幡製鐵所に於て製造せられる。

石灰 (CaO)、44%~47%、 珪酸 (SiO_2)、30%~33%、

礬土 (Al_2O_3)、17%~20%、 苦土 (MgO)、1%~3%、
硫酸 (SO_3)、1%~3%、 酸化鐵 (Fe_2O_3)、1%~3%、

(1) ボルトランドセメント 急冷鑛滓の石灰含有量は割合に少ないから之に適量の石灰石を混じて是等を原料として普通のボルトランドセメントを製造することが出来る。

(2) 高爐セメント 之は嚴密なる意味に於て昭和 5 年 8 月商工省告示第 42 號 (日本標準規格第 29 號、類別 A5) に従ふべきものであつて、其第一條に依つて製造されるものである。普通に高爐セメントは急冷水碎鑛滓の乾燥したるもの約 70 とボルトランドセメント焼塊約 30 とを混じて之を粉碎した鑛滓系混合ボルトランドセメントで、凝結の調節其他の必要に應じ 5% 以下の石膏及び 3% 以下の石灰を混和することがある。現在の製品は一般ボルトランドセメントに比して大した遜色の無いものが多い。而して普通セメントと同様にコンクリート及び鐵筋コンクリート工事に使用し得る。而して海水に對する抵抗力の大なること、膨脹の小なること、短期の強度は小なるも材齡が大となるに従ひて強度の増進が大なることは此セメントの特徴である。

(14) ソリヂチツト ソリヂチツトは 1907 年に伊太利に於て G. Chini 氏に依つて發明せられた混合セメントで今や殆んど世界各國の特許權を有して居る。我國では日本ソリヂチツト株式會社が之を製造販賣してゐる。原料として花崗岩、又は閃綠岩の如き珪酸質の碎石を少なくとも 2 時間 $1,000^\circ\text{C}$ ~ $1,200^\circ\text{C}$ に灼熱して粉末にしたものを 25%~30% の割合でボルトランドセメントに混和するのであるから珪酸の含有量が大である。

ソリヂチツトは専ら舗裝用として使用せられ、其特徴は、(1) 壓縮、引張強度は共にボルトランドセメントに比して若齡のときは小なるも材齡と共に大なる。(2) 溫度に對する膨脹係數が小さいから膨脹性龜裂を生じない、(3) 海水工事に使用して有効である、(4) 價格はボルトランドセメントと大差ない、(5) 實地施工の場合は花崗岩、又は閃綠岩の碎石を粗骨材として使用し砂を混和せないこと等である。

國產ソリヂチツトの化學成分は大體次の通り、灼熱減量 2.36%、不溶解殘渣 17.62%、珪酸 32.32%、礬土 8.10%、酸化鐵 3.22%、石灰 51.81%、苦土 1.63%、無水硫酸 1.00%、アルカリ 1%~1.5% である。上記より知るが如くソリヂチツトはボルトランドセメントに比して珪酸分が多いから其強度は初期に於ては弱いが材齡を重ねるに従ひて増加するものである。

(15) 高級セメント 高級セメントとは一般に從來のボルトランドセメントに比較して短時日にして大なる強度を發揮するセメントの總稱である。従つて、又急硬セメントとも稱せられるものである。此セメントは 28 日迄の強度の増進が普通のセメントに比して非常に大である點が特徴である。此點で高級セメントと考へられるのである。作つて工事の際、假枠を早く取除き得る

ために種々の便宜がある。

上記の如く高級セメントは早期の強度増進が大であるが 28 日以後には普通セメントと大差が無いので、高級の名稱は早強と言ふ様に其本質に立脚した名稱に變つて來た。最初高級セメントと呼んだものは後に述べるアルミナセメントである。此セメントはポルトランドセメントに比べて硬化が非常に早いために、此セメントの出現に依つてポルトランドセメント業者は大いに刺戟せられ、海外並に本邦に於ても早期高強度を出す點に於てアルミナセメントに劣らぬ早強ポルトランドセメントが製造せられる様になつて、我國に於ても規格の制定が行はれるに至つた。

此セメントが普通のポルトランドセメントと異なる所は製造法が入念であつて、濕式法(ポルトランドセメントの製造法には乾式法と濕式法とがある。其相異點は粉碎機で原料を調合粉碎するに水を用ひると否とである。水を加へて泥漿状態で粉碎するものを濕式と云ひ、水を加へず乾いたまゝ粉碎するものを乾式と云ふ。従つて乾式と濕式とは原料粉碎機から廻轉窯に入るまでの間が一方は粉末であり、他方は泥漿であることが違ふだけである)に依らねばならぬこと、石灰分がいくらか多い事、粉末度が幾分高いものが多い事、28 日迄の強度の増進が大である事等であつて、其他は普通のポルトランドセメントと殆んど同様である。

我國に於て高級セメント、ベロセメント等色々の名稱のものがあるが、皆此セメントの事であり、冬期工事、道路工事及び急を要する工事等に適當するセメントである。

早強セメントと普通セメントとの強度發生比較の一例は第 1 表の通り。

第 1 表 強度比較表

	壓縮強度、 kg/cm^2				引張強度、 kg/cm^2			
	1 日	3 日	7 日	28 日	1 日	3 日	7 日	28 日
普通セメント	223	450	571	689	27.7	33.0	36.1	44.6
早強セメント	425	632	699	789	33.0	39.5	43.8	47.0

上表で見ると早強セメント 3 日の強度は普通セメントの 7 日強度に、早強セメント 7 日強度は普通セメント 28 日強度に匹敵する。

尙最近の本邦製早強ポルトランドセメントの強度を 1:3 モルタルとして試験せる成績は第 2 表の通り。

第 2 表 本邦製早強ポルトランドセメントの 1:3 モルタルの強度

	壓縮強度、 kg/cm^2					引張強度、 kg/cm^2				
	1 日	2 日	3 日	7 日	28 日	1 日	2 日	3 日	7 日	28 日
406	480	553	632	724	31.8	33.0	35.3	37.0	46.0	
523	550	570	665	723	32.5	34.0	37.0	38.0	48.0	

(16) アルミナセメント (Aluminous cement) 之は 1910 年佛人ジュウル・ビエ (Jules Bied) 氏が硫酸鹽に對して強いセメントを作る目的で研究を始めたものと、米人スペックマン (Speckmann) 氏が低温で焼け、従つて製造費が廉く同時に従來のセメントよりも高級の製品を得んとして研究したものとが、期せずして一致した結果を與へたものである。

之はポルトランドセメントとは全く組成分を異にする特種の水硬性セメントで急硬性と高強度を有し、化學成分は珪酸 5%~15%、礬土 35%~45%、酸化鐵 10%~15%、酸化チタニウム 1%~3%、石灰 35%~40%、苦土 0.5%、無水硫酸 0.5% であつて主要化合物は礬土酸石灰鹽、及び珪酸石灰鹽である。此セメントの初期高強度は礬土酸石灰鹽の作用である。

アルミナ含有量の多い鑛石例へばボーキサイト (Bauxite, $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) と略等量の石灰岩とを電氣爐等に依つて完全に熔融して作る。本邦にてはボーキサイトを産出せないから、其製造は見込がないが左程の恨事ではない、即ち我早強ポルトランドセメントはアルミナセメントに比し短期強度と耐海水性、又は耐地下水性とに於て多少劣るが、長期強度が安定で、しかも安價である。

(17) セメントの混和劑 セメントに混合する鹽基性混和物は主として石灰である。主としてモルタル、コンクリートの可工性を増進して施工を容易ならしめるために用ひる。強度に石灰が及ぼす影響はセメントの性質に依つて異なり、珪酸分の多いものは石灰の鹽基性の爲に幾分強度増進の傾向あるも、珪酸分少なきものは幾分強度は低下する。セメントの重量の 10%~15% の消石灰をコンクリートに混入する。

石灰の外に火山灰、珪藻土、珪酸白土等が古來用ひられ、尙商品名 Celite がある。

火山灰は本邦に於ては産出豊富にして九州各縣を主とし、陸奥、下野、信濃、伊豆を初め全国各地に之を産出してゐる。火山灰は可溶性珪酸を多量含有するが故にセメントの鹽基性と化合して、有效なる強度成分を作り、尙其粉末は機械的に骨材の空隙填充材として作用し緻密なる混合物を作り、是等の作用がモルタル、コンクリート等の強度を促進増大せしめるものであるが、其混和量には限度がある。混和量は容積でセメントの 30% 位が最大限度である。

珪藻土は珪藻 (Diatom) なる單細胞植物の遺骸が堆積したもので、白、黄、灰色等種々あるが何れも極めて微細なる單細胞が獨立、又は群生し、球狀、棒狀、環狀、又は鎖狀をなし、各粒子は何れも粗鬆であるからダイナマイトの吸収劑、保温劑、研磨劑、脱脂、又は鑄型にも用ひるが其可溶性珪酸分を多く含有するから、火山灰と同様にセメントの混和劑に用ひられる。珪藻土は 5%~10% を混入するもので、之に依り火山灰の作用と同様にモルタル、又はコンクリートは

(1) 初期の強度は混入せざるものに劣るも次第に増大し 4 週間には優るに至る。併し是等の試験は多くは現在の發達せるポルトランドセメントを以て行へる試験でないから、更に研究を要する問題で、殊に可溶性珪酸の及ぼす化學作用の影響と骨材の空隙填充の物理作用との影響の相關

的關係は未だ明かにされない問題である。

(2) 軽量であるから均一に混合するに困難を伴ふ。併し火山灰と同様にセメントに比し價格低廉であるから經濟的施工に當り用ひられる。

第二章 骨材及び水

(18) 骨材 骨材 (Aggregate) は便宜上、細骨材 (Fine aggregate) と粗骨材 (Coarse aggregate) とに分けられる。細骨材は大いさが大体 5mm 以下のものであつて第 4 番の篩を通過し、第 100 番の篩に止まる程度のものである。細骨材としては一般に使用されるものは砂であるが、場合に依つては岩石、又は鑛滓を細かく粉碎したるものを用ひることもある。

粗骨材として用ひられるものは粒の大いさが大体 5mm 以上のものであつて普通は砂利、又は碎石を使用し、時に依つては鑛滓を粉碎したるものを用ひる。

土木學會標準示方書 (昭和14年9月改正案) 第 2 條によると、細骨材は「骨材篩分け試験に關する標準方法」に規定する 100mm 板篩は全部之を通過し、5mm 板篩は 85% 以上を通過する骨材である、又同上示方書によると、粗骨材は、同上標準方法に規定する 5mm 板篩に少なくとも 85% 残留する骨材である。

(19) 骨材の粒度及び空隙 骨材の粒度 (Grading) とは骨材の粒の大小及び其混合の状態を意味するものである。之を測定するには篩を以て篩分析を行ふのである。本邦にて使用せられる篩の寸法比較表は第 3 表の通り。

第 3 表 篩

コンクリート骨材試験篩 JES238 號 A12 (昭和9年12月18日決定)				米國材料試験學會 標準篩		タイラー標準篩*	
網 篩		板 篩		網 篩		網 篩	
篩目寸法	篩目 (mm)	篩孔寸法	孔径 (mm)	篩 番 號	篩目 (mm)	篩 番 號	篩目 (mm)
0.15mm	0.15			No. 100	0.149	No. 100	0.147
0.3	0.30			No. 50	0.297	No. 48	0.295
0.6	0.60			No. 30	0.590	No. 28	0.589
1.2	1.20			No. 16	1.190	No. 14	1.168
2.5	2.50			No. 8	2.380	No. 8	2.362
		5mm	5.00	No. 4	4.760	No. 4	4.699
		7	7.00				
		10	10.00	$\frac{3}{8}$ in	9.500	$\frac{3}{8}$ in	9.423
		15	15.00				
		20	20.00	$\frac{3}{4}$ in	19.000	$\frac{3}{4}$ in	18.85
		25	25.00	1 in	25.400	1 in	25.67
		30	30.00				
		40	40.00	$1\frac{1}{2}$ in	38.000		

50	50.00	2 in	50.800
60	60.00		
80	80.00	3 in	75.000
100	100.00		

米國材料試驗學會 A.S.T.M. American Society for Testing materials.

* W. S. Tyler Co., Cleveland, Ohio, U. S. A.

此篩分析の試験の結果を示すには、横距に篩目の大きさを採り、縦距に各篩目を通過した粒の重量の骨材總重量に對する百分率を採つて圖示する篩分析曲線を用ひるか、或は粗粒率又は細率 (Fineness modulus) を以て示すものである。

粗粒率とは米國 A.S.T.M. 標準篩の 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100 の 10 種の篩で篩分け、各篩上に残留する量を全量の百分率で示し、其總和を求め、100 で割つたものである。第 4 表は其一例である。

第 4 表

篩分析試験結果例			粗粒率計算		
篩目寸法	砂	砂利	篩目寸法	各篩より粗なるものの總量	
				砂	砂利
0.15通過	1%	%	0.15mm	99%	100%
0.3 通過 0.15止り	7		0.3	92	100
0.6 通過 0.3止り	27		0.6	65	100
1.2 通過 0.6止り	26		1.2	39	100
2.5 通過 1.2止り	24		2.5	15	100
5 通過 2.5止り	15	2	5	0	98
10 通過 5止り		13	10	0	85
20 通過 10止り		47	20	0	38
40 通過 20止り		38	40	0	0
80 通過 40止り		0	80	0	0
計	100%	100%	計	310%	721%
			粗粒率	3.10	7.21

上表は、與へられたる砂及び砂利につき日本標準規格コンクリート骨材試験篩を用ひ篩分析を爲したる結果、得たるものである。但し日本規格篩 10 種を以て米國 A.S.T.M. 標準篩に代用するものとす。A.S.T.M. 標準篩を用ひる場合には日本規格篩を用ひる場合の粗粒率と比較して細骨材に就いては大差なく粗骨材に就いては 0.1~0.2 位小となるも、其差は實用上差支なき程度である。

次に粗粒率 3.10 の砂 2 量と粗粒率 7.21 の砂利 4 量とを混交した全体の粗粒率は、次の如く各量と其粗粒率とを乗じた和を 2 量の和で割つて求めることが出来る。

$$\text{粗粒率} = \frac{3.10 \times 2 + 7.21 \times 4}{2 + 4} = 5.84$$

骨材の比重、實積率及び空隙率は骨材の單位容積重量と共にコンクリート配合の選定及び指示に大切なる役目を爲すものである。一般に或材料の單位容積乾燥重量を $w(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、比重を g 、實積率を d 、空隙率を v とすれば、次の關係が成立する。

$$\text{比重 } g = \frac{w}{1000} \times \frac{100}{d}$$

$$\text{實積率 } d = \frac{w}{1000g} \times 100$$

$$\text{空隙率 } v = 100 - d = \frac{1000g - w}{1000g} \times 100$$

石英砂の比重は 2.65 位である。空隙率は砂で凡そ 25%~45% である。砂利の比重は 2.55~2.70 位である。空隙率は砂利で 30%~50% である。粒の大きさの同様なるものにあつては角の鋭いものより角の丸いものの方が空隙率は小で、又同様の粒の揃つて居るものより、全体として細組混合せるものの方が空隙率は小である。

(20) 容積及び重量の計量 骨材の容積は含水量、容器の形容、投入法等によつて大いに差を生ずるから、コンクリートの調合には其計量方法を一定にすることが必要である。

骨材の計量法として普通に用ひられてをるものは現場計量、砂に對しイナンデーターを用ひる現場計量及び標準計量の三方法である。

(1) 現場計量 普通現場で廣く行はれてをる方法で、砂と砂利とを戸外に堆積して置き、之をシヨベル等で大きな容器に投入して計量する方法である。

(2) 砂に對しイナンデーターを用ひる現場計量 砂利は前の現場計量を其のまゝ行ふが、砂はイナンデーターと呼ぶ機械で測る方法で計量する。最近は相當に使はれてゐる。此方法は砂が完全に浸水した時の質量は含水率に關係なく、一定であると云ふ理由から砂を水中に浸して測る方法、即ち浸水法 (Inundation method) である。即ち水量が 16%~20% 以上になると砂が全く水中に浸つた状態となり其容積はもとの乾燥せる砂の容積と殆んど同じとなると云ふ性質を利用して砂の單位容積の重量を測定する方法である。

(3) 標準計量 研究的の事項及び現場コンクリート調合に標準を與へる場合に次の様な標準に依つて骨材を計量する。

土木學會標準示方書 (昭和14年9月改正案) 附録第4章は次の通り。

「第 4 章 骨材の單位容積重量試験に關する標準方法

第 13 條 器具

- (1) 器具は金属製の圓筒形量器、突棒及秤量重量の 1/200 の感度を有する天秤又は衡器とす。
- (2) 量器は内面を機械仕上げとし水密にして充分堅固のものたるべし。量器の容積及寸法は次の二種とす。

	内径(cm)	内高(cm)	容積(l)
細骨材用	14	13.0	2
粗骨材用	24	22.1	10

- (3) 突棒は直径 16mm、長さ 50cm の真直なる鋸棒にして一端を約 3cm の間、鈍き球状に突したるものとす

第 14 條 量器の檢照

量器の容量は之を充たすに要する水の重量を正確に測定して檢照すべし。

第 15 條 試料

試料は乾燥したるものを用ひ充分混合すべし。

第 16 條 試験方法

- (1) 先づ量器の 1/3 を試料にて充たし、上面を指にて均らし、突棒の尖端を以て 25 回其の表面を一様に突くべし。次に量器の 2/3 迄を充たし前同様に 25 回突くべし。最後に量器より溢るる迄試料を充たし前同様に 25 回突きたる後餘分の試料は突棒を定規として之を掻き除くべし。第一層を突く際量器の底を突くべからず。又第二層及最後の層を突くには突棒が前層に漸く達する程度とすべし。
- (2) 量器中に於ける此の試料の重量を測定し量器の容積を以て之を除し單位容積の重量を算出すべし。

第 17 條 精 度

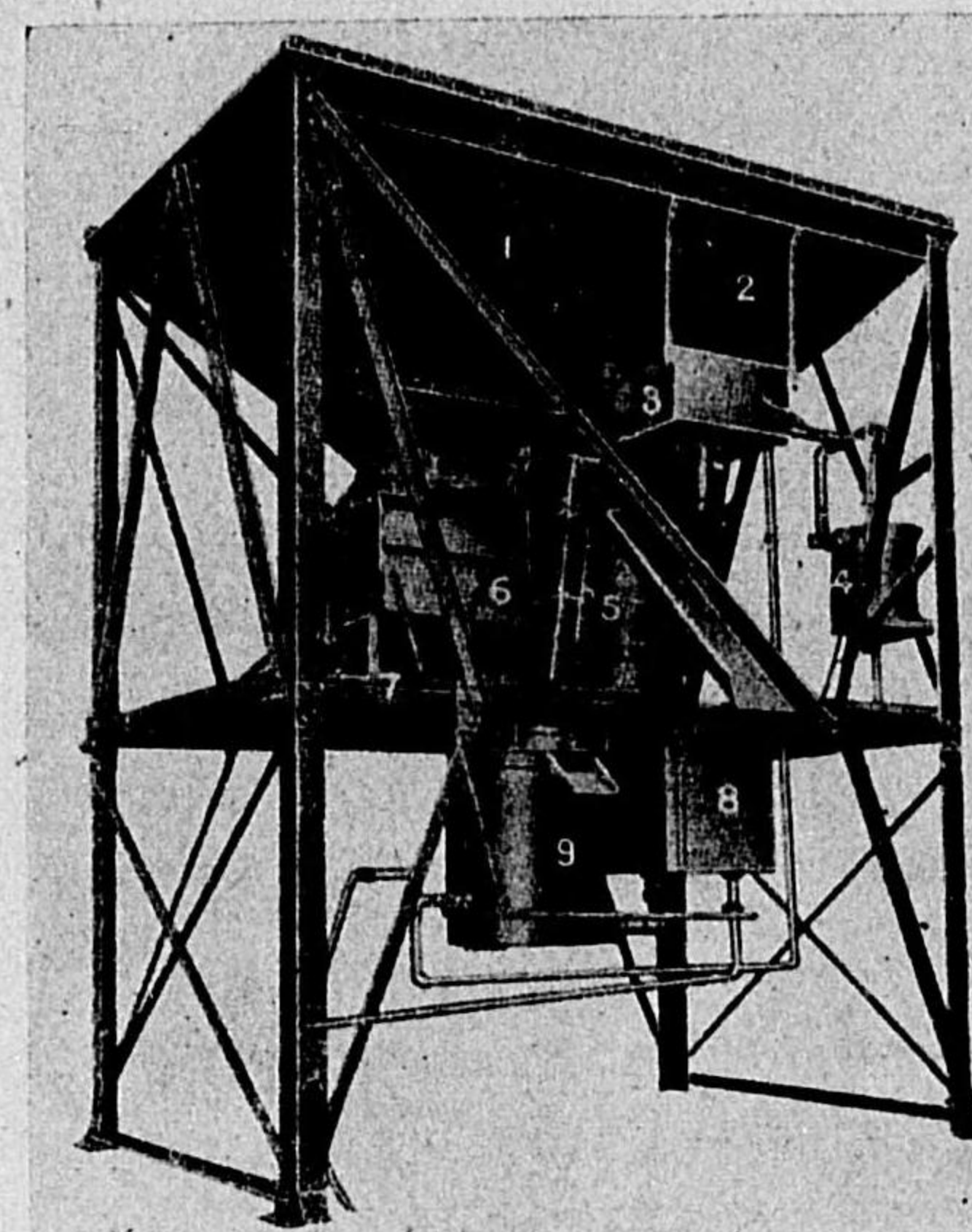
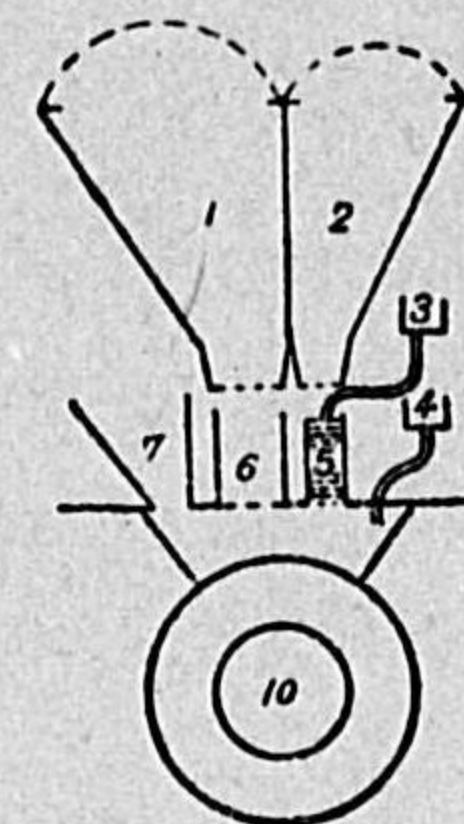
同一試料に對する試験の結果の誤差は 1% 以内たるべし。」

(21) **イナンデーター** コンクリート工事に於ては砂、砂利は水を含んだまゝ容器へ入れて其容積を計量するから、含有水量に依つて質量に差を生じ易い、殊に砂は砂利よりも其差異が大である。此缺點を除かんとする砂計量機がイナンデーターである。之は浸水状態を以て砂を計量して、含水率の影響を除去して其單位容積重量をして乾燥砂の其れと同一にせんとするものである。此機械の要點は槽に適量の水を入れ之に砂を落して、水を溢らしつゝ、砂面が槽上面に到る様にするものである。

コンクリート調合に際して、砂を浸水さす水量がコンクリートの所要水量を超過する場合があります。此時は砂の全量に對してはイナンデーターを使用することが出来ない。

(22) **細骨材** コンクリート中に於ては砂は粗骨材の空隙を充たし、砂の空隙はセメントペーストを以て填充せられる。而して出來上りのコンクリートは均等にして、しかも流動性に富み、後日相當の強度を出すものでなければならぬ。

粒度 細骨材粒の大小粒混合の程度を**細骨材の粒度**と云ふ。土木學會標準示方書(昭和14年9月改正案)第9條は細骨材の粒度に就いて次の如くに規定して居る。



- (1) 砂貯藏槽、 (2) 砂貯藏槽、
- (3) 砂注水タンク、 (4) 補助タンク、
- (5) 砂浸水計量器、 (6) 砂計量器、
- (7) セメント計量器、 (8) 水及びセメント
- (9) 自動計量機、 (10) ミキサー、

第 4 圖 イナンデーター (セメント及び水の自動計量機附)

「第 5 表 細骨材の粒度、(重量百分率)」

10mm 板篩を通過する量	100%
5mm 板篩を通過する量	85%~100%
1.2mm 網篩を通過する量	45%~80%
0.3mm 網篩を通過する量	10%~30%
0.15mm 網篩を通過する量	0%~5%
洗試験に依りて失はるる量	0%~3%

篩及び篩分け試験方法は「骨材篩分け試験に關する標準方法」(附録第1章)に依るべし。洗試験方法は「骨材洗試験に關する標準方法」(附録第2章)に依るべし。」

第5表は細粗粒が適當に混合して居る程度の標準を示すもので、此程度の粒度を有する細骨材を用ひれば、經濟的に所要の目的を達するコンクリートが得られる。一般に川砂で粗粒と細粒とが混合せるものは、此表に近い粒度を有する。2~3.6 の粗粒率 (Fineness modulus) を有する細骨材がコンクリートに適當であると考へられてゐる。

細骨材の比重 天然砂で 2.35~2.72、碎石の篩滓で 2.49~2.90、平均比重 2.65

細骨材の重量 天然砂で 1,325~1,925kg/m³

細骨材の空隙率 天然砂で 25~45%

細骨材の吸水量 之は砂の重量の 3% 以下である。骨材の含水量の概略値は第 6 表の通りで

ある。

第6表 骨材の含水量

骨材	骨材 1m ³ 中に含まれる水分
大いに濡れた砂	100~135kg
普通に濡れた砂	67kg
濡った砂	34kg
濡った砂利又は碎石	34kg

砂の膨み 砂に水を加へると、水は砂の空隙を充たさんとすると同時に、砂粒の表面に水の膜を作りて、表面を潤ぼす様になる。此水の膜は砂粒の空隙を大ならしめるから、砂の容積が増加する。此現象を砂の膨みと稱する。一般に細粒の砂は表面積の總和が大であるから膨みが大である。普通に砂の重量の5%~8%の水量を含む場合に容積膨脹は最大であつて、其膨脹程度は乾燥状態の砂に比して約15%~30%である。是以上に水量を増すと容積は却つて減少し、水量が16%~20%以上になると砂が全く水中に浸つた状態となり其容積はもとの乾燥せる砂の容積と殆んど同じものとなる。此性質を利用して砂の單位容積の重量を測定するのが既述の浸水法である。

(23) 粗骨材 粗骨材とは、土木學會の標準示方書(昭和14年9月改正案)第2條によると「骨材篩分け試験に關する標準方法」(附録第1章)に規定する5mm板篩に少なくとも85%残留する骨材を云ふのである。粗骨材としては砂利、又は碎石が普通に用ひられる。砂利の種類には、砂の場合と同じく、山砂利、川砂利、海砂利等がある。碎石は花崗岩、角閃岩、玄武岩、石灰岩、砂岩等を手力、又は碎石機で破碎して作つたものである。

粗骨材の粒度及び最大寸法 所要の強度、其他の性質を有するコンクリートを經濟的に製作するためには大小粒が適當に混合して居ることが大切である。粗骨材の大小粒混合の程度の適當なる標準として、土木學會の標準示方書(昭和14年9月改正案)は次の如くに規定して居る。

「第13條 粒 度

表 2 板篩を通過するものゝ重量百分率

篩目の大きさ	50mm	40mm	25mm	20mm	15mm	10mm	5mm
50~5mm	95~100		35~75		10~30		0~5
40~5		95~100		35~70		10~30	0~5
25~5			90~100		25~60		0~10
20~5				90~100		20~55	0~10
15~5					90~100		0~15
50~25	90~100	35~70	0~15				
40~20		90~100	20~55	0~15			

(洗試験に依りて失はる量 $1\frac{1}{2}\%$ 以下)

尙標準示方書(昭和14年9月改正案)第13條(1)には粗骨材の最大寸法の定義が次の様に與へてある「粗骨材の最大寸法は、重量にて骨材の少なくとも90%が通過すべき篩目の空間隔を以て示すものとす」
 鐵筋コンクリートに使用すべき粗骨材の最大寸法については、標準示方書(昭和14年9月改正案)第13條(2)に次の規定がある。

「粗骨材の最大寸法は60mm以下にして、コンクリートを打つべき部材の型枠の最小内幅の $\frac{1}{5}$ 、又は鐵筋の最小空間隔の $\frac{3}{4}$ を超過すべからず。

篩及び篩分け試験方法は「骨材篩分け試験に關する標準方法」(附録第1章)に依るべし。洗試験方法は「骨材洗試験に關する標準方法」(附録第2章)に依るべし。」

表2は粗骨材に對して適當と認められる一般的の細粗粒混合程度の標準を示すもので、鐵筋を挿入せないコンクリートにも此標準を採用するをよとする。粗骨材の粒を單獨に測つて其最大寸法を其粗骨材の最大寸法とすることは實際上適當でないから粗骨材の最大寸法は重量で骨材の90%が通過すべき篩目の空間隔を以てすることを規定したものである。

壓縮強度の大なるコンクリートを經濟的に作るためには、可及的に、最大寸法の大なる粗骨材を使用することが一般に有利であるが、最大寸法が60mm以上である様な粗骨材を使用する事は、假令鐵筋相互の間隔及び鐵筋と型枠との間隔からは差支へないにしても、コンクリートとして完全な混和が得られるか疑問であり、又材料の分離を起し易く、且、普通の場合、コンクリートの取扱ひにも不便が多い。それで、粗骨材の最大寸法を60mm以下としたのである。普通の鐵筋コンクリート用としては4.0cm乃至2.5cm以下の場合が多い。

大きな粗骨材を使用したコンクリートを小さい型に入れると、齊等質のコンクリートを造り、且、上面を平面に作る事が甚だ困難になる。故に型の大いさに依つて使用すべき粗骨材の細大寸法を制限する必要がある。経験によれば、粗骨材の最大寸法を型枠の最小内幅の $\frac{1}{5}$ 以下に制限すれば、以上の心配はない。

粗骨材の大いさが、鐵筋の間隔を自由に通過し得べきものでなければならぬ事は明白である。標準示方書で云ふ粗骨材の最大寸法は、粗骨材中の最大粒の寸法を云ふのではないから、最大寸法を鐵筋の最小空間隔まで許すことは危険である。故に安全を取つて鐵筋の最小空間隔の $\frac{3}{4}$ としたのである。

標準示方書(昭和14年9月改正案)第80條(1)に梁に於ける平行な引張主鐵筋相互間の最小空間隔2.5cmが規定されて居るが、此最小空間隔を用ひる時には、此方から、使用すべき粗骨材の最大寸法は1.9cmとなる。

粗骨材の粗粒率 は其粒度を表はす一方法である。6乃至8の粗粒率を有する粗骨材がコンクリート用として適當である。

粗骨材の比重 花崗岩 2.65~2.75、脈岩 2.80~3.0、石灰岩 2.60~2.70、砂岩 2.30~2.60であつて普通の砂利の比重は 2.55~2.70 である。

単位容積の重量 砂利及び碎石の重量は $1,200\text{kg}/\text{m}^3 \sim 1,925\text{kg}/\text{m}^3$ であつて、砂利の方が碎石よりも幾分重いのが普通である。

空隙率 は粒の大きさ、粒度及び揺込みの程度によつて 30%~50% である。

吸水量 砂利及び碎石の吸水量は、普通、乾燥せる時の重量の 2%~4% である。種々の石材の吸水量の平均値は第 7 表の通り。

第 7 表 骨材吸水量の平均値

骨材の種類	吸水量 (重量に対する百分率)
普通の砂	1.0
砂利及び石灰碎石	1.0
脈岩及び花崗岩	0.5
多孔性砂岩	7.0

甚だ軽い多孔性骨材では 25% 以上に達することがある。

(24) 水 実験及び経験に依ると、水が砂糖を含む場合の外は、かなり汚ないと思はれる水を使用しても、コンクリートの強度に大なる影響を及ぼさぬ様である。油、酸、アルカリ、有機物その他の物質を含む水が、コンクリートに、どの程度に有害に影響を及ぼすかは、一般に試験して見なければ判らない。故に水の性質に就いて疑のある時は、清浄な水を用いた時との強度を比較して、使用の可否を決定するが安全である。先づ沼の水、濁つた河の水等は一應試験すべきであらう。

海水を使用した爲に、鉄筋コンクリートが破壊すると云ふ実験の結果はない様であるが、海水を使用したことが、鉄筋コンクリート破壊の原因の一つではないかと考へられる實例はある。少なくとも電氣の影響を豫想される鉄筋コンクリート構造物に於ては、海水を使用しない方が安全である。故に標準示方書は海水を使用せぬことを原則として居る。

第三章 コンクリートの配合、使用 水量及びウオーカビリティー

(25) 概論 コンクリートの配合と云ふのは、セメント、細骨材及び粗骨材の配合比を云ふのである。我國では配合比を容積比を以て表はすのが普通である。例へば 1:2:4 の配合のコンクリートはセメント 1 容積、砂 2 容積、砂利 4 容積を配合したるコンクリートである。容積配合に於ては各材料の単位容積の重量を其都度標準方法に依つて測定し、之に従つて配合せねばならぬ。標準示方書にてはセメントの単位重量は $1,500\text{kg}/\text{m}^3$ と規定してゐる。現場に於ては細骨材の水分に基因する膨み、材料計量方法等を考慮して定めた配合比を、特に現場配合比として示すことを要する。水はセメントの重量の何%を以て表はすのは、之によつて大体コンクリートの壓縮強度を判断し得る便利のためである。

コンクリートの配合は、又セメント、細骨材、粗骨材の重量比で示されることがある。コンクリート材料を重量で計量する場合には、之に依るのが便利である。

時としてはセメントの容積と(細骨材+粗骨材)の混合物の容積との比で配合を表はす事がある。例へば、配合容積比で 1:5 のコンクリートと云ふのはセメント 1m^3 と細粗骨材混合物 5m^3 との割合に配合するコンクリートである。

(26) セメントの最小使用量 土木學會標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は次の通り。

第 24 條 セメントの最小使用量

鉄筋コンクリートに於ては出来上りコンクリート 1m^3 に就き、少なくとも 300kg のセメントを使用すべし。但し橋梁、其他の構造物にして、煤煙、乾濕、鹽分等に對し特に鉄筋の防護を必要とする場合には、前記の最小使用量を増大すべし。

振動機を使用する場合、又は寸法大なる構造物にして、其の受くる應力度が許容應力度より特に低く鉄筋防錆に支障なき場合等に於ては、前記の最小使用量を 270kg まで減少することを得。」

鉄筋コンクリート用のコンクリートにして必要なる諸性質を有するコンクリートを作るためには、コンクリート 1m^3 につき、一定量以上のセメントを使用せねばならぬ。強度は兎に角として、鉄筋の完全な防錆のため、鉄筋とコンクリートとの間の附着強度が充分なためには、セメント糊状体が鉄筋を十分に包むことが出来るだけのセメントがコンクリート中になければならないし、又コンクリートの水密性が大きいためにも、相當なるセメント量が必要である。

1m^3 に 300kg のセメントを用ひるコンクリートは、セメント 1m^3 の重量を $1,500\text{kg}$ とする時大約配合 $1:2\frac{1}{2}:5$ のものに相當するが、経験上、配合が之以下では、普通の場合、安全に目的を達するコンクリートを得ることは困難である。粗骨材の最大寸法が大きく、且、骨材が良質

で、大小粒が適度に混合してをればコンクリート 1m³ のセメント量が 300kg 以下でも、工事の種類に依つては、事實、目的に應ずるコンクリートを製作出來るけれども、之は寧ろ特別の場合と考へてよい。

セメントの重量を 1m³ に就いて 1,500kg とすれば、一般に配合 1:2:4 のコンクリートは 1m³ に就いて 300kg 以上のセメントを要することになるが、セメントを正確に計量せない現場では、1:2:4 コンクリートのセメント使用量が 1m³ 當り 800kg 以下になつてをることがある。之は本條の適用上注意すべき事柄である。

300kg と云ふ數字は、セメントの最小使用量を示したものであるから、橋梁其他の構造物で、煤煙(下を蒸汽機關車など通る場合)、乾濕(ジメジメする部分)、鹽分(海岸、又は鹽分を含む地下水等に近き部分)其他に對して特に鐵筋を防護する必要ある場合には當然之より多量のセメントを使用せねばならぬ。

併し以上と反對に、振動機を使用する場合、又は寸法の大きい構造物で、其の受ける應力度が許容應力度よりも遙かに低く、且、鐵筋防錆に支障のない特別の場合に於ては、責任技術者の指示によつては、セメントの最小使用量を 270kg まで減少しても差支ない。

(27) 使用水量 コンクリートの配合は壓縮強度を主眼として研究されて來た。此壓縮強度に關係する事項の主要なるものは次の通り。

- (1) 使用セメントの性質
- (2) 骨材の性質、最大寸法、大小混合の程度、即ち粒度
- (3) 配合及び使用水量
- (4) 施工、即ち混合、運搬及び打方及び養生等
- (5) 養生中に於ける溫度及び濕度
- (6) 材齡
- (7) 試験の方法

上記の如くコンクリートの壓縮強度に影響する事項は非常に多く、配合及び使用水量のみに就いても、使用水量の重量と、使用セメントの重量との比、即ち水セメント重量比のみで、壓縮強度が決定するものではない。併しコンクリートの配合及び使用水量と壓縮強度との關係を、極めて大体に就いて云へば、鐵筋コンクリート用のコンクリートの壓縮強度は、水セメント重量比に依るものと云ふ事が出來る。故に使用水量を表はすに、水セメント重量比を用ふれば、之によつてコンクリートの壓縮強度の大体を評價し得る利益がある。土木學會の標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は、使用水量を表はすに、水セメント重量比、又はセメント水重量比を用ひてゐる。

〔第 25 條 水セメント重量比、又はセメント水重量比、水セメント重量比、又はセメント水重量比は、コ

ンクリートの所要壓縮強度に應じて試験の上、之を定むるものとす。

止むを得ず試験に依らざる場合には、材齡 28 に於ける壓縮強度約 135~210kg/cm² に對し、表 3 の値を標準とす。

表 - 3

材齡 28 日に於けるコンクリート壓縮強度 (kg/cm²)

普通セメント

JIS による材齡 28 日の耐壓強度

400 kg/cm² 以上 500kg/cm² 未滿の時.....σ₂₈ = - 90 + 135C/W

500 kg/cm² 以上の時.....σ₂₈ = - 149 + 190C/W

早強セメント.....σ₂₈ = - 154 + 211C/W

茲に C/W: セメント水重量比

使用水量はコンクリートの所要壓縮強度ばかりでなく、所要ウオーカビリチーにも大なる影響があるから、必ず試験の上適當に決定する。

併し、現場の事情に依つては、試験し難い場合も尠くないから、斯かる場合に便利なために、表 3 に材齡 28 日に於けるコンクリートの壓縮強度と水セメント重量比との關係を示してある。此表 3 の數値は、土木學會標準示方書に定められた材料、セメント使用量及び施工法に従つて造られたコンクリートが、一般に是以上の強度を確實に有するものであると云ふ事實から定めたものである。

(28) 水セメント比と壓縮強度との關係 水セメント比としては米國に於ては水量とセメントとの容積比を採用し、我國及び獨逸に於ては其重量比を採用してをる。

(a) エブラムス (Abrams) 氏の研究 水セメント比と壓縮強度との關係に就いて、研究を發表せるはエブラムス氏が嚆矢である。同氏の説に依ればコンクリートの壓縮強度は其コンクリートが均一なる軟練である限り、配合比、水量及び骨材の粒度とは無關係に、次式に依つて與へられる。

σ = A / B^x

上式中、σ = コンクリートの壓縮強度、x = 水セメント重量比、A 及び B = セメントの品質、コンクリートの製作、養生方法及び材齡等に依つて定まるべき常數

エブラムス氏が骨材として 1.2mm の砂から 88mm の砂利に至る範圍のものを用ひ、配合比 1:0 乃至 1:15 のコンクリートの 15cm × 30cm 圓筒供試体の材齡 28 日に於ける壓縮強度實驗の結果は

σ = 984 / 18.5^x.....(1)

又骨材として寸法 0~32mm、粗粒率 5.75 のものを使用し、1:4 配合のコンクリートの材齢 28 日に於ける実験結果から

$$\sigma = \frac{984}{23.5^x} \dots\dots\dots(2)$$

なる式が與へられてをる。フール (Hool) 氏によれば (1) 式はコンクリートの原料の品質が良好で施工方法が充分なる場合に於てよく當て嵌るが、原料の品質が良好でなく或は施工方法が不完全なる場合には次式を適用すべしと云ふてをる。

$$\sigma = \frac{984}{27.0^x} \dots\dots\dots(3)$$

上記三式はセメントの重量を 1,500kg/m³ とし、x を水セメント重量比にて表はし、壓縮強度は kg/cm² 単位にて示せるものである。

上式の中、(1) 及び (3) 式を圖示すれば第 5 圖の如くである。上記のエブラムス氏の公式は實際の工事に使用する様な軟練のコンクリートに就いての實驗を基礎としたのであるから、軟練のものに對しては良く當て嵌ると認められてをるが硬練のものには之を適用することは出来ない。

(b) グラフ (Graf) 氏の研究 グラフ氏の研究の結果に依ると、コンクリートの壓縮強度と、セメントの壓縮強度及び水セメント重量比との關係は、材齢 28 日に於て、凡そ次式を以て示す事が出来る。

最小 $\sigma = 0.094 \frac{C}{x^2} \text{ kg/cm}^2$

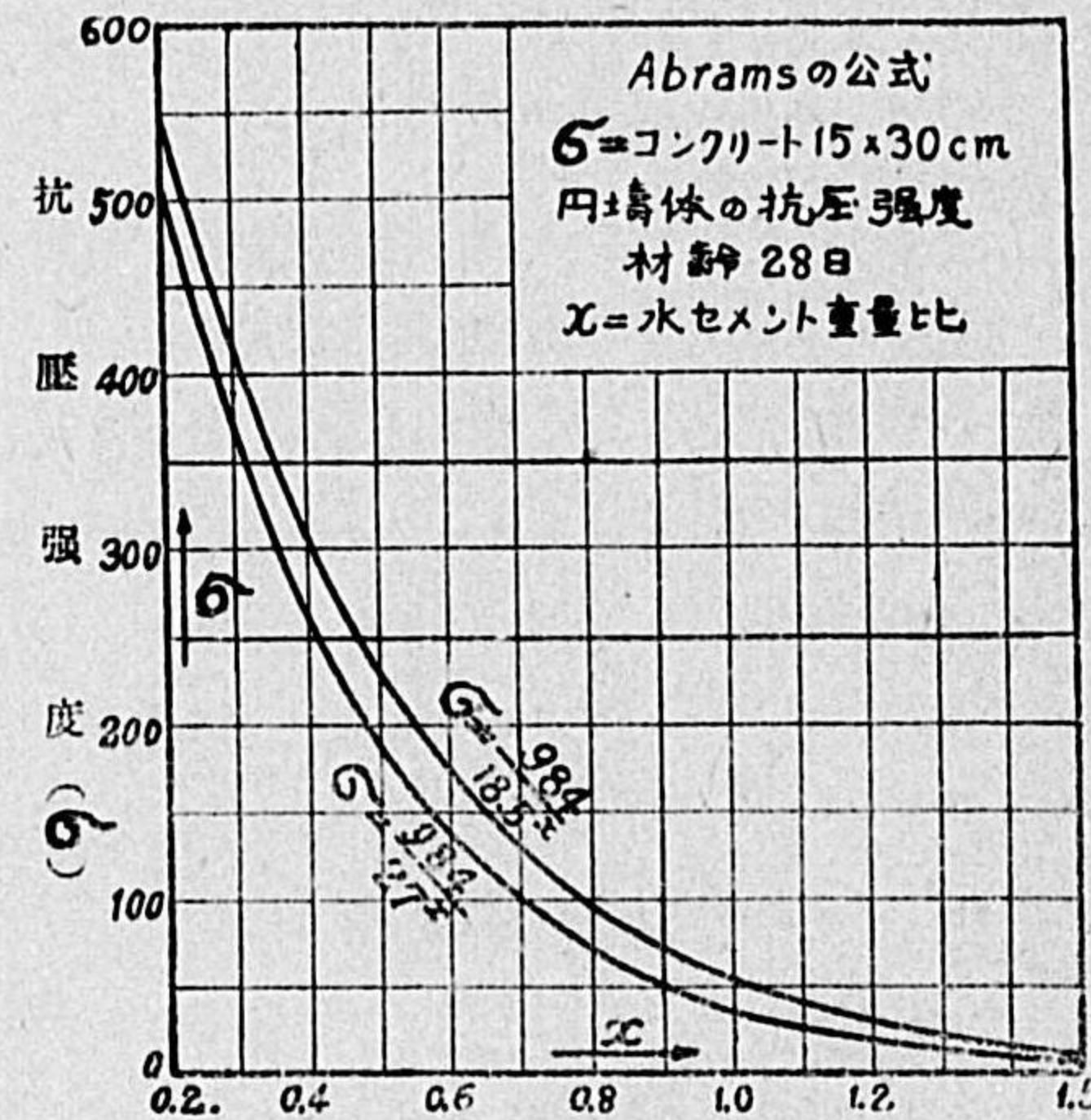
最大 $\sigma = 0.188 \frac{C}{x^2} \text{ kg/cm}^2$

平均 $\sigma = 0.125 \frac{C}{x^2} \text{ kg/cm}^2$

σ はコンクリートの標準供試体 (高さが直徑の 2 倍の圓錐) の材齢 28 に於ける壓縮強度、 C は材齢 28 日に於けるセメントの壓縮強度、 x は水セメント重量比である。

今 $C = 400 \text{ kg/cm}^2$ のセメントを使用し、水セメント重量比 $x = 0.6$ とすれば

最小 $\sigma = 0.094 \frac{400}{0.36} = 104 \text{ kg/cm}^2$



第 5 圖 (x = 水セメント重量比、sigma = 抗壓強度)

最大 $\sigma = 0.188 \frac{400}{0.36} = 209 \text{ kg/cm}^2$

平均 $\sigma = 0.125 \frac{400}{0.36} = 139 \text{ kg/cm}^2$

現場に於ては、セメントを使用する際、其セメントの壓縮強度が不明である場合も少なくない。此場合に於ては、普通のポルトランドセメントを使用する場合、水セメント重量比と、材齢 28 日に於けるコンクリートの壓縮強度との關係は、大体第 6 圖の如くであると考へて安全である。第 6 圖 A 曲線は上等の材料を用ひて入念なる施工を行ふ場合の關係であり、B 曲線は材料の性質及び施工に就いて、不充分なる點があると思はれる普通の場合に適當するものである。

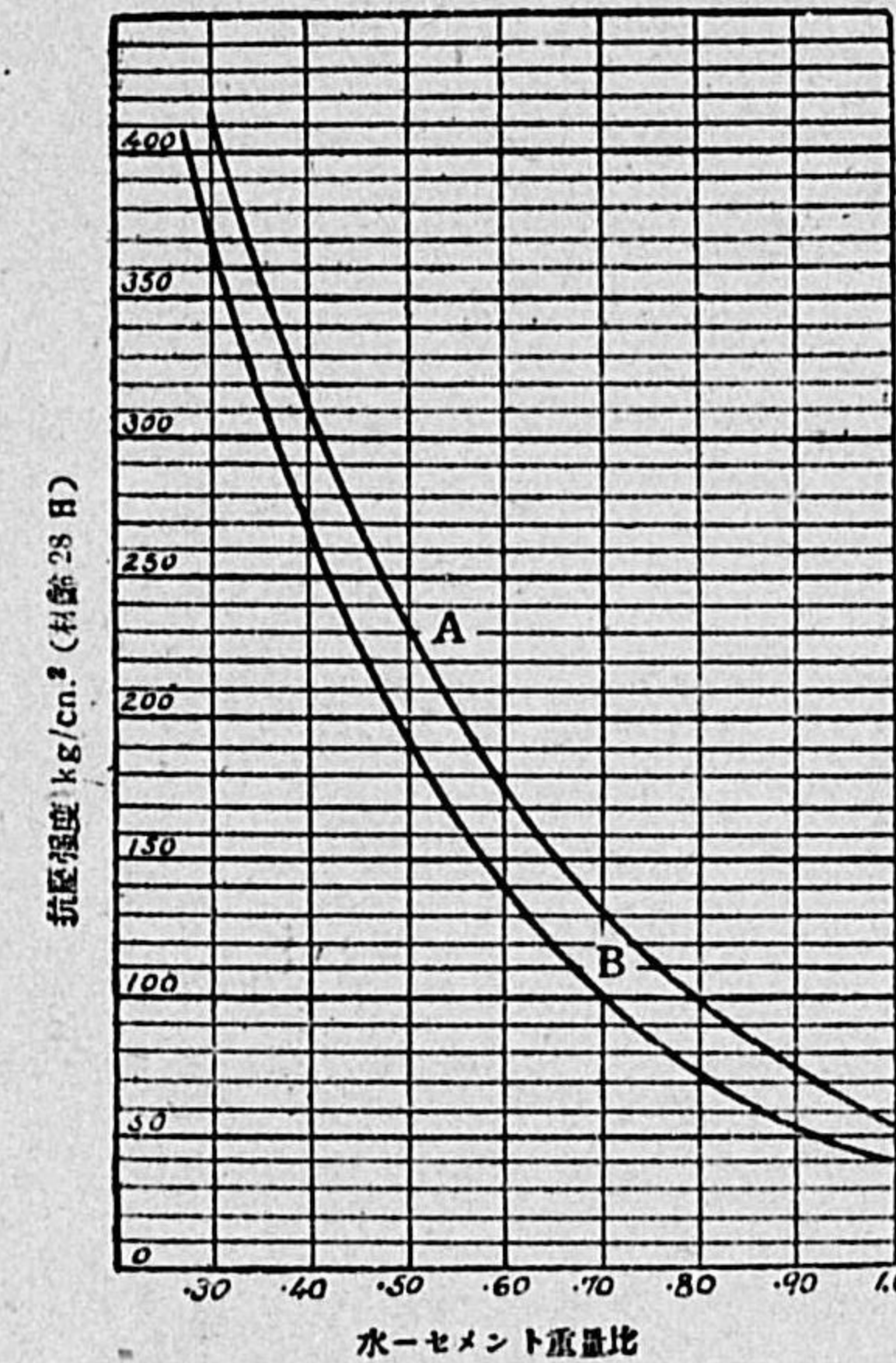
A 曲線の方程式 $\sigma = \frac{180}{x} - 120$

B 曲線の方程式 $\sigma = \frac{160}{x} - 120$

上式中 $\sigma =$ コンクリートの材齢 28 日に於ける壓縮強度、kg/cm²

x = 水セメント重量比

B 曲線は A 曲線で示される壓縮強度の値より、凡そ 35kg/cm² 低い壓縮強度を示すものである。



第 6 圖 水セメント重量比とコンクリートの壓縮強度との關係

(29) ウオーカビリチー (Workability) コンクリートのウオーカビリチーに關し、土木學會の標準示方書 (昭和 14 年 6 月改正案) の規定は次の通り。

「第 26 條 ウオーカビリチー

鐵筋コンクリートに使用するコンクリートは、相當の突固め又は振動等に依り、型枠の隅々及び鐵筋の周圍に十分行き亘る程度のウオーカビリチーを有するものたるべし。

コンクリートの流動性試験は「流動性試験に關する標準方法」(附録第 5 章)に依るべし。

ウオーカビリチーを試験するための完全なる方法は、未だ無いが、附録第 5 章には普通に行はれるスランブ試験、フロー試験及び落下試験の三つを標準方法として示してある。

ウオーカビリチーの調節をするのに、種々の方法があるが、コンクリートの壓縮強度が大体水セメント重量比に依つて定まるものと假定すれば、コンクリートの壓縮強度に影響なしに、ウオ

ーカビリチーを調節するには、セメント糊状体の使用量を調節する方法、即ち細骨材、又は粗骨材の使用量の増減によつてウォーカーカビリチーの調節をするのが便利である。骨材の最大寸法、大小粒混合の程度等を變へるのも有效なる方法ではあるが、前方法による程簡単には出来ない。

第四章 コンクリート配合の設計

(30) 概論 コンクリートの配合及び使用水量は作業に適當せるウォーカーカビリチーを有し、粘性に富み、鐵筋の防錆の目的に適し、必要なる強度及び其他の性質を有する様に設計する。配合は通常、セメント、細骨材及び粗骨材の容積比を以て表はすものとす。セメントの容積は重量 $1,500\text{kg}$ を以て 1m^3 とし、骨材の容積は「骨材の單位容積重量試験に關する標準方法」に依つて測定したるものを標準とする。現場に於ては細骨材の水分に依る膨み、材料計量方法、其他を考慮して定めたる配合比を現場配合比として示す。使用水量は使用セメントの重量百分率を以て示す。

セメント一定量の容積は、其の測り方に依つて大いに差違があるから、セメントを容積で正確に計量する事は甚だ困難である。故に配合は容積で表はしても、セメントは重量に依つて計量せねばならぬ。

土木學會標準示方書（昭和 14 年 9 月改正案）は次の通り。

「第 28 條 材料の計量

- (1) 實驗室に於ける供試体製作用コンクリート材料の計量は、各種材料の單位容積重量と骨材の篩分け試験の結果を基として、凡て重量に依るべし。
- (2) 水量は骨材の吸水量を考慮して正確に計量すべし。

配合を容積比で示すためには、使用すべきセメント重量を容積に換算する必要がある。このために使用すべきセメントの單位容積重量を標準示方書は $1,500\text{kg}/\text{m}^3$ と規定して居る。

標準示方書は鐵筋コンクリートに對しては出來上りコンクリート 1m^3 について、少くとも、 300kg のセメントを使用することを規定してゐる。

コンクリート配合の設計は主として壓縮強度とウォーカーカビリチーとを主眼として決定される。現今行はれてをる配合設計の方法は次の通り。

- (1) 任意配合法、(2) 骨材の空隙に應じて配合を定める方法、(3) 水セメント比及び粗粒率法
- (4) セメント糊状体主成分法、(5) 表面率法、(6) セメント空間比法

(1) 任意配合法 此方法はコンクリート使用の目的に應じて、單に慣例によつて配合を決定するものである。一般に用ひられる配合の慣例は容積比で次の通り。

(a) $1:1:2$ 、之は大なる壓縮強度、及び水密性を要する時に用ひられる。(b) $1:2:4$ 、標準配合とも呼ばれるもので、鐵筋コンクリート工事に最も廣く用ひられ、又震動を受ける基礎、下水管渠等にも用ひられ、此配合のコンクリートは屢々材齡 28 日に於て $140\text{kg}/\text{cm}^2$ の壓縮強度

を有するものと假定してもよい。(c) 1 : 2.5 : 5、並配合とも云ふべきもので、機械の基礎、擁壁、橋台、橋脚、普通の床、壁等に用ひられ、材齢 4 週の壓縮強度は凡そ 100kg/cm^2 であらう。(d) 1 : 3 : 6、餘り大でない應力を受ける大塊の構造物に使用される貧配合であつて、材齢 4 週の壓縮強度は 80kg/cm^2 位であらう。(e) 1 : 4 : 8、實際上、自重のみを受ける様な大塊のコンクリートに使用せられる甚だ貧配合のものである。標準配合 1 : 2 : 4 は細粗骨材各 50% の空隙あるものと假定し、粗骨材の空隙を細骨材で填充し、細骨材の空隙をセメントで填充すると云ふ考へから定められたものである。

(31) 骨材の空隙に應じて配合を定める方法 空隙が最小であるコンクリート、即ち最大密度のコンクリートを作らんとするのである。最大密度のコンクリートが最大強度のコンクリートであると云ふ最大密度説を主眼とするものである。最大密度のコンクリートを作るために骨材の空隙を測定して配合を定めるのであるが、之に三つの方法がある。

(1) 粗骨材の空隙を測定し、此空隙を填充するだけのモルタルを使用する。モルタル量は空隙量よりも 10%~20% 多くするを可とする。コンクリートの壓縮強度は水セメント比によつて判断する。

(2) 空隙が最小になる様な細粗骨材混合物の配合を求め、此混合物の空隙を填充し、多少餘裕がある位のセメント糊状体を使用する。コンクリートの壓縮強度は水セメント比から判断する。

細粗骨材の混合物の空隙が最小となるための配合を求めるには、各種の配合に混合した混合物の單位容積の重量を測定し、其最大重量を與へるものを求めればよい。此混合物の空隙を測定するには、次の方法に依る。

$$\text{空隙率} = 100 - \frac{1\text{m}^3\text{の重量(kg)}}{1,000 \times (\text{比重})} \times 100$$

而して骨材の單位容積の重量は標準示方書「附録第 4 章骨材の單位容積重量試験に関する標準方法」に依らねばならぬ。

(3) 與へられたる材料を以て、各種の配合及び水量のコンクリートを作り、其單位容積の重量を測定し、其中、最大重量を與へる配合及び使用水量のコンクリートが最大壓縮強度、最大水密性を有するコンクリートであると假定する。出来上りコンクリートの壓縮強度は水セメント比から判断すべきである。

以上何れの方法も不完全であるのは、骨材の空隙が同一であつても、其大小粒混合の程度によつて表面積の總和に大きな差を生ずるからである。

(32) 水セメント比及び粗粒率法 コンクリートがプラスチックでウオーカブルであれば、コンクリートの壓縮強度は實際上、水セメント比によつて大体決定する。而して其ウオーカビリティーは使用されたセメント糊状体の量、骨材の最大寸法及び粒度によつて大いに異なるから、所望

壓縮強度の外に、欲するウオーカビリティーを有するコンクリートを作るためには、水セメント比を一定に保つのみならず、骨材の最大寸法及び粒度に應じて、欲するウオーカビリティーを得るに必要なだけのセメント糊状体の量を使用せねばならぬ。與へられたる細粗骨材に就いて、其配合比を適當にすれば、欲するウオーカビリティーを得るために、使用すべきセメント糊状体の量を最小ならしめることが出来、従つて經濟的なコンクリートを作ることが出来る。骨材の最大寸法及び粒度を示す標準として、粗粒率なる實驗係数を用ひ、上記の考へによつて、欲する強度及びウオーカビリティーを有するコンクリートの經濟的配合を決定せんとするのがエブラムス氏の方法である。

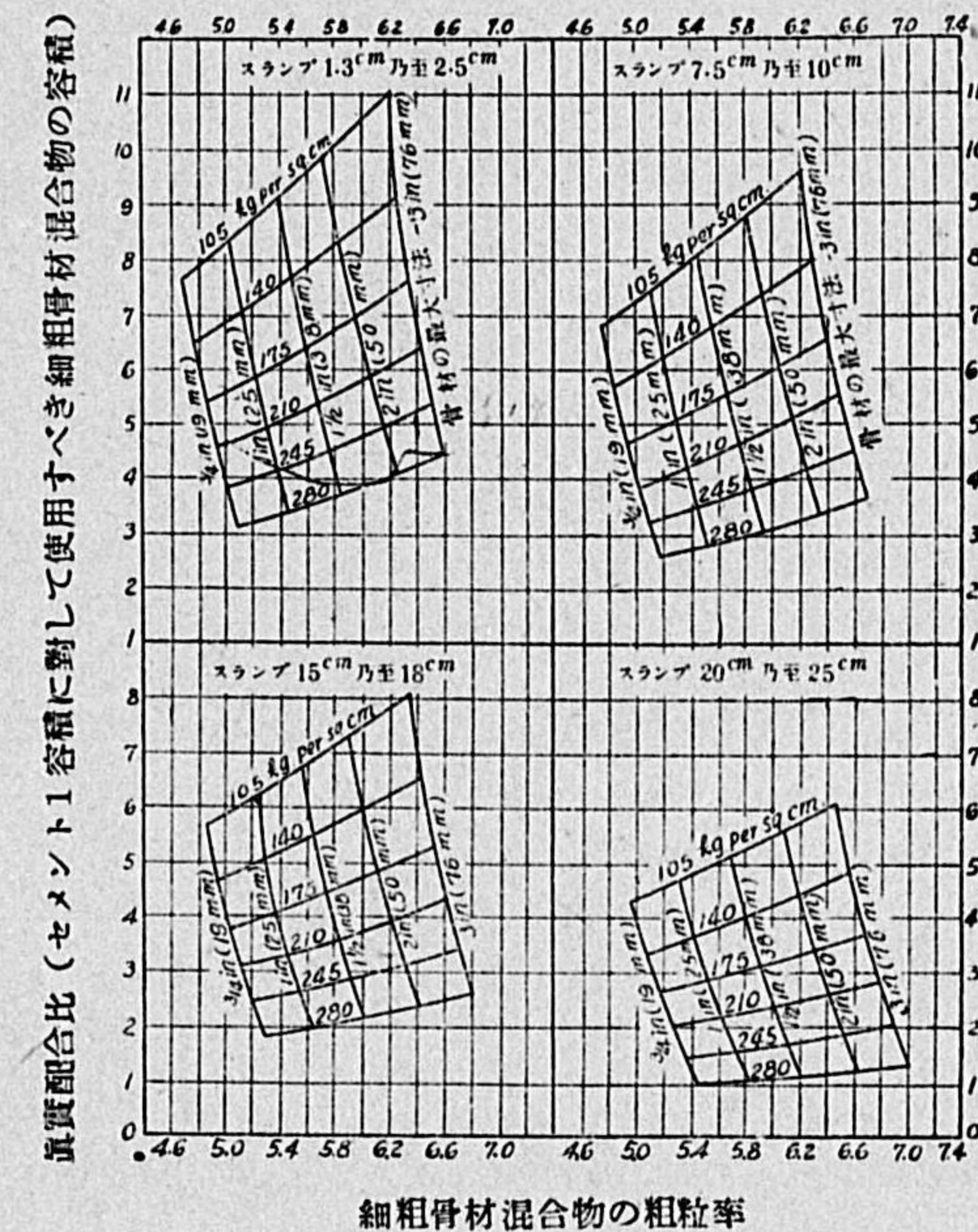
骨材の粒度を粗粒率を以て表はすときは、此粗粒率とウオーカビリティーとの間には一定不變の

関係があることをエブラムス氏が發見した。此理論を應用してコンクリートの配合を決定せんとするのがエブラムス教授の方法である。エブラムス教授はウオーカビリティーを測定するにスランブ試験を用ひ、又配合は眞實配合 (Real mix、セメントの容積と細粗骨材の容積との比にて表はした配合例へば 1 : 5 の如き配合) 比を以てした。第 7 圖はエブラムス氏の方法に依つて配合の設計をなすに便利な圖で同氏の實驗から作製されたものである。我國に於ても普通以上の材料を用ひ、且、入念に施工したコンクリートには其儘適用しても大なる誤りはない様である。

細粗骨材の粗粒率が夫々既知である時に、細粗骨材混合物の粗粒率は次式で算定し得る。

$$m = m_1 + (1 - r) m_2 \dots \dots \dots (1)$$

上式中 m = 細粗骨材混合物の粗粒率



第 7 圖 骨材の最大寸法及び粗粒率、コンクリートの眞實配合比、壓縮強度とスランブの関係 (第 6 圖の曲線 4 に相當する)

m_f = 細骨材の粗粒率

m_c = 粗骨材の粗粒率

r = 細骨材の容積と粗骨材の容積を各々別々に測定して其兩容積を加へた和の容積を以て細骨材を割りたる比即ち細粗骨材の配合比が容積で $p:q$ であれば、 $r = \frac{p}{p+q}$ である。

$$1 - r = 1 - \frac{p}{p+q} = \frac{q}{p+q} = \text{粗骨材の容積と細粗骨材を各々別々に測つた兩容積の和との比}$$

(1) 式を變化して

$$r = \frac{m_c - m}{m_c - m_f} \dots \dots \dots (2)$$

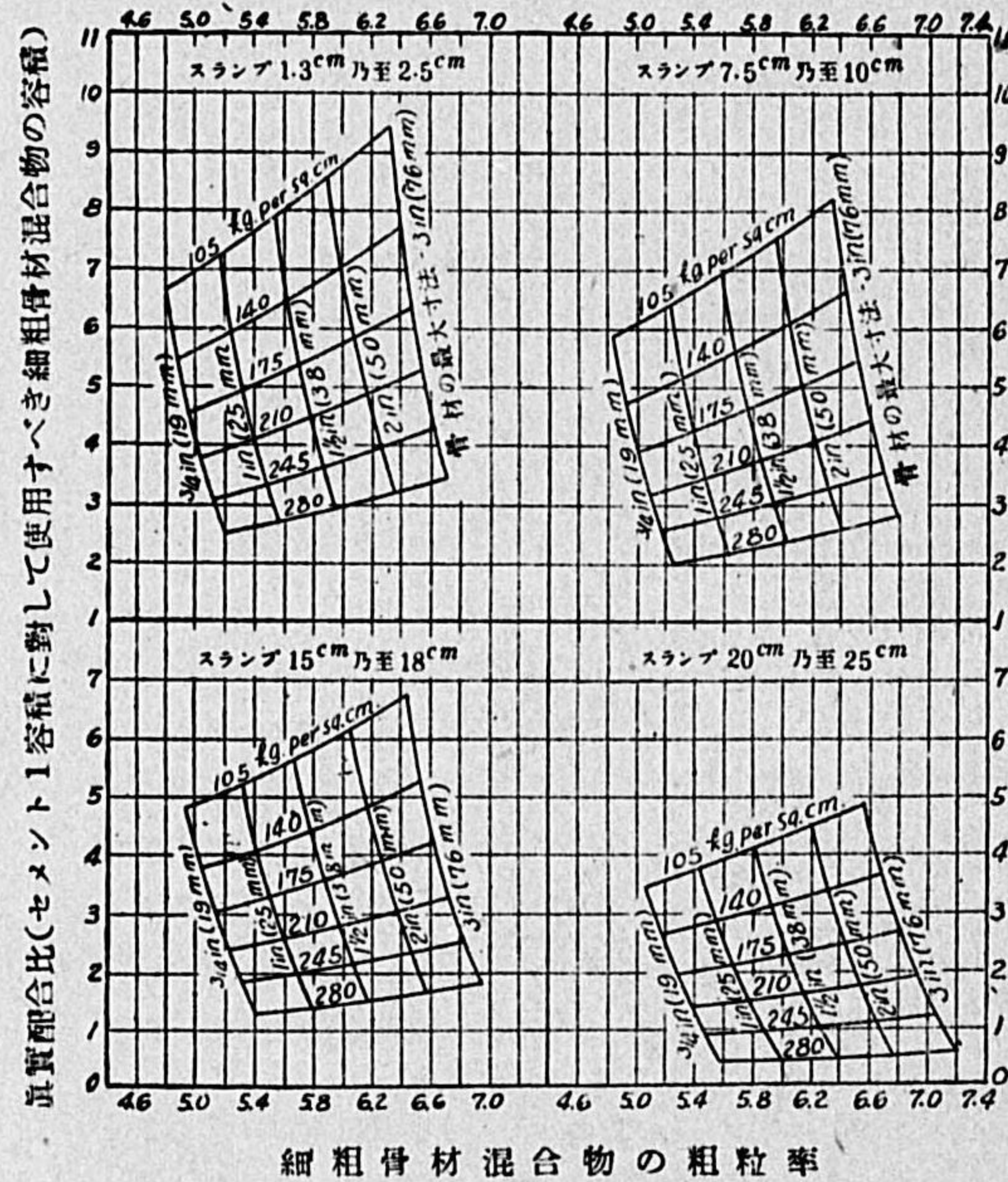
r は細骨材の容積と細粗骨材を別々に計りたる容積の和との比、例へば 1:2:4 コンクリートに於ては

$$r = 2 + (2 + 4) = 1/3 \text{ である}$$

(例題) 或鐵筋コンクリート工事に於て、材齡 28 日に於て 140 kg/cm^2 の壓縮強度、スラブが $15 \sim 18 \text{ cm}$ である流動性のコンクリートを使用するものとし、與へられたる材料を以て、此コンクリートの經濟的配合を設計せよ。

試験の結果、砂及び砂利に含まれる水分は夫々其乾燥重量の 3% 及び 2% とする。砂及び砂利の吸水量は夫々試験の結果 0.9% であるとする。砂の粗粒率は 2.7、砂利の粗粒率は 7.2 であるとする。

粗骨材の最大寸法を定めて、之が細粗骨材混合物の最大寸法であると假定し、細粗骨材混合物の配合比



第 8 圖 骨材の最大寸法及び粗粒率、コンクリートの眞實配合比、壓縮強度及びスラブの關係 (第 6 圖の曲線 B に相當する)

を定めたる後に、最大寸法を求め、之が假定最大寸法と等しくなければ、今得たる最大寸法を用ひて設計をやり直す。試験の結果、粗骨材の最大寸法は試験の結果 $1\frac{1}{2}$ であるとする。

第 7 圖又は第 8 圖を利用する。今の場合曲線 A (第 6 圖) に相當する第 7 圖を用ひる。スラブ $15 \sim 18 \text{ cm}$ の曲線を参照して、 $\sigma = 140 \text{ kg/cm}^2$ の曲線と骨材の最大寸法 $1\frac{1}{2}$ の曲線との交點の横距及び縦距は夫々 5.65 (粗粒率) 及び (1:5.5 (眞實配合比)) である。次に眞實配合比に於ける細粗骨材混合物が、今求めた粗粒率 5.65 を有する様に細粗骨材の配合比を算定する。

$$(2) \text{ 式} \dots \dots \dots r = \frac{m_c - m}{m_c - m_f}$$

$m_f = 2.7, m_c = 7.2, m = 5.65$ (砂及び砂利の混合物の粗粒率)、

$$r = \frac{7.2 - 5.65}{7.2 - 2.7} = \frac{1.55}{4.5} = 0.34$$

$$1 - r = 1 - 0.34 = 0.66$$

此砂及び砂利を用ひて粗粒率 = 5.65 になる混合物を作るためには、砂及び砂利を容積比で 0.34:0.66 に混合すればよい。

次に乾燥砂及び乾燥砂利の 1 m^3 の重量を夫々 $1,750 \text{ kg}$ 及び $1,635 \text{ kg}$ (標準方法にて測定したるもの) であるとする。現場に於て骨材を計量するのに、簡単に容積を以て計量する時には、現場に於けると同じ状態で測つた時の骨材單位容積の重量を測定する。今實際に用ひる濕つた砂を現場に於けると同じ方法で強く計量した時、 1 m^3 の重量が $1,460 \text{ kg}$ であつたとする。砂は乾燥砂の重量の 3% の水分を含有するから乾燥砂としては $1,460 \div (1 + 0.03) = 1,417 \text{ kg/m}^3$ である。濕つた砂利を現場に於けると同じ方法で強く計量した時、 1 m^3 の重量が $1,550 \text{ kg}$ であつたものとする。砂利は乾燥砂利の重量の 2% の水分を含有するから、乾燥砂利としては、 $1,550 \div (1 + 0.02) = 1,520 \text{ kg/m}^3$ である。

砂と砂利とを容積比で 0.34:0.66 の比に混合したるもの標準試験方法にて測定したる 1 m^3 の重量を $1,930 \text{ kg}$ であるとする。次に收縮係數を求めん。

$$\text{收縮係數 } r' = \frac{rw_f + (1 - r)w_c}{w_m}$$

r' = 乾燥した細粗骨材混合物の容積と乾燥した細粗骨材を各々別々に測つた容積の和との比

r = 細骨材の容積と細粗骨材を各々別々に測つた容積の和との比

w_f = 乾燥細骨材の單位重量

w_c = 乾燥粗骨材の單位重量

w_m = 乾燥細粗骨材混合物の單位重量

$$r' = \frac{0.34 \times 1,750 + 0.66 \times 1,635}{1,930} = \frac{595 + 1,079.1}{1,930} = 0.867$$

眞實配合比を普通配合比に直すために此收縮係數を用ひる。眞實配合比を普通配合比で表はすと次の通り。

$$1 : \frac{5.5 \times 0.34}{0.867} : \frac{5.5 \times 0.66}{0.867} = 1 : 2.16 : 4.18$$

眞實配合比は 1:5.5, 砂及び砂利の容積配合比は 0.34:0.66, 其混合物の収縮係数は 0.867 である。之を現場で濕つた砂及び砂利を弛く計量する時の現場配合比に換算すると次の通り。

$$1 : \frac{1,750 \times 2.16}{1,417} : \frac{1,635 \times 4.18}{1,520} = 1 : 2.66 : 4.5 = 1 : 2.7 : 4.5$$

次に使用水量を決定せん。第 6 圖 4 曲線を利用し得るものと假定して、壓縮強度 140kg/cm² に対する水セメント比を此曲線から求めると 0.67 であるから、セメント 1m³、即ち 1,500kg に對して用ひるべき水量は 1,500 × 0.67 = 1,005kg である。セメント 1m³ に對して砂及び砂利を夫々 2.7m³、4.5m³ 用ひるから、骨材に含まれる水量は、次の通り。

$$(2.7 \times 1,417 \times 0.03) + (4.5 \times 1,520 \times 0.02) = 252kg$$

砂及び砂利が吸収する水量は次の通り。

$$(2.7 \times 1,417 \times 0.01) + (4.5 \times 1,520 \times 0.01) = 107kg$$

使用水量はセメント 1m³ に對して次の通り。

$$1,005 - 252 + 107 = 860kg$$

即ちセメント重量の 860 ÷ 1500 = 0.57 倍の水を使用すればよい。

上述の如くして配合及び水量を決定して、之を以てコンクリートを作つて見る。之が實地使用の目的に對して餘りに荒々しいか否かを検査し、若しあまり荒々しいならば、細骨材混合物の粗粒率を小として配合設計をやり直す。尙スラップ試験を行ひて所望スラップを生ずるや否やを検査し、所望スラップを生ぜぬ時には配合を變へる。少しくスラップを増加するには骨材の量を凡そ 3~5% 減少し、スラップが大に過ぎれば、骨材量を増すのも一方法である。尙、供試体を作りて壓縮強度を試験すれば充分である。

(33) 米國標準示方書附録表を用ひる方法 第 8 表乃至第 11 表は 1924 年の米國のコンクリート及び鉄筋コンクリート標準示方書附録第 16 に掲げられたる表である。此表に於てセメントは勿論ポルトランドセメントであり、骨材は清淨で死石を含まないものであり、4 種類のスラップにて示される流動性を有するプラスチック・コンクリートの配合を示すものである。此表はエブラムス教授の經濟的配合の實際結果を表に作つたものであつて、セメントの重量は 1,506kg/m³ とし、壓縮強度は $\sigma_{28} = 984/9^{1.5w}$ (w は水セメント重量比) から計算せられたものである。與へられた材料を以て、所望壓縮強度とスラップとを有するコンクリートの配合の標準を簡単に求める時に此表を便利に使用し得る。

此表を使用するには、先づ標準篩を用ひて、骨材の篩分試験を行ふ。用ひる篩番號は、No. 28 (又は No. 30 を用ひてもよい。)、No. 14 (No. 16 を用ひてもよい。)、No. 8、No. 4、3''/8、3''/4、1''、1''/2、2''、3'' の一組である。而して次の規定に依つて細骨材の最大寸法、粗骨材の最大及び最小寸法を定める。

(1) 骨材の篩分試験に當り、或篩番號より小なる篩目を有する次の篩番號の篩に 15% 以上が止まつたならば、或篩番號を以て骨材の最大寸法とする。例へば砂の 16% が No. 8 の篩に止まつたならば、其砂の最大寸法は No. 4 の大いさであるとする。若し 14%、又は其以下が No. 8 篩に止まれば No. 8 を其砂の最大寸法とする。同様にして 1''/2 篩に 16% 以上止まる様な砂利の最大寸法は 2'' であるとする。

(2) 或骨材の 15% 以上が或番號の篩を通過しない時は、其篩番號を以て最小寸法とする。例へば砂利の 14% が 3''/8 篩を通過するならば、其砂利の最小寸法は 3''/8 であるとする。若し 15% 以上通過すれば No. 4 を其砂利の最小寸法と定める。

材料の豫備試験を行はない時、又は工事の進行中にコンクリートの壓縮強度試験を行つて配合を修正しない様な時に此表を用ひるには、太い活字の數値を選ぶがよい。

第 8 表 材齡 28 日に於て 105kg/cm² の壓縮強度を有するコンクリートの容積配合比

粗骨材の大いさ	スラップ cm	細骨材の大いさ				
		0-No. 30	0-No. 16	0-No. 8	0-No. 4	0-3/8 in
0.....	1.3-2.5	1:2.8	1:3.2	1:3.8	1:4.4	1:5.1
	7.5-10	1:2.4	1:2.8	1:3.3	1:3.8	1:4.5
	15-18	1:1.9	1:2.2	1:2.6	1:3.0	1:3.6
	20-25	1:1.4	1:1.6	1:1.8	1:2.1	1:2.5
No. 4 より 3/4 in まで	1.3-2.5	1:2.6:4.6	1:2.9:4.3	1:3.4:4.1	1:3.9:3.6	1:4.6:3.1
	7.5-10	1:2.3:4.0	1:2.6:3.8	1:2.9:3.6	1:3.4:3.2	1:4.1:2.8
	15-18	1:1.8:3.4	1:2.0:3.2	1:2.3:3.1	1:2.6:2.8	1:3.1:2.5
	20-25	1:1.1:2.5	1:1.3:2.4	1:1.5:2.4	1:1.7:2.2	1:2.1:2.0
No. 4 より 1 in まで	1.3-2.5	1:2.4:5.3	1:2.7:5.2	1:3.1:5.0	1:3.5:4.7	1:4.3:4.3
	7.5-10	1:2.1:4.7	1:2.4:4.5	1:2.7:4.4	1:3.1:4.1	1:3.7:3.7
	15-18	1:1.6:3.9	1:1.8:3.8	1:2.1:3.7	1:2.4:3.5	1:2.9:3.3
	20-25	1:1.1:2.9	1:1.2:2.8	1:1.4:2.8	1:1.6:2.7	1:1.9:2.5
No. 4 より 1 1/2 in まで	1.3-2.5	1:2.4:6.0	1:2.7:5.9	1:3.1:5.8	1:3.5:5.4	1:4.1:5.1
	7.5-10	1:2.0:5.4	1:2.3:5.3	1:2.7:5.2	1:3.0:5.0	1:3.5:4.6
	15-18	1:1.6:4.4	1:1.8:4.3	1:2.0:4.3	1:2.3:4.1	1:2.7:3.9
	20-25	1:1.0:3.3	1:1.1:3.2	1:1.3:3.2	1:1.5:3.1	1:1.8:2.9
No. 4 より 2 in まで	1.3-2.5	1:2.2:6.9	1:2.4:6.8	1:2.8:6.8	1:3.1:6.6	1:3.7:6.4
	7.5-10	1:1.8:6.2	1:2.0:6.1	1:2.4:6.1	1:2.7:6.0	1:3.1:5.7
	15-18	1:1.4:5.1	1:1.6:5.0	1:1.8:5.0	1:2.0:5.0	1:2.4:4.8
	20-25	1:0.9:3.8	1:1.0:3.8	1:1.1:3.8	1:1.3:3.8	1:1.5:3.7
3/8 より 1 in まで	1.3-2.5	1:2.8:5.2	1:3.1:5.1	1:3.6:4.8	1:4.2:4.6	1:4.8:4.1
	7.5-10	1:2.4:4.5	1:2.6:4.5	1:3.1:4.3	1:3.6:4.0	1:4.1:3.6
	15-18	1:1.9:3.9	1:2.1:3.7	1:2.4:3.6	1:2.8:3.4	1:3.2:3.1
	20-25	1:1.3:2.8	1:1.4:2.8	1:1.6:2.7	1:1.9:2.6	1:2.2:2.4
3/8 より 1 1/2 in まで	1.3-2.5	1:2.8:5.8	1:3.1:5.7	1:3.5:5.5	1:4.1:5.3	1:4.7:4.9
	7.5-10	1:2.4:5.2	1:2.7:5.1	1:3.1:5.0	1:3.5:4.8	1:4.1:4.4
	15-18	1:1.9:4.3	1:2.1:4.2	1:2.4:4.2	1:2.7:4.0	1:3.1:3.7
	20-25	1:1.2:3.2	1:1.4:3.2	1:1.6:3.1	1:1.8:3.0	1:2.1:2.9



$\frac{3}{8}$ ぶり 2 in まで	1.3-2.5	1:2.7:6.6	1:3.0:6.6	1:3.4:6.5	1:3.9:6.4	1:4.4:6.0
	7.5-10	1:2.3:5.9	1:2.6:5.9	1:2.9:5.8	1:3.3:5.6	1:3.7:5.5
	15-18	1:1.8:4.9	1:2.0:4.8	1:2.2:4.8	1:2.6:4.8	1:3.0:4.5
$\frac{3}{4}$ ぶり $1\frac{1}{2}$ in まで	1.3-2.5	1:3.2:5.4	1:3.6:5.3	1:4.1:5.1	1:4.7:4.8	1:5.3:4.4
	7.5-10	1:2.8:4.8	1:3.2:4.8	1:3.6:4.6	1:4.0:4.4	1:4.6:4.0
	15-18	1:2.1:4.0	1:2.5:4.0	1:2.8:3.9	1:3.2:3.7	1:3.5:3.4
$\frac{3}{4}$ ぶり 2 in まで	1.3-2.5	1:3.2:6.2	1:3.6:6.1	1:4.0:6.0	1:4.6:5.8	1:5.2:5.4
	7.5-10	1:2.8:5.5	1:3.1:5.5	1:3.5:5.4	1:3.9:5.2	1:4.5:4.9
	15-18	1:2.1:4.5	1:2.4:4.6	1:2.7:4.5	1:3.1:4.4	1:3.5:4.1
$\frac{3}{4}$ ぶり 3 in まで	1.3-2.5	1:3.2:7.1	1:3.6:7.1	1:4.0:7.0	1:4.6:6.9	1:5.2:6.6
	7.5-10	1:2.7:6.3	1:3.0:6.3	1:3.4:6.3	1:4.0:6.2	1:4.5:5.9
	15-18	1:2.1:5.1	1:2.4:5.2	1:2.7:5.2	1:3.1:6.1	1:3.5:4.9

第9表 材齢28日に於て140kg/cm²の壓縮強度を有するコンクリートの容積配合比

粗骨材の大きさ	スラブ cm	細骨材の大きさ				
		0-No. 30	0-No. 16	0-No. 8	0-No. 4	0- $\frac{3}{8}$ in
0.....	1.3-2.5	1:2.2	1:2.6	1:3.0	1:3.5	1:4.1
	7.5-10	1:1.9	1:2.2	1:2.6	1:3.0	1:3.5
	15-18	1:1.5	1:1.7	1:2.0	1:2.3	1:2.7
No.4 ぶり $\frac{3}{4}$ in まで	1.3-2.5	1:2.1:3.8	1:2.3:3.7	1:2.6:3.5	1:3.0:3.1	1:3.6:2.8
	7.5-10	1:1.7:3.3	1:1.9:3.2	1:2.2:3.1	1:2.6:2.8	1:3.0:2.4
	15-18	1:1.3:2.7	1:1.4:2.6	1:1.7:2.5	1:1.9:2.3	1:2.3:2.1
No.4 ぶり 1 in まで	1.3-2.5	1:1.9:4.5	1:2.2:4.3	1:2.5:4.2	1:2.8:3.9	1:3.4:3.6
	7.5-10	1:1.6:3.9	1:1.8:3.8	1:2.1:3.7	1:2.4:3.5	1:2.8:3.2
	15-18	1:1.2:3.1	1:1.3:3.1	1:1.5:3.0	1:1.8:2.9	1:2.1:2.7
No.4 ぶり $1\frac{1}{2}$ in まで	1.3-2.5	1:1.9:5.0	1:2.1:4.9	1:2.4:4.9	1:2.7:4.6	1:3.2:4.4
	7.5-10	1:1.6:4.4	1:1.7:4.3	1:2.0:4.2	1:2.4:4.0	1:2.7:3.8
	15-18	1:1.1:3.5	1:1.3:3.5	1:1.4:3.5	1:1.7:3.4	1:2.0:3.2
No.4 ぶり 2 in まで	1.3-2.5	1:1.7:5.8	1:1.9:5.7	1:2.1:5.8	1:2.4:5.6	1:2.8:5.5
	7.5-10	1:1.4:5.0	1:1.5:5.0	1:1.8:5.0	1:2.0:4.9	1:2.3:4.7
	15-18	1:1.0:4.1	1:1.1:4.1	1:1.2:4.1	1:1.4:4.1	1:1.7:3.9
$\frac{3}{8}$ ぶり 1 in まで	1.3-2.5	1:2.2:4.4	1:2.5:4.2	1:2.8:4.1	1:3.3:3.8	1:3.8:3.4
	7.5-10	1:1.9:3.8	1:2.1:3.7	1:2.4:3.6	1:2.8:3.4	1:3.2:3.1
	15-18	1:1.4:3.1	1:1.5:3.0	1:1.8:3.0	1:2.1:2.8	1:2.4:2.5
$\frac{3}{8}$ ぶり $1\frac{1}{2}$ in まで	1.3-2.5	1:2.2:4.9	1:2.5:4.8	1:2.8:4.7	1:3.2:4.6	1:3.7:4.2
	7.5-10	1:1.9:4.3	1:2.1:4.2	1:2.4:4.1	1:2.7:4.0	1:3.1:3.7
	15-18	1:1.4:3.5	1:1.5:3.4	1:1.7:3.4	1:2.0:3.3	1:2.3:3.1

$\frac{3}{8}$ ぶり 2 in まで	1.3-2.5	1:2.1:5.6	1:2.3:5.5	1:2.6:5.5	1:3.0:5.4	1:3.5:5.1
	7.5-10	1:1.7:4.8	1:2.0:4.8	1:2.2:4.8	1:2.5:4.7	1:2.9:4.4
	15-18	1:1.3:4.0	1:1.4:3.9	1:1.6:3.9	1:1.8:3.9	1:2.1:3.8
$\frac{3}{4}$ ぶり $1\frac{1}{2}$ in まで	1.3-2.5	1:2.6:4.5	1:2.9:4.5	1:3.3:4.4	1:3.8:4.2	1:4.3:3.9
	7.5-10	1:2.2:3.9	1:2.5:3.9	1:2.8:3.8	1:3.2:3.6	1:3.6:3.3
	15-18	1:1.6:3.2	1:1.8:3.2	1:2.1:3.1	1:2.4:3.0	1:2.7:2.8
$\frac{3}{4}$ ぶり 2 in まで	1.3-2.5	1:2.5:5.2	1:2.8:5.2	1:3.2:5.1	1:3.6:5.0	1:4.1:4.7
	7.5-10	1:2.1:4.5	1:2.4:4.5	1:2.7:4.4	1:3.1:4.3	1:3.5:4.0
	15-18	1:1.6:3.7	1:1.8:3.7	1:2.0:3.7	1:2.3:3.6	1:2.6:3.5
$\frac{3}{4}$ ぶり 3 in まで	1.3-2.5	1:2.5:6.0	1:2.9:5.9	1:3.2:5.9	1:3.6:5.8	1:4.1:5.6
	7.5-10	1:2.1:5.1	1:2.4:5.2	1:2.7:5.2	1:3.1:5.1	1:3.5:4.9
	15-18	1:1.5:4.1	1:1.7:4.2	1:2.0:4.2	1:2.3:4.2	1:2.5:4.0

第10表 材齢28日に於て175kg/cm²の壓縮強度を有するコンクリートの容積配合比

粗骨材の大きさ	スラブ cm	細骨材の大きさ				
		0-No. 30	0-No. 16	0-No. 8	0-No. 4	0- $\frac{3}{8}$ in
0.....	1.3-2.5	1:1.8	1:2.1	1:2.4	1:2.9	1:3.3
	7.5-10	1:1.5	1:1.8	1:2.1	1:2.4	1:2.8
	15-18	1:1.1	1:1.3	1:1.6	1:1.8	1:2.1
No.4 ぶり $\frac{3}{4}$ in まで	1.3-2.5	1:1.6:3.2	1:1.8:3.1	1:2.1:3.0	1:2.4:2.7	1:2.9:2.4
	7.5-10	1:1.3:2.8	1:1.5:2.7	1:1.7:2.6	1:2.0:2.4	1:2.4:2.2
	15-18	1:1.0:2.2	1:1.1:2.2	1:1.3:2.1	1:1.5:2.0	1:1.8:1.8
No.4 ぶり 1 in まで	1.3-2.5	1:1.5:3.7	1:1.7:3.7	1:2.0:3.5	1:2.2:3.4	1:2.7:3.1
	7.5-10	1:1.2:3.3	1:1.4:3.2	1:1.6:3.1	1:1.9:3.0	1:2.2:2.7
	15-18	1:0.9:2.6	1:1.0:2.5	1:1.1:2.5	1:1.3:2.4	1:1.6:2.3
No.4 ぶり $1\frac{1}{2}$ in まで	1.3-2.5	1:1.4:4.2	1:1.6:4.1	1:1.9:4.1	1:2.2:4.0	1:2.5:3.8
	7.5-10	1:1.2:3.7	1:1.3:3.6	1:1.5:3.6	1:1.8:3.5	1:2.1:3.3
	15-18	1:0.9:2.9	1:0.9:2.8	1:1.1:2.8	1:1.3:2.8	1:1.5:2.6
No.4 ぶり 2 in まで	1.3-2.5	1:1.3:4.9	1:1.4:4.8	1:1.6:4.9	1:1.9:4.8	1:2.2:4.7
	7.5-10	1:1.1:4.3	1:1.2:4.2	1:1.3:4.3	1:1.6:4.2	1:1.8:4.1
	15-18	1:0.7:3.3	1:0.8:3.3	1:0.9:3.4	1:1.1:3.3	1:1.2:3.3
$\frac{3}{8}$ ぶり 1 in まで	1.3-2.5	1:1.8:3.7	1:2.0:3.0	1:2.3:3.5	1:2.6:3.3	1:3.0:2.9
	7.5-10	1:1.4:3.2	1:1.6:3.1	1:1.9:2.9	1:2.2:2.9	1:2.5:2.6
	15-18	1:1.0:2.5	1:1.2:2.5	1:1.3:2.4	1:1.6:2.3	1:1.8:2.2
$\frac{3}{8}$ ぶり $1\frac{1}{2}$ in まで	1.3-2.5	1:1.7:4.1	1:1.9:4.1	1:2.2:4.0	1:2.5:3.9	1:2.9:3.6
	7.5-10	1:1.5:3.6	1:1.6:3.6	1:1.8:3.5	1:2.1:3.4	1:2.3:3.2
	15-18	1:1.0:2.9	1:1.2:2.8	1:1.3:2.8	1:1.5:2.7	1:1.8:2.6

3/8 以上 2 in まで	1.3-2.5	1:1.7:4.7	1:1.8:4.7	1:2.1:4.7	1:2.4:4.6	1:2.7:4.4
	7.5-10	1:1.4:4.1	1:1.5:4.1	1:1.7:4.1	1:2.0:4.0	1:2.3:3.9
	15-18	1:1.0:3.2	1:1.1:3.2	1:1.2:3.2	1:1.4:3.2	1:1.6:3.1
	20-25	1:0.5:2.1	1:0.6:2.1	1:0.7:2.2	1:0.8:2.2	1:0.9:2.1
3/4 以上 1 1/2 in まで	1.3-2.5	1:2.0:3.8	1:2.3:3.8	1:2.6:3.7	1:3.0:3.6	1:3.4:3.3
	7.5-10	1:1.7:3.3	1:2.0:3.3	1:2.2:3.2	1:2.5:3.2	1:2.9:2.9
	15-18	1:1.2:2.6	1:1.4:2.6	1:1.6:2.6	1:1.9:2.5	1:2.1:2.3
	20-25	1:0.7:1.7	1:0.8:1.7	1:0.9:1.7	1:1.1:1.7	1:1.2:1.6
3/4 以上 2 in まで	1.3-2.5	1:2.0:4.4	1:2.2:4.4	1:2.5:4.3	1:2.9:4.8	1:3.3:4.1
	7.5-10	1:1.7:3.8	1:1.9:3.8	1:2.1:3.8	1:2.5:3.7	1:2.8:3.6
	15-18	1:1.2:3.0	1:1.4:3.0	1:1.5:3.0	1:1.8:3.0	1:2.0:2.8
	20-25	1:0.7:2.0	0:0.8:2.0	1:0.9:2.0	1:1.0:2.0	1:1.2:2.0
3/4 以上 3 in まで	1.3-2.5	1:2.0:5.0	1:2.2:5.0	1:2.5:5.0	1:2.7:5.0	1:3.2:4.7
	7.5-10	1:1.7:4.3	1:1.9:4.3	1:2.1:4.3	1:2.4:4.3	1:2.7:4.1
	15-18	1:1.2:3.3	1:1.4:3.4	1:1.5:3.4	1:1.8:3.4	1:2.0:3.3
	20-25	1:0.7:2.2	1:0.8:2.2	1:0.9:2.2	1:1.0:2.3	1:1.2:2.3

第11表 材齢28日に於て210kg/cm²の壓縮強度を有するコンクリートの容積配合比

粗骨材の大きさ	スラブ cm	細骨材の大きさ				
		0-No. 30	0-No. 16	0-No. 8	0-No. 4	0-3/8 in
0.....	1.3-2.5	1:1.5	1:1.7	1:2.0	1:2.3	1:2.7
	7.5-10	1:1.2	1:1.4	1:1.7	1:1.9	1:2.3
	15-18	1:0.9	1:1.0	1:1.2	1:1.4	1:1.6
	20-25	1:0.5	1:0.6	1:0.7	1:0.8	1:0.9
No. 4 以上 3/4 in まで	1.3-2.5	1:1.3:2.7	1:1.5:2.6	1:1.7:2.5	1:1.9:2.4	1:2.3:2.1
	7.5-10	1:1.0:2.3	1:1.2:2.2	1:1.4:2.2	1:1.6:2.0	1:1.9:1.8
	15-18	1:0.7:1.7	1:0.8:1.7	1:0.9:1.7	1:1.1:1.6	1:1.3:1.4
	20-25	1:0.3:1.0	1:0.4:1.0	1:0.5:1.0	1:0.5:1.0	1:0.6:0.9
No. 4 以上 1 in まで	1.3-2.5	1:1.2:3.1	1:1.3:3.1	1:1.5:3.0	1:1.8:2.9	1:2.1:2.7
	7.5-10	1:0.9:2.7	1:1.1:2.6	1:1.2:2.6	1:1.4:2.5	1:1.7:2.3
	15-18	1:0.6:2.0	1:0.7:2.0	1:0.8:2.0	1:0.9:1.9	1:1.1:1.8
	20-25	1:0.3:1.2	1:0.3:1.2	1:0.4:1.2	1:0.5:1.2	1:0.6:1.2
No. 4 以上 1 1/2 in まで	1.3-2.5	1:1.1:3.6	1:1.2:3.5	1:1.5:3.5	1:1.7:3.4	1:2.0:3.2
	7.5-10	1:0.9:3.0	1:1.0:2.9	1:1.2:2.9	1:1.4:2.9	1:1.6:2.7
	15-18	1:0.6:2.2	1:0.7:2.2	1:0.8:2.2	1:0.9:2.2	1:1.1:2.1
	20-25	1:0.3:1.4	1:0.3:1.3	1:0.4:1.4	1:0.5:1.4	1:0.5:1.3
No. 4 以上 2 in まで	1.3-2.5	1:1.0:4.1	1:1.1:4.1	1:1.2:4.1	1:1.4:4.1	1:1.6:4.0
	7.5-10	1:0.8:3.4	1:0.9:3.4	1:1.0:3.5	1:1.1:3.4	1:1.3:3.4
	15-18	1:0.5:2.6	1:0.6:2.6	1:0.6:2.7	1:0.7:2.6	1:0.9:2.6
	20-25	1:0.2:1.6	1:0.3:1.6	1:0.3:1.7	1:0.4:1.7	1:0.4:1.7
3/8 以上 1 in まで	1.3-2.5	1:1.4:3.1	1:1.5:3.0	1:1.8:2.9	1:2.1:2.8	1:2.4:2.6
	7.5-10	1:1.1:2.6	1:1.3:2.6	1:1.5:2.5	1:1.7:2.4	1:2.0:2.2
	15-18	1:0.8:2.0	1:0.8:2.0	1:1.0:1.9	1:1.1:1.9	1:1.3:1.8
	20-25	1:0.4:1.2	1:0.4:1.2	1:0.5:1.2	1:0.6:1.2	1:0.7:1.1
3/8 以上 1 1/2 in まで	1.3-2.5	1:1.4:3.5	1:1.5:3.4	1:1.7:3.4	1:2.0:3.3	1:2.3:3.1
	7.5-10	1:1.1:3.0	1:1.2:2.9	1:1.4:2.9	1:1.6:2.8	1:1.9:2.6
	15-18	1:0.6:2.2	1:0.8:2.2	1:1.0:2.2	1:1.1:2.1	1:1.3:2.0
	20-25	1:0.4:1.4	1:0.4:1.4	1:0.5:1.4	1:0.6:1.3	1:0.7:1.3

3/8 以上 2 in まで	1.3-2.5	1:1.3:4.0	1:1.4:4.0	1:1.6:4.0	1:1.9:3.9	1:2.1:3.8
	7.5-10	1:1.0:3.4	1:1.2:3.4	1:1.3:3.3	1:1.5:3.3	1:1.7:3.2
	15-18	1:0.7:2.6	1:0.8:2.5	1:0.9:2.6	1:1.0:2.6	1:1.1:2.5
	20-25	1:0.4:1.6	1:0.4:1.6	1:0.5:1.6	1:0.5:1.6	1:0.6:1.6
3/4 以上 1 1/2 in まで	1.3-2.5	1:1.6:3.2	1:1.8:3.2	1:2.1:3.2	1:2.4:3.1	1:2.7:2.9
	7.5-10	1:1.3:2.7	1:1.5:2.7	1:1.7:2.7	1:2.0:2.6	1:2.3:2.5
	15-18	1:0.9:2.0	1:1.0:2.1	1:1.2:2.0	1:1.4:2.0	1:1.5:1.8
	20-25	1:0.5:1.2	1:0.5:1.3	1:0.6:1.3	1:0.7:1.3	1:0.8:1.2
3/4 以上 2 in まで	1.3-2.5	1:1.6:3.7	1:1.8:3.7	1:2.0:3.7	1:2.4:3.6	1:2.6:3.5
	7.5-10	1:1.3:3.1	1:1.5:3.1	1:1.6:3.1	1:1.9:3.1	1:2.2:3.0
	15-18	1:0.9:2.4	1:1.1:2.4	1:1.1:2.4	1:1.3:2.4	1:1.5:2.3
	20-25	1:0.5:1.5	1:0.5:1.5	1:0.6:1.5	1:0.7:1.5	1:0.8:1.5
3/4 以上 3 in まで	1.3-2.5	1:1.6:4.2	1:1.8:4.2	1:2.0:4.2	1:2.3:4.1	1:2.6:4.0
	7.5-10	1:1.3:3.5	1:1.5:3.6	1:1.6:3.6	1:1.9:3.6	1:2.1:3.5
	15-18	1:0.9:2.6	1:1.0:2.6	1:1.1:2.6	1:1.3:2.6	1:1.4:2.6
	20-25	1:0.5:1.6	1:0.5:1.6	1:0.6:1.7	1:0.7:1.7	1:0.8:1.7

(34) セメント糊状体主成分法 此方法は次の二段階より成るものである。

- (1) 所望壓縮強度を生ずる水セメント比の糊状体を選定する。
- (2) 此糊状体の一定量に骨材を加へて、出来上つたコンクリートが所望ウオーカビリティー及び均等性を持つ配合比を決定する。斯くして若干回の實驗に依つて使用目的に適當するコンクリート中から最も經濟的であつて、施工を安心して爲し得るコンクリートを選定する。

與へられたる材料を以て最大密度を生ずる細粗骨材混合物中の細粗骨材の割合を見出し、又之よりも多少砂を減少した 2、3 の配合比の骨材混合物を作り、之の一定量とセメント糊状体とを混合して數種のコンクリートを作り、是等のウオーカビリティー及び均等性を試験して、其中から使用目的に適當する配合比を採用する。此場合には流動性の試験は落下試験或はフロー試験を以て行ふ。此實驗に於てセメント糊状体の量は經驗に依つて定めるべきであるが、或は又、上述の(31)、(32)、(33) から計算して試みるもよい。

(35) 表面率法 コンクリートの壓縮強度及びウオーカビリティーは使用される骨材の表面積の總和に關係するものであるから、篩分試験の結果から其表面積を算定するか、又は其表面積に比例する表面率 (Surface modulus) を求め、之に應ずる様に、欲する強度に相當する水セメント比を有するセメント糊状体の使用量を定める。此表面率法は餘り採用せられない。

(36) セメント空間比法 與へられた配合及び水量のコンクリートが、プラスチックで、且、ウオーカブルでなければ、水セメント比に依つて、コンクリートの壓縮強度を判断することは出来ない。従つて一般に與へられた材料、配合及び水量のコンクリートの壓縮強度を示す標準としては、コンクリート中に於ける空隙 (水及び空気) と使用セメントの絕對容積 (セメントの容積から其セメントの空隙を減じたるもの) との比、即ち空隙・セメント比を用ひる方が實驗結果によく適合すると云ふ事がタルボット教授 (米國イリノイ大學の教授) に依つて證明せられて居る。

コンクリート中のモルタル（セメントと細骨材と水との混合物）は粗骨材の空隙を充たし、モルタル中の空隙がコンクリートの空隙となると考へて、モルタルの空隙を測定すれば、次の如き方法に依つて、コンクリートの空隙を算定し得ることを示して居る。混捏直後に於けるコンクリートの単位容積中に於て

a = 新しく作ったコンクリートの単位容積内に含まれる細骨材の絶対容積〔単位容積のコンクリート中に含まれる細骨材の容積から其空隙を減じた容積又は 1m³ のコンクリート中に含まれる細骨材の重量 (kg) を (細骨材の比重 × 1,000) で割つて得られる容積 (m³)〕

b = 新しく作ったコンクリートの単位容積内に含まれる粗骨材の絶対容積〔単位容積のコンクリート中に含まれる粗骨材の容積から其空隙を減じた容積又は 1m³ のコンクリート中に含まれる粗骨材の重量 (kg) を (粗骨材の比重 × 1,000) にて割つて得られる容積 (m³)〕

c = 新しく作ったコンクリートの単位容積中に含まれるセメントの絶対容積〔単位容積のコンクリート中に含まれるセメントの容積から其空隙を減じたもの、又は 1m³ のコンクリート中に使用されたセメントの重量 (kg) を (セメントの比重 × 1,000) で割つて得られる容積 (m³)〕

d = 新しく作ったコンクリートの密度 (単位容積のコンクリート内に含まれる材料の絶対容積の和、即ち d = a + b + c)

v_m = コンクリート中に含まれるモルタル (セメント、細骨材及び水の混合物) の単位容積内にある空隙 (空気及び水)

v = コンクリートの単位容積内にある空隙とすれば v は 1 - d に等しいから

a + b + c = d = 1 - v(1)

である。単位容積のコンクリート中にあるモルタルの容積はセメントと砂の絶対容積の和をモルタルの密度、即ち 1 - v_m で除したものであつて、之と粗骨材の絶対容積とで単位容積のコンクリートが出来るのであるから

$\frac{c+a}{1-v_m} + b = 1$ (2)

を得る。故に (1) 及び (2) 式より

v = 1 - d = (1 - b) v_m(3)

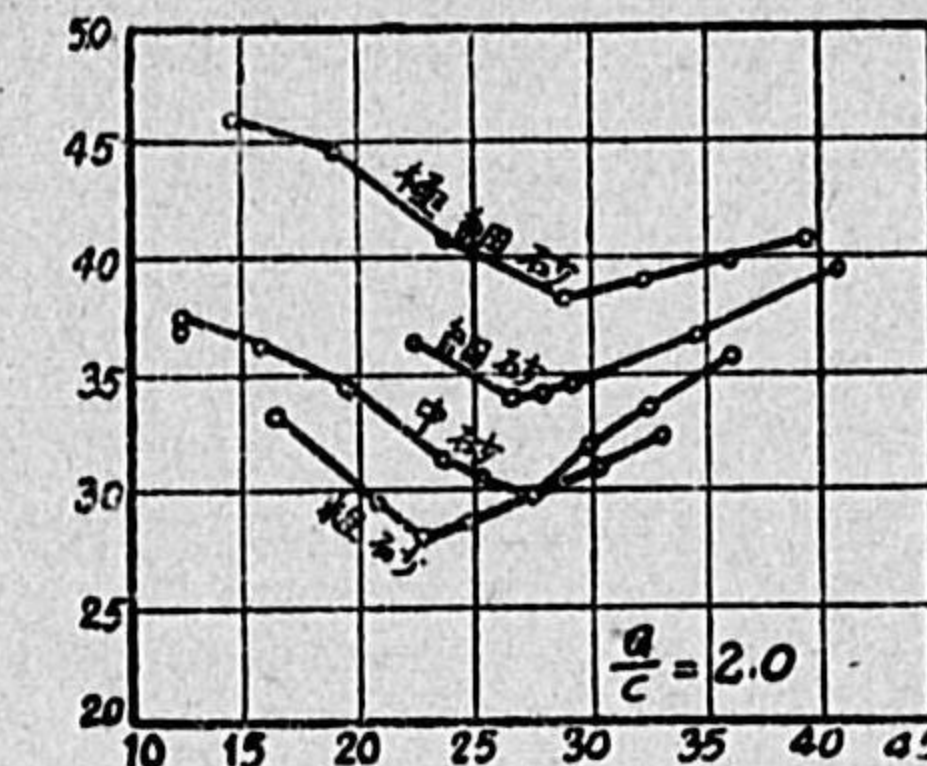
及び

b = 1 - $\frac{v}{v_m}$ = 1 - $\frac{1-d}{v_m}$ (4)

を得る。即ち、(3) 式によつてモルタルの単位容積中の空隙 v_m がわかれば、此モルタルに粗骨材を加へて生ずるコンクリートの単位容積中の空隙 v を算定することが出来る。

タルボット氏は先づモルタルの空隙 v_m に對する細骨材の寸法、細骨材とセメントの絶対容積比即ち a/c 及び水量等の影響を研究した。第9圖は水量とモルタルの空隙との關係を示す一例であ

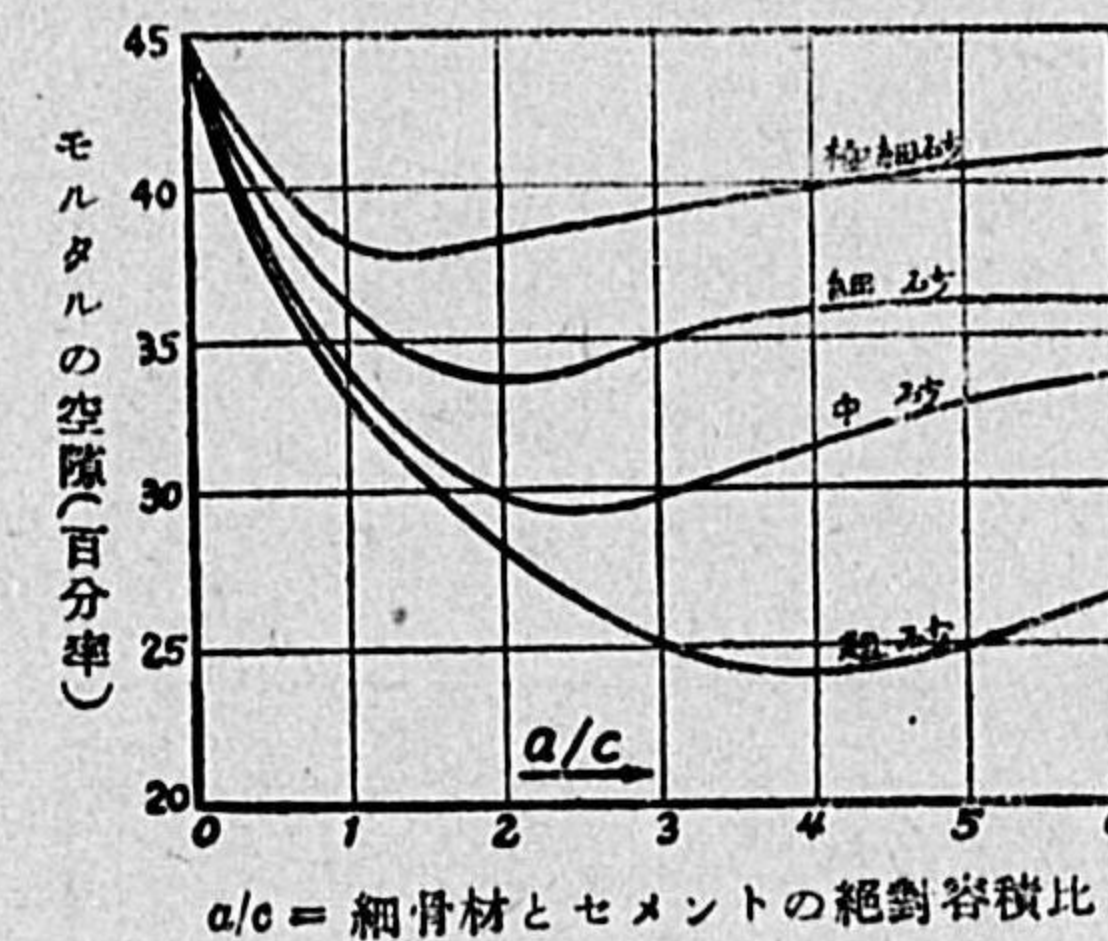
つて、a/c = 2 の場合のものである。此場合のみならず他の種々の場合に於ても、凡て細骨材の寸法の小なる程、空隙は大となり、同一の細骨材に對しては、或水量に於てモルタルの空隙が最小となり、又此最小空隙を與へる水量は細骨材が大なる程、小となる。モルタルの空隙を最小ならしめる水量、即ちモルタルの容積を最小ならしめる水量、換言すればモルタルの密度を最大ならしめる水量をタルボット氏は**基準水量** (Basic water content) と稱し、實際使用する水量が基準水量と異なる場合、例へば實際の水量が基準水量の 1.5 倍なる場合には其水量を 1.5



第9圖 水量とモルタルの空隙との關係

の**相對水量** (Relative water content) と稱して居る。タルボット氏の研究に依れば、細骨材とセメントの絶対容積比 a/c とモルタルの空隙との關係は、基準水量の場合には第 10 圖の通り。

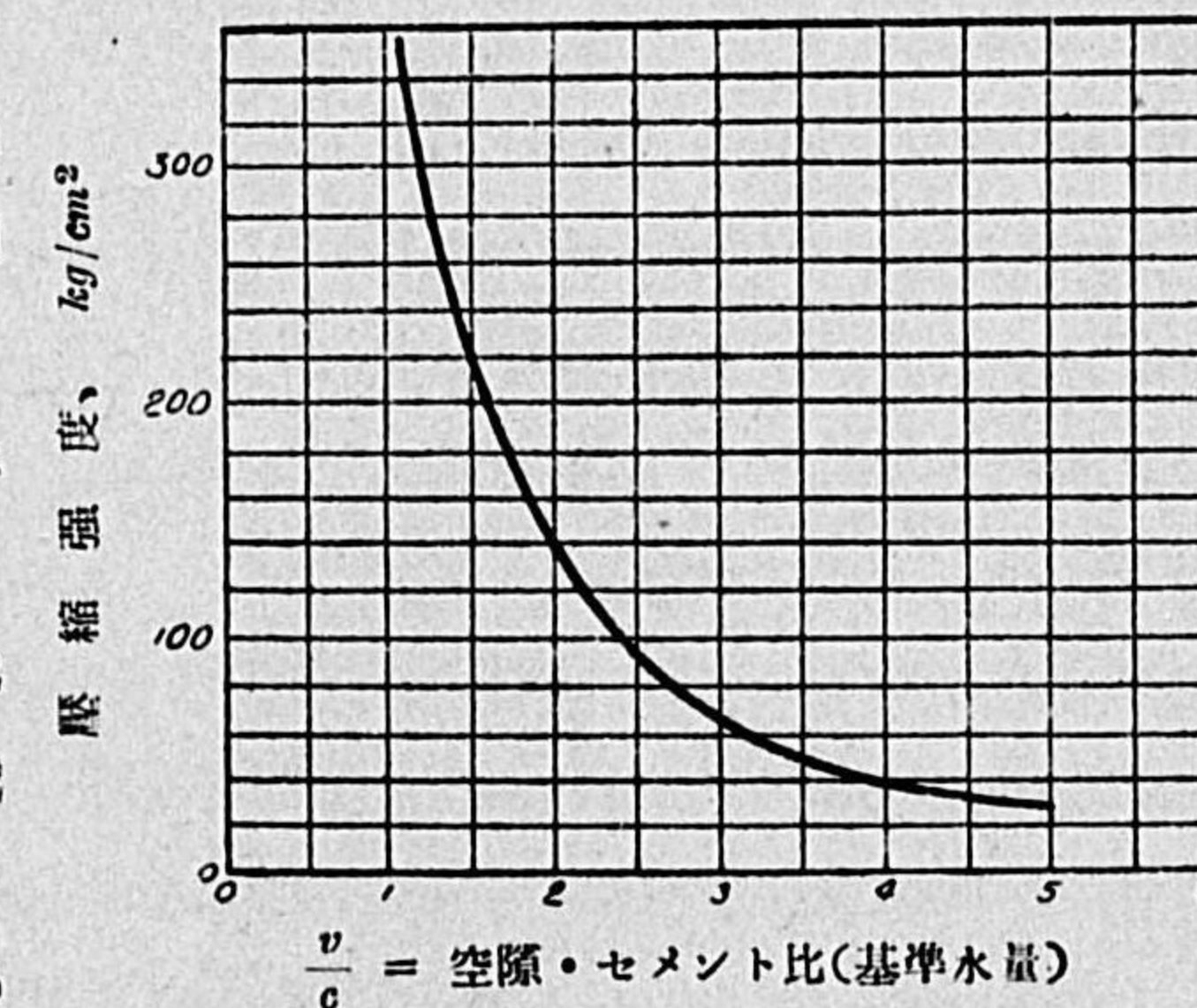
コンクリート中のモルタル (セメントと細骨材と水との混合物) は、粗骨材の空隙を填充し、且其表面を覆ふに足るだけ存在し、猶、其モルタルが最小容積となるに必要なだけの水量、即ち前述の基準水量を使用したコンクリートの壓縮強度とコンクリート中に於ける空隙 v (水及び空気) と使用セメントの絶対容積 c (セメントの容積から其空隙を減じた



第10圖

るもの) との比 v/c なる關係は、タルボット氏の研究に依ると第 11 圖の如くである。但し供試体は直徑約 15cm、高さ約 30cm の圓錐で、コンクリートの材齡は 28 日である。

v/c の代りに c/(v + c) を用ふれば、以上の關係は第 12 圖の如くなる。c/(v + c) なる比をタルボット氏は**セメント・空間比** (Cement-space ratio) と稱して居る。普通鐵筋コンクリート工事に使用するコンクリートの水量は一般に前記の基準水量より大であつて使用水量が基準水量より大なる場合にはコンクリートの壓縮強度は減少する。之は水セ



第11圖 空隙・セメント比と材齡 28 日に於ける壓縮強度との關係 (基準水量)

メント比説によりて明白なることであるが、タルボット氏は第11圖及び第12圖に示した関係を基準水量より大なる水量のものに対しても適用せんがために、実験に依つて水量と強度との関係を第13圖の如くに示した。

上記のタルボット氏の示した壓縮強度は凡て同氏が実験に供した原料に対するものであつて、試験方法及び原料殊にセメントの異なる場合には其値も異なる筈である。故に實際の場合にタルボット氏の説に依つてコンクリートの強度を判定し、或は其配合比を定める場合には、使用する原料に就いて第11圖乃至第13圖の如き関係を求めて置く必要がある。併し是等のものを正確

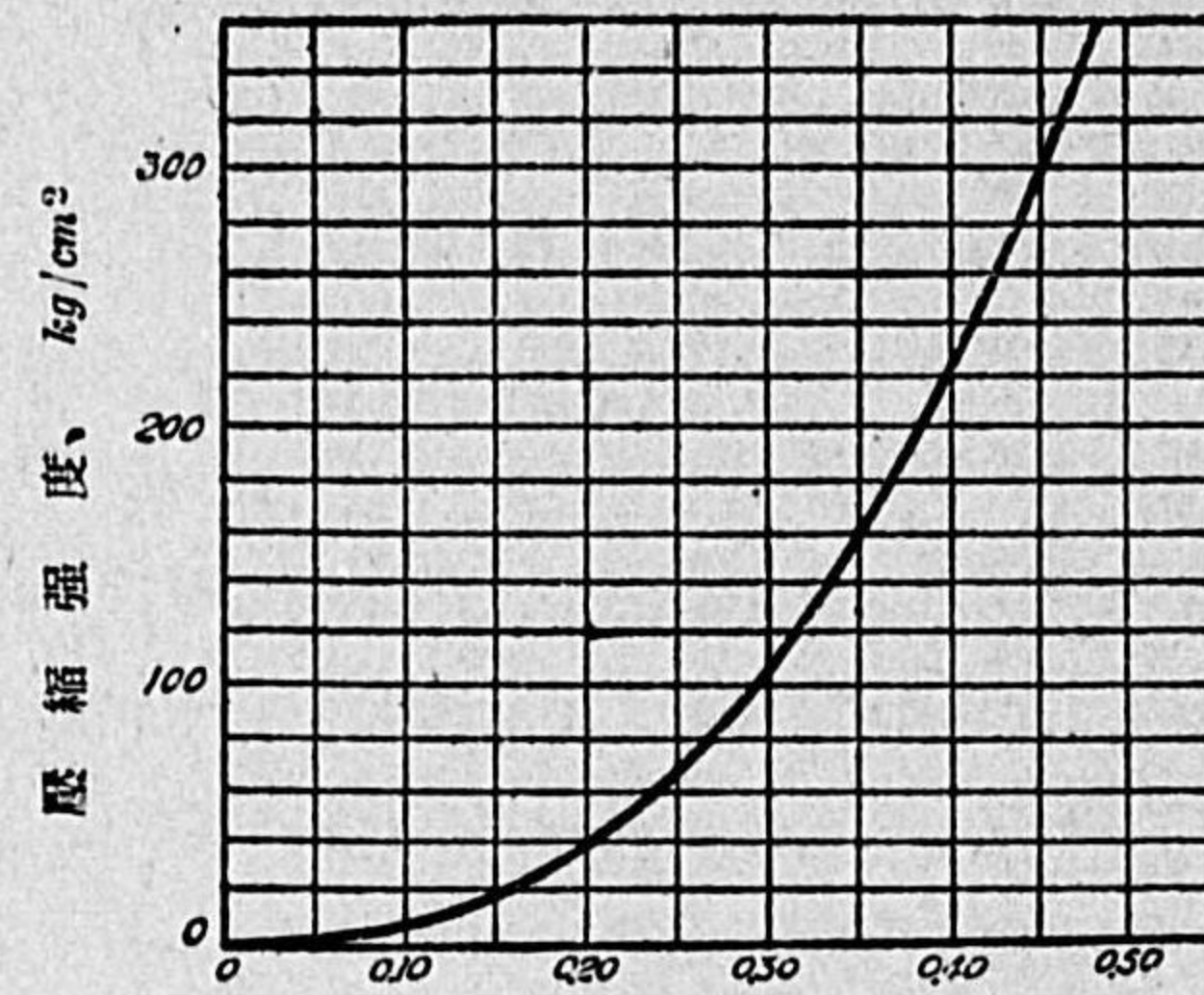
に求めることは非常なる手数を要するから、タルボット氏の與へた曲線を眞なるものと假定し、實驗に依つて2、3の點を求め、此點を通過してタルボット氏の曲線と相似なる曲線を描くも一方法である。此タルボット氏の空

説とエブラムス氏等の水セメント比説とは相互に相反するものではなく此兩者を組合せて考ふれば、相當正確なる結果を得るものである。

通例の配合と稠度を有するモルタルに於ては、よく配列せられた粗砂に對して、 $v_m = 0.27$ 、細砂に對して $v_m = 0.40$ 、又、密度は $d = 0.70 \sim 0.90$ 、従つて空隙は $v = 0.30 \sim 0.10$ 富質配合に對して $a/c = 1$ 、

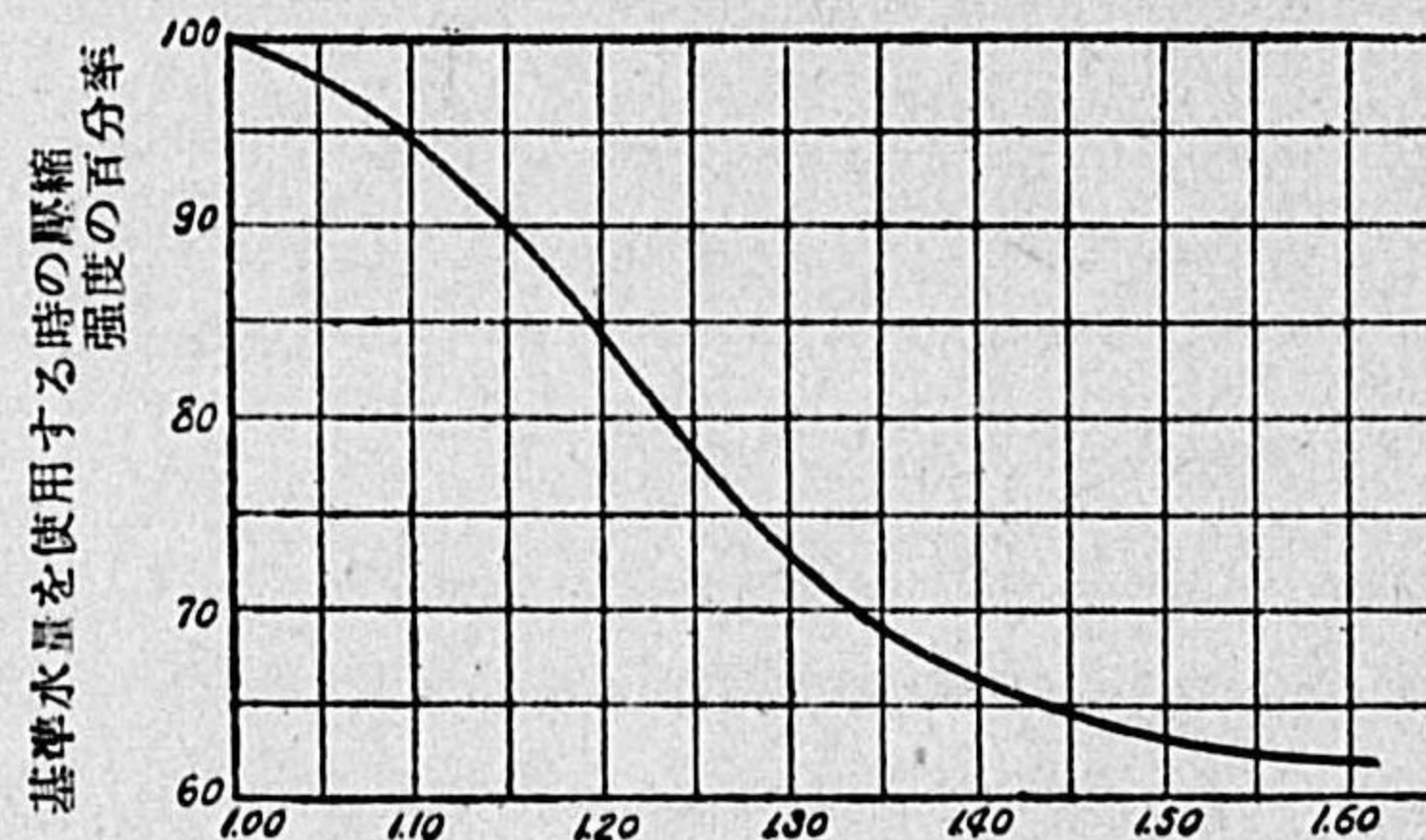
貧質配合に對して $a/c = 5$ 、又、富質配合に對して $c = 0.15$ 、貧質配合に對して $c = 0.05$ であつて、粗骨材の絶対容積は $b = 0 \sim 0.5$ である。試みに $1:2:4$ に就いては $c = 0.10$ 、 $a = 0.28$ 、 $b = 0.45$ 、 $d = 0.88$ 、 $v = 0.17$ の如き値を有するものである。

タルボット氏が其實驗の結果から算出したる材齢4週のコンクリートの壓縮強度 σ (kg/cm^2) は次の通り。



$\frac{c}{v+c}$ = セメント・空間比(基準水量)

第12圖 セメント・空間比と材齢28日に於ける壓縮強度との關係(基準水量)

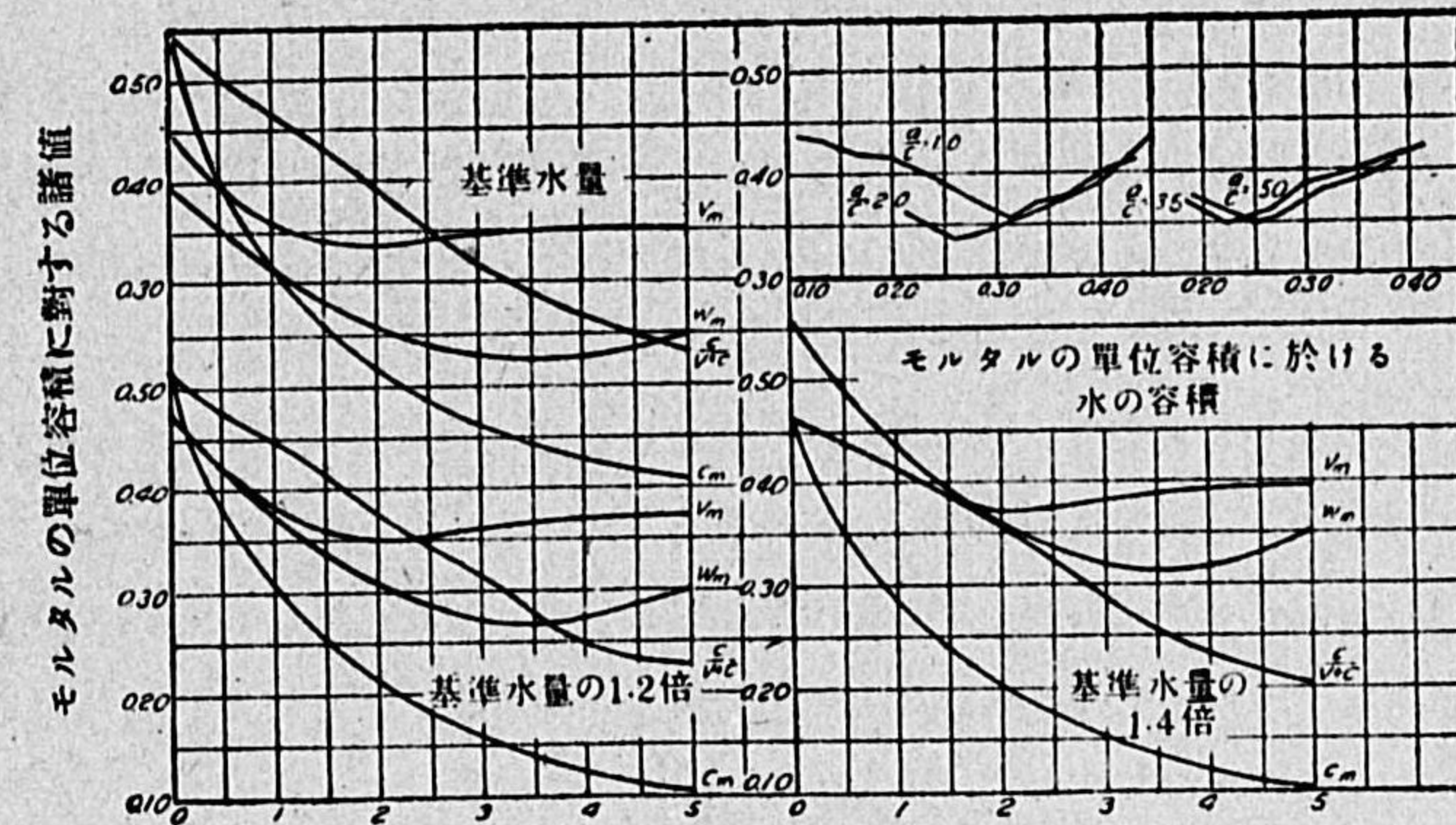


第13圖 基準水量よりも大なる水量を使用した時と基準水量を使用した時との壓縮強度の關係

$$\sigma = \frac{2,240}{\left(1 + \frac{v}{c}\right)^{2.5}} = 2,240 \cdot \left(\frac{c}{v+c}\right)^{2.5}$$

上式は基準水量に對するものでコンクリートの強度を單にセメント・空間比 $\frac{c}{v+c}$ の函數として表はしたるものである。第14圖は基準水量に對するもの一例であつて、 a/c とモルタルの單位容積に對する諸値との關係を示したるものである。

(例題) 材齢4週の強度 $140kg/cm^2$ 、相對水量 1.4 (基準水量の1.4倍) としてコンクリートの配合を決定せよ。第13圖に依ると、基準水量を使用したとき、基準水量の1.4倍の



$$\frac{a}{c} = \frac{\text{砂の絶対容積}}{\text{セメントの絶対容積}}$$

第14圖 或砂を用ひたる時のモルタル・空隙曲線

とのコンクリートの壓縮強度の比は0.67であるから、基準水量の1.4倍の水量を使用した時に $140kg/cm^2$ の壓縮強度を有するコンクリートは、基準水量を使用するときは $140 \div 0.67 = 210kg/cm^2$ の壓縮強度を有すべきである。第12圖に依つて此 $210kg/cm^2$ に對するセメント・空間比 $c/(c+v)$ は0.39である。即ち、基準水量の1.4倍の水量を使用して $140kg/cm^2$ なる壓縮強度を有するために、コンクリートが有すべきセメント・空間比の値は0.39である。次に第14圖から1.4の相對水量に對しては $c/(c+v) = 0.39$ に相當する a/c の値は1.4であり、又之に對するモルタルの空隙 v_m は0.40である。今、砂利の絶対容積 b の値を0.45に探るときは

$$b = 0.45, \quad v_m = 0.40, \quad v = v_m(1-b) = 0.22,$$

$$d = 1 - v = 0.78, \quad a + c = d - b = 0.78 - 0.45 = 0.33,$$

$a/c = 1.4$ であるから $c = 0.33 \div 1.4 = 0.236$ 、 $\therefore a = 0.33$ である。今、乾燥材料を用ひるものとして、密度を夫々セメント 0.487 、砂 0.62 及び砂利 0.58 とせば、コンクリート $1m^3$ に要すべき材料の容積はセメント $0.137 \div 0.487 = 0.28m^3$ 、砂 $2.193 \div 0.62 = 0.31m^3$ 及び砂利 $0.45 \div 0.58 = 0.78m^3$ となる。故に配合比は近似的に容積比で $1:1.1:2.8$ となる。

第14圖から明白なるが如く、基準水量の1.4倍の水量を使用する場合の曲線 v_m に就いて、 $a/c = 1.4$ に相當する v_m の値は0.40である。即ち、 $1m^3$ のモルタルに對して $0.40m^3$ の水分が含まれて居る。故

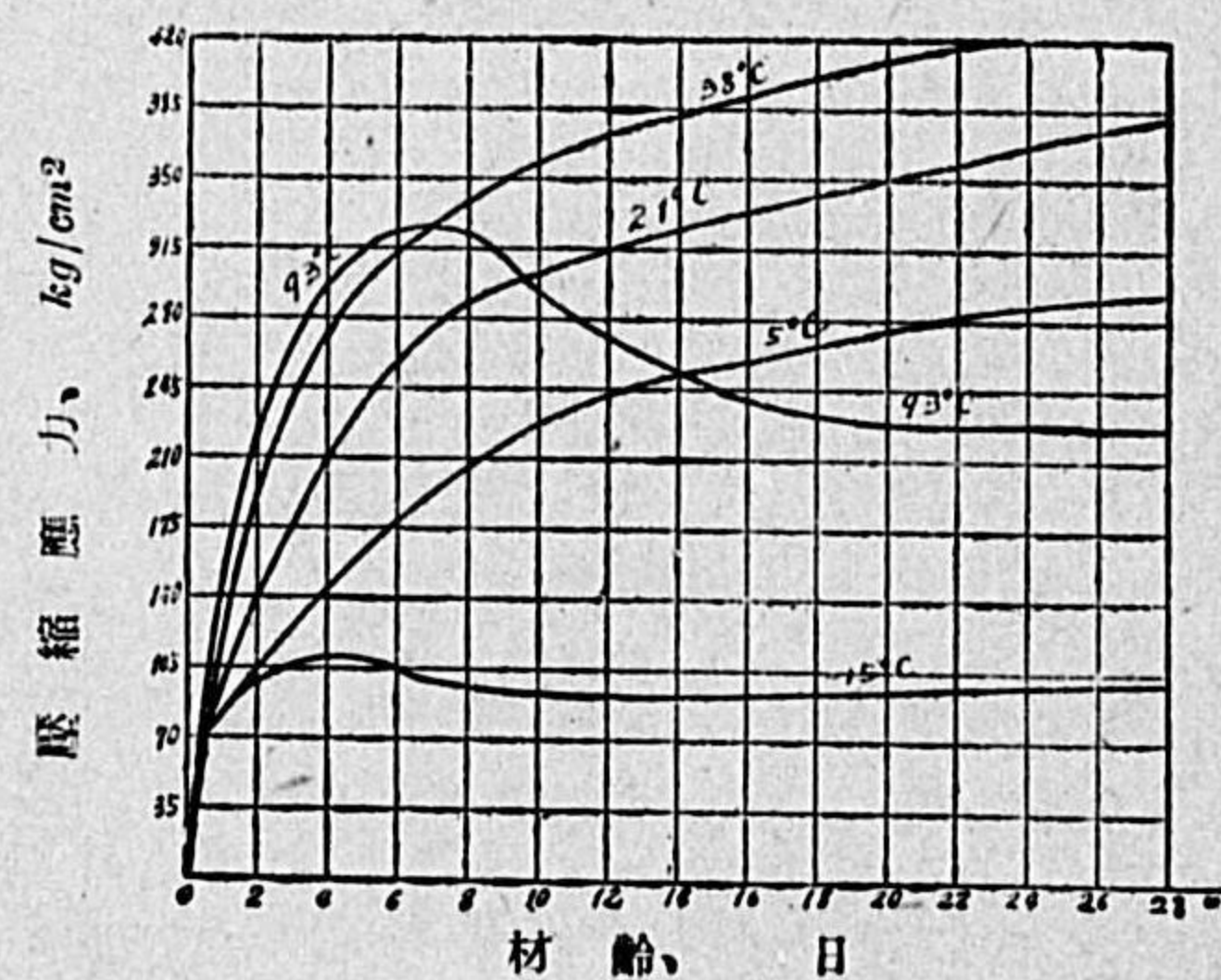
に $1 - b = 1 - 0.45 = 0.55$ だけのモルタルを含めるコンクリートに就いて使用すべき水量は、 $0.55 \times 0.40 = 0.22m^3$ である。尚、コンクリートの混捏及び填充中の吸水量を $0.03b + 0.02a$ とせば骨材の吸水量は $0.017m^3$ となる。故に全使用水量は $0.237m^3$ となる。

以上の如くにして決定せられた配合及び水量のコンクリートを作つて見て、欲するウオーカピリチーを有するや否やを試験し、若しウオーカピリチーが不足であれば、 b の値を減じて前法を繰返せばよい。

(37) 配合に関する結論 コンクリートの配合を定める諸種の方法は前述の如くであるが、従来工事に於ては、コンクリートの所要強度を明記し、各成分の配合割合は、之を工事の当事者に一任したのもあり、又水セメント比を明記して、即ちセメント、細粗骨材の割合を定める代りに、水セメント比のみを明記したるものもある。元來コンクリートの強度は主として水セメント比に依るものであつて、細粗骨材の正確なる量は、ウオーカブルである以上は、餘り重要なものではない。細粗骨材の量は施工容易なるコンクリートとなる様に定め、之と同時に、なるべく多量のコンクリートを製作する様になすべきものである。而して良い細粗骨材を用ひ、よく混和してコンクリートを作るべきことは勿論のことである。セメント糊状体の性質は、大いに考慮を要するものであつて、セメント糊状体の性質に關係を有するものは、セメントの性質、配合の貧富、材齡、養生法、骨材中に含有せられる不純物であつて、問題は、或材齡に於て、與へられたる流動性にて所要強度を出す様に各成分を、如何に配合すれば可なるか、如何なる配合割合とすれば、所要強度となるかを、見出すにあるを以て、先づ最初に作らんとするコンクリートの強度を選定する。例へば、普通の鐵筋コンクリートにては、材齡 28 日にて $140kg/cm^2$ 、鋪道コンクリートなれば、材齡 28 日にて $175 \sim 200kg/cm^2$ の如くである。次に施工し易い流動性と爲すには如何にすれば可であるかを定める。鋪道無鐵筋コンクリートは、鐵筋コンクリートよりも硬練りとする、即ち鋪道コンクリートに於ては、スランプは $2.5 \sim 5cm$ 位迄、鐵筋コンクリートの場合には、スランプは $10 \sim 15cm$ 位迄とする。

尚、注意すべきは、養生中のコンクリートの温度であつて、第 15 圖から概算すれば $1^\circ C$ に就いて材齡 28 日にて凡そ $2.5kg/cm^2$ の差異を生ずる。第 15 圖は容積比にて $1:2:3$ 配合、水セメント容積比 0.8 のものである。

次に所要強度を與へる水セメント比を定める、尚所望流動性を得る様に細粗骨材の量を定める。斯くの如くして水とセメント



第 15 圖

にて、セメント糊状体を作り、之に骨材を加へる。如何程の細粗骨材を加へたかを記録して置く。先づ細骨材の量の $1\frac{1}{4}$ 倍位の粗骨材を加へる。而して細骨材の約 2 倍位となる迄、毎回到細骨材の $\frac{1}{4}$ 倍宛加へる。斯く混合する毎に、各々の流動性、出来るコンクリートの量を記録して置く。以上の如くして適當なる流動性のものを選ぶ。次に其の定まりたる配合にて供試体を作り、所望強度のコンクリートであるか否かを試験する。若し望める強度とならぬときは、水セメント比を加減する。以上の如くにして適切なる配合割合を定めるものである。

(38) コンクリート及びモルタルを作るに要する材料の數量 コンクリート及びモルタル各 $1m^3$ を作るに要する材料の數量を決定するに、(1) 實驗に依る方法と、(2) 實驗公式に依る方法とがある。

(1) $1m^3$ のコンクリートを作るに要する材料の數量を實驗的に決定する方法 材料が與へられ、配合及び水量が與へられたる時、コンクリート $1m^3$ を作るに要する材料の量は實驗によつて定めるのが最も正確である。即ち、與へられた材料を以て、與へられたる配合及び水量のコンクリート、又はモルタルを實際に作つて見て出来上りの容積を調べて、 $1m^3$ を作るに要する材料の量を計算すればよい。之を例を以て説明する。

容積配合比 $1:2:4$ 、使用水量はセメント重量の 65% とし、コンクリート $1m^3$ を作るに要する各材料の量を求めん。

先づ使用せんとする砂及び砂利の單位容積の重量を標準試驗方法「第 4 章骨材の單位容積重量試驗に關する標準方法」に依つて測定する。之に依つて測定した砂及び砂利の $1m^3$ の重量が夫々 $1,600kg$ 及び $1,800kg$ であるとする。セメントの $1m^3$ の重量は規定によつて $1,500kg$ であるものとする。然るときは、與へられたる容積配合比 $1:2:4$ を重量配合比に換算すると $1,500:(2 \times 1,600):(4 \times 1,800)$ 、又は $1:2.13:4.8$ である。

今セメント $10kg$ 、砂 $21.3kg$ 、砂利 $48kg$ 、水 $6.5kg$ を以てコンクリートを作り、之を現場でコンクリートを填充すると可及的に同じ方法で水密な容器に填充して、出来上りコンクリートの容積を測定する、其容積が $0.0330m^3$ であるものとする。故に $1m^3$ のコンクリートを作るに要するセメントの重量は $10 \div 0.0330 = 303kg$ 、之をセメントの袋數に直すと $303 \div 50$ (一袋は $50kg$ 入り) = 6.06 袋、又之を樽に直すと $303 \div 170$ (一樽は $170kg$ 入り) = 1.78 樽。

次に $1m^3$ のコンクリートを作るに要する砂の重量は $21.3 \div 0.0330 = 645kg$ である。又砂利の重量は $48 \div 0.0330 = 1,455kg$ である。即ち $1m^3$ のコンクリートを作るに要するセメント、砂及び砂利の重量は夫々 $303kg$ 、 $645kg$ 、及び $1,455kg$ である、是等を容積で示すと夫々 $303 \div 1,500 = 0.202m^3$ 、 $645 \div 1,600 = 0.403m^3$ 、及び $1,455 \div 1,800 = 0.808m^3$ である。

(2) $1m^3$ のコンクリートを作るに要する材料を算定する實驗公式 實驗に依つてコンクリー

ト 1m³ を作るに要する材料の量を決定する事が出来ない場合には、近似的に実験公式から計算してもよい。使用材料が標準示方書の規格に合格する様なもので、出来上りコンクリートがプラスチックでウオーカブルであるときは、次の公式で充分正確なる結果が得られる。

$$B = \frac{C}{1,500} (0.48 + 0.015x) + \frac{S+G}{2,650}$$

上式中、 B = 出来上りコンクリートの容積 (m³)

C = 使用したセメントの重量 (kg)

S = 使用した細骨材の重量 (kg)

G = 使用した粗骨材の重量 (kg)

x = 使用水量と使用セメントとの重量比 (百分率)

1m³ のコンクリートを作るに要するセメントの重量は C/B であり、又之を 50kg、又は 170kg で割れば所要の袋数又は樽数が求められる。セメントの量を知れば、與へられた配合比から骨材の量を算定し得る。

(例題) 砂及び砂利の 1m³ の重量は夫々 1,600kg 及び 1,700kg なりとし、容積配合比 1:2:4、水セメント重量比を 60% とし、1m³ のコンクリートを作るに要する材料の量を求む。

配合比が 1:2:4 であるから、セメント 1m³ (C = 1,500kg) に対して要する砂及び砂利の重量は夫々、S = 1,600 × 2 = 3,200kg、及び G = 1,700 × 4 = 6,800kg である。上式から

$$B = \frac{1,500}{1,500} (0.48 + 0.015 \times 60) + \frac{3,200 + 6,800}{2,650}$$

$$= 1.38 + 3.77 = 5.15m^3 = \text{出来上りコンクリートの容積 (m}^3\text{)}$$

1m³ のコンクリートを作るに要するセメントの重量は C/B = 1,500/5.15 = 291kg、即ち 291 ÷ 50 = 5.8 袋又は 291 ÷ 170 = 1.712 樽である。

次に 1m³ のコンクリートを作るに要する砂及び砂利の容積は夫々次の通り。

$$\text{砂} \dots \frac{291}{1,500} \times 2 = 0.388m^3$$

$$\text{砂利} \dots \frac{291}{1,500} \times 4 = 0.776m^3$$

實際に於ては上記の値に若干の餘裕を取る、即ち普通の場合には、2% をセメントに、10% を砂に、5% を砂利に取る、従つて上例に於て此餘裕を取れば 1m³ のコンクリートに対して 291 × 1.02 = 297kg のセメント、0.388 × 1.10 = 0.427m³ の砂、0.776 × 1.05 = 0.815m³ の砂利を要することとなる。

尚工事費の豫算、其他の場合に於て、一層多くの餘裕を見込める程の所要材料の量は第12表から求めることが出来る。

第12表 コンクリート 1m³ を作るに要する材料の量、セメント 1m³ は 1,500kg、セメント一袋は 50kg 入り、一樽は 170kg 入りとす。

容積配合比	セメント			砂 (m ³)	砂利 (m ³)
	kg	袋	樽		
1:1:2	603	12.00	3.55	0.390	0.780
1:1.5:3	439	8.78	2.58	0.425	0.850
1:2:4	344	6.88	2.02	0.445	0.890
1:2.5:5	284	5.68	1.67	0.460	0.915
1:3:5	268	5.36	1.58	0.520	0.865
1:3:6	241	4.82	1.42	0.465	0.935
1:4:8	186	3.72	1.10	0.480	0.960

尚 1m³ のコンクリートを作るに要する材料の量を算定するに、次の公式がある。セメント 1m³ の重量を 1,500kg とする。

$$\text{セメント} \dots C = \frac{1}{0.75(1+s+g)} m^3 \text{ 又は } \frac{1,500}{0.75(1+s+g)} kg$$

$$\text{砂} \dots S = \frac{s}{0.75(1+s+g)} m^3$$

$$\text{砂利} \dots G = \frac{g}{0.75(1+s+g)} m^3$$

上式中 1:s:g は標準計量法によるセメント:砂:砂利の容積配合比である。

(例題) 容積配合比 1:2:4 のコンクリート 1m³ を作るに必要な材料の量を求む。

上式を用ひて

$$C = \frac{1}{0.75(1+2+4)} = 0.190m^3, \text{ 又は } 0.190 \times 1,500 = 285kg$$

$$S = 0.38m^3, \quad G = 0.76m^3$$

此公式に依つて求めたる値は前例の結果と大差無いことを知る。

實際に於ては上式にて算定したる値に若干餘裕を見込むを安全なりとする、即ちセメントには 8%、砂には 10%、砂利には 5% 位の餘裕を取るものとする。

米國のフラー (Fuller) 氏が與へた公式を單位を換算して示すと次の通り。但しセメントの單位重量を 1,500kg/m³ とする。配合を 1:m:n で表はし、コンクリート 1m³ 當り所要材料を公式で示すと次の通り。

$$\text{セメント} \dots C = \frac{2,340}{1+m+n} kg$$

$$\text{砂} \dots S = \frac{1.55m}{1+m+n} m^3$$

$$\text{砂利} \dots \dots G = \frac{1.55n}{1+m+n} m^3$$

(例題) 1:2:4 コンクリート 1m³ に要する材料の量を求め。m = 2, n = 4 ∴ 1 + m + n = 7

$$\text{セメント} \dots \dots \frac{1}{7} \times 2,340 = 334kg$$

$$\text{砂} \dots \dots \frac{1}{7} \times 1.55 \times 2 = 0.443m^3$$

$$\text{砂利} \dots \dots \frac{1}{7} \times 1.55 \times 4 = 0.886m^3$$

モルタル 1m³ を作るに要する材料の量 モルタルの 1m³ を作るに要するセメント及び砂の量は砂の性質、使用水量等によつて相當に差異があるから、之を實驗公式によつて求めることは無理であるが、普通工事に使用せられる程度のプラスチックのモルタルであれば其 1m³ に要する材料の量は大体次式から求められる。

$$\text{セメント} \dots \dots C = \frac{1}{0.8(1+s)} m^3, \text{又は} \frac{1,500}{0.8(1+s)} kg$$

$$\text{砂} \dots \dots S = \frac{s}{0.8(1+s)} m^3$$

1:s はモルタルの容積配合比である。容積は標準計量法に依る。此公式は 1:1 配合から貧質配分のモルタルにまで適用し得るものである。

第18表はプラスチックのモルタルに対する所要材料であつて、10% 位の餘裕を見込んだものである。表中の砂は標準示方書の規格に合格するものを標準とし、計量は散計量に依るものである。故に第18表の値は使用水量、砂の性質及び現場の状況等に依つて相當の修正をせねばならぬ。

第18表 1m³ のプラスチック・モルタルを作るに要する材料の量

容積配合比	セメント			砂 m ³	摘 要
	kg	袋	樽		
1:1	1,020	20.40	6.00	0.68	硬練に対しては 15% 増し、 軟練に対しては 15% 減ずる。
1:1.5	810	16.20	4.76	0.81	
1:2	675	13.50	3.97	0.90	硬練に対しては 10% 増し、 軟練に対しては 10% 減ずる。 硬練に対しては 7% 増し、 軟練に対しては 7% 減ずる。
1:2.5	576	11.52	3.39	0.96	
1:3	505	10.10	2.97	1.01	硬練に対しては 5% 増し、 軟練に対しては 5% 減ずる。
1:3.5	450	9.00	2.65	1.05	
1:4	405	8.10	2.33	1.08	
1:5	336	6.72	1.93	1.12	

第五章 混 合

(39) 概論 コンクリート材料は之を十分に混合して、骨材の表面が十分にセメント糊で包まれ、且、各材料混合の状態が何處も齊等で、同様の色合を呈する様にせねばならぬ。機械練の場合には必ず一定時間ミキサー (Mixer) を運轉すること、手練の場合には一定の回数繰り返すことが必要である。現今、鐵筋コンクリート工事に於けるコンクリートの混合には、機械練を用ひることが原則となつて居る。唯小工事が、又は特別の場合には手練を用ひることがある。

(40) 材料の計量 コンクリートの配合比は實驗室の研究から、又は經驗に依つて定められ、此配合比は標準試驗方法に依る單位重量を標準として容積比を以て表はされる。現場に於て材料の計量を散の状態で行ふときは、豫め實驗に依つて現場配合比に換算し、之に従つて各材料を計量して、現場配合比が設計と異ならぬ様にする。

(1) セメントの計量 コンクリートの配合は普通は容積比で與へられる場合が多いから、此場合には容積比を重量比に換算して重量に依つて計量する。標準示方書はセメント 1m³ を以て 1,500kg として居り、又同示方書には「セメントは重量に依りて計量すべし」と規定してある。

袋入りセメントは其正味重量は 50kg であるから、之を容積に直すと 50 ÷ 1,500 = 0.0333m³ である。之を單位として骨材を計量するときは、セメントを秤で計る手数が省ける。コンクリートの一回の練上げ高は手練に依るときは凡そ 1/6 m³ であるから、假りに 1:2:4 コンクリートの場合には 1 袋を單位としても少しも差支へは無い。機械練のときも亦同様に袋を單位とすれば便利である。

(2) 砂の計量 正確なる計量には砂もセメントの如く重量に依つて計量すべきであるが、重量に依つて砂を計量する事は困難なる場合も多いから、標準示方書には砂は容積に依つて計量しても差支へない事にしてある。

砂は水分を含んで膨らんで居る。現場で使用せられる砂は、種々の状況に依つて凡そ其重量の 3%~10% の水分を含んで居る。實驗室で設計されたコンクリートの配合は乾燥した砂を突込んで計量せる場合を標準として定めたものであるから、現場で使用する最大膨みに近い状態の砂を計量する場合には必ず膨みに對する修正を爲さねばならぬ。又砂の含水量に對して使用水量の修正をも爲さねばならぬ。容積に依つて水分を含む砂を正確に計量するためには、膨みに對して修正を加へる方法と、インテンデーション法とがある。

水分による砂の膨みに對する修正 乾燥した砂でも、現場で之をショベルで容器に投入すると凡そ 7.5% 位容積を増すものである。故にセメントと砂との配合比が 1:2 であるとせば、現場

配合比は凡そ 1:2.15 となる。水分を含める砂を容積で計るときは、計り方に依る不同が、乾燥砂のときよりも一層大であるから計り方を一定にすることが大切である。又砂の含む水分と其の計り方に依る其砂の膨みとの関係を實驗に依つて定めておかなければならぬ。砂が含む水分を計るためには凡そ 5kg~10kg 位の砂の試料を採つて其重量を秤つて、次に之を一定重量となるまで乾燥して重量を秤り、前重量と後重量との差が其試料の含む水分である。其水分は乾燥したときの砂の重量の百分率で示される。今 Vm^3 を砂を計量する運搬器の容積とし、砂の含水量を 6.8% とし、或一定投入方法で砂を填充するものとする。乾燥砂を突込み法で計量する場合に對して 20% の膨みを生ずるものとすれば、其砂の實際容積は $V \div 1.2 = 0.833Vm^3$ である。此砂が乾燥したとき、突込み法による時の Vm^3 の容積を計るには、現場の此方法に依れば $1.2Vm^3$ の砂を計らねばならぬ。

イナundation (Inundation) 法 砂が水で飽和された時の容積は、砂を乾燥して突込み法に依つて計つた時の容積と殆んど相等しいと云ふ性質を利用するものが此方法である。砂を計る容器は鐵製のバケツ形のものを用ひ、水を入れた箱に砂を入れて飽和させ、之を水と共に擲ひ上げて砂の面が容器の面より高くなる位に入れ、餘分の砂を搔取る様にする。大工事にはイナundation と稱する装置を使用する場合もある。

(3) **粗骨材の計量** 砂利及び碎石の計量は、多くの場合、容積に依るのは、含水量に依る膨みが殆んど無く、又計量の方法に依る誤差も僅少であるからである。現場で粗骨材をショベルで容器に入れて計量すると、突込み法に依る標準計量法の場合に較べて、普通 2%~5% 位容積が増加するから、計量方法を一定して其容積の増加率を實驗で定めて、之に應ずる様に現場配合比を定めなければならぬ。砂利は大小粒が分離して居ることが往々あるから、粒度が可及的一様となるために、砂利を一旦篩分け、更に是等を別々に所要量だけ計量して、調合し、使用する場合も多い。

(4) **水の計量** 使用水量は使用セメント重量の百分率で示され、現場で正確に水量を計るには水セメント重量比から定まる水量に骨材の吸水量だけ加へ、骨材が含む水量を引かねばならぬ。吸水量とは石等の材質として、内部に吸収して含まるべき水分の量を云ひ、含水量とは砂等に含まれて粒と粒との間にたまり、砂の容量の堆積の膨み等を生ぜしめる水分の量を云ふ。

砂、又は砂利の吸水量を試驗するには骨材を日光直射の平面上に撒布して乾燥せしめ、時々鏝を以て混交へ、骨材表面に附着して居る水分が蒸發消失して骨材が自由に移動する状態に達した時を以て含水量のみを失つた状態として之を秤量する。此重量の減少を W_1 とする。次に再び此骨材を平面上に撒布して、内部まで完全に乾燥せしめて、一定重量となる時に、再び秤量し、此間に失はれた水量即ち吸水量を W_2 とし、最後の重量を W とする。

$$\text{骨材含水量} = W_1/W, \quad \text{骨材吸水量} = W_2/W$$

砂の全含水量は 3%~10% 位である。砂の吸水量は 0.52%~1.94% である。粗骨材の全含水量即ち吸水量と含水量との和は 3.5% 位が最大限度である。

上述の如くにして現場に於ける使用水量を決定するが、此使用水量は目盛の附いた水槽に依るか、又は重量に依るべきである。現今、優秀なミキサーには皆水槽が附いて居つて、一定量の水を計量し得る装置になつて居る。

(41) **混合の方法** コンクリートが最大強度及び最大密度を得るためには、之を十分に混合せねばならぬ。即ちコンクリート材料を十分に混合して、骨材の表面が普くセメント糊状体で包まれ、且、各材料混合の状態が何處も均様で、同様色合を呈する様にせねばならぬ。器械練りの場合には必ず一定時間ミキサーを運轉し、手練りの場合には一定の回数繰り返すことが必要である。**練返し** 幾分凝結を始めたコンクリートに多少の水を加へ、又は水を加へることなしに再び混合作業を行ふことをコンクリートの練返しと稱する。水を加へずに練返しを行へばコンクリートの壓縮強度は増すが、鐵筋とコンクリートとの附着力は減少し、且、現場に於て、十分に練返しを實行することは困難であるから、鐵筋コンクリートの場合は練返しコンクリートの使用を禁じなければならぬ。土木學會の標準示方書には「一部凝結したるコンクリート、又はモルタルは、之を練返すとも使用する事を得ず」と規定してある。

コンクリートを混合してから使用し終るまでに許し得べき時間は、普通に 1 時間を標準とする時間にも工費にも無關係に、唯、最良のコンクリートを作ると云ふ點からは、手練りは寧ろ機械練りに優ると云ひ得る。機械練りの方は混合が完全であつて、作業が迅速であり、多量のコンクリートを連続的に作る必要のある場合には、機械練りの方が優る。鐵筋コンクリート工事に於ては機械練りを用ひることが原則となつて居る。但し一時に多量のモルタルを必要とする場合は少ないから、モルタルの混合には多くの場合に手練りを用ひる。

(42) **手練り** 土木學會の標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は次の通り。

「第 29 條 手練り

- (1) 責任技術者の承認を得たる時は、手練りに依る事を得。手練りは水密性の練臺上に於て之を行ふべし
- (2) 手練りの順序は先づモルタルを造り、次に粗骨材を加へ充分混合するものとす。其の練上りコンクリートは前條機械練りに準ずべし」

練臺は水の漏らない、しかも水を吸収せない板で作る必要がある。普通は厚さ 1mm~2mm、幅 1.2m、長さ 2.0m 位の鋼板を使用すると便利である。手練り 1 回のコンクリートの練り高は凡そ $1/6 m^3$ 位であるから、セメント 1 袋を單位として材料を計量する時には、1:2:4 の配合のコンクリートであれば上記の寸法の練臺で充分であつて、1:3:6 の配合の時には幅 1.20m、長さ

2.40m 位が必要である。

(1) **鉄筋コンクリート、又は入念なコンクリートの場合** 正しく計量した砂を練臺上に擴げ、其上に所要量のセメントを撒き擴げる。練方は 2 人～4 人で向ひ合ひ、一端から交互にシヨベルを入れて之を切返し、少なくとも 3 回空練（からねり）を行ふ。次に之を中央部が凹状になる様に擴げて所要水量の一部分を、孔の大きい如露を用ひて、注ぐ。斯くして再び 3 回以上、完全に切返しを行ひて、均一なるモルタルを作る。之を中央部が凹状になる様に擴げて所要全量の粗骨材を撒き擴げる。残りの水を注ぎつゝ全体が一樣なる混合物となるまで切返しを行ふ。

(2) **普通のコンクリートの場合** セメントと砂とを 3～4 回空練を行ひ、中央部が凹状になる様に擴げて粗骨材を全部撒き擴げ、水を注ぎ、充分切返しを行つて齊等な混合物となるまで少なくとも 5 回以上、混合せを行ふ。

手練用の人夫は、セメント及び水の計量に 1 人、砂及び砂利の計量運搬に 2 人～3 人、練方に 2 人～4 人、合計 5 人～8 人を必要とする。1 日に 10 時間労働として 10 m³～12m³ を練り上げる。

(43) **機械練り** 土木學會の標準示方書（昭和 14 年 9 月改正案）は次の通り。

「第 28 條 機械練り

- (1) コンクリートの混合にはバッチミキサーを使用すべし。
- (2) 1 バッチの分量は責任技術者の指示に従ひ之を決定すべし。
- (3) コンクリート材料は之を十分混合し、練上りコンクリートは色合一様にして粘性に富み、齟齬質なるを要す。
- (4) 混合時間はミキサー内に材料を全部供給したる後、毎秒約 1m の回轉外周速度に於て 1 分間以上とすべし。
- (5) ミキサー内のコンクリートを全部排出したる後にあらざれば、新たに材料をミキサー内に供給すべからず。ミキサーは之が作業の前後に於て十分掃除すべし。」

ミキサーの種類 作用に依つて分類すれば次の通り。

- (1) **間歇式ミキサー**（バッチミキサー、Batch mixer）
- (2) **連続式ミキサー**（Continuous mixer）

バッチミキサーは一回の混合量だけの材料を投入し、一定時間運轉して、混合し、コンクリートを取り出し、全部出し終つてから、次の一練の材料を投入する方式のものである。標準示方書によると、此式の機械を使用することになつて居る。連続式のもは運轉して居るミキサーの一方から材料を連続的に供給し、他の口から練り上つたコンクリートを絶えず吐出さすものである。現今、之は用ひないのが一般的である。

型式に依つて分類すると次の通り。

- (1) **移動式ミキサー**
- (2) **据付式ミキサー**

大抵のミキサーは移動式である。

形状に依つて分類すると次の通り。

- (1) **立方体型**（Cube type）
- (2) **圓筒型**（Drum type）
- (3) **圓錐型**（Conical type）
- (4) **德利型**（Bowl type）

圓筒型は混合胴を傾けず、取出樋に依つて練り上げたコンクリートを吐出させるものであつて上記の他の三種は混合胴を手力、又は動力で一方に傾けて吐出させるものである。

コンクリートを取出す方式に依つて分類すると次の通り。

- (1) **不傾型**（Non-tilting type）
- (2) **可傾型**（Tilting type）

動力に依つて分類すると次の通り。

- (1) **電動機働ミキサー**
- (2) **内燃機働ミキサー**
- (3) **蒸汽機働ミキサー**

電動機は最も便利で、確實である。なるべく之を使用するを可とする。内燃機は大抵ガソリン發動機であるが、石油發動機も使用せられる。現場でミキサーを屢々移動する場合に便利である。山間の土木工事などでは、故障の少ない蒸汽機働は利益である場合が多い。運轉が大いに確實である。尙卷揚機及び排水唧筒等の動力として併用することも出来る。

ミキサーの能力 間歇式ミキサーの能力を表はすには、普通一回の最大練上高を以てする。現在の商品は米方式で表はしたものは少なく、何れも切（一切は一立方呎）を以て表はしてゐる。一回の練上高を一バッチと稱する。普通に用ひられるミキサーの能力は 4～28 切位で、最も多く用ひられるのは 8～14 切である。稀には 50～60 切の如き大容量のものが用ひられることもある。ミキサーの一時間の混合回数は、優良なるコンクリートを作るためには、20～30 回位に制限される場合が多い。

ミキサーは製造者の云ふ所謂公稱能力以上の容積を投入してはならぬ。公稱能力が不明である場合には、大体其ミキサーの内容積の 1/4 を以て其ミキサーの能力と假定してよい。

間歇式ミキサー中でも德利型ミキサーは、小型であつて、1～2 切のものが多く、中には人力

で運轉するものもある。

間歇式ミキサーに使つてゐる原動機の馬力は大体次の如くである。

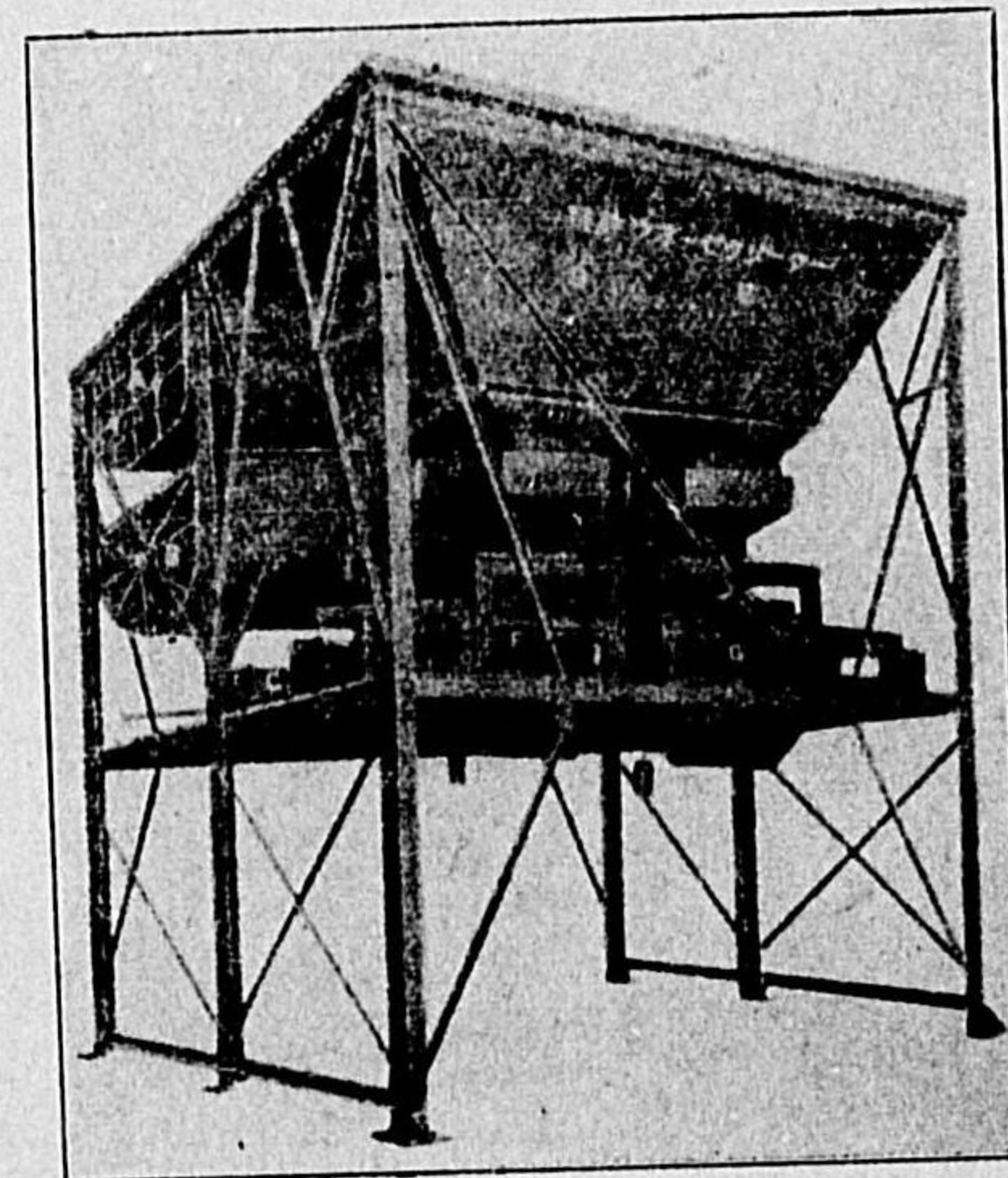
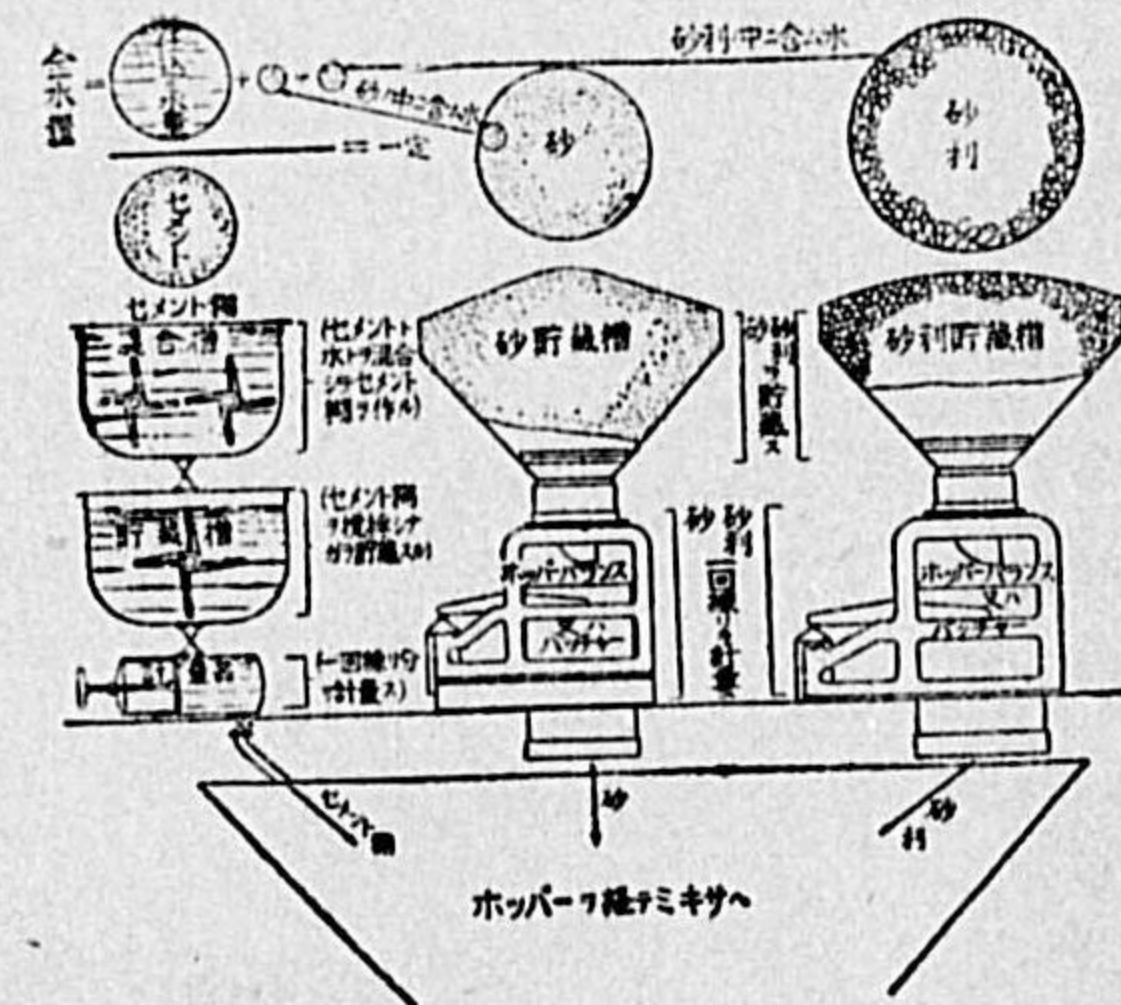
容量 (切)	3~4	5~6	7	10	14	21
同 (m ³)	0.08~0.11	0.14~0.17	0.20	0.28	0.40	0.60
使用馬力	3	4~5	5~6	7.5~9	10	15

ミキサーの選擇 鐵筋コンクリート及び其他の重要なコンクリート工事には間歇式ミキサー(バッチミキサー)を使用すべきである。一般に間歇式ミキサーであつて、しかも、廻轉胴の中に羽根の付いてゐる圓筒型を使用すればよい。道路工事の場合で硬練を使用する時は、立方体型が便利である。

ミキサーの容量は今施行せんとする工事に使用し、後に他工事に屢々轉用せんとする場合には小工事で7~8切位がよく、稍々まとまつた工事では14~16切位が適當である。大工事の時は工期を考へ一日の平均練上量を豫定してミキサーの容量を決定すべきである。

練方 吉田徳次郎博士の實驗に依ると、ミキサーに材料を投入する順序は、水、セメント、砂、砂利の順序にするのが適當である。従來行はれたセメントと骨材との空練りは不心要であつて、水は少なくとも、他の材料と同時に之をミキサー中に注入するのが適當である。

セメントと水とを先づ混合し、別に骨材を重量で計量し、是等をミキサーに入れる様にしたコンクリート材料の配合調整機は、**ウォーセクリーター**と云ふ名で、日本建機株式会社が製造販賣して居り、非常なる好成績を示して居る。



第16圖 ウォーセクリーター

ウォーセクリーターはセメントと水とを豫め混合しておき、其セメント糊状体を一回分宛計量して、之と別に計量した砂及び砂利と共にミキサーに投入するものである。而して此セメント糊状体を作るべき水量は所定の水セメント比に基づく水量から骨材の含水量を控除し、骨材の吸水量だけ増加したものであつて、極めて合理的に強度の統制が出来る。又本機には骨材を重量により計量し得る如くしたのもあり、一層合理的である。勿論本機は水セメント比55%~60%以下の場合にはセメント液が粘稠に過ぎて使用困難である。

ミキサーの運轉速度 ミキサーは、凡ての材料を投入したときに、其外周速度が毎秒1mである様に調製せられて居る必要がある。之は外周速度が、あまり大であると、材料が遠心力の爲に胴と一緒に回轉する傾向を生じ、混合作業を妨げるからである。又あまりに廻轉速度が小であると仕事の能率が悪くなるから、毎秒1m位が最も適當であるとせられて居る。

混合時間 凡ての材料がミキサー中に入れられてから最小1分時間、普通1.5~2分時間、混合する必要がある。

ミキサーの運轉 ミキサーの運轉に関しては、次の如き注意を要する。

- (1) ミキサーを運轉させるには、先づ原動機を空運轉せしめる、即ち無負荷のまゝで起動する。
- (2) 原動機が運轉を始めた後、少なくとも1分時間の後に、廻轉胴を空のまゝで數分時間廻轉する。
- (3) 注水槽の瓣を調整して、胴内を水にて洗ふ。尙材料投入装置、コンクリートの排出口の様子を調べる。
- (4) 所定の材料を投入し、全負荷で廻轉する。此時廻轉胴の速度を調べ適當に調整する。
- (5) 凡て良好なる状態なることを確認してから混合を始める。
- (6) 所定の給油器の油面によく注意し、又潤滑材グリースの補給に注意する。
- (7) 水冷式の内燃機關であれば、冷却用水に注意し、電動機であれば計器(アムメーター、ボルトメーター)の指度に注意する。油入起動閉閉器を有するときは、時々其油の面を注意し、指定以外の大なる容量のヒューズを使用せぬ。
- (8) 廻轉を止めるときは必ず内容物を全部排出する。
- (9) 廻轉を止めるときはミキサーの内部は必ずきれいに水洗して置く。其れには適量の水と少量の砂利とを投入し廻轉を行へばよい。外部のコンクリートをきれいに落し去る。
- (10) 混合を止めるときは、原動機に蓋のあるものは必ずかける。風雨の懼のある場合には特に電動機に充分の覆をする。(内燃機關用小型着火發電機も注意する。)

混合所 大工事の現場に於ては、工事の種類、コンクリートの混合量、地形等に依つて、材料の運搬、其計量、混合及び練上コンクリートの運搬の作業を爲すため適當なる設備を爲すことを

要する。此計畫は現場主任が諸工事の實例を参考し、又自分の經驗に基づいて爲すものである。

近來米國の各都市では中央混合所でコンクリートを造つて之を販賣して居る。即ち都市の適所に完全なる混合設備を設け、需要者の註文に應じて、所要の壓縮強度及びウオーカビリチーのコンクリートを自動車で配給する。我國では嘗て復興局が藏前に中央混合所を設け、東京市に於ける道路工事用コンクリートを製作して好成績を挙げたことがある。自動車に依るコンクリートの最大運搬距離は凡そ 10km である。

第六章 コンクリート打ち及び養生

(44) 準備 土木學會の標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)はコンクリート打ちの準備に就いて次の如くに規定して居る。

「第 31 條 準備

- (1) コンクリート打ちを始むるに先立ち、輸送装置の内面に附着せる硬化コンクリート又は雜物は之を除去すべし。
- (2) コンクリート打ちに先立ち、打つべき場所は掃除をなし、凡ての雜物を除去し、鐵筋を正しき位置に固定せしめ、氷結の虞れある場所を除き暖板は十分之を濕潤すべし。
鐵筋の配置につきてはコンクリート打ちに先立ち特に責任技術者の承認を承くべし。
- (3) コンクリートを打つには、先づ、使用コンクリート中に於けると同等以上の富配合のモルタルを少くとも一バツチ打つべし。
- (4) 根柢内の水はコンクリート打ちに先立ち、之を排除すべし。又根柢内に流入する水が新規に打ちたるコンクリートを洗はざる様、適當なる方法に依り之を排除すべし。」

(45) コンクリートの運搬 コンクリートの運搬に關して注意すべき事項は次の通り。

(1) 混合所からコンクリートを打つ場所までコンクリートを運搬するには、運搬中にコンクリートの成分が分離、又は損失せぬ様にする。

(2) 可及的速に、且、安全にコンクリートを打つ場所へ運搬する。

コンクリート運搬の方法は、打たれるべきコンクリートの量、コンクリートの流動性、運搬距離等に依つて異なる。

(a) 小規模工事では、セメント樽を半分に切つたものにコンクリートを入れて人夫に擔がせて運搬する。

(b) 手押車 之は運搬距離が短いときに用ひられるもので、一輪車と二輪車とがあり、前者の容積は $0.05m^3 \sim 0.06m^3$ (凡そ 2 切) で、後者の容積は $0.15m^3 \sim 0.2m^3$ (凡そ 6 切) である。一輪車は足場の踏板の幅が 30cm 位ですみ、二輪車は一輪車よりも長距離に使用せられ、踏板の幅は 80cm \sim 100cm が必要である。

(c) 輕便鐵道 之は多量のコンクリートを長距離運搬するに用ひられ、軌幅は 50cm \sim 60cm である。運搬車としてはナベトロ、又は底開きの車を用ひる。主として堰堤工事、橋梁工事等に用ひられる。

(d) 架空索道 長い架橋工事、又は堰堤工事には架空索道を採用することがある。

(e) 自動車 中央混合所を設ける時には、コンクリートを自動車で運搬することが多い。自動

車に依る運搬距離は最大 10km 位である。

(f) **起重機** 工事が小半径の範囲内にあるときには、起重機を用ひることが便利である場合がある。

(g) **巻上塔** 材料置場の關係上、ミキサーを高所に据えることが出来ない場合には、巻上塔を使用してコンクリートを高所に運ぶ。一旦巻上げられたコンクリートは受臺に受け、之を手押車に分けて積込み自由な適當の場所に運搬して、填充を行ふ甚だ便利なものである。

(h) **樋卸し** 之は巻上塔と移動し得る樋とを備へ、樋でコンクリートを打つ箇所までコンクリートを流下するに充分な高さまで、コンクリートを巻上げ、之を樋に移して、巻上塔から広い面積にコンクリートを配給する方法である。之は建築現場にてよく見られるものである。樋卸しコンクリートは一般に多量の水を使用し勝ちなものであるから、材料の分離や強度の弱いコンクリートを生じ易いから、よく注意せねばならぬ。外國の示方書には樋卸しを禁じて居るものもある土木學會の標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は次の通り。

「第 33 條 樋卸し

- (1) 樋卸しに依りコンクリートを流下せしむる場合には、コンクリート材料が分離することなく、連続して樋内を滑る様設備をなすべし。
- (2) 樋の吐口には受台を設け、一旦コンクリートを之に受けた後、成可く練直して打つべし。
- (3) 断續的に作業する場合には樋の吐口に漏斗を設け且つコンクリートを之に溜めて後打つべし。
- (4) 樋は其の使用の前後十分水にて洗滌すべし。洗滌に用ひたる水は型枠外に排出すべし。」

(i) **壓縮空氣に依る運搬** 之は場所の狭い所でコンクリート工を行ふ時に用ひるもので、鐵管中を通して壓縮空氣に依つてコンクリートを運搬するもので、大部分專賣特許品である。

(j) **ベルト・コンベヤー** ベルト・コンベヤー一臺の長さは凡そ 6m~9m で、二個の車輪上に乗せたものが多い。動力は電動機、ガソリン機關等である。之は運搬中にコンクリート材料の分離を起すこと少なく、コンクリートを打つ場所まで容易にコンクリートを運搬し得るから甚だ良い方法であるが、設備費が高くて、現今では米國で盛んに使用せられて居るが、本邦にては使用せられて居らない。

(k) **ポンプクリート (Pumpkret)** 之は一種の唧筒であつて、ミキサーから受けたコンクリートをポンプクリートのピストンに依つて壓送するものである。一臺のポンプクリートが運搬し得る距離は、水平のみで凡そ 180m、鉛直に 45m と更に水平に 50m 位である。運搬能力は 1 時間に就いて (2m³~3m³)~(20m³~30m³) である。ポンプクリートは理想的の運搬法であつて、獨逸に於て發明されたもので、日本ではインターナショナル・セメント・ガン株式會社が之を販賣して居る。

(46) **コンクリート打ち** 鐵筋コンクリートの場合に於ては、凝結を始めたコンクリートを使用してはならぬ。コンクリートは混合してから、溫暖で乾燥して居る時期で 1 時間、低温で濕氣の多い時期で 2 時間位迄は、大体凝結せない。混合してから相等時間の経過したコンクリートは、材料の分離を起して居るから、使用前に水を加へずに再び混合することを要する。鐵筋コンクリートでは練返しコンクリートを使用してはならない。樋卸しコンクリートを直接に型枠内に打込むことは之を許さないのが安全である。

コンクリートは其表面が一區劃内に於て略水平面となる様に填充して材料分離の傾向を避ける但し拱の場合に於てはコンクリートの側面が成るべく拱の軸に直角となる様に施工する。断面小なる部材で型枠の高さが大であるときは、型枠の中途に投入口を作るか、又は堅樋を設けて、投入したコンクリートが上部で型枠、又は鐵筋に附着して硬化することを防ぐ必要がある。

断面が大であつても、餘り高い所からコンクリートを投下すると、粗骨材とモルタルとが分離するから、投下の高さの限度を 1.5m 位とし、決して 2m を超過させない。高所からコンクリートを打つには樋を用ひ、型枠内に人夫が入りて再びコンクリートを混合して填充するのがよい。

一般には柱、壁等の上に造る梁、又は版は柱、又は壁等とは別々の時に施工せられるが、若し是等が同一作業で行はれる時は、柱、又は壁のコンクリートを打つてから、2~4 時間を経過した後に、版、又は梁のコンクリートを打つ。

土木學會の標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は次の如くに規定して居る。

「第 32 條 取扱ひ

- (1) コンクリートは材料の分離又は損失を防ぎ得る方法により、速かに運搬し直ちに打つべし。特別なる事情に依り直ちに打ち得ざる場合に於ても、混合してより打ち終る迄の時間は、溫暖にして乾燥せる時に於ては 1 時間、低温にして濕潤なる時に於ても 2 時間を超過すべからず。この時間中コンクリートは日光、風雨等に對し之を保護し、相當時間経過せるものは使用前水を加へずして之を練直すべし。如何なる場合と雖も、凝結を始めたコンクリートは之を使用すべからず。
- (2) 運搬中又はコンクリート打ち中に材料の分離を認めたる時は、練直して齊等のコンクリートとなすべし。
- (3) コンクリートは型枠内に於て再取扱ひを避くる様之を打つべし。
- (4) コンクリートは其の表面が一區劃内に於て略々水平面となる様、之を打つべし。但しアーチの如き場合は此の限りにあらず。
- (5) 型枠の高さ大なる場合には、型枠に投入口を設くるか、又は適當の方法に依りコンクリートを打ち型枠又は鐵筋コンクリートの附着硬化するを防ぐべし。
- (6) 柱の場合には漏斗を附したる管を用ふるか又は其の他適當の方法に依り、柱の中央位置にのみコンクリートを打ち其の打上り速度は 30 分につき 1m を標準とすべし。

(7) コンクリートは責任技術者の承認せる作業区画を完了する迄、連続して打つべし。」

硬練コンクリートを打つ時は、特に突固めが大切であつて、一層の厚さを 15cm 以下に打ち各層表面に水がにじみ出る迄、十分に突固める。層はなるべく壓力を受ける方向に直角になる様にして次第に打ち上げる。

軟練コンクリートを打つ時は型枠内に於て層が水平になる様に投入する。そうでないと甚だしく材料の分離を來たす。薄い壁、又は接近し難い型枠の部分等で、突固めが出来ない箇所では、コンクリート打ち後直ちに外から型枠を軽く打つと有効である場合が多い。此時は型枠を變形せしめない様、又凝結を始めたコンクリートを損害せぬ様にする。

(47) 湧水箇所に於けるコンクリート打ち 根掘を行つて基礎工事を爲さんとする場合に屢々湧水に遭遇する。打ちたてのコンクリートが水に浸ると、材料が直ちに分離してセメントが洗ひ流される。

湧水のある場所にコンクリート打ちを行ふには、コンクリートが凝結するまで少なくとも基礎を材ち終つてから 3~4 時間は十分に水替を行はねばならぬ。鉄筋コンクリートの水中施工は許されぬから、必ず水替して施工する。一般に鉄筋コンクリートの時は厚さ 10cm 位の均しコンクリート(普通 1:3:6)を先に施工して、之が硬化してから排水を充分にし鉄筋を組立て仕事を進めるをよしとする。

構造物の大きさにもよるが、土留用矢板を使用するときは、凡そ、構造物の周りに 60cm~90cm あけておけば、切取、又は締切と型枠との間に溝を掘つて、水を集めるに充分である。又設計基礎面の外方一端に内法 75cm 角位の集水場所を作り、之に 10cm 以上の動力唧筒の吸水管を挿入して排水することも便利なる方法である。

泥土とコンクリートとが接觸せない様に爲さねばならぬ。其のためには、一般に割栗を用ひる

(48) レイタンス (Laitance) 及びコンクリートの打継ぎ モルタル、又はコンクリートを施工した際、水分の上昇に伴ひ、其表面に浮び出て沈澱せる微細なる物質より成る表皮をレイタンスと言ふ。レイタンスはコンクリート材料の分離に依つて生ずるもので、セメント、砂の微粒及び泥等の混合物である。其化學成分は、普通、セメントと凡そ同じである。レイタンスが生ずれば其れだけのセメントの損失となるから、コンクリートの強度が減少する。レイタンスは殆んど強度を有して居らないもので水をよく透過せしめるから、次のコンクリートを打つまでに充分きれいに之を除去せねばならぬ。レイタンスが出来るのを、可及的少なくするには、事情の許す限り使用水量を減少すること、又清浄なる骨材及び水を用ひる様に心がけねばならぬ。

コンクリートの打継ぎに關して、土木學會標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)の規定は次の通り。

「第 35 條 打継ぎ

硬化せるコンクリートにコンクリートを打継ぐ場合には、其の打込みに先立ち型枠を締直し、硬化せるコンクリートの表面を責任技術者の指示に従ひて粗にし、レイタンス及び雜物を完全に掃除し、十分に潤すべし。次にコンクリート面にセメント糊又は富配合のモルタルを塗り付け、之が凝結し始めざる前にコンクリートを打ち、舊コンクリートと密着する様施工すべし。」

コンクリート打ちを中止して居る間に、型枠は其膨脹、收縮其他の原因で多少の變形を生ずるものであるから、多くの場合、打継ぎ前に型枠の締直しをする必要がある。又堰板に附着硬化したモルタルなどの掃除もしなければならぬ。

硬化したコンクリートと新コンクリートとを附着せしめるには、少なくとも舊コンクリートの表面を綺麗に掃除し、充分水を吸収せしめることが必要である。但し新コンクリートを打つ時に舊コンクリートの面に水の層がない様に注意を要する。コンクリートの表面に出來たレイタンスを、打継ぎの際に除去するのは、困難であるから、中止後、なるべく早く、之を取り去るのが適當である。硬化したコンクリートの表面を粗にすれば、新舊コンクリートの附着が非常に確實になる。硬化したコンクリートの表面を粗にするのに種々の方法があるが、何れによるかは構造物の種類、接合の所要水密程度等に關係することであるから、責任技術者は之を指示する必要がある。

以上の方法によつて仕上げた硬化コンクリート面に、セメント糊状体、又は配合の良いモルタルを塗り付け、之が凝結し始める前に、新コンクリートを打つて、両者が充分密着する様に突固めを行へば、完全な接合が得られる。

(49) 寒中コンクリートの施工 土木學會の標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は次の通り

「第 36 條 寒中コンクリートの施工

- (1) コンクリートの温度は打込みの際 5°C 以上 50°C 以下たるべし。
- (2) コンクリート材料、鐵筋及型枠等は氷雪の附着しおらざるものたるを要す。凍結せる地盤上にコンクリートを打つ場合には、コンクリートが凍害を受けざる様適當の手段を講ずべし。
- (3) コンクリート施工中の気温は、コンクリート打ち後 120 時間以上若くはコンクリートが十分硬化する迄少くとも 5°C に保たしむる爲め、適當の手段を講ずべし。
- (4) 材料の加熱方法及保護方法に就ては責任技術者の承認を受くべし。
- (5) 鐵筋コンクリートに於てはコンクリートの氷結を防ぐ爲め鹽其他の藥品を混入すべからず。
- (6) 氷結に依りて害を受けたるコンクリートは之を除去すべし。」

コンクリートが打込みの際其温度が 5°C 以下であると、凝結硬化が甚だ遅いのみならず、急に気温が低下する時にコンクリートが凍結する惧がある。寒中コンクリートの場合には、骨材及び

水を熱して打込みの際に於けるコンクリートの温度を高めて施工することが多い。此際コンクリートの温度が 50°C 以上になると、セメントが急結してコンクリートに害を及ぼす惧がある。故にコンクリートの温度（空気の温度ではない）は、打込みの際 5°C 以上、 50°C 以下と規定されたのである。

5°C 以上の温度のコンクリートを得る爲に、骨材又は水、或は兩者を熱して使用する。相當にまとまつた工事の場合には蒸氣を用ひるのが便利である。又焚火で材料を熱することもある。骨材は凡そ 65°C 以下に熱するのを適當とする。骨材を熱しなくとも 5°C 以上のコンクリートが得られる場合でも、砂利、砂等の霜、雪等は充分融解して使用しなければならぬ。投入に際して型枠、鐵筋等に附着して居る氷雪は綺麗に融解し去り又既に打つたコンクリートの表面、又はコンクリートを打つべき基礎面等の氷雪を除去することが必要である。

經驗に依れば、酷寒の際でも、コンクリートを打ち終つてから最初 5 日間も都合よく硬化させれば、其後は餘り被害がない。それで 120 時間、若しくはコンクリートが充分硬化する迄コンクリートが冷却しない様に、之を覆ひ其内部を温める等適當の方法に依り、コンクリート周囲の氣温を絶えず 5°C 以上に保つことを規定したのである。此氣温を保つ手段は場所と外氣温度で種々變るが、コンクリート打ち後、直ちに帆布、又は防水布で、コンクリートに直接着かない様に覆をする。又は豫め枯草、又は藁を用意して置いてコンクリートが打ち終つたら、其表面上に敷均し、此上に帆布の類をかぶせる。風上は特に注意して風の吹込まない様に設備する。場合に依つてはコンクリートを打ち始める前から、爐に火を入れて空氣を暖める。燃料は煙の出ないものが好ましく、コークス、木炭等がよい。特に風上に注意する。此際には特に火災に用心しなければならぬ。

無鐵筋コンクリートでは、コンクリートの凍結温度を低下する爲に、水に食鹽、又は鹽化カルシウム等を溶かして用ひることがあるが、鐵筋コンクリートでは、斯くの如き鹽類を使用することは鐵筋を腐蝕せしめる惧があり、又電流の作用を受け易くする危険があるから、此使用を禁止するのである。

なるべく急硬セメントを使用すれば安全に仕事をする事が出来る。所謂高級セメントは、凝結、硬化の際に多量の熱を發生するから氷結の惧が少なく、又急硬であると氷結する機會が少ない。清淨なる骨材を使用することも亦重要な注意である。氷結に依つて害を受けたコンクリートは除去せねばならぬ。其被害程度は責任技術者の判斷に俟たねばならぬ。

(50) **コンクリートの養生** 養生に就いて、土木學會の標準示方書（昭和 14 年 9 月改正案）は次の如くに規定して居る。

「第 37 條 養生

- (1) コンクリートは打込み後、温度、乾燥、荷重、及衝撃等の有害なる影響を受けざる様十分に保護すべし。
- (2) コンクリートの露出面は藁、布、砂等を以て之を覆ひ、之に散水して少くとも 7 日間常に濕潤状態を保たしむべし。早強セメントを使用せる場合は、コンクリート打ち後の前記期間中少なくとも當初の 3 日間は特に濕潤状態を保たしむる様注意すべし。暖板乾燥の虞れある時は之にも散水すべし。
- (3) 養生日數に就ては責任技術者の指示に従ふべし。

打終つたコンクリートは適當なる保護や手當を加へて其硬化を完からしめなければならぬ。コンクリートをして充分硬化せしめる爲には、衝撃、振動、過分の荷重を加へざる様、注意するは勿論、寒氣に曝すこと、強烈な日光に曝して急激に乾燥せしめること、打立てのコンクリートを大雨に逢はしめセメントを押し流すこと、コンクリートに化學的作用を與へる様な有害物を接觸せしめること等の事なき様に適當に養生することが大切である。元來コンクリートの硬化は水とセメントとの化學的變化に依るもので、此硬化を完全に行はしめる爲には、硬化期間中、適度の濕氣と温度とを與へる事が必要である。故にコンクリートを打終れば時期の如何を問はず直ちに藁類をかけて水分の急激な發散を防ぎ、強く照りつける日には藁の上から時々散水して適度の濕りを與へ、冬季に於ては氷結せしめるが如き事なきは勿論、寒冷に依る影響を少なからしめ、充分硬化し得る様注意を與へねばならぬ。コンクリートの完全なる硬化には適當の温度と濕氣とが必要であることに就いては次に略述する。

適當の温度が必要 普通に云はれる養生とはコンクリートの凍結を防ぐこと、急激なる乾燥を防ぎ、且、充分なる水を與へることに限られて居る場合が多い。上記の如くコンクリートはセメントと水との緩慢なる化學作用に依つて固まるものであるが、此作用は低温度に於て大いに緩慢で、温度の高まるにつれて大となり、氷結すれば化學作用は起らない。即ち打込み後一時凍結したコンクリートは、たとへ、2、8 時間後に大氣の濕氣が上昇したとしても殆んど何等の強度も出し得ないものである。然るにコンクリートは化學作用に依つて混練後 6~12 時間内に其れ自身熱を發生するものであつて、發生する熱量は使用水量に依り、又調合比に依つて一定しないが 1:2:4 コンクリートに於ては普通 $10^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{F}$ 位の熱を發生するものと云はれて居る。即ち冬季に於てコンクリート打込み後、藁類を以て直ちに養生する意味は、寒氣を遮ると同時にコンクリート自身に發生した熱を發散させぬ爲になされるものである。

コンクリートを完全に硬化せしめるに要する温度と養生期間とを一律に限定することは不可能である。米國の示方書ではコンクリートの打込みは 4.4°C 以上 49°C 以下の時に爲すべく、大氣の温度が氷點以下の場合には適當の方法を以て少なくとも 72 時間、コンクリートの温度を 10°C 以上に保たしむべき事を規定して居る。コンクリートの温度を氷點下の氣候に於て 10°C 以上長

時間保たしめる事は甚だ困難なことであるが、米國北部の如き非常に寒冷なる地方に於ては其必要があるらしい。其方法は豫め帆布の類を以て建物の周囲を掩ひ、使用水を 65°C 位に温め、同時に砂利及び砂をも適當に熱し手早く混練して直ちに打込み、蒸氣暖房、又は暖爐等を用ひて適度に温めるものである。

濕氣の必要 コンクリートが完全に硬化する爲には、セメントの水和作用に對して適當の水を必要とするが、此作用は非常に緩慢で長時間を要するので、化學變化が充分終らない内に必要な水氣がコンクリートの表面から蒸發して無くなる危険がある。故に養生をして水の蒸發を防ぐと共に適當の水を補給する必要を生じて來るのである。

良いコンクリートを得るための正しい方法は、最少量の水を使つてウオーカブルなるコンクリートを作り、硬化期間中、其コンクリートに出来るだけ充分な水を補給してやる事である。蓋し硬化期間中、濕氣を興へる事が充分でなければ、其壓縮強度、耐水性、磨損に對する抵抗力及び鉄筋との附着力等コンクリートに大切な性質を減少せしめるのみならず、コンクリートの收縮が大となり、従つて收縮龜裂を生ぜしめる憂ひがある。

實驗の結果に依ると、濕砂中に貯藏して材齡 1 年並に 5 年に及ぶコンクリートの壓縮強度は同じ状態の下に硬化させた材齡 28 日のものに比して夫々 2 倍及び 2.5 倍になつて居るが、空氣中で硬化させたものは夫々 1.1 倍及び 1.3 位であり又長く空氣中に於て硬化させたものを水中に入れると次第に強度を増して來る事を證明して居る。故に出来るだけ濕氣を興へて硬化させ其特性を發揮せしめることが最も必要である。併し現場に於てはさう何時迄も濕氣を興へる事は事實に於て不可能であるから、如何に長年月を經過するとも材齡 28 日のものより強度が餘り増加せぬと見るのが至當である。之れ普通材齡 28 日のコンクリートの壓縮強度を標準として許容應力度を定める一の理由である。

コンクリートの露出面を覆つて養生するには普通、菰、藎、麻布、砂、又は土等が用ひられる勿論相當硬化してから水を溜めて置くのも良い方法である。鋸屑は木より發生する酸が打立てのコンクリートを害する危険がある。糖分はコンクリートに有害であるから砂糖を包んだ菰を使つてはならない。以上の材料で覆つた後は其上から撒水することが必要である。殊に夏季で日光の強く照りつけるとき等は日々 2 回位は撒水せねばならぬ。撒水する期間は長い程よいのであるが、少なくとも一週間位は続けるべきであらう。

第七章 總目

(51) 概論 土木學會の標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は次の通り。

「第 38 條 總則

設計又は施工計畫に依りて定められたる繼目の位置及び構造は之を嚴守すべし。」

設計、又は施工計畫で定められた鉄筋コンクリート構造物に於ける繼目の位置及び構造は、計算假定の成立、施工の安全、構造物の所要安全度等を考慮して特に設計者が決定したものであるから、構造物の他の部分と同様、現場の都合などで、決して濫りに變すべきものではない。

(52) 打繼目 土木學會の標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は次の通り。

「第 39 條 打繼目

- (1) 設計又は施工計畫に指示せられざる打繼目を設くる場合には、構造物の強度及び外觀を害せざる様責任技術者の指示を受け、其位置、方向及施工法を決定すべし。水平なる打繼目に於けるコンクリート表面はレイタンスを除去し表面を十分粗にすべし。必要なる場合には納又は溝を作るべし。
- (2) 水平なる繼目に於てレイタンスの發生を防ぐ爲め、コンクリートを打ち終りたる後上面に浮び出たる過剰の水を排除すべし。
- (3) 梁又は版が壁又は柱と単一体として働かざりたる場合には、壁又は柱のコンクリートの收縮又は沈下に備ふる爲め、壁又は柱の施工後 4 時間以上、然らざる場合には 2 時間以上を經過したる後にあらざれば、梁又は版のコンクリートを打つべからず。」

本條(3)項に示された打繼目を設ける特別の場合の外は、一般に施工計畫に指示されない打繼目を作らぬ事を原則とする。併し現場の都合で、打繼目を設けなければならぬ場合には、責任技術者の指示に従はなければならぬ。打繼目に於けるコンクリートの施工法は第 35 條の規定に準すべきである。

コンクリートの配合及び水量に周到な注意を拂つても、鉄筋コンクリート用のコンクリートでは、其打込みを終つた時、表面に相當の水が出て來るのが普通である。之はレイタンスの出來る原因となるから、過剰の水は取り去らなければならない。若しレイタンスが出來たらなるべく早く之を取り去らねばならぬ。

コンクリートは打ち終つてから後、數時間の間に、材料の分離、沈下のために、かなりの收縮をなすものである。其收縮の量は、打つたコンクリートが深い程、又コンクリート打ちが迅速である程大である。故に壁、又は柱のコンクリートが收縮するために、柱又は壁と梁、又は版との間に空隙の出來る惧がある。

コンクリートを打つてから凡そ 2 時間以上経てば、コンクリートは相當に沈下收縮するから

柱、又は壁のコンクリート打ち後、2時間以上経過した後、版、又は梁のコンクリートを打てば、柱、又は壁と、版又は梁との間に空隙を生ずる惧は先づない、併し単一休として働く様設計された構造物は、此点につき十分な安全度が必要であるから4時間以上と規定されてゐる。かくて充分の収縮を待つて後、充分な打継目を作る必要があるのである。

(53) 柱に於ける打継目 土木學會の標準示方書(昭和14年9月改正案)は次の通り。

「第40條 柱に於ける打継目

柱に於ける水平なる打継目は柱と床組との境に設くべし。ハンチ及び柱頭は床組の一部とし、且つ床組と連続的に働くものと思ふべし。」

柱に於ける打継目は之を柱の高さの中央附近に設けると、柱の強度を減ずる惧が大であるから床組と柱との境に設くべきである。柱が床組と単一休になつて居る場合のコンクリート打ちは前條(8)の規定に依らなければならぬ。

ハンチ及び柱頭擴大部に於けるコンクリートは、比較的深さが小で、直接型枠で支へられて居るから、柱体のコンクリートと一所に収縮或は沈下することが出来ない。故にハンチ又は柱頭は床組の一部として、之と連続的に打つのが至當である。

(54) 床組に於ける打継目 土木學會の標準示方書(昭和14年9月改正案)は次の通り

「第41條 床組に於ける打継目

床組に於ける打継目は梁又は版のスパン中央附近に設くべし。但し梁が其のスパン中央に於て小梁と交叉する場合には小梁の幅の2倍の距離を距てて梁の継目を設くべし。必要ある場合には鉄筋を使用し、剪断應力に對して相當の補強をなすべし。」

本條は床組に於ける打継目である。梁、又は版のスパンの中央附近に打継目を設ける理由は、普通此部分は剪断應力度が小さく、壓縮應力が鉛直な継目面に直角に働き、打継目を設けても、梁又は版の強度を減ずることが少ないからである。併し梁のスパン中央部に小梁が交叉して居る場合には、剪断應力の急變する位置に継目が来るのを避けるために、小梁の幅の2倍位離れた處に継目を設けることにしたのである。尙、剪断應力が大きな所に打継目を作る時は、鉛直な継目面に對して、傾斜せる鉄筋を挿入すべきである。

(55) 伸縮継目 土木學會の標準示方書(昭和14年9月改正案)は次の通り。

「第43條 伸縮継目

伸縮継目に於ては鉄筋を連続せしめず、相接する構造物の兩部を絶縁すべし。露出せる伸縮継目には必要に應じ責任技術者の承認を得たる填隙材を挿入すべし。」

伸縮継目の構造に施工は、コンクリートの伸縮、其他に依る運動が最小抵抗の下に起り得る事を主眼として行はるべきものである。此の爲に伸縮継目では鉄筋は決して連続せしめることな

く、相接する構造物の兩部を絶縁する。継目で相接する構造物は、成るべく別々の柱、又は壁で支持する様にする。露出せる伸縮継目を共儘放置して置くと、間隙の間に土砂が侵入して伸縮の作用を妨害するから適當な材料を詰め込む。

(1) 伸縮継目の位置及び間隔 コンクリートは、其配合及び骨材の種類に依つて、 1°C の温度の變化に對して、 1m について $0.011\text{mm}\sim 0.012\text{mm}$ 伸縮する。又コンクリートは硬化の初期に於て、充分濕氣を加へて養生したとしても、長年月、空氣中で硬化すると、長さ 1m について平均 0.35mm 位の収縮を生ずるものと見做してよい。故に之に 30°C の温度の降下が生じたとすると、長さ 12m のコンクリートの壁で、 $0.35 \times 12 + 0.011 \times 30 \times 12 = 12(0.35 + 0.011 \times 30) = 8.16\text{mm}$ の収縮を生ずることになる。故に、斯くの如き収縮が出来る様に収縮継目を設けて置かないと、コンクリートは伸びに對して弱い材料であるから、龜裂を生ずるのは當然である。

コンクリート構造物の断面に於て、断面積が急激に變化する所、例へば橋臺と翼壁との継目の様な所、壁の相會する隅角、又はコンクリート道路などの場合には、温度の上昇、水分の吸收等のために、コンクリートが膨脹して、其の爲に龜裂を生ずる事がある。斯くの如き場合には、コンクリートの伸びに備へるための伸長継目が必要である。

伸縮継目は伸縮に基因する龜裂を防ぐために設けるものであるから、龜裂の起り易い處に設けるのが有效である。總て構造物は断面の突然の變化のある箇所を龜裂が生じ易い。例へば水平断面が階段狀に變化する所とか、壁の相會する所などに継目を設ける。構造物の基礎が不齊等沈下を起しても継目がある爲に、構造物全体に悪い結果を及ぼさない様な位置にも設ける必要がある。

継目の間隔は構造物の移動に對する摩擦抵抗、鉄筋の有無、鉄筋コンクリートであれば鉄筋の使用量及び其配置等を考慮して、或程度計算して定められる。殆んど同一であるか、又は直線的に變化する断面を持つ構造物の場合には $7.5\text{m}\sim 15\text{m}$ 位の間隔に伸縮継目を作る。厚い壁では一般に薄い壁よりも間隔を大とする。温度變化も大であり、鉄筋が少ない様な場合には、間隔を小とする。凡そ 1m 以下の厚さのコンクリート壁で、夏と冬とで 30°C 位の温度の變化がある時は、一般的に伸縮継目の間隔を 10m 位とする。

(2) 間隙填充材 伸縮継目の間隙にはアスファルト・フェルトを挟むか、又はアスファルト、タール・ピッチ等を流し込む。此の流し込んだ材料は夏季高温度になつて流出せぬ様な構造として置く。

(56) 滑面継目 土木學會の標準示方書(昭和14年9月改正案)は次の通り。

「第44條 滑面継目

滑面継目に於けるコンクリートの受け面は平滑に仕上げ、硬化後責任技術者の指示に従ひ適當なる絶縁

材を置き、上部のコンクリートを打つべし。」

滑り面接合を作る簡単な方法は、コンクリートの受け面を平滑に仕上げ、継目の面にアスファルト、又は之に類似のものを塗るか、或は防水紙、又はアスファルト・フェルトの類を面に釘付けにして後に、他の部のコンクリートを打つのである。

(57) 水密継目 土木學會の標準示方書(昭和14年9月改正案)は次の通り。

「第45條 水密継目

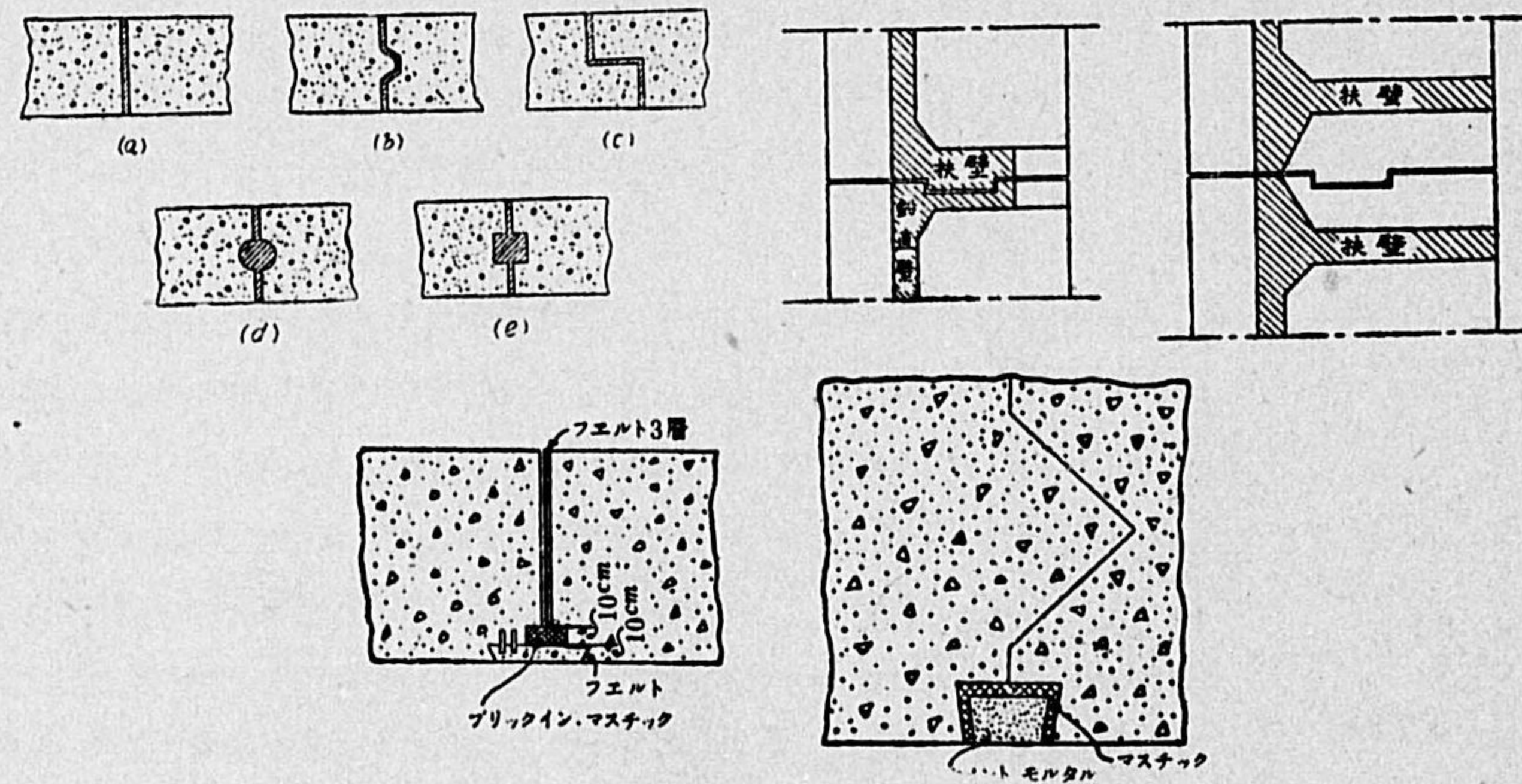
打継目が水密なるを要する場合には次の方法に依りて施工すべし。

(1) 水平なる継目に於ては下部のコンクリート面に連続せる柄又は溝を造るべし。但し之に依り難き場合には責任技術者の指示に従ひ、本條(2)の方法に依る事を得。コンクリート打ちに先立ち、レイタンス及び雜物を完全に除去し、水を以て十分清掃し、セメント糊を塗り付け、直ちにコンクリートを打つべし。

(2) 鉛直なる継目に於ては責任技術者の指示に従ひ、銅板其他腐蝕に耐へ得る金屬製の水止めを使用し前項に準じて施工すべし。」

(58) 伸縮継目の構造 伸縮継目の構造には、構造物の種類、水密なる事を必要とするか否か、水密を必要とする程度等に依つて、甚だ多くの設計がある。

(1) 壁の伸縮継目 コンクリート及び鐵筋コンクリート壁の伸縮継目には第18圖の如き數例

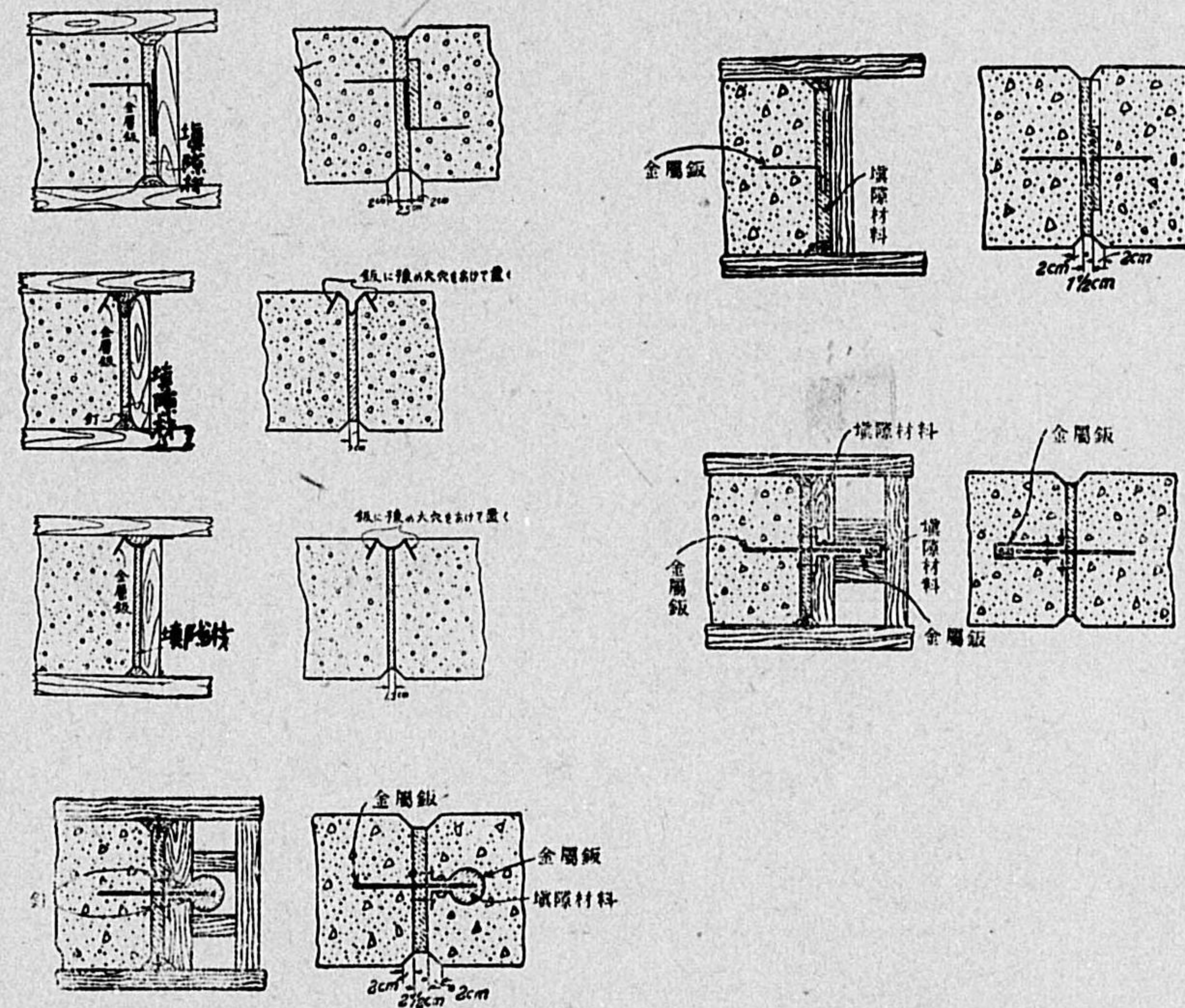


第18圖 壁の伸縮継目

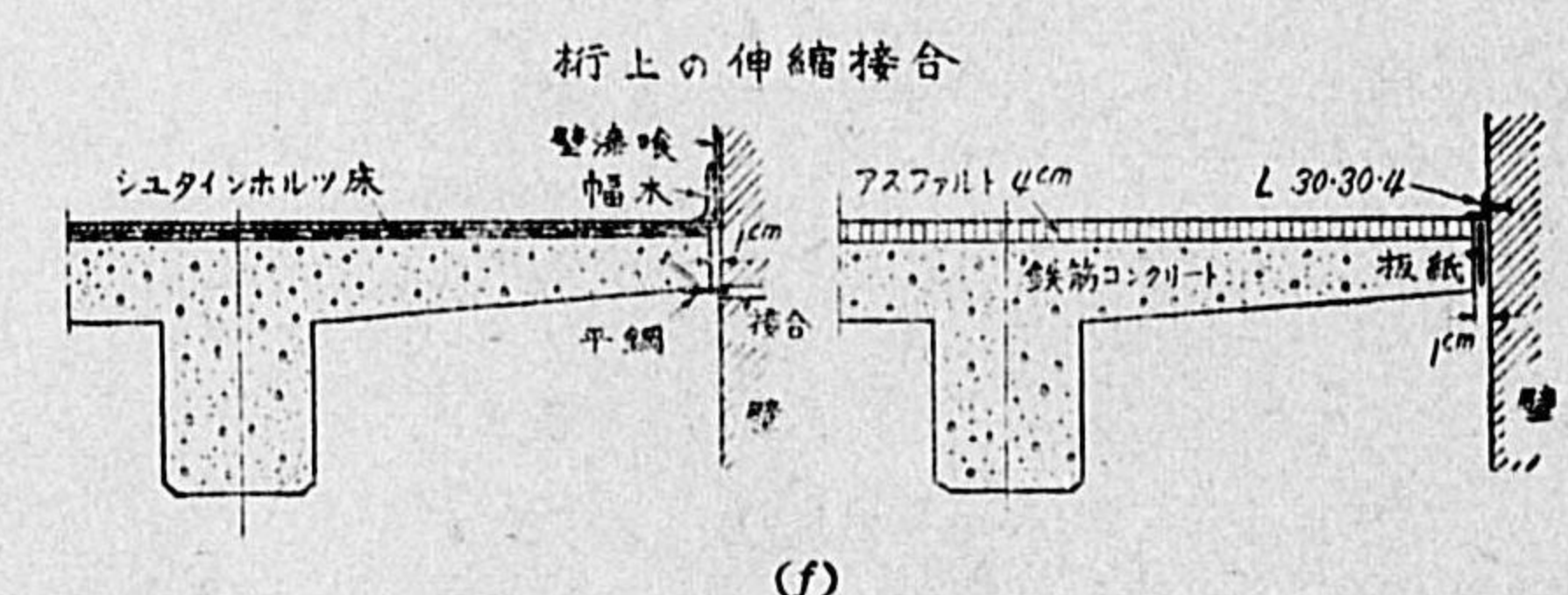
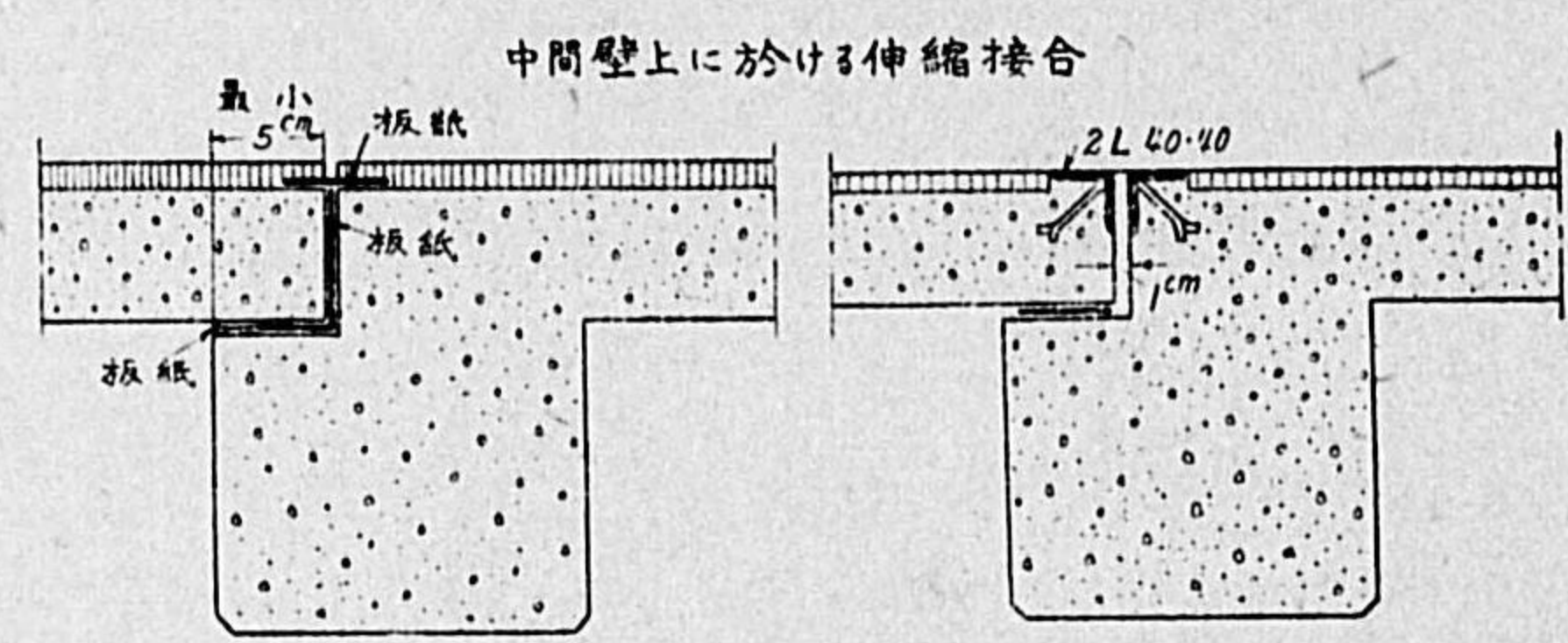
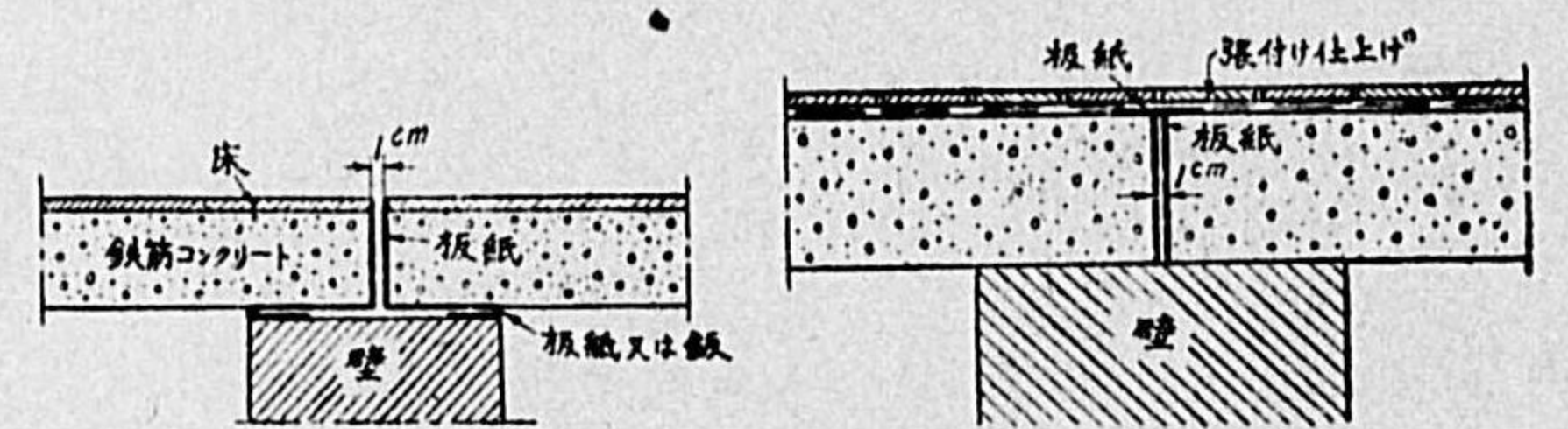
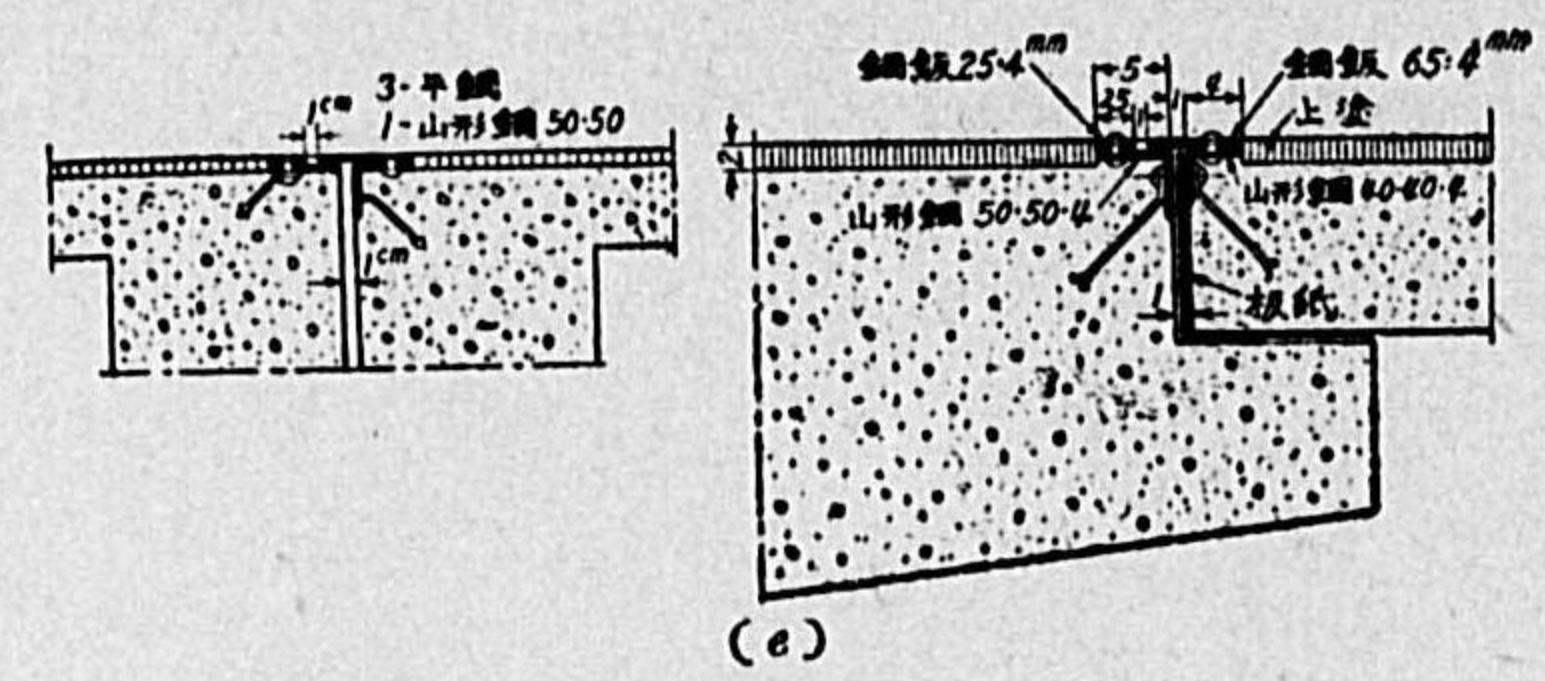
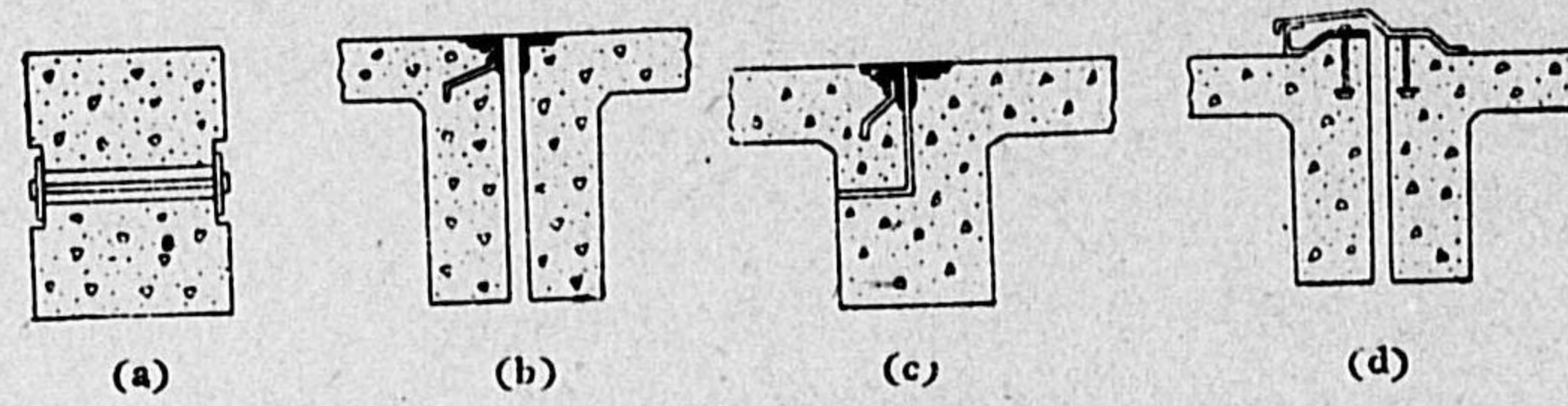
がある。第18圖は適當なる填隙材を挿入すれば、或程度、水密なるものが出来る。(e)の如き矩形、又は正方形の孔には、粘土、又は粘土と油との混合物と填充し、其他の部分にはアスファルト・フェルトなどを用ひる事がある。壁に於ける伸縮継目の間隔は普通に10m~15mである。

壁の水密継目には金屬板を挿入することが有効である。之には鉛板、亜鉛鍍金の鐵板及び銅板等が使用せられ、此中、銅板が多く用ひられる。第19圖は金屬板を用ひる伸縮継目の構造と其施工の順序を示すものである。

(2) 建築物の伸縮継目 第20圖は建築物に於ける伸縮継目の例である。(a)は柱の場合で、ボルトで左右の移動を防いだもの、(b)は梁を二つに分けたもの、(c)は床版のみに継目を設けたもの、(d)は屋根の梁の伸縮継目である。(f)圖は種々の場合に於ける床版の伸縮継目の例である。(e)圖は梁に於ける伸縮継目の構造詳細を示したものである



第19圖 金屬板を用ひる伸縮継目



第 20 圖 建築物に於ける伸縮継目の構造

第八章 型枠及び表面仕上げ

(59) 型枠 土木學會標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は次の通り。

「第 49 條 總則

(1) 型枠は設計に示されたるコンクリートの位置、形状及び寸法に正しく一致せしめ、堅牢にして荷重、乾濕、振動機等の影響等に依りて狂ひを生ぜざる構造となすべし。其の形状及位置を正確に保たしむる爲め、適當の施設をなすべし。

(2) 型枠は容易に且つ安全に之を取外し得られ、其の繼目は成可く鉛直又は水平とし、且つモルタルの漏出の虞れなき構造となすべし。」

(1) 項に規定せる様に、型枠は、實際上變形を起さない程度に堅牢のものでなければならないから、型枠の各部を出来るだけ確固に固定する事が必要であるが、之と同時に、型枠取外し作業が、構造物に振動、撃衝を及ぼしたり、或は堰板を破損したりすることなく、静かに、安全且つ容易に行はれ得る様な構造としなければならない。取外しが容易に出来ることは、型枠を反覆使用する上からも必要である。堰板の継手が水密でないと、使用水量の多いコンクリートでは、コンクリートの一部が砂、又は砂利のみになつてしまふ危険がある。型枠各部(主に堰板)の継目を鉛直、又は水平にすることは、型枠を正しい位置、形状及び寸法に作り、且、堰板の継目を水密にする作業を容易ならしめる上から大切である。

(60) 堰板 土木學會標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は次の通り。

「第 50 條 堰板

(1) 木材堰板には死節其の他の缺點なきものを使用し、其のコンクリート露出面に接する表面は平滑に鉋仕上げをなすべし。但し粗面にて差支へなき露出面に對しては、この限りに非ず。

(2) 一度使用したる堰板は、再び之を使用するに先立ち、コンクリートに接する面を清掃すべし。」

木材堰板には死節、其の他の缺點なきものを使用し、其のコンクリート露出面に接する表面を平滑に鉋仕上げすることは、コンクリートと堰板との附着を防ぎ、コンクリートの露出面を平滑で完全なモルタル面とするために必要である。

一度使用したる堰板の面には必ず多少のモルタルが附着して居るから、之が再用に先立ち、其面を綺麗に掃除し、必要あれば、之に塗油しなければならぬ。

(61) 型枠及び支保工 土木學會の標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は次の通り。

「第 51 條 型枠及支保工

型枠及支保工は十分なる支持力を有することを要す。重要な型枠及支保工に對しては強度計算を行ふべし。特に支柱は沈下せざる様、其の受くる荷重を適當なる方法に依り地盤に一樣に分布せしめ、高さ大

なる場合には繫材及筋違を設くべし。」

第49條(1)の規定通り、型枠が實際上變形移動を生じないものであるためには、充分な支持力を有することが必要である。普通型枠及び支保工の設計は、經驗から各人勝手な標準で定めて居るが、重要な型枠及び支保工は、安全を期するために、其強度と變形とを計算上から檢算して見る必要がある。支柱を直接弱い地盤で支へると沈下し易いから、適當の方法で支柱からの荷重を地盤に分布しなければならない。支柱の高さが大である場合には、挫屈しない様に、繫材及び筋違等で固定することが肝要である。

コンクリートが型板に及ぼす横壓力はコンクリートの流動性、部材の高さとコンクリート打込みの速度及び温度等に依つて異なるものである。併し型枠の強度計算にはコンクリートの静水壓は第10表の如き單位重量を有する當量液体の静水壓と看做して計算してよい。

第10表 打立てコンクリートの静水壓を求むるに當つての當量液体の單位重量

部材の種類	當量液体の單位重量、 kg/m^3
柱	2,000
壁	
壁の高さ 1.5 m 以下	2,300
壁の高さ 1.5 m ~ 3.0 m	2,000
壁の高さ 3.0 m ~ 6.0 m	1,600
壁の高さ 6.0 m	1,200

型枠に加ふる活荷重としては、床版の堰板及び床梁に對して、 $850kg/m^2$ に採り、撓度を計算する時には $200kg/m^2$ に採る。又震動機ふ型枠に取附ける場合は、コンクリートの重量を $2,800kg/m^3$ 以上に採つて型枠の各部を設計する。

版及び梁に對して、其の重要なものには撓度の計算を行ひ $3mm$ 以上の撓みを生ずる時には型枠に反りを與へて置いて、出來上りが水平となる様に作るをよとする。

型枠材料 大節、死節、腐朽、割れ、裂け、曲り、入皮、歪れ等の缺點なきものを型枠材料として選ぶ。中程度に乾燥した木材を使用すべきであつて、餘りに乾燥した材料はコンクリートから水を吸収して型枠が膨れあがる虞れがあり、又生木はコンクリートを打つまでに乾燥して收縮するから、間隙を生じてモルタルが流れ出すこととなる。硬軟に過ぎず耐久力に富むものが型枠として適當であつて、日本松、又は杉等が此條件にあて嵌る。米松及び米梅は日本材に比して耐久力乏しく、ねばりが無くて割れ易い、北海松(落葉松)は最も安價であるから一般に使用せら

れて居るが、狂ひ易い欠點がある。

型枠及び支保工の強度の算定には第11表の許容應力度を以て標準とする。

第11表 木材の許容應力度、 kg/cm^2

	松	杉	檜	樺	
引張應力度	120	85	120	140	
壓縮應力度	65	50	70	90	
曲げモーメント應力度	95	85	120	140	
剪斷應力度	纖維の方向に於て	9.5	9.5	10.0	14.0
	纖維に直角の方向に於て	95	70	120	140
支壓力度	纖維の方向に於て	120	85	120	140
	纖維に直角の方向に於て	65	49	70	90

松材の撓度の算定には彈性係數 $84,000kg/cm^2$ を採る。

型枠の寸法は凡そ次の通り。

梁の底板、厚さ $5cm$; 床梁、斷面 $5cm \times 10cm$ 乃至 $7.5cm \times 25cm$ で、普通は $5cm \times 15cm$ 位である; 壁の堰板、梁及び柱の側板、厚さ $2.6cm \sim 5cm$; 床版の堰板、厚さ $2.6cm$; 間柱、棧貫材、斷面 $5cm \times 10cm$ 乃至 $15cm \times 15cm$; 支柱、斷面 $7.5cm \times 10cm$ 乃至 $15cm \times 15cm$

(62) 組立て 土木學會標準示方書(昭和14年9月改正案)の規定は次の通り。

〔第52條 組立〕

- (1) 堰板を締付くるには成可くボルト又は棒鋼を使用すべし。之等の締付材は、型枠取外した後、コンクリート仕上げ表面より $2.5cm$ の間に殘存せしむべからず。鐵線を締付材として使用する場合には責任技術者の承認を受くべし。
- (2) 支水、支柱、假構等は、楔、砂箱、ジャッキ等にて支へ、振動、衝撃等を與ふる事無く徐々に型枠を取外し得る様にすべし。
- (3) 型枠には適當なる反りを附すべし。」

堰板を正確に、充分締付け、施工中に狂ひを起さない様にするためには、締付材としてボルトを用ひるのが適當である。鐵線を締付材として使用する利益は、只工費の節約だけで、一面缺點も多いから、其使用は責任技術者の承認を受けねばならぬ。締付材として用ひるボルト、又は鐵線の端が、工事完成後コンクリートの表面から出て居ると、これから水分を誘つたり、之が錆びてコンクリート表面に汚點を生じたり、或はコンクリートに龜裂を生ぜしめたりする惧があるか

ら、コンクリート面に出ない様に取去り、実際出来たコンクリート面の穴は、モルタルで埋めて置く必要がある。此の埋める穴の深さが浅過ぎると、モルタルが剥落するから、2.5cm 以上にしなければならぬ。

型枠は其取外しに際し構造物に振動、撃衝を及ぼすことなく、其作業が極めて静かに、安全、且、容易に行はれ得る様に、取立てなければならぬ。之がためには、支承、支柱、假構等は、楔、砂箱、ジャッキ等で支へることが必要である。尚、是等の楔、ジャッキ等は、型枠を正しく据え、位置の修正をなし、又適當なる反りを與へるためにも必要である。

型枠は、充分堅牢に作り打込みコンクリートの重量などで、實際上狂ひが無い様な構造とするけれども、全然撓度なしに造れるものではない。又工事の種類に依つては、型枠の相當な撓度を覚悟しなければならぬ場合もある。故に必要に応じて適當なる反りを附さねばならぬ。

(63) 面取 土木學會標準示方書(昭和14年9月改正案)の規定は次の通り。

「第53條 面取り

特に指定なき場合には、型枠の隅角に面取をなす爲め、適當の三角材を取付くべし。」

(64) 塗油 土木學會標準示方書(昭和14年9月改正案)の規定は次の通り。

「第54條 塗油

- (1) 型枠の内側に塗る油は汚色を残さざる鐵油又は責任技術者の承認を受けたものを使用すべし。
- (2) 油は鐵筋の配置前に塗布すべし。」

木製の堰板に塗油するのは、堰板とコンクリートが附着するのを防ぐために有效なばかりでなく、堰板が水を吸収して膨脹するために生ずる型枠の歪を防ぐにも効果がある。鐵製の堰板には是非塗油せねばならぬ。堰板の塗油に使用される油には、重油、鐵油、石油とリンシード油との混合物がある。是等の中のどれが適當であるかは、工事の種類によることであるから、責任技術者の承認を受けたものを使用せねばならぬ。

型枠内に鐵筋を配置してから、堰板に塗油すると、其作業中に鐵筋に油がついて、鐵筋とコンクリートとの附着を妨げる。コンクリートを打つ迄に、塗つた油が可成り乾いて居らないと、油がコンクリート中に流れ込む恐れがある。

(65) 一時的開口 土木學會標準示方書(昭和14年9月改正案)の規定は次の通り。

「第55條 一時的開口

柱及び壁の型枠底部其の他必要なる箇所には、一時的開口を設け、型枠の掃除、検査及コンクリート打ちに便ならしむべし。」

型枠の内部は、特別の場合の外、コンクリートを打つ前に、壓力ある水で掃除し、堰板を充分濡すことが必要である。此汚水を流すためと、又型枠及び鐵筋配置の検査を容易にするために、

柱、壁などの型枠の下部、又は大きな梁の底板等に、豫め適當な大きい孔をあけて置く必要がある。勿論此孔は、愈々コンクリートを打つときに塞がねばならぬ。

小さい断面を有する部材の型枠の高さが大きい場合には、型枠の適當の箇所に投入口を設けて、コンクリート打ちの際、型枠、又は鐵筋にコンクリートの附着硬化するのを防ぐ必要がある。之も一種の一時的開口である。

(66) 型枠の取外し 土木學會標準示方書(昭和14年9月改正案)の規定は次の通り。

「第56條 型枠の取外し

- (1) 型枠は責任技術者の承認を得るにあらざれば、之を取外すべからず。
- (2) コンクリートを打ちたる後、型枠取外しに到る期間は、氣温、天候、使用セメントの性質、配合、水量、部材の種類及其寸法等を考慮し之を定むるものにして、最低温度 5°C 以上の場合大体の標準は表4に依るものとする。

表 4

	セメントの強度 (kg/cm ²) JIS による材齢28日 の耐壓強度	床版、梁の側 面及柱の型枠	床版の底面 の型枠	スパン 6m 未満 の梁、アーチ及 ラーメン床版の 型枠	スパン 6m 以上 の梁及アーチの 型枠
普通セメント	450 未満	4 日	7 日	10~15 日	14~21 日
	450 以上	3 日	6 日	9~13 日	10~17 日
早強セメント	600 以上	2 日	4 日	7~10 日	8~14 日

コンクリート硬化中、最低温度 5°C 以下となりたる場合には、其の1日を半日に換算して型枠存置期間を延長せしむべし。氣温 0°C 以下に下りたる場合には之を型枠存置期間に算入すべからず。

(3) 部材の自重及施工中に加ふる荷重を受くる柱は、其の部材が之等の荷重を負擔するに充分なる強度を得るまで之を保存すべし。」

(67) 表面仕上げ 土木學會標準示方書(昭和14年9月改正案)の規定は次の通り。

「第57條 表面仕上げ

- (1) 露出面となるべきコンクリートは、堰板に密接して完全なるモルタルの表面が得らる様、適當なる打込み及び締固めをなすべし。
- (2) コンクリートの表面に生じたる稜縁又は突出部は除去して平滑ならしめ、空隙又は缺損したる箇所は不完全なる部分を除去し水にて潤したる後、コンクリート中に於けると同等配合のモルタルを填充して平滑に仕上げべし。
- (3) コンクリートの上面は過剰の水を存せざる様注意し、表面に滲出せる水は迅速に之を排除し、木鏝にて平滑に均すべし。
- (4) コンクリートの上面にして特に腐蝕に抵抗せしむる必要がある場合には、セメント 1 容積に對し材料



2.5 容積以下の富配合を使用し、水量を成可く少なくして十分に締固むべし。

(5) モルタル仕上げをなす場合には、施工を終りたる後1時間以内にコンクリート表面にモルタルを塗り均すべし。硬化せるコンクリート表面は鑿又は適當なる工具にて粗にし、水にて十分に濕したる後セメント糊を薄く塗り直ちにモルタル仕上げを行ひ適當なる養生をなすべし。」

コンクリート表面に特殊の仕上げを行はない場合、露出面となるべきコンクリートの表面は、之に砂利や砂が顯はれない完全なモルタルの表面でなければならぬ。之は美觀上必要であるばかりでなく、表面が耐水的であつて構造物の耐久性を太ならしめる上からも甚だ大切である。

之がためには、堰板の表面が平滑であること、堰板の継合せが水密である事等に注意すべきは勿論であるが、尙打込み及び突固めにも注意が大切である。

假令型枠の製作、コンクリートの材料、配合、混合、運搬、打込み及び突固め、型枠の除去等に周到な注意を拂つて施工しても、大なる構造物に於ては、コンクリート表面に稜線、突出部、空隙、又は缺损したる箇所等が絶対に出來ない様にする事は、一般の場合まづ不可能である。斯くの如き缺點の生じない様に最善の努力をなすべき事は勿論であつて、本項も積極的に斯くの如き缺點の生ずるのを認めたのではなく、萬一出來た場合の修正方法を示したものである。斯かる缺點箇所を其儘に残しておくことは、よく見受ける事であるが、之は美觀上は兎も角として、構造物の耐久性に非常な悪影響を及ぼすものであるから、必ず本項の注意に従つて手直しをしなければならぬ。型枠除去後、直ちに修理を行へば、作業も容易であり、且、有效である。

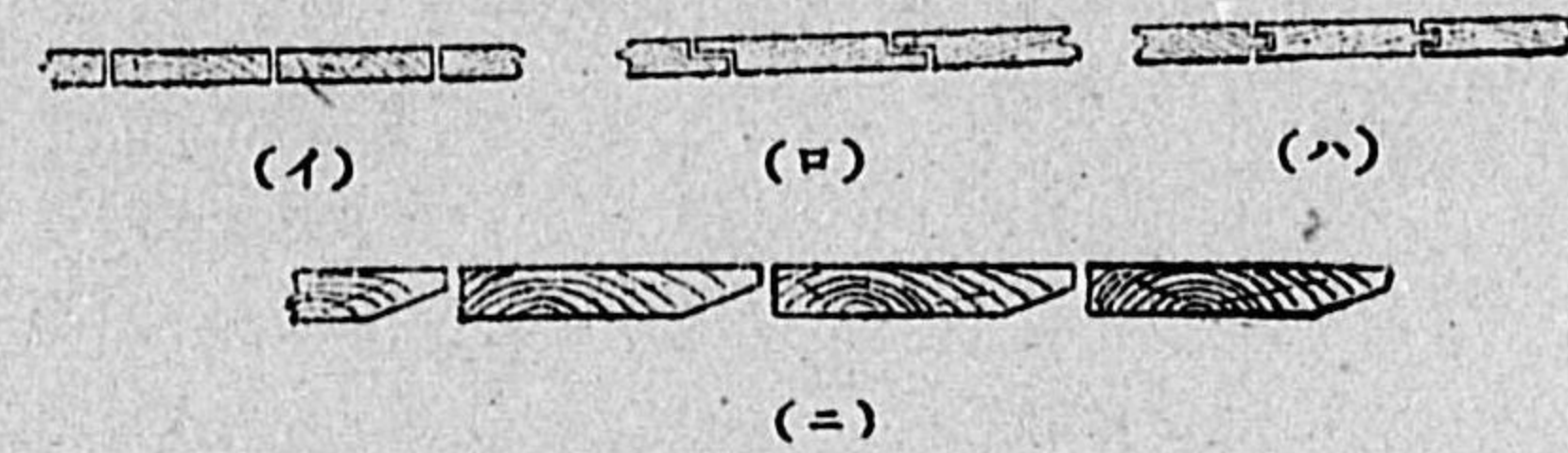
鉄筋コンクリートの施工に對して満足なる結果を與へる様な配合及び使用水量のコンクリートの上面には、一般に水が出て來る。上面に過剰の水を存せざる様に、施工中使用水量を加減して行くことは極めて大切であるが、水が表面に澤山出たならば、迅速に之を排除する必要がある。そうしないと、レイトンスが出來たり、又表面に細かい龜裂を生じたりする恐れがある。

橋梁の路面であるとか、工場の床であるとか、特に磨耗に抵抗させる必要がある場合の施工法の標準を(4)が示して居る。

モルタル仕上げをなす場合には、モルタルが良く附着するために、コンクリートを打ち終つてから、成可く早くモルタルを塗ることが必要である。

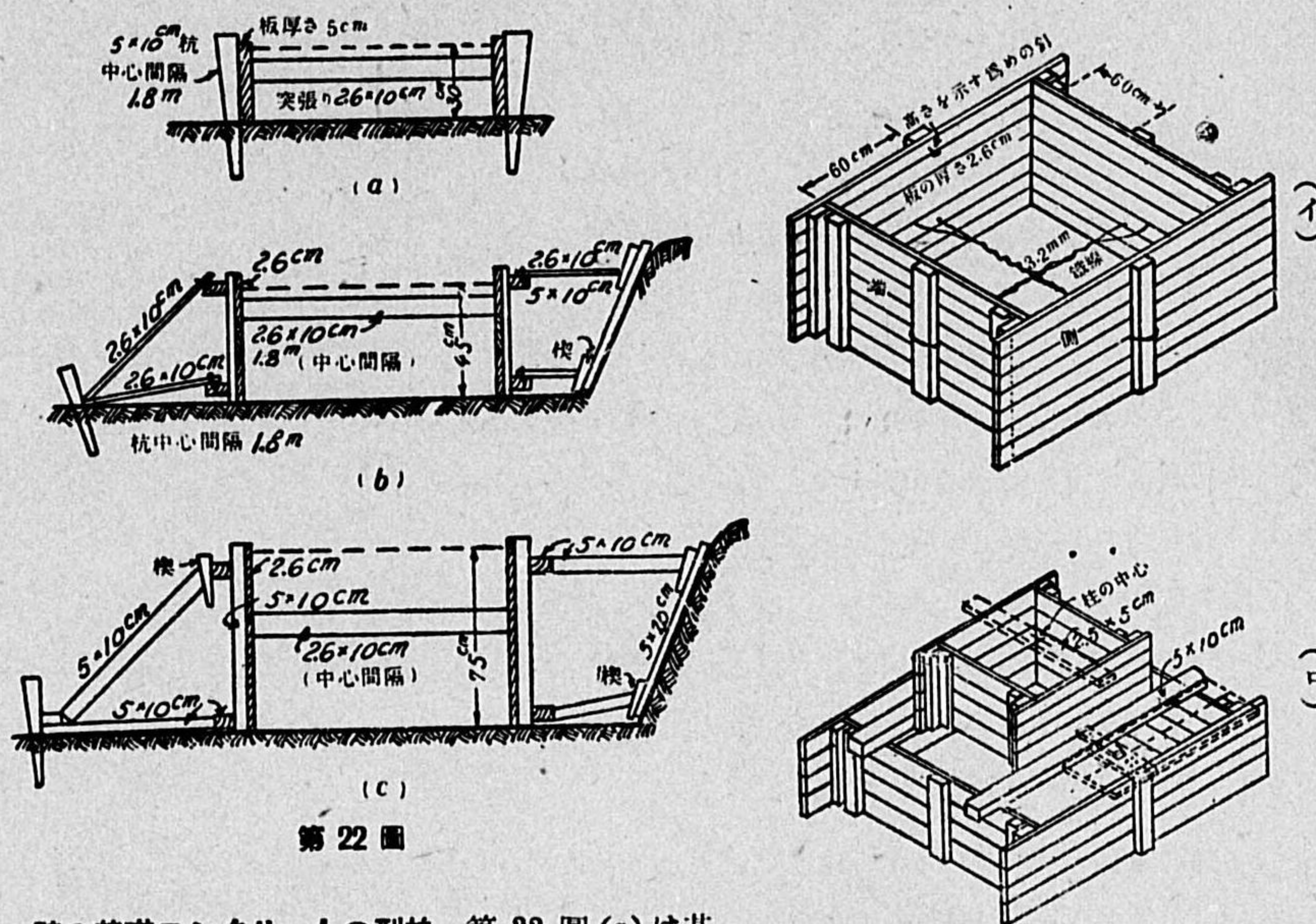
コンクリートが硬化して居る場合には、表面を粗にすること、充分濕すこと、セメント糊状体を薄く塗つて、直ちにモルタル仕上げを行ふ事等が施工上最も大切である。セメント糊状体を厚く塗る事は、反つて、モルタル剝脱の原因となる恐れがある。

(68) 型枠各部の構造 型枠の構造中、直接にコンクリートに接觸する板を堰板と云ひ、數枚の堰板を棧で連結したるものを型板と稱し、堰板、型板を組合せて所定の型を作つたものが型枠であつて、之を支持し固定する支柱、間柱、斜柱、貫材等を支保工と云ふ。



第21圖 堰板の継目 (イ) 突合せ、(ロ) 相錯、(ハ) 實切
(ニ) 突合せ継目で板が水を吸収して變形するのを防ぐ方法

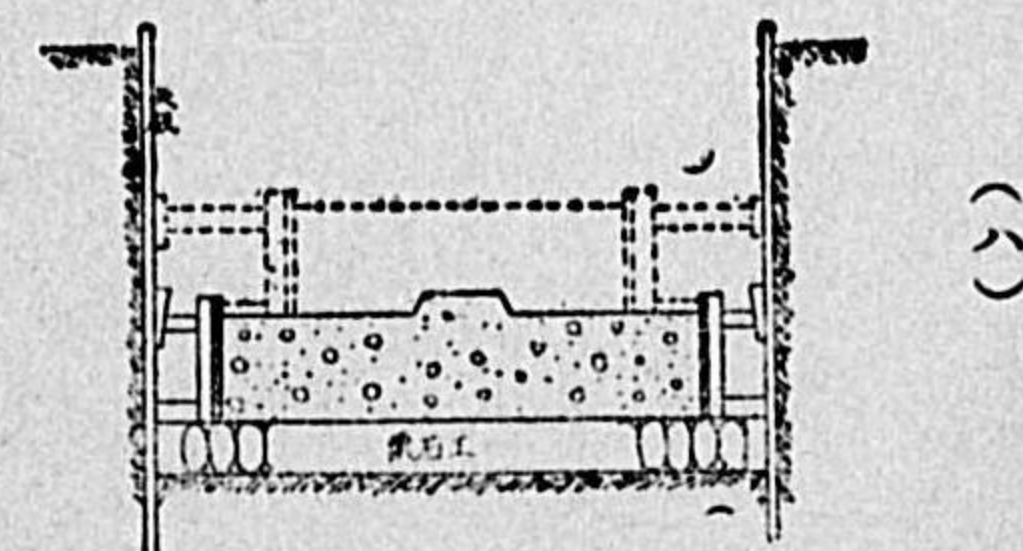
(大切なる工事では(ロ)、(ハ)を用ひる。)



第22圖

壁の基礎コンクリートの型枠 第22圖(a)は基礎コンクリートの厚さの小なるものに用ひるもので根柢から簡単に支へるか、又は短い杭を打つて留めてある。(b)及び(c)は高さが(a)より高い場合であつて45cm~75cmの高さの場合に用ひられる。中にある隔子(突張り、ばり、Spacer)はコンクリートの打込みの進むに従つて取り去る。

柱の基礎コンクリートの型枠 第23圖(イ)は矩形柱基礎の型枠である。型板は鋼線で締め付け



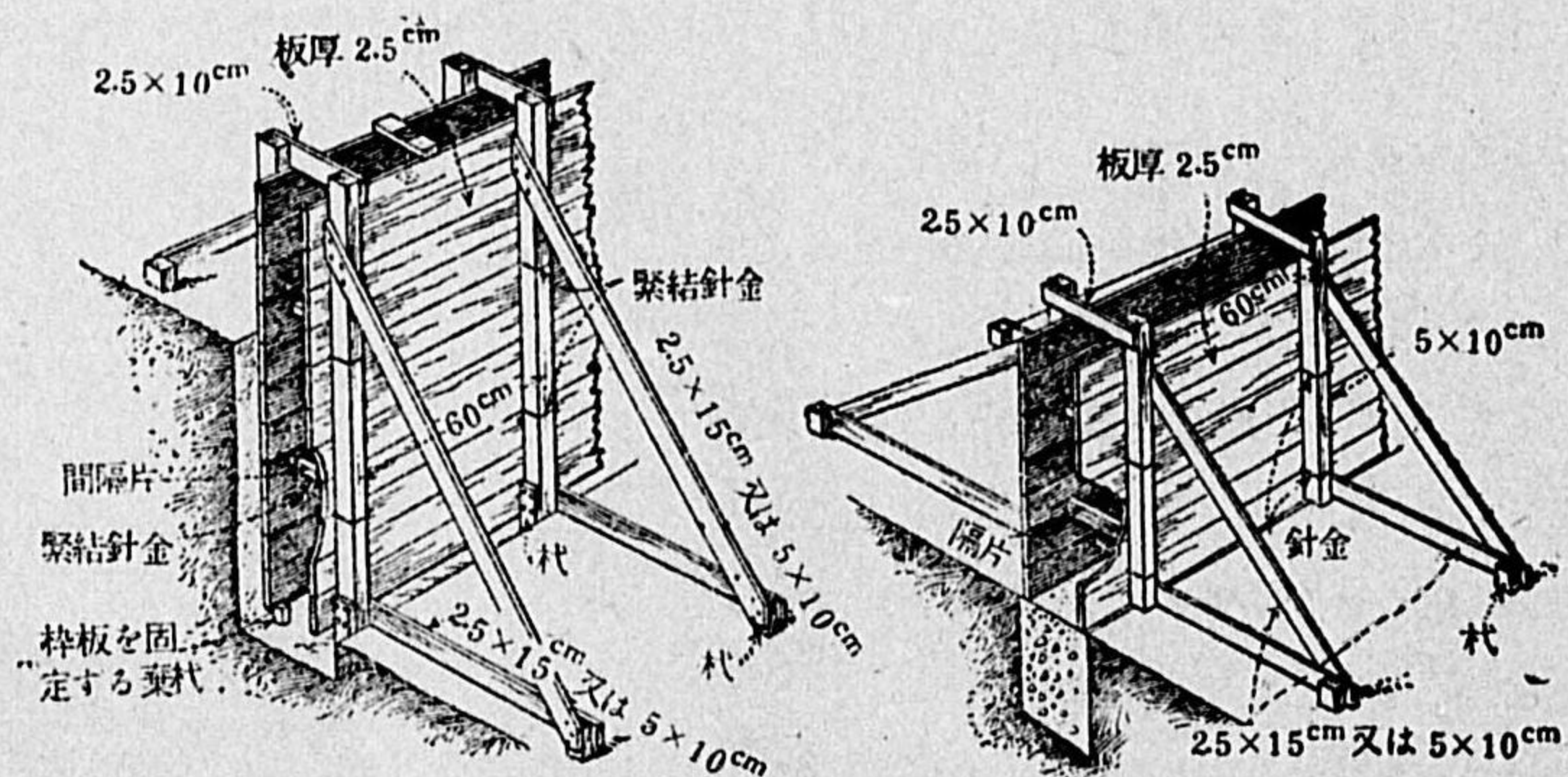
第23圖

る。コンクリートの高さが 60 cm 位より以下であれば、下端から高さの 1/3 位の處へ一箇所、90 cm 以上のコンクリートの高さであれば、數箇所締め付ける。基礎根掘の中では、土留矢板から支へた方が便利である。礎段基礎は下段を打つて、上段との間に轡手を作つてもよいが（ハ）圖、又は（ロ）圖の如く下段を打つて水が引いてから、其上に上段の型板を乗せて、之にコンクリートを打込んでよい。若し下段のコンクリートが其のために持ち上げられる様なことがあれば、蓋をすればよい。

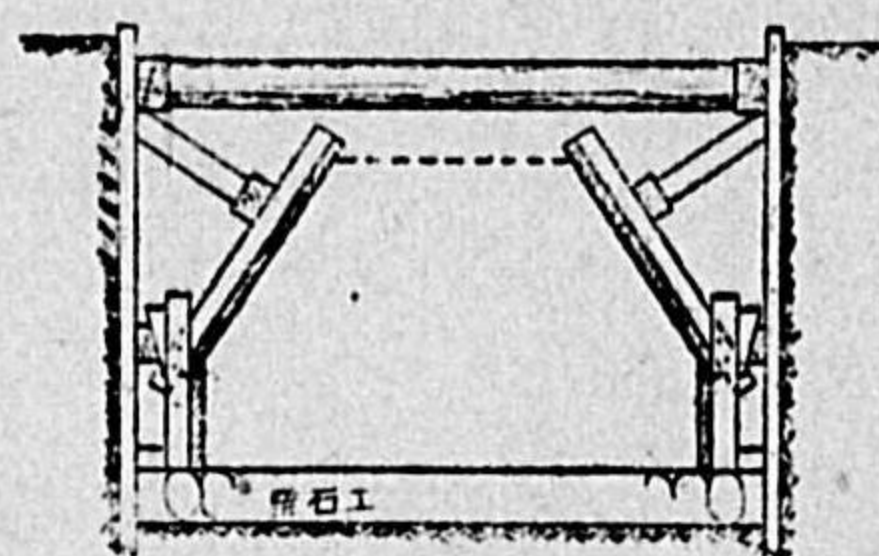
コンクリートの側面が傾斜せるものでは第 24 圖の如くになし、此時は型枠が浮き上らない様に、重みをかけるか、杭で止めるか、其他の適法を講ずる。

壁の型枠 第 25 圖は地下室等に用ひる壁型枠の標準構造を示すものである。此型枠は反覆使用し得る様一單位の羽目型板に構造し、普通輕く釘付けして取付ける。第 26 圖は間仕切壁用型枠の構造を示すものである。即ち圖示する如く 2 cm ~ 3 cm 厚の堰板に棧を取付け、縦棧は 10 cm 角二つ割とし、8 mm ~ 16 mm ボルトを以て締め付ける。第 27 圖は第 26 圖の型枠へ更に腹起しを取付けて補強したものである。

一般に壁型枠は連続的に作る場合と單位に分けて戸板式に作る場合とがあるが、後者の方が取付け、取外しに便で、従つて反覆使用し得るから經濟的である。先づ最下底の堰板には掃除口を設け所定の壁厚に建込み、兩側に縦棧及び腹起しを當て、ボルト、又は鐵線を以て締め付ける。相對



第 25 圖 壁型枠

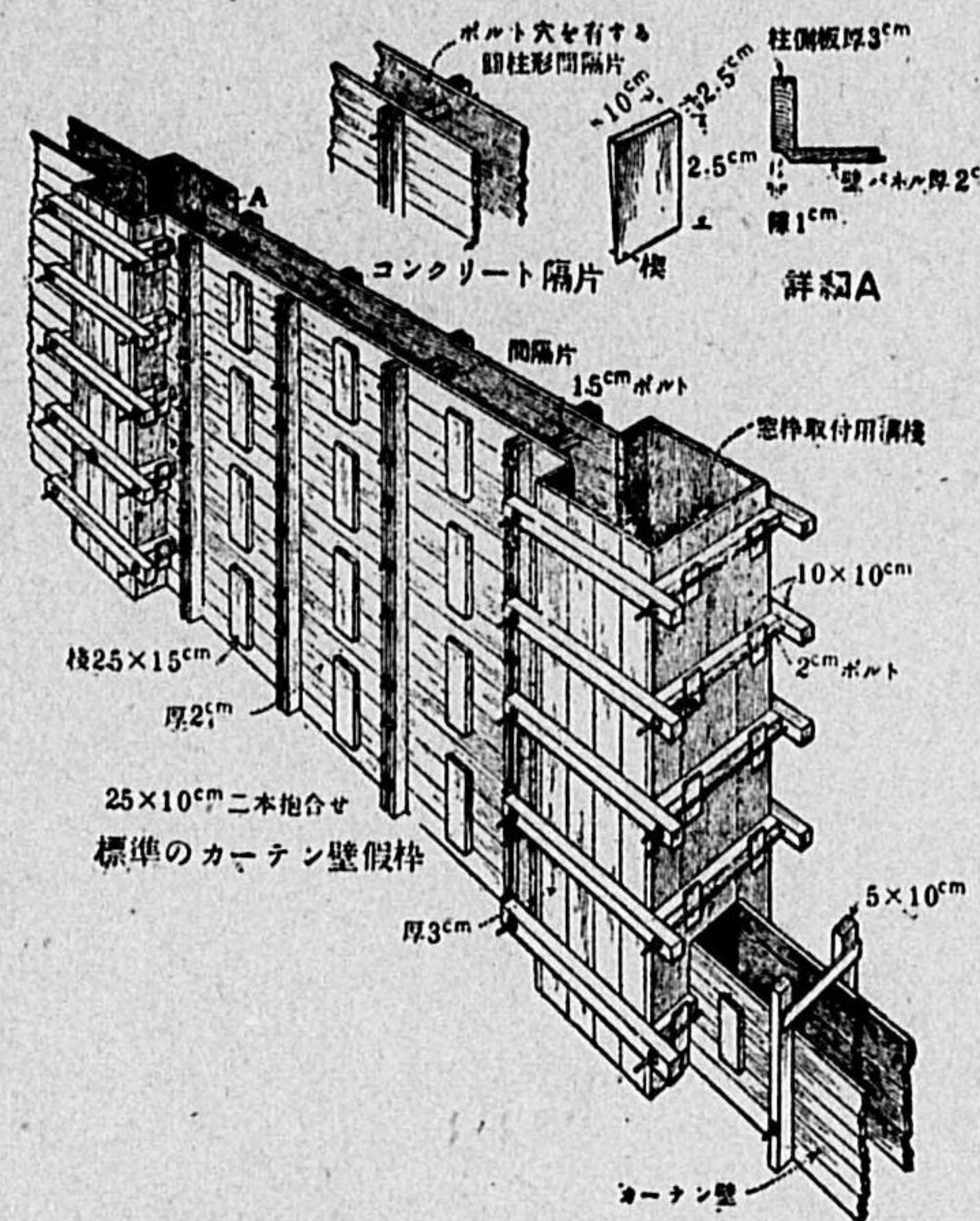


第 24 圖

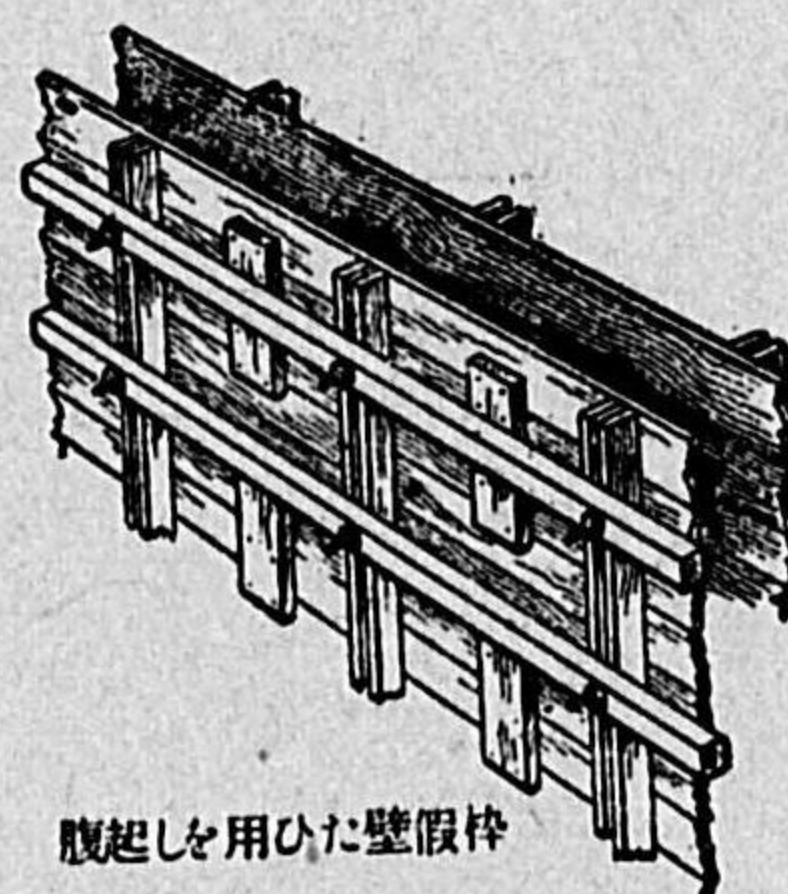
する型板の間隔を正確ならしめるために隔子を用ひる。隔子には竹、鐵管片、鐵板、セメント・ブロック、木片又は木箱等があるが、竹や鐵管片は完全なる孔詰めを忘れ勝のものであるから、従つて火や雨水が傳はる恐れがある。最も多く用ひられる隔子は鐵板製のもの又はセメント・ブロックである。第 28 圖は現今最も多く用ひられて居る壁型枠である。

柱の型枠 柱の形狀には正方形、八角形、圓形等がある。柱型枠の製作方法には種々あるが、一般に柱の入隅には三角形の 1/4 を打付け、其底部には一時的の開口を設け、コンクリートの打込に先立ち型枠内の掃除及び検査をなすに便ならしめる。横棧は凡そ 10 cm 角とし、16 mm ボルトと楔とを以て締め付ける。

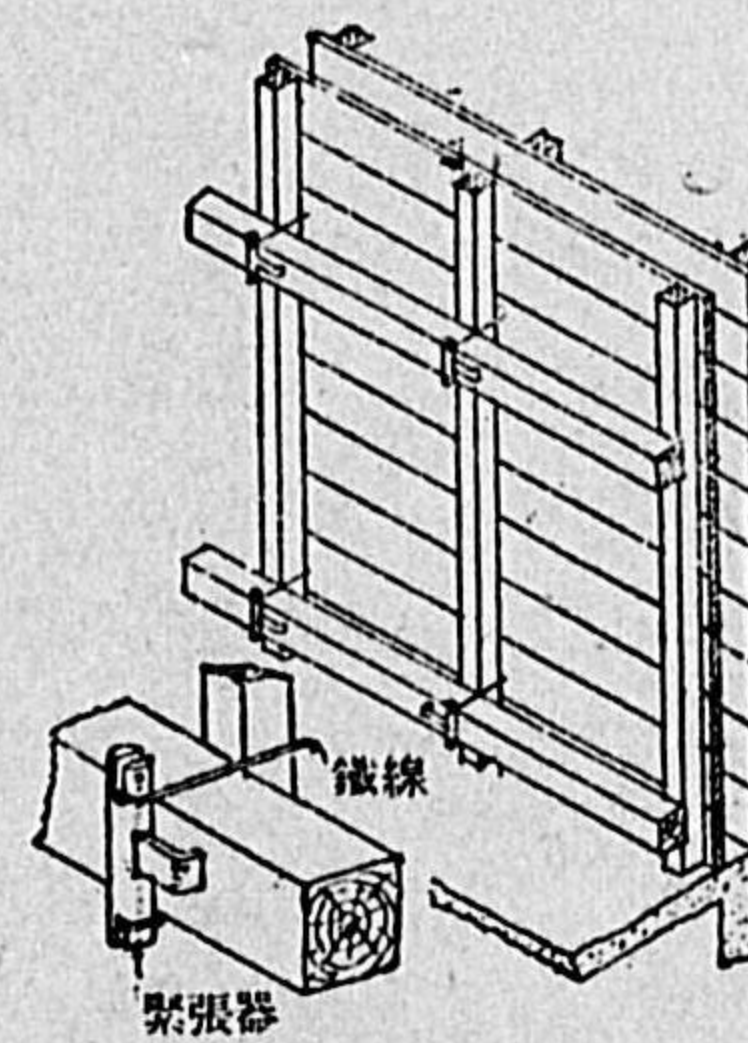
第 30 圖は外壁柱に使用する型枠の標準型を示すもので、柱の外側堰板の下部は、コンクリー



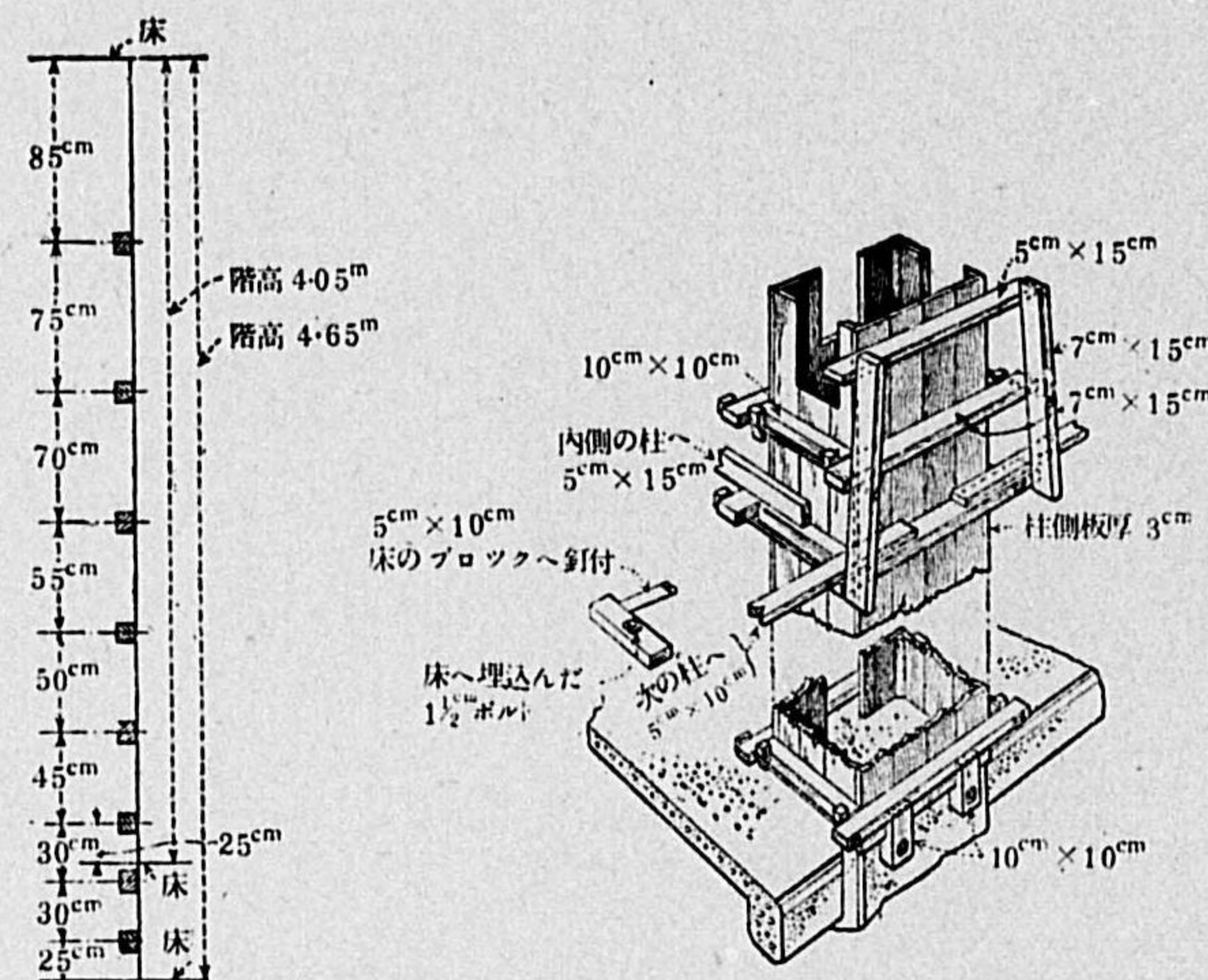
第 26 圖 間仕切壁型枠



第 27 圖 腹起しを用いた壁型枠



第 28 圖 壁型枠



第 29 圖 柱横棧の間隔

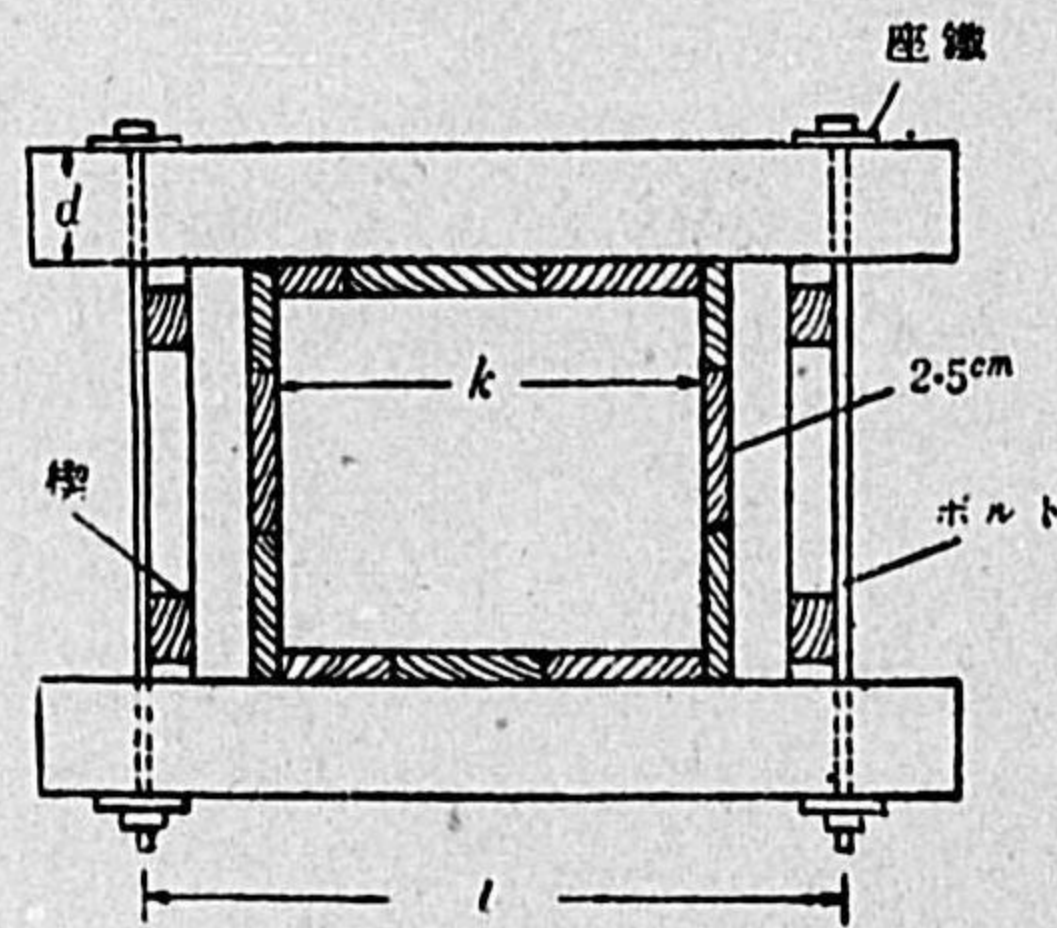
第 30 圖 外壁柱型枠

ト中に埋め込まれた 2 個の 16 mm ボルトに緊結せる 10 cm 角の木塊に依つて支持されて居る。而して柱上部の型枠は隣接せる柱に筋違ひを取るか、床上に取付けてある木塊に貫を斜に渡し釘付けして支持する。此木塊はコンクリート中に埋め込まれた 16 mm ボルトに緊結されて居るものである。

横棧は第 29 圖に示す如く柱下に行くに従つて其間隔を狭めて行くのが合理的である。コンクリートの圧力は下方に行くに従ひ次第に加はつて行くからである。併し圧力が漸進的であるからと云ふて横棧の間隔を一々變へて行くのは實際上繁雜であるから、或區間を切つて等間隔に配置するをよしとする。

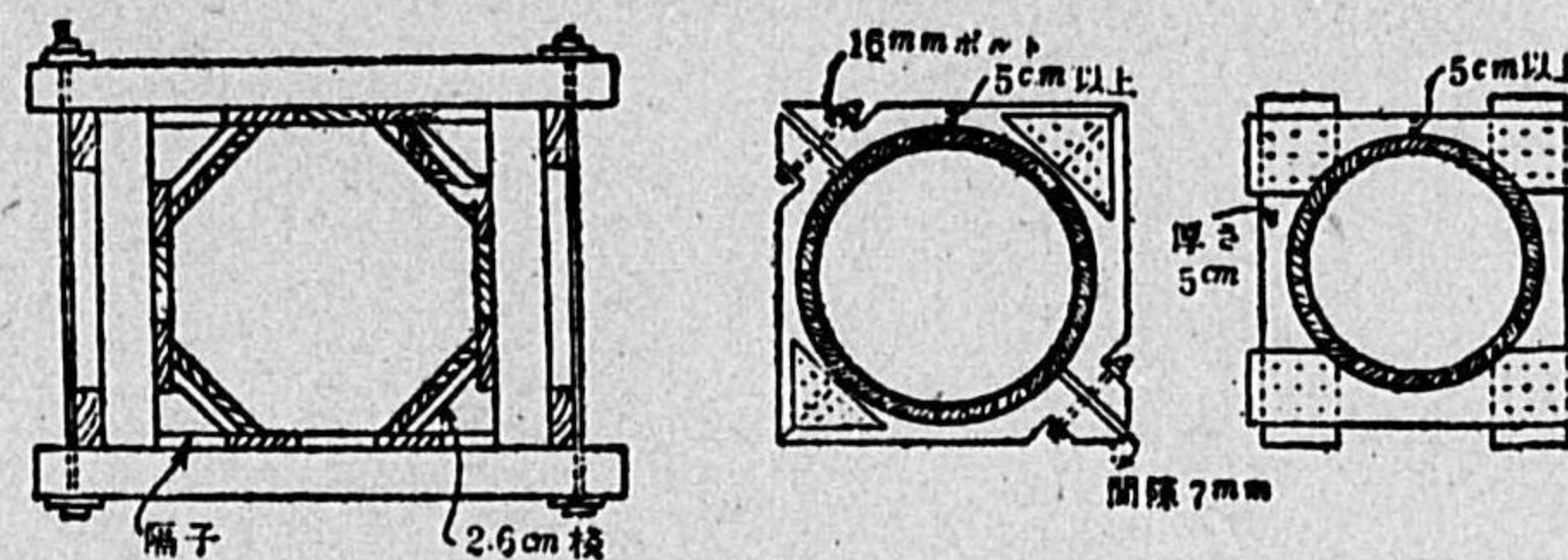
一般に型枠は各側共全長を一単位として製作し板はなるべく堅板違ひにして、下底には掃除口を設けることが必要である。柱枠の締め付けには壓力の大なる時はボルト及び縮棒等を用ひるが、普通は緊張器と爪と鐵線とを使用して締め付ける。

使用すべき木材の太さは、柱の高さ及び太さに依つて定めるべきであるが、堰板としては普通厚さ 2.6 cm 位のものを用ひられる。但し型枠



第 31 圖 矩形断面柱型枠

を反覆使用する場合には 3.2 cm ~ 3.8 cm 位のものを用ひるがよい。

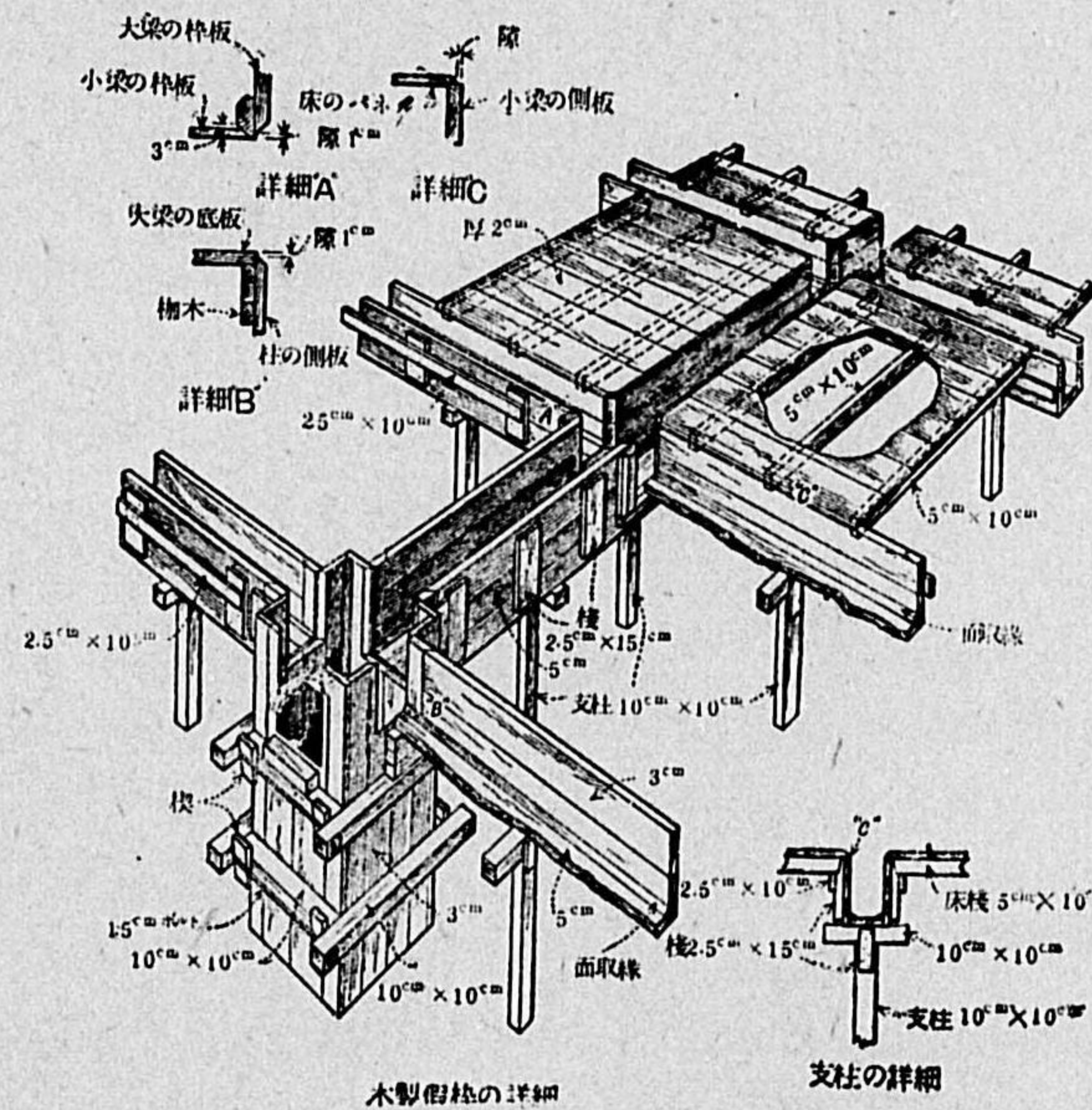


第 32 圖 八角形断面柱の型枠

第 33 圖 圓形断面柱の型枠

圓柱の型枠としては鋼製型枠を用ひるのが最も普通であるが、木製のものを作る必要ある時には第 38 圖の如き構造とする。

床版及び梁の型枠 大梁の型枠は普通一体に造りて柱と柱とを連結する。小梁の型枠は大梁の側面にある棧木上に取り付け、床根太を支持せしむるために、梁の側面に横木を釘付けする。第 34 圖は床版及び梁型枠の標準型で、第 35 圖は第 34 圖の如き組立を爲す前の型枠各部の詳細である。一般に床版型枠も壁体に於けると同様に運搬に便で取外し易い單位に製作する。即ち床版



第 34 圖 床版及び梁の型枠

の羽目型板の寸法は人手で取扱ふ時 $1.5\text{ m} \times 1.35\text{ m} \sim 1.5\text{ m} \times 2.7\text{ m}$ 位の大きとし、板は普通厚さ 2.6 cm 位のものを仕上げ用ひ、棧は $2.6\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 位のものでよい。板を直ちに床梁に打付けて羽目構にすることもあるが、重くなつて取扱いに不便である。梁枠は其底板を共儘に残して側板のみを容易に取外し得る様に組立て、床板も梁の側板と前後して取外すことが出来る様に工作する。梁の棧の間隔は堰板の厚さに依つて適當の等間隔に配置する。梁の底板は側板よりも少しく厚いものを用ひた方が垂れ下り等の憂ひ少なく結果が良い。

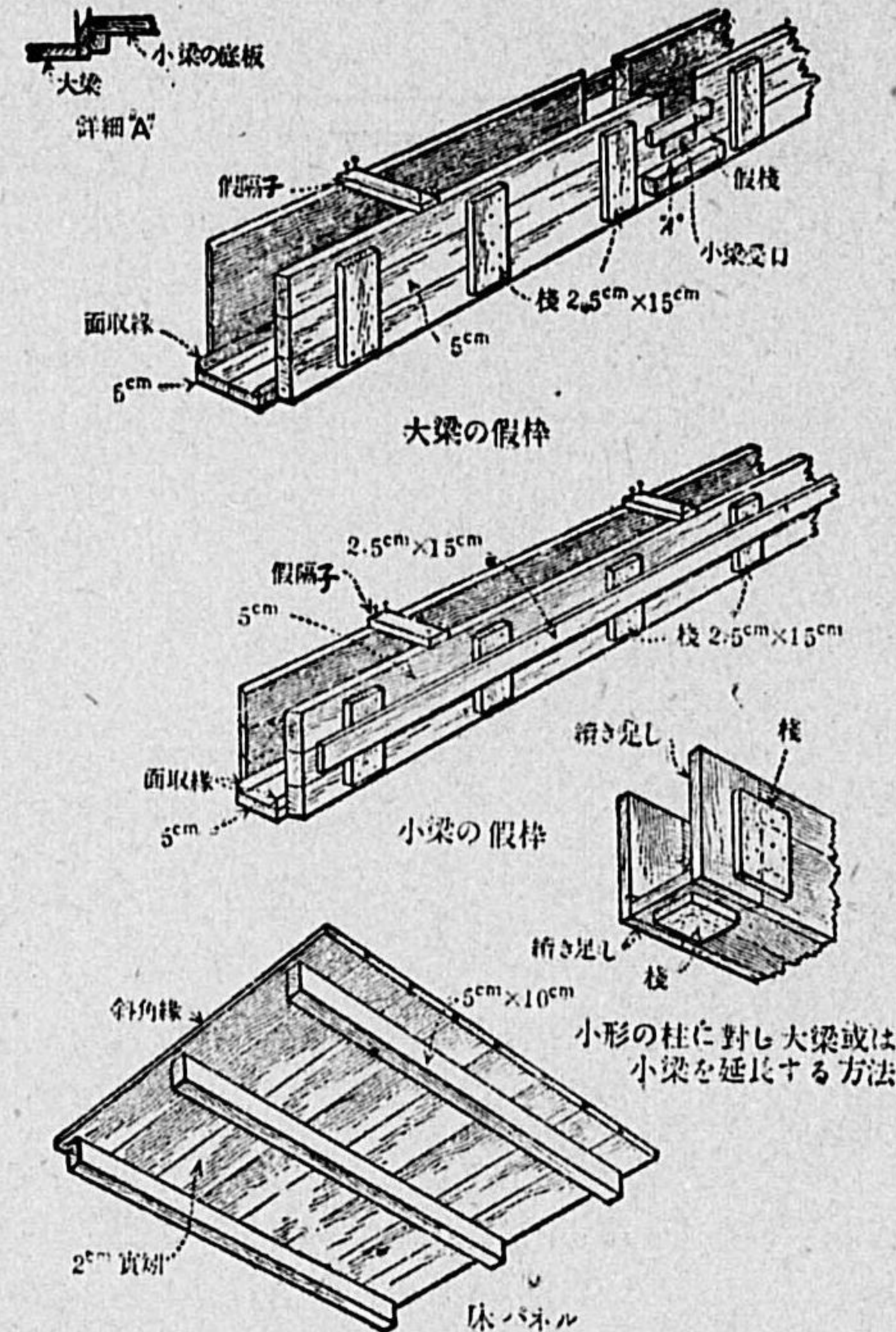
床棧の寸法は、断面 $5\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 位のものが多く用ひられる。小梁及び大梁の底板は厚さ 5 cm の板を4側仕上げて用ひる板の幅が梁の幅と同じであれば棧を用ひないでよいが、梁の幅が 25 cm 以上になれば数枚の板に断面 $2.6\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 位の棧を $60\text{ cm} \sim 75\text{ cm}$ の間隔に釘付けして用ひるのが經濟的である。

梁の側板は厚さ 2.6 cm 位のものを用ひ、 $30\text{ cm} \sim 75\text{ cm}$ の間隔に置いた棧に釘付けする事底板の場合と同様である。梁の側板は決して底板の上に載せず、底板の外側に重ね合せる。

支保工 簡單なる型枠では、支保工は勿論型枠の一部であるから、特別の考慮は不要であるが大なる型枠、又は特殊の構造物に就いては、支保工は獨立の存在となり、充分注意して設計せねばならぬ。支保工を構造に依つて分類すれば次の通り。

- (1) 支柱、(2) 構柱、(3) 結構、(4) セントル

スパンの小なる桁橋等の支保工にはよく支柱が用ひられる。支柱には多く松丸太が使用せられる。末口 $10\text{ cm} \sim 14\text{ cm}$ 、又は 20 cm である。丸太は組立が堅牢に出来ない傾向があるから、角材を使用し得れば成るべく角材が好ましい。其寸法は市場品を参考とすべきであるが、 $5\text{ cm} \sim 10\text{ cm}$



第 35 圖 床版及び梁型枠の各部詳細

乃至 $10\text{ cm} \sim 15\text{ cm}$ 位が適當である。木材は生のものを使用してはならない。

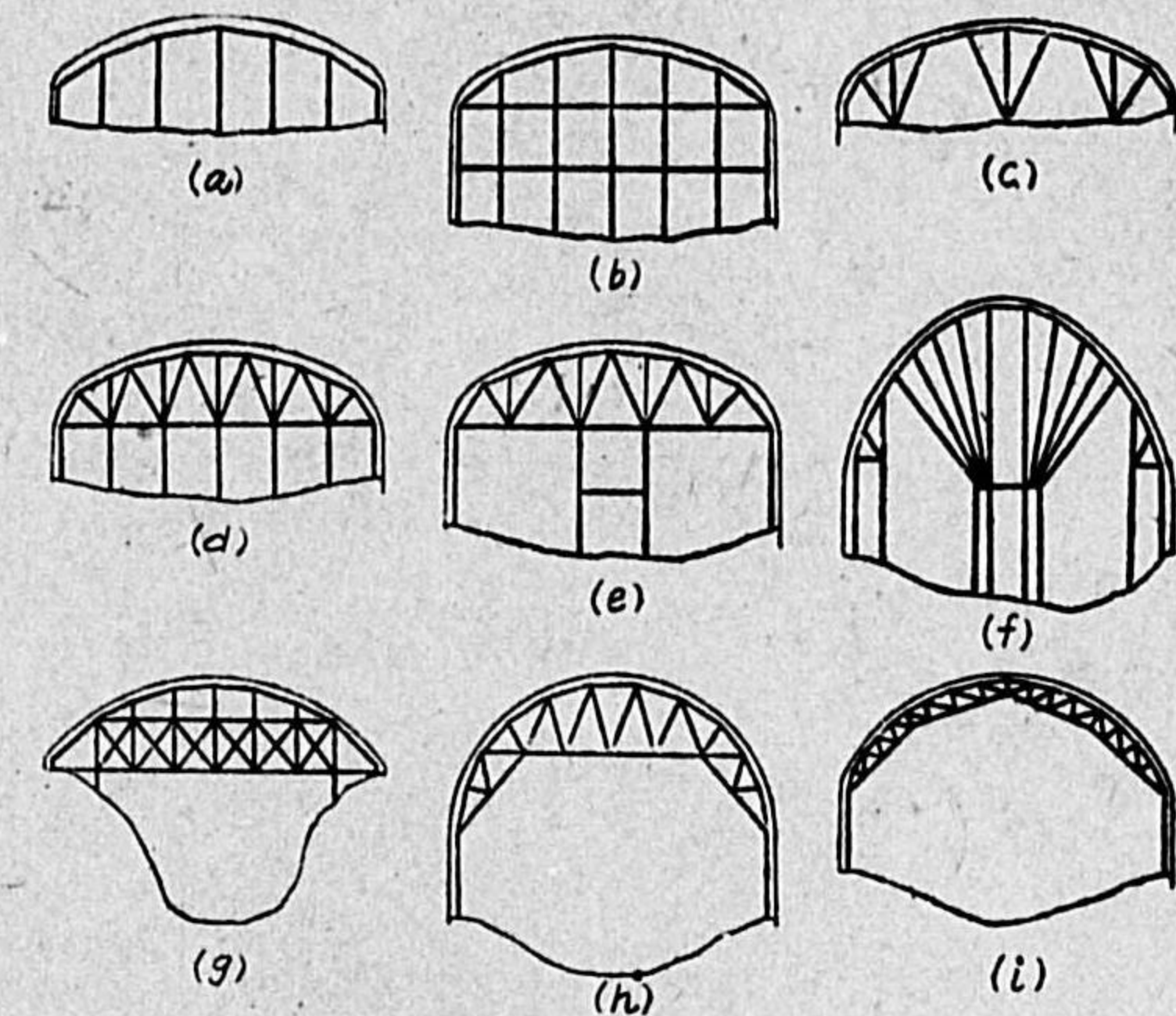
支柱には下端、又は上部適當の箇所に楔の類を使用せねばならぬ。支柱が長くなると曲るから繫材、筋違ひ等で固定する必要がある。繫材等は末口 12 cm 位の丸太を鋸割つたもの、又は $5\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 位の角材を使用し、徑 16 mm 以上のボルトで締め付ける。

高さの高い場合、又は大スパンの桁橋或は拱橋等で、支柱を繫材、筋違ひ等で強固に連結したものが構柱である。

鐵道、軌道上の工事で一般交通に支障のある場合には、結構を使用する。木材を使用する場合はハウ式結構を用ひ、屢々使用する時はワーレン構、プラウト構等の鋼製を用ひる。

セントルは拱橋に用ひられるもので、型板の棧と支保工とが一緒になつたものと考へられる。第 36 圖は拱橋の種々の支保工を示して居る。同圖 (a) は低い橋の場合の構柱で、支柱は基礎から拱環まで通し一本である。

(b) 圖は高い橋の場合の構柱で數階の構造になつて居る。(c) 圖は支柱の基礎の數を少なくする場合の構柱で、此場合には支柱を傾斜して使用する。(d) 圖は支柱の數を増さずに拱環の縦梁のスパンを縮める場合の構柱の一設計である。(e) 及び (h) 圖はワーレン綾構を有する弓弦構の支保工で橋下の餘隙が充分利用し得る様に空けてある。



第 36 圖 拱橋の支保工

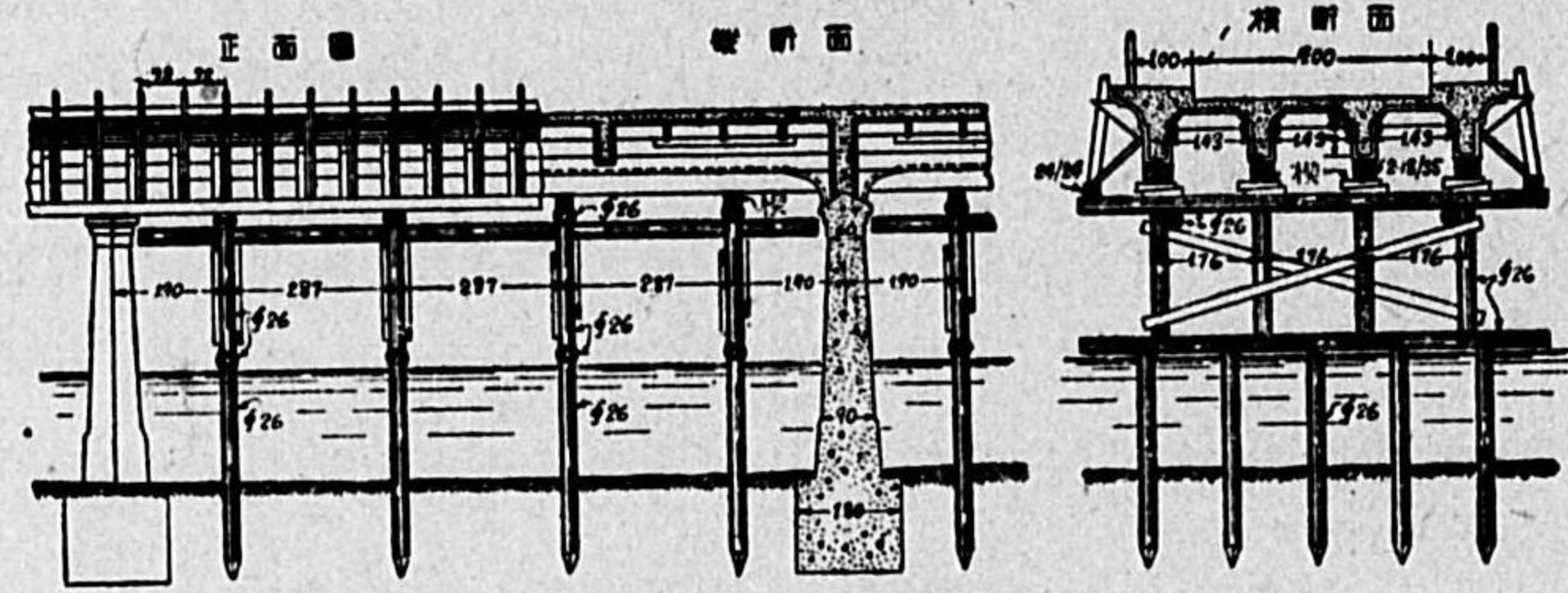
(f) 圖は非常に高い拱橋の場合

の扇型構柱で、各支柱は之を中央の基礎に集中した設計である。(g) 圖はハウ構より成る拱橋の支保工の例である。(i) 圖は (e) 乃至 (h) 圖に示す様な設計の代りに採用される鋼製假工である。第 37 圖乃至第 39 圖は支保工の例である。

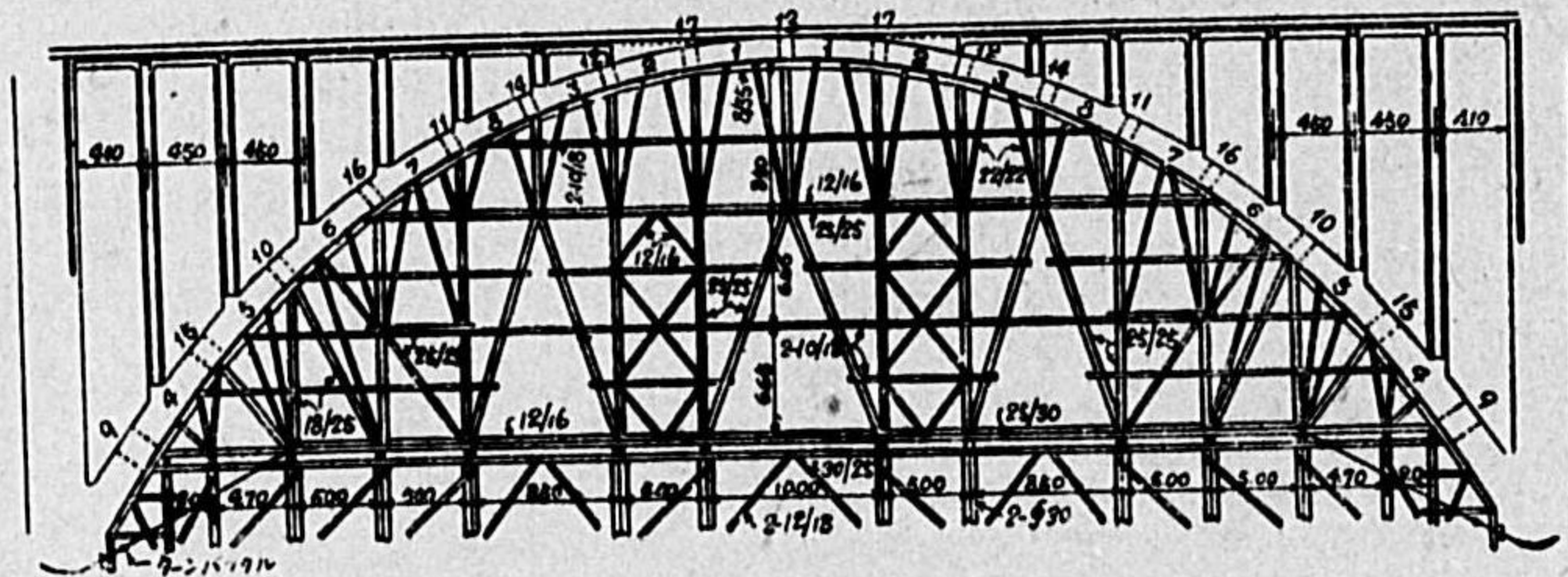
鋼製型枠 之は歐米に於ては、構造物の型式、其形態の如何を問はず使用される。我國でも歐米の如くに、鋼製型枠の賃貸が發達して來れば、鋼製型枠の利益を受けることが一層大となる理である。建築物で鋼製型枠が用ひられるのは、普通、圓柱及び其頭部、無梁版構造の床版、壁、基礎等である。厚い擁壁に類する大工事では型枠の原價と共に、工賃の節約が非常に大切となるから、随分大きな特別の鋼製型枠を使用した例が少なくない。導水渠、穀倉、水槽、地下道、隧

道等の構築には殊に鋼製型枠の利益が大であるから、甚だ広く用ひられる。

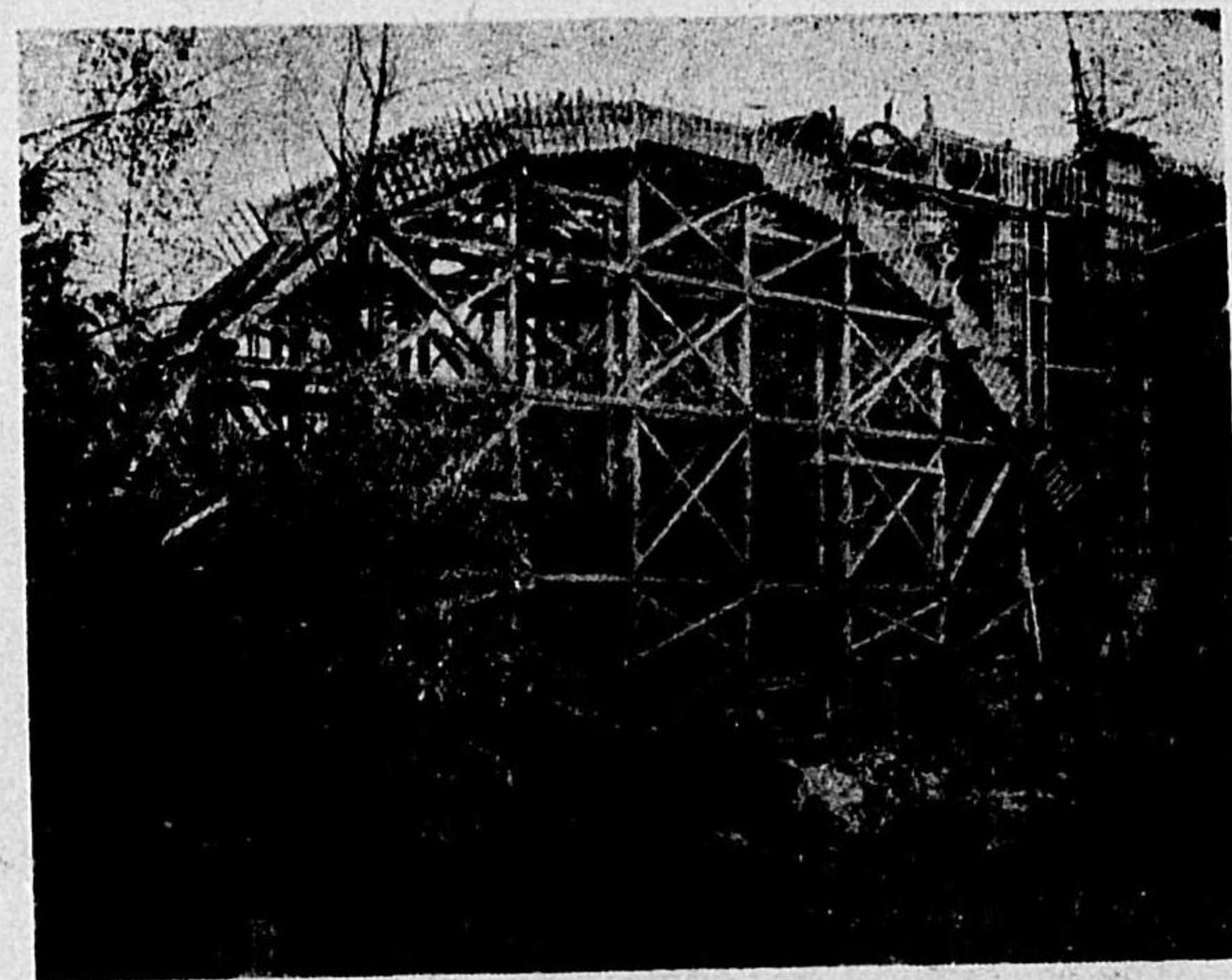
鋼製型枠は之を反覆して使用する場合にのみ経済的である。鋼製型枠を用ひれば、出来上りコンクリートの面が綺麗に出来上る。勿論、其製作費は木製型枠に比して遙かに高價である。我國



■-111 桁橋の型枠及び支保工



第 37 圖 拱橋支保工

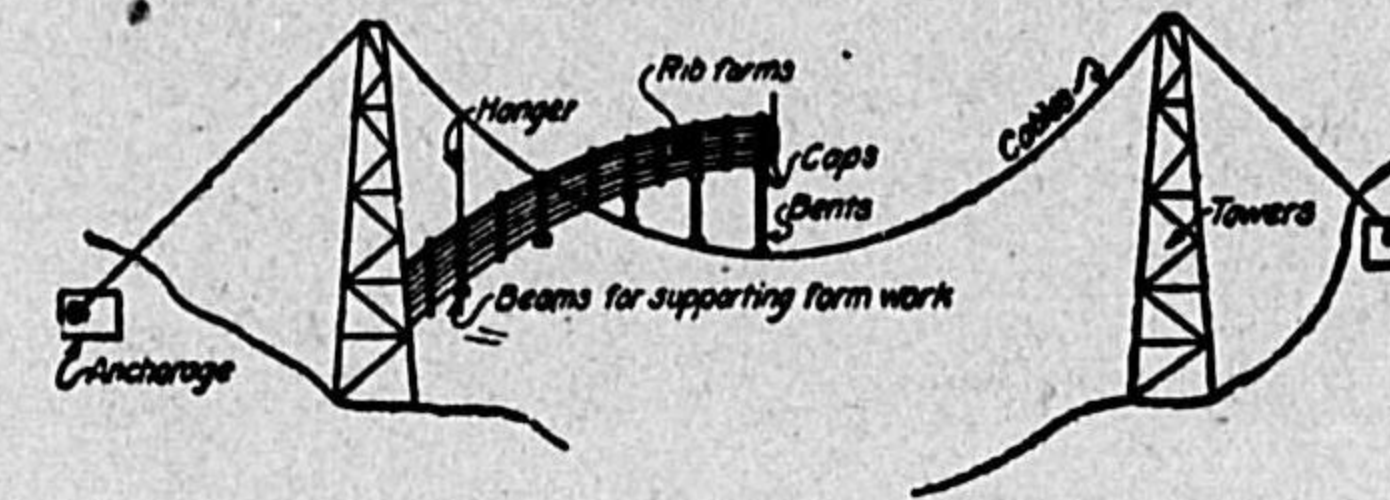


第 38 圖 拱橋支保工

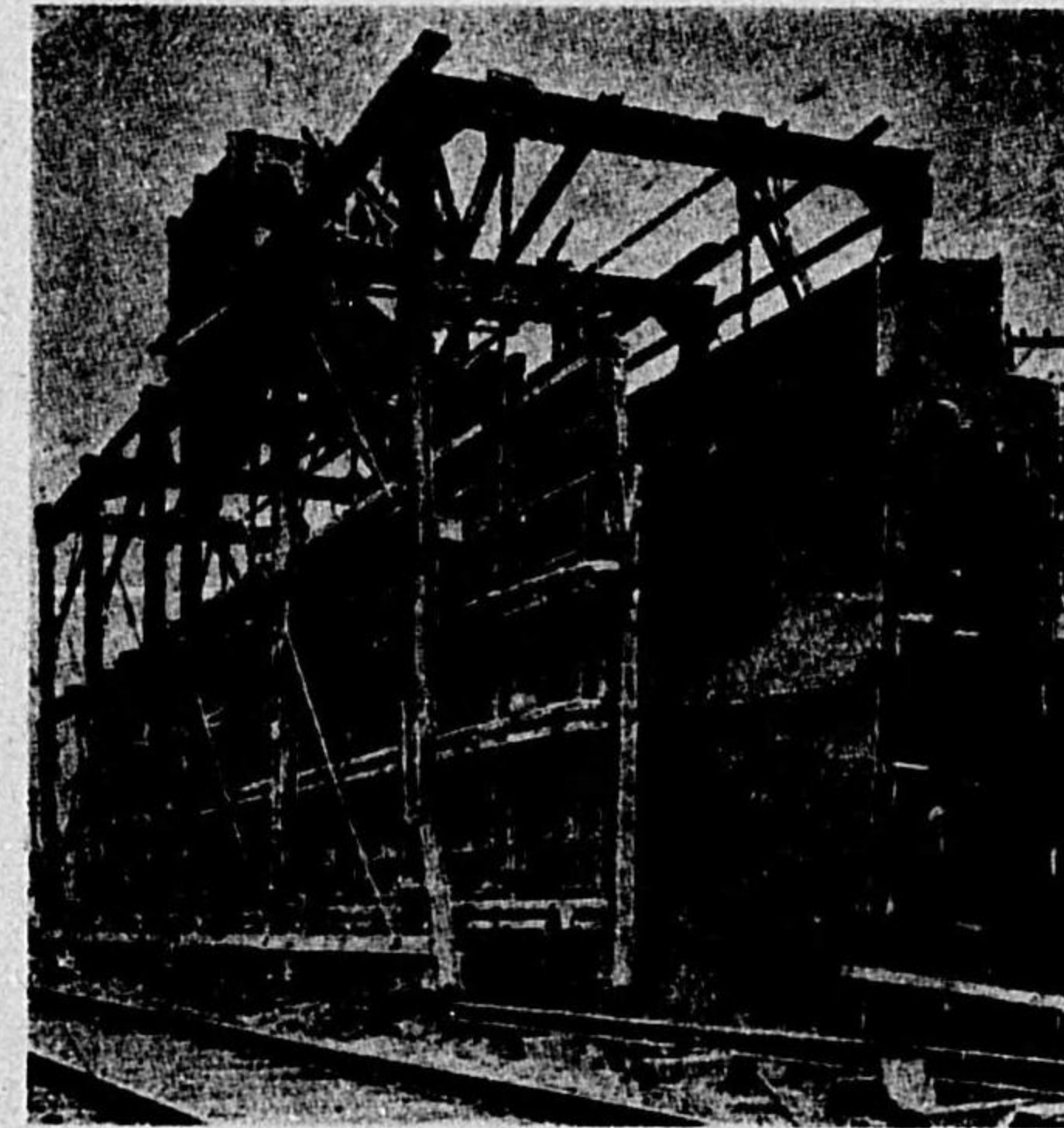
では米國のブロー・ノックス (Blaw Knox) 會社の製品が大分用ひられて居る。

鋼製型枠に於ても木製型枠と同様に適當の大いさの部分に分割して製作されるから、其組立のためにはボルト、又は特種の金物を使用する。管渠、函渠、隧道などの内側の型枠は其組立てに當つて、1、2 箇所の繼手に楔を挿入してボルトを以て締め付け、之を弛めることに依つて容易に型枠を取外し得る。

鋼製型枠に對しては、鋼製支保工が使用されるのが普通であつて、型枠を堅固な支保工に取付け、此支保工を軌道上に推進して、順次型枠の移動を行ふ場合が多い。型枠と支保工との間には適當なるスクルー・ジャツキを挿入し、型枠の組立て、取外しともに、此ジャツキの助けを籍るのである。

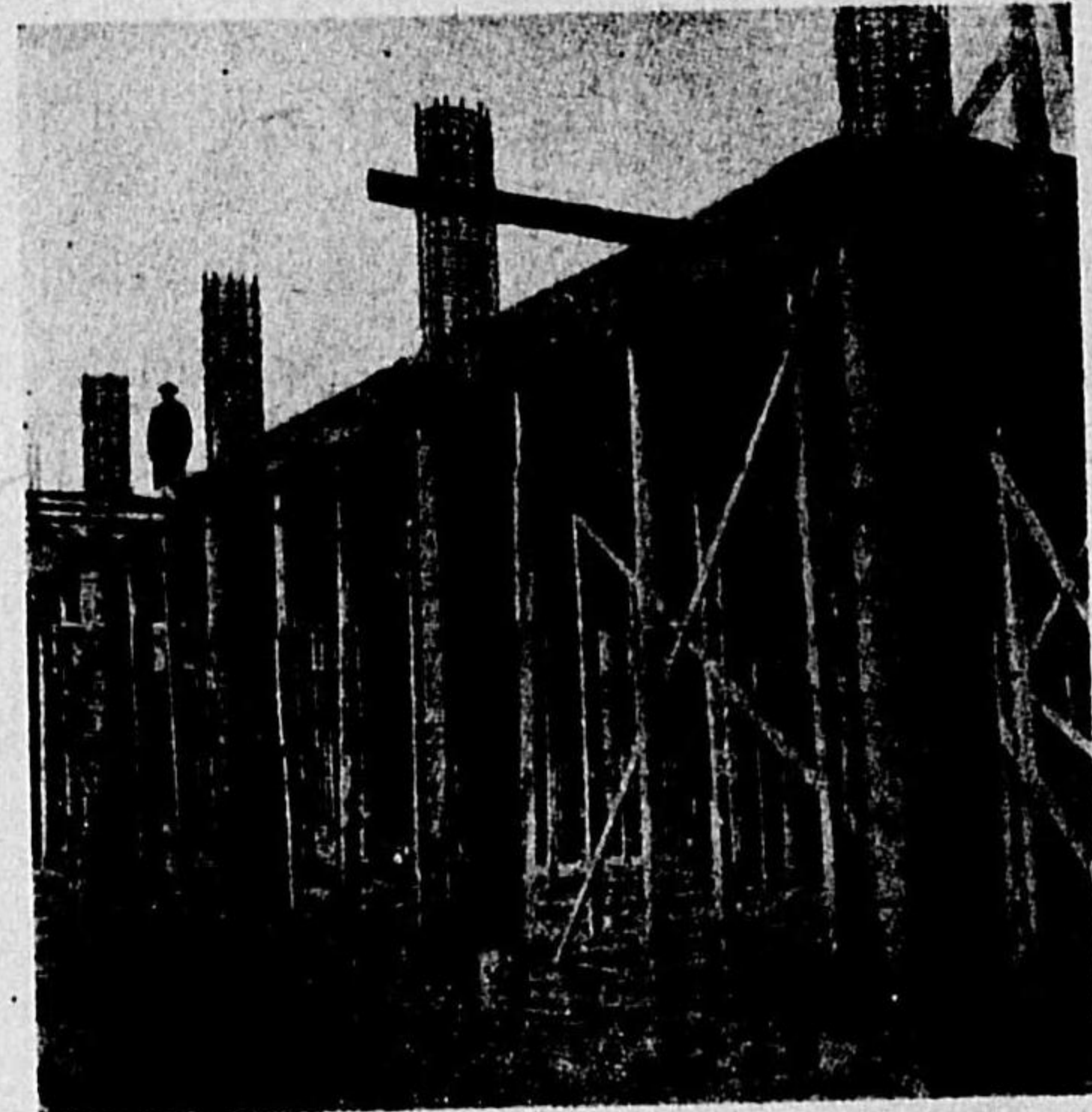


第 39 圖 懸吊支保工

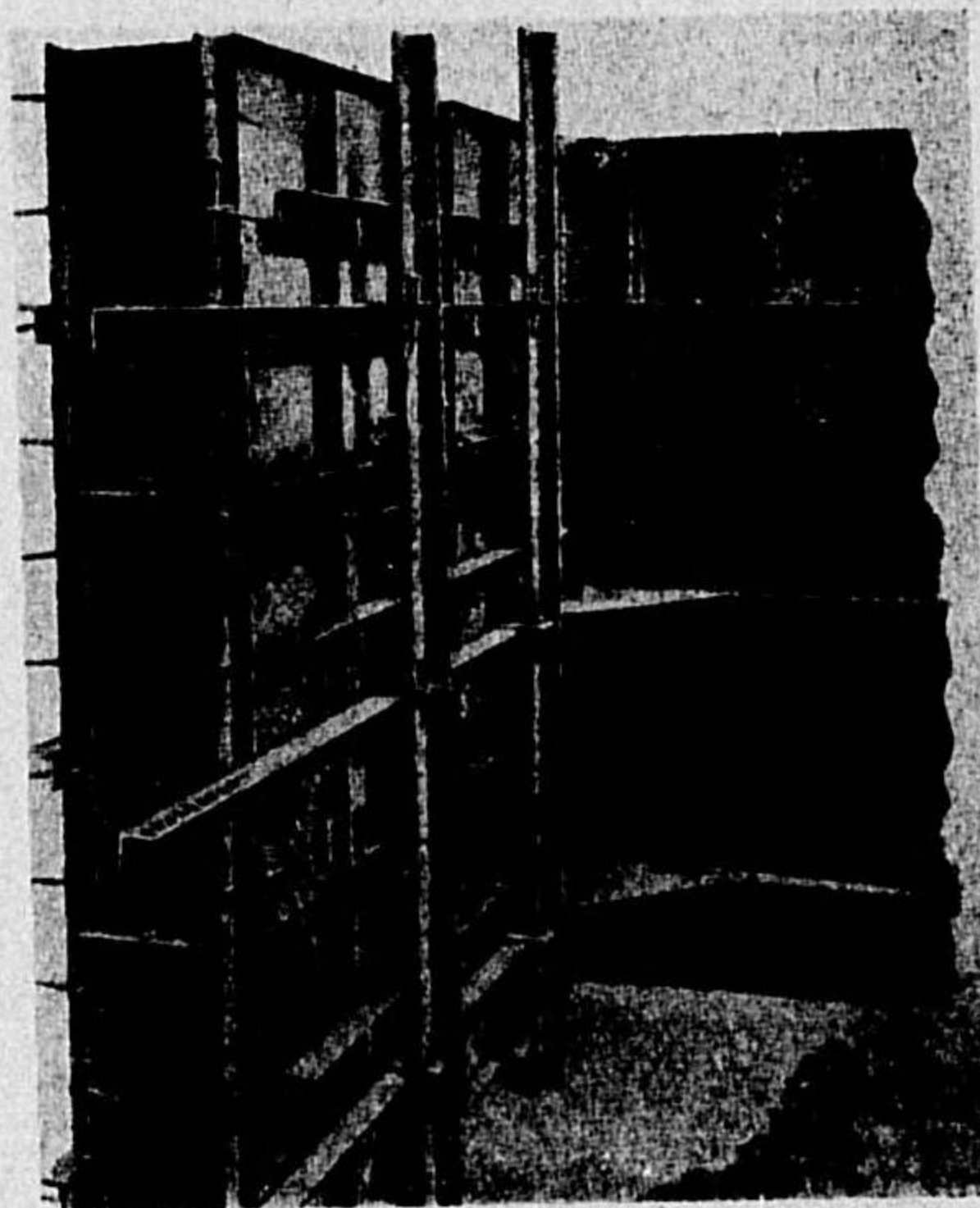


第 40 圖 壁の鋼製型枠
(ブロー・ノックス會社)

ボルチモア・エンド・オハイオ鐵道の高さ 5.5 m の壁に使用せられる鋼製型枠とガントリー型移動式支保工



第41圖 鋼製圓形支柱型枠 (ブロー・ノックス會社)



第42圖 鋼製壁型枠 (ブロー・ノックス會社)

鋼製型枠の大体の構造は山形鋼、又は溝鋼の様な形鋼と鋼板とを銲綴したものが多い。コンクリートに接する面には皿綴銲が用ひられる。

第九章 コンクリートの性質

(69) **コンクリートの重量** セメントの重量を $1,500 \text{ kg/m}^3$ とし、其比重を 3.12 として
 $W =$ 使用するセメントの重量 (kg)、 $W_f =$ 使用する細骨材の重量 (kg)、 $S_f =$ 細骨材の比重、 $W_c =$ 使用する粗骨材の重量 (kg)、 $S_c =$ 粗骨材の比重、 $w =$ 水セメント重量比、 $V =$ コンクリートの出来上り容積 (m^3)、 $G =$ 出来上りコンクリート 1 m^3 の重量 (kg) とすれば、

$$V = \frac{W}{1,500} (0.48 + 1.5w) + \frac{W_f}{1,000 S_f} + \frac{W_c}{1,000 S_c}$$

$$G = \frac{W + wW + W_f + W_c}{V}$$

普通の骨材の比重は 2.60 ~ 2.70 にて、其重量は平均 $2,200 \text{ kg/m}^3 \sim 2,300 \text{ kg/m}^3$ である。コンクリート 1 m^3 の重量は凡そ $2,200 \text{ kg} \sim 2,300 \text{ kg}$ であつて、構造物の設計に關する計算には之を用ひる。

(70) **コンクリートの膨脹係數** コンクリートの温度に對する膨脹係數は一定でないが、平均 1°C について 100 萬分の 10 に採つてよい。土木學會標準示方書はコンクリート及び鐵筋に對して之を採つてゐる。

(71) **コンクリートの強度** 鐵筋コンクリート用コンクリートの品質を示す標準として、コンクリートの壓縮強度を用ひることが一般に行はれて居る。而して單にコンクリートの強度と云へば、壓縮強度を指すのが普通である。コンクリートの壓縮強度に關係する主要なる要素は次の通り。

(1) セメントの性質、(2) コンクリートの單位容積中に含まれるセメントの量、(3) 骨材の性質及び粒度、(4) 水の性質及び使用水量、(5) 施工法、(6) 材齡、(7) 養生法、(8) 温度

壓縮強度を求めるには、壓縮強度試験に依るのであるが、試験方法が一定して居らないと、結果を正しく比較することが出來ない。又供試体の大いさも強度に影響する。標準示方書に依れば是等を統一することが出來る。供試体の大いさは粗骨材の最大寸法に依つて直徑 15 cm、高さ 30 cm (粗骨材の最大寸法 5 cm 以下の場合) 及び直徑 20 cm、高さ 40 cm (粗骨材の最大寸法 5 cm より大なる場合) の二種になつてゐる。

(72) **セメントの性質の影響** コンクリートの壓縮強度は使用するセメントの強度に比例する。故に、なるだけ、強度の大なるセメントを用ひねばならぬ。獨逸のオットー・グラフ (Otto Graf) 教授はモルタル試験に依るセメントの壓縮強度を考慮に入れて、コンクリートの壓縮強度と水セメント重量比との關係を材齡 28 日に於て次式で表はして居る。

最小 $\sigma_{28} = 0.094 \frac{K_u}{w^2} \text{ kg/cm}^2$, 最大 $\sigma_{28} = 0.188 \frac{K_u}{w^2} \text{ kg/cm}^2$,

平均 $\sigma_{28} = 0.125 \frac{K_u}{w^2} \text{ kg/cm}^2$,

上式中、 σ_{28} = コンクリート標準供試体（圓錐、高さ = 直徑 × 2）の
材齢 28 日於ける壓縮強度

K_u = セメント規格の試験法に依る 1:3 モルタルの材齢 28 日
に於ける壓縮強度

w = 水セメント重量比

ポルトランドセメントに対する濱田博士の實驗式は次の通り。

$$\sigma_{28} = \frac{2.2K}{20w} \text{ kg/cm}^2$$

上式中、 σ_{28} = 標準試験方法に依るコンクリート 4 週壓縮強度

K = 日本標準規格に依るセメント 4 週壓縮強度、 kg/cm^2

w = 水セメント重量比

我國建築學會標準示様書及び市街地建築物施行規則の公式は次の通り。

$$\sigma_{28} = \frac{2K}{20w} \text{ kg/cm}^2$$

又コンクリートの單位容積中に含まれるセメントの量に依つて強度が異なる。標準示方書に依ると、鐵筋コンクリートの場合に、セメントの最小使用量を、出來上りコンクリート 1 m^3 について 300 kg は少なくとも使用せねばならぬことになつてゐる。

(73) 骨材の性質 粗骨材の石材の強度がコンクリート中の硬化したモルタルの強度より大であつて、且、其粒度が適當であれば、最大寸法の大きい粗骨材を用ひる程、壓縮強度の大なるコンクリートが得られる。骨材の大小粒が適當に混合して居ることは、所要壓縮強度のコンクリートを經濟的に製作する上から甚だ大切なることである。

(74) 使用水量 水セメント比に就いては既に (28) 節に於て詳述したる所である。水量はコンクリートの壓縮強度に大なる影響を持つてゐるものである、即ち同一のセメント、同一の骨材を使用して作つたコンクリートの壓縮強度は水セメント比に依るものと云へる。水セメント比は我國では、使用水の重量とセメントの重量との百分率で表はすことになつて居る。

(75) 材齡と強度との關係 コンクリートの壓縮強度は其材齡の長ずるに従つて増進するが、普通セメントでは材齡 1~3 箇月、早強セメントでは材齡 1~4 週の間強度増進が特に大であり、其關係は 4 次以上の高次拋物線で表はされる。強度と材齡との關係は第 14 表、第 15 表に依るも知り得るが、獨逸伯林、國立材料試驗所に於ける長期試験の結果は第 16 表に示す通り。

第 14 表 材齡とコンクリートの壓縮強度 (kg/cm^2) との關係

配 合 (容 積 比)	中 練		極 め て 軟 練	
	材 齡 1 月	材 齡 6 月	材 齡 1 月	材 齡 6 月
1 : 1 : $2\frac{1}{2}$	227	351	139	228
1 : $1\frac{1}{2}$: $3\frac{1}{4}$	173	268	106	174
1 : 2 : 4	140	217	86	141
1 : $2\frac{1}{2}$: $4\frac{3}{4}$	116	179	71	112
1 : 3 : 5	105	162	64	105
1 : 4 : 7	74	115	46	74

第 15 表 材齡とコンクリートの壓縮強度 (kg/cm^2) との關係

配 合	材 齡 1 週	材 齡 1 箇月	材 齡 3 箇月	材 齡 6 箇月
1 : 2 : 4	98	168	203	259
1 : $2\frac{1}{5}$: 5	91	155	187	238
1 : $3\frac{1}{2}$: 7	77	132	154	196
1 : 4 : 8	70	119	140	175
1 : 5 : 10	56	94	105	133

第 16 表 材齡とコンクリートの壓縮強度 (kg/cm^2) との關係

稠 度	4 週	3 箇月	1 年	2 年	8 年
地 濕 狀	167	203	247	277	304
軟 質	121	151	188	225	227

獨逸のバツハ (Bach) 教授は材齡 6 年に達する長期の實驗からコンクリートの材齡と強度との關係を次式で表はして居る。之は普通のポルトランドセメントに關する公式であつて、早強セメントには適用せられない。

$$\sigma_c = 874 \left(1 - \sqrt{\frac{1}{6m+1}} \right)$$

上式中、 σ_c = コンクリート圧縮強度、 kg/cm^2
 m = 材齢、月

第 17 表は各種國産セメントに就いての實驗の結果であつて、配合は 1:2:4、水セメント比は 0.6 である。

第 17 表 材齢と各種コンクリートの壓縮強度 (kg/cm^2) との関係

セメント	1 日	2 日	3 日	7 日	28 日	3 月	6 月	1 年
普通セメント	11	33	61	130	236	336	344	355
早強セメント	22	64	110	267	348	359	—	375
低熱セメント	16	35	46	74	183	340	394	436

材齢に依る強度の増進に就いては 15 年位迄の實驗が行はれて居るが、2 年目以後は其増加率は甚だ低い。普通セメントに就いては材齢 4 週の強度を 1.0 として、1 週が 0.5、6 箇月が 1.5、2 年で 2.0 に達するが終局に於ても 2.5 を超える事は稀である。

材齢 7 日の壓縮強度から、材齢 28 日の壓縮強度を推定する事は、實際、現場で屢々必要である。此點に關しては、現在に於ては、グラフ氏の實驗式に依るを可とする。

σ_7 = 材齢 7 日に於けるコンクリートの壓縮強度
 σ_{28} = 材齢 28 日に於けるコンクリートの壓縮強度

$$\sigma_{28} = 1.4 \sigma_7 \text{ } kg/cm^2 \text{ 乃至 } \sigma_{28} = 1.7 \sigma_7 + 60 \text{ } kg/cm^2$$

而して使用水量の大なるコンクリートでは $\frac{\sigma_7}{\sigma_{28}}$ の値が小さい。

(75) 養生法及び温度 養生とはコンクリートを打ち終つてから、之を保護して其硬化作用を充分に發揮せしめると同時に、過早の乾燥、寒冷、又は異常高温度に曝されぬ様に、又之に加はる荷重並に衝撃等の有害なる影響を受けない様にする作業を云ふものである。硬化中、コンクリートの部材に生ずる初應力を、なるだけ、小ならしめんとする事も養生の一の目的である。

セメントの硬化は化學變化であるから、其速度は温度の上昇のために大いに促進せられる。即ち高温であれば短時に高強度となる。但しアルミナ・セメントだけは例外であつて、高温で出来る結晶が常温のもの異なる種類であつて、却つて弱いものとなる。此處に云ふのはポルトランドセメント及び混合セメントに就いてである。

第 48 圖は米國イリノイ大學の實驗であつて、此種の研究としては有名なるものである。之は

水セメント比 0.70、配合 1:2:4 (重量) のコンクリートを數種の一定温度に於て養生し養生中は濕袋で被ひ、日々撒水して試験したるものである。温度に依つて強度が大なる影響を受けることがわかる。普通の鐵筋コンクリート用コンクリートに對しては、材齢 28 日に於て、養生中の平均温度 10° について、壓縮強度に凡そ $2 \text{ } kg/cm^2$ 乃至 $4 \text{ } kg/cm^2$ 位の差を生ずるものと考へて大差ない。

(77) コンクリートの引張強度 大体に云ふとコンクリートの引張強度は壓縮強度の $\frac{1}{10}$ 位である。但し此値は種々の狀況に依つて異なる。鐵筋コンクリートの設計に於ては、安全と計算の容易とのために、コンクリートの引張應力を無視するのが普通であるが、鐵筋コンクリートの破壊は、コンクリートの引張強度と密接なる關係が有る場合が多いから引張強度は、壓縮強度と同様に大切なるものである。

(78) 押貫剪断に對するコンクリートの強度 押貫剪断に對するコンクリートの強度は、理論上からも、實驗上からも、壓縮強度の約 $\frac{1}{2}$ である。

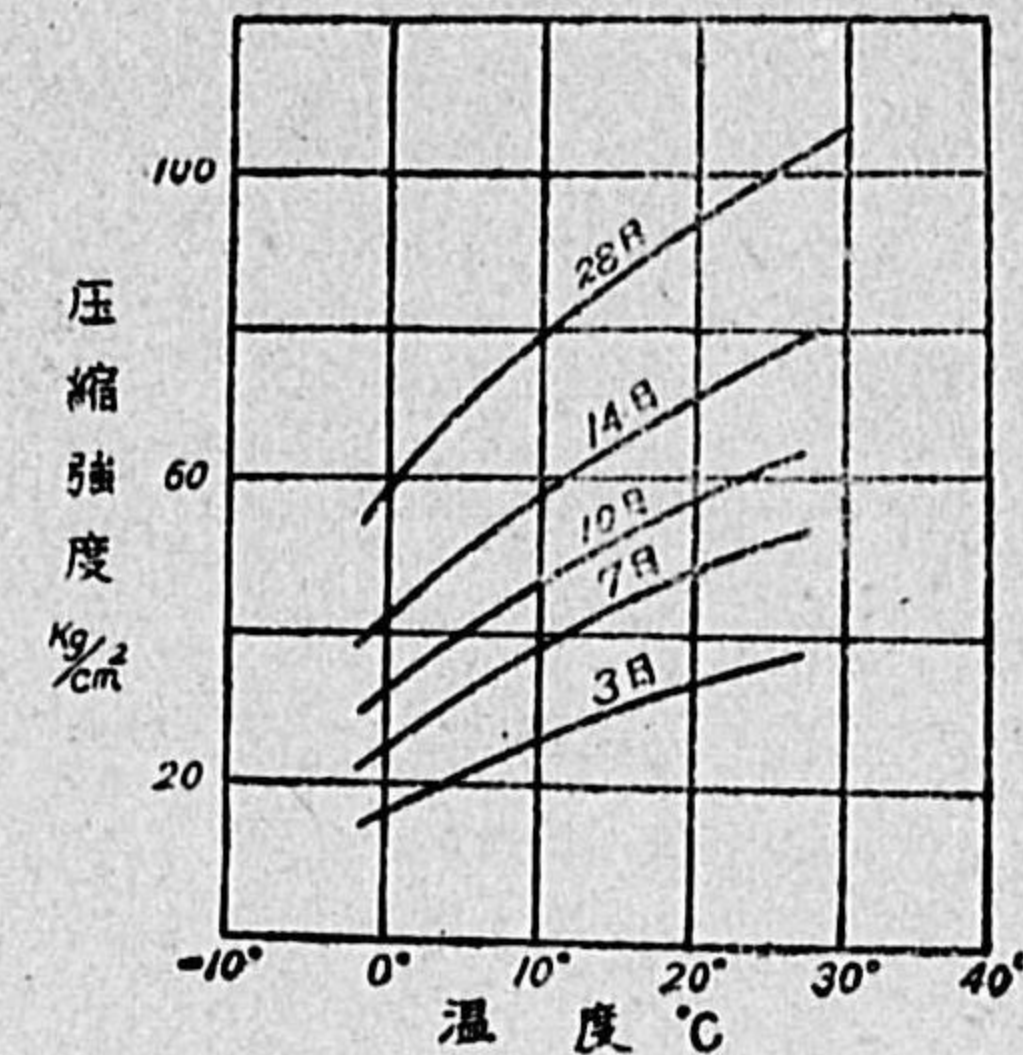
(79) コンクリートの弾性 壓縮應力に對する應力歪圖 フックの法則に依れば彈性体にては應力と歪とは正比例する。完全な彈性体でない材料に就いても、其彈性限度内の應力の値に對しては、此法則が成立し、此比例の常數を彈性係數又はヤング係數と云ふ。今 σ を壓縮、又は引張應力度、 ϵ を歪、 E を彈性係數とすれば

$$\sigma/\epsilon = E \quad \epsilon = \sigma/E$$

併しコンクリートの如き脆弱なる材料に就いては最初からフックの法則が成立せないので、應力と歪との間の關係は直線で表はすことを得ずして一種の曲線で表はされる。例へばバツハ氏の 1:2.5:5 コンクリートに就いての實驗に依ると

$$\epsilon = \frac{\sigma \cdot 1.45}{298,000}$$

即ちコンクリートは完全なる彈性体でなく、壓縮應力度が比較的小さい時でも、永久歪を生ずること第 44 圖に示す如くである。上記の如くコンクリートに於ては應力と歪との關係は曲線ではあるが、應力の小さい範圍内では之を直線と假定しても大差がないから、コンクリートの如き材料をも彈性体として取扱ふのが普通である。此場合には、應力及び歪の微小なる變化の間に於てのみ、 E を常數と假定するものである。コンクリートの彈性係數に關する性質は次の通り。



第 43 圖 コンクリートの養生中の温度と壓縮強度との關係

(1) コンクリートの弾性係数は常数でなく、応力が大となるに従つて反対に減少する一種の変数である。

(2) 配合、材齢、水量其他の要素の弾性係数に対する関係は其強度に対する関係と凡そ同様である。従つて一般に強度の大なるコンクリートの弾性係数は大きく、強度の小なるコンクリートの弾性係数は小さい。

(3) コンクリートの圧縮弾性係数と引張弾性係数とは同一でない。同一の応力の値に対しては引張弾性係数は圧縮弾性係数より小さく、剛性係数は更に之より遙かに小さい。

(4) 応力の増すに従つて弾性係数が遞減する割合は引張弾性係数が最も大きく、圧縮弾性係数が最も小さく、剛性係数は其中間にある。

(5) 弾性係数が変数である結果、ポアソン比 $\frac{1}{m}$ も亦変数である。 G を剛性係数として $\frac{1}{m} = \frac{1}{2} \left(\frac{E}{G} - 2 \right)$ からポアソン比を計算すると $m = 2 \sim 10$ の間に變化する。

(6) コンクリートの弾性係数は変数であるが、応力の小さい間は、之を常数と見做しても、實用上、大差がない。

土木學會標準示方書に依ると、断面の決定及び部材の安全を検査するための計算に対して弾性係数 E_c は次の通り。

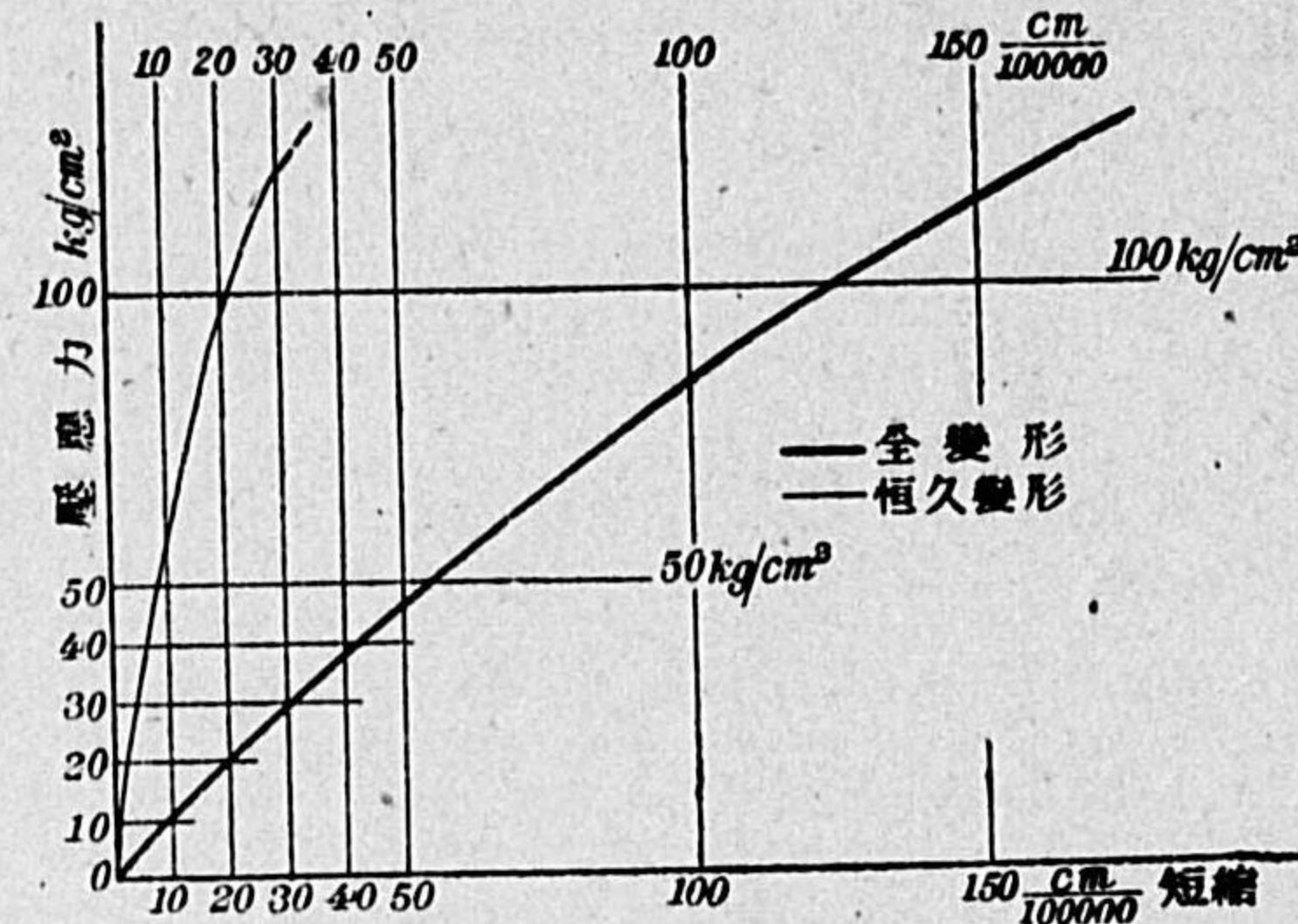
$$E_c = 140,000 \text{ kg/cm}^2 \quad E_s/E_c = 15$$

不静定力、又は弾性變形の計算に於ては、一般に部材に許容應力に近い応力に対する弾性係数が採用せられる。此場合には

$$E_c = 210,000 \text{ kg/cm}^2, \quad E_s/E_c = 10, \quad E_s = \text{鋼の弾性係数}$$

(80) 引張應力に対するコンクリートの應力歪圖 引張應力に対するコンクリートの應力歪圖は、圧縮應力に対するものとは、多少異なつて居る。併しコンクリートの引張應力に対する弾性に就いて考慮する必要ある場合には、簡單のために、引張應力に対する應力歪圖は、圧縮應力に対するものと同じであると假定しても、實用上差支ないと認められて居る。

(81) コンクリートの硬化による膨脹と収縮 コンクリートは水中で硬化すれば膨脹し、空气中で硬化すれば収縮する。此膨脹率及び収縮率の差は、硬化の初期に於ては餘り大ではないが、



第 44 圖 コンクリートの圧縮應力に対する弾性係数歪圖

材齢が大となると、収縮率の方が遙かに大となる。斯くの如くコンクリートは空中に於て硬化すれば収縮し、水中に於て硬化すれば膨脹するから、鉄筋コンクリート構造物の各部材に於ては、コンクリート及び鉄筋に夫々固有初應力を生じ、又不静定構造物に於ては構造物自体に構造物全体としての初應力を生ずる。温度變化の場合と同じく、収縮はコンクリートの内部に引張應力を生じて龜裂の原因となるから、空中硬化の場合は、なるべく、其収縮を減少するためにも、施工後一定の期間絶えず之に注水して、之を濕潤状態に保つを宜しとする。

實驗の結果に依ると、コンクリートの水中硬化の場合の膨脹率は 0.010%~0.015%、空中硬化の場合の収縮率は 0.024%~0.039% である。硬化収縮係数はセメントの種類に応じて 0.00030~0.00040 となる。

コンクリートの硬化収縮の影響は一般的構造物に対しては、之を無視する場合が多いが、不静定構造物に対しては其影響を考慮するのが普通である。此場合には温度低下 15°C に相當する影響があるものと假定するのが一般的標準である。第 18 表は獨逸の標準示方書の規定であるが、此場合は t を攝氏温度として、 $\alpha t = \beta$ (α = 温度膨脹係数、 β = 硬化収縮係数とする) であるから、15°C の温度低下を假定すると、 $\beta = 0.00015$ となる、但し $\alpha = 0.000010$ と假定する。

第 18 表 コンクリートの硬化収縮の影響

構 造 物	鉄 筋 比	等 値 温 度 低 下
ラ - メ - ソ	—	15°
ア - チ	0.5 % 以上	15°
ア - チ	0.5 % 未 滿	20°

(82) 温度變化による膨脹と収縮 コンクリートの温度に対する膨脹係数は、一定のものでなく、種々の事情に依つて變化するが、土木學會標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)第 71 條(3)にはコンクリート及び鉄筋の膨脹係数は 1°C について 100 萬分之 10 と規定してある、即ち $\alpha = 0.000010$ である。即ち鉄筋とコンクリートとは温度の變化に伴つて凡そ一様に伸縮するから、兩者の間に何等の應力を生ずることがないのが鉄筋コンクリートの一大長所である。

温度上昇のために、コンクリートが膨脹する場合は安全であるが、温度降下のために、コンクリートが収縮する場合は龜裂を生ずる危険がある。従つて寒い季節に施工したコンクリートは暑い季節に施行したものにして、龜裂發生の虞れが比較的に少ないのである。

温度變化のために生ずる應力を温度應力と云ひ、温度應力が引張應力である場合には、龜裂を防止するために適當の intervals に伸縮接合を設け、又は全引張應力を鉄筋で支へる様に適宜に鉄筋を

挿入する、之を温度鉄筋と云ひ、用心鉄筋の一種である。

適當なる伸縮接合を設けた構造物に於ては、温度變化の影響を無視してもよいが、然らずんば其影響を考慮せねばならぬ。又不靜定構造物に對しても温度應力を考慮する必要がある。是等の場合には土 15°C の温度變化があるものと假定するのが普通である。又構造物に於て、厚さ 70cm 以上で、しかも被覆せられる如き場合には、之を土 10°C として計算に用ひて差支ない。

コンクリートの凝結、硬化並に温度の變化に對して、挿入すべき鉄筋の量は、コンクリート構造物の厚さ、日光とか空氣とかに曝露する面積に依るものであつて、壁が薄く、外氣に曝露するものは、其構造物斷面積コンクリートの 0.4% ~ 0.5% 位の鉄筋を用ひば充分である。荷重に依りて起る應力に對して用ひる鉄筋の外に尙是位の鉄筋を適切に組合すものである。都合の良い條件、狀況の下にある構造物に於ては、コンクリート斷面積の 0.1% にて充分である。而して是等の鉄筋は、床版の如きものに於ては、直徑 6mm ~ 18mm 位の釦を 60cm 位の間隔に置くことが普通の標準である。

(83) 乾濕による膨脹と收縮 コンクリートは乾燥によつて收縮し、濕潤に依つて膨脹する。乾濕によるコンクリートの膨脹、收縮に大きな關係のあるのは、セメントの性質であるが、セメントの種類とコンクリートの膨脹、收縮との關係は、未だよく判明して居らない。唯、粉末度の高いセメントを使用するコンクリートの收縮は、稍々大きい様である。火山灰、石灰等の混和はコンクリートの收縮を大ならしめる様である。

乾濕による膨脹、收縮は多くの場合、硬化による膨脹、收縮と區別して測定することが困難であるから、普通の構造物では殊更に其影響を考慮せず、之を硬化收縮の中に包含せしめるのであるが、乾濕常でない構造物に於ては、適量の用心鉄筋を挿入して龜裂の發生を防止し、又はコンクリートに耐水法を施して濕氣の吸収を避けるをよしとする。

(84) コンクリートの耐火性 コンクリートが優秀なる建築材料である一の性質として耐火性の強いことがある。コンクリートの耐火性の大であるのは、(1) コンクリートが熱の不良導体であること、(2) コンクリートが結晶水を含むこと、(3) コンクリート中に氣孔があること等に原因する。

コンクリートを熱して、凡そ 260°C に到ると脱水作用が始まり、凡そ 480°C で脱水作用を終る。而して脱水する際に熱が吸収されるから、コンクリートの温度の昇るのを防ぐ。又コンクリートの氣孔中の空氣は熱の傳導を妨げるから、コンクリートの耐熱性を増すことになる。コンクリートが全く脱水すれば龜裂が出来て、遂に崩壊する。併し脱水コンクリートは普通のコンクリートよりも、一層熱の不良導体であるから、脱水したコンクリートの層が其位置を保つ間は、外部は高熱にさらされても、其内部は容易に温度が昇らない。

土木學會の標準示方書第 58 條には、特に構造物を耐火構造として造る場合には、玄武岩若くは石灰石程度の膨脹率を有する骨材を用ひるべきことが規定してある。

(85) コンクリートの水密性 水密性を有するコンクリートを作ることに關して標準示方書(昭和 14 年 9 月改正案)は總則として「水密を要するコンクリートは其材料の選擇、配合、使用水量、ウオーカビリチー、打込み、養生、其他の作業に關し、特に注意して之を製造すべし」とある。又防水剤の混合に就いては同標準示方書は「特に責任技術者の承認を得るにあらざれば防水剤を混入すべからず」とある。

建築學會の標準仕様書の規定は次の通り。「水密コンクリートとして指示したるコンクリートの水セメント比は 0.60 以下とし、骨材の粒の割合、コンクリートの施工軟度、打方、養生等に特に注意するものとす。水密コンクリートには特に指示なき限り防水剤を使用せざるものとす。」

(86) 防水工 (1) 或材料を加へる方法 石鹼水を水に溶かし明礬を細粉としてモルタルに混じてコンクリートを作る。又は明礬及び石鹼を共に水に溶かし其水でコンクリートを作る。明礬は水の 1/5 中に、石鹼は水の 4/5 の中に溶かす。而して其の溶かす割合は明礬は水の 1.5% 以下、石鹼は水の 3% 以下とする。重量では明礬 1、石鹼は 2.2 の割合が良い。此化合物の 2% を用ひたモルタルは強度 2% を減退すると云はれてゐる。

消石灰 石灰石を焼いて得られる生石灰に水を加へて完全に沸化し、之を乾かして粉末にしたものが消石灰である。コンクリートの水密性を増加するために混和すべき消石灰の量は、大体次の通り。

コンクリートの容積配合化	消石灰(セメントの重量に對する百分率)
1 : 2 : 4	8
1 : 2.5 : 4.5	12
1 : 3 : 6	16

砂が粗粒である程、消石灰の量を増加する。セメント重量の 5% ~ 15% の消石灰は、コンクリートの強度に大なる影響を及ぼさず、コンクリートの水密性を増加するのみならず、整滑劑として働き、コンクリートのウオーカビリチーを増加し、材料の分離を防ぎ、長く水分を保つてコンクリートの乾燥による收縮龜裂を防ぐ等の效力がある。但し使用水量の大なるコンクリートに於ては、之の使用はレイタンスの發生を大ならしめるから、新舊コンクリートの継手に於けるレイタンスの除去に就いて、特に注意を要する。

(2) コンクリートを施行してから其表面を特種のものを用ひて塗布すること シルベスター法 (Sylvester method) 之は硬化乾燥したコンクリートの表面に、明礬溶液と石鹼溶液とを交互に數回塗る方法である。溶液は 1 リットルの熱湯に 90 瓦の軟かい石鹼を溶かしたもの及び 1 リツ

トルの微温湯に 15 瓦の明礬を溶かしたものが適當である。作業中の温度は $10^{\circ}\text{C}\sim 15.5^{\circ}\text{C}$ とし沸騰した石鹼溶液を浮泡を生じない様に刷毛で塗り、24 時間位経過して表面が乾燥した時に、明礬溶液を塗りつける。明礬溶液の温度は $15.5^{\circ}\text{C}\sim 21^{\circ}\text{C}$ とする。更に 24 時間を経過した後第 2 回の塗布を前の順序で行ひ、水壓其他の事情に應じて此方法を數回繰返す。此方法は効果が一時的であるから、現今はあまり多く用ひられない。

(3) 防水層を設けること 上等の精製アスファルト、又はコールタールピッチをコンクリート面に塗布することは、防水、防漏に大いに有効である。又アスファルト或はピッチに類似の特種の化合物が、防水、防漏用として色々の名稱で市場に販賣されて居る。一般に是等のものを塗布すべきコンクリートの面は、コンクリートを打ち終つてから 2 週間以上を経過した、清浄で、よく乾燥したものでなければならぬ。場合によつては、コンクリート面を剛い鋼線の刷毛で摩擦した後に塗布する。

塗布は下塗と上塗とを施す。アスファルトを塗布する場合の下塗としては、アスファルトをガソリンで薄めたものを用ひる。沸騰したコールタールの薄層を下塗として用ひることも有効である。アスファルトの厚さは凡そ 6 mm 以下とする。

コールタールピッチは、橋臺、擁壁などに、水が滲透してコンクリートに害を及ぼすのを防がんとする様な場合に用ひられ、下塗としてはクレオソート油を用ひ、之を充分コンクリートに吸ひ込ませて、其上に少なくとも 2 回コールタールピッチを沸かして塗りつける。コールタールピッチに石盤石の粉末を混じて用ひることがある。

以上の塗布工は、壁などに於ては必ず其上にモルタル、コンクリート、又は煉瓦などの保護工を施す。水壓を受ける場合には、水平面でも保護工が必要である。

防水膜工と云ふのは、アスファルト、又はコールタールピッチを塗つた紙、フェルト (Felt)、布 (Fabric) 等の數層で、防水すべき面を覆ひ、其上に煉瓦、コンクリート等の保護工を施したものである。

フェルト、又は布の幅は、普通 90 cm \sim 96 cm 位で、長さは 30 m \sim 45 m である。

防水膜工の施工は、先づ準備された面に、沸かしたアスファルト、又はコールタールピッチを氣泡其他の缺點のない様に塗りつけた後、直ちに其上にフェルト、又は布を皺のない様に平らに擴げ、熱いアスファルト、又はピッチの上に軽く押しつける。フェルト、又は布の継手には、充分にアスファルト、又はピッチを塗り、10 cm 以上重ね合わせる。第一層が出来れば、其上に又アスファルト、又はピッチを塗り、前述の方法を反覆し、最後の層の上にも充分アスファルト、又はピッチを塗りつける。

近來は樺糠、又はパルプのフェルトが多く用ひられる。市場に防水紙として販賣されて居る種

々の製品は、多くはパルプを原料としたフェルトである。又近來フェルトの代りにチュート及び綿絲の布も廣く用ひられる。

温度の變化が大なる所にては、コールタールピッチよりもアスファルトが適當するが、地下構造物に於ける如く温度の變化が小さい所にはコールタールピッチの方が化學的に安定である點がよい。

防水膜の保護としては、厚さ 5 cm \sim 10 cm 位のセメントモルタル、又はコンクリートが多く用ひられて居る。

(4) セメント放射機によるグナイト工 壓縮空氣によつてモルタルを吹付け、モルタルの層を作るに用ひる機械をセメント放射機 (Cement gun) と云ひ、作られたるモルタルの層をグナイト (Gunitite) と呼んでゐる。此工法によれば、モルタルは極めて小さい罅隙をも填充し、モルタルと之を施工した面との密着が確實になり、密度及び強度が甚だ大なるモルタルの層が得られる。故に防水用のモルタル仕上げとして最も好結果が得られるのみならず、施工が簡便で、作業が頗る迅速であるから、防錆、防腐、防火等の目的で使用されるモルタル塗の施工、即ち岩盤の均整及び罅隙の填充、一般石工物の表面仕上げ及び修繕、木造建築の上塗り、枕木の保護、鋼材の防錆及び防火等、あらゆる方面に使用されて、何れも優良なる成績を擧げて居る。

放射機に用ひるホースの長さは普通 30 m 位であつて、機械上鉛直に 60 m、水平に 150 m が限度である。壓縮空氣の壓力は通常 2 \sim 3.5 氣壓位であり、給水の水壓は 1.5 \sim 2 氣壓位である。防水に用ひるモルタルの配合は 1:8 以上の富配合のもので、材料を空練りにしてから供給する。其壓縮度は鍍塗りで 88 mm の厚さのモルタルがグナイトにすれば 25 mm に壓縮される。厚さ 25 mm のグナイトに 488 m の水頭壓力を 2.5 時間かけて少しも漏水しなかつたと云ふ實驗がある。

使用モルタルの配合、放射壓、放射距離を決定するには其施工場所で一度豫備試験を行つてから決定すれば安全である。グナイト工を施す面は清浄であつて、水で濡ほさねばならぬ。數層に分けて施工する場合に於ける時間の間隔は晴天で 2 時間位を標準とする。

防水用としてのグナイト工の厚さは、モルタルの配合にもよるが、上塗の場合で 18 mm \sim 40 mm 普通の水路などでグナイトだけの被覆の場合で 5 cm \sim 7.5 cm 位でよい。防錆、防腐に對する時の厚さは、少なくとも、25 mm とし、防火に對しては 25 mm 以上、又は建築條例などの定むる所に従つて施工すればよい。

グナイト工の特徴は、如何なる場所、如何なる場合にも非常に迅速に施工を爲し得ることであつて、此應用は近來益々盛んになつて居る。

(5) グラウト注入法 (Grouting) グラウトと云ふのは、使用水量の多い、液体の様なセメント糊状体、又はモルタル等の總稱であつて、グラウチング (Grouting) とは、グラウトに壓力を

加へて、之を填充すべき空隙に押し込む作業を云ふ。グラウトに用ひるセメントは、普通、ポルトランドセメントである。砂は第 64 番篩を全部通過し、第 160 番篩を 45%以上通過する様な細かいものがよい。グラウトの配合は大抵 1:1 乃至 1:1 $\frac{1}{2}$ 位のものであつて、使用水量は、一般に、初めはセメントの 1 容積に 5~7 容積の水を加へた液状のグラウトを注入し、追々使用水量を減少して、最後に空隙を填充し得る程度に於て濃いグラウトを使用する。

グラウト注入法は、特に河底、又は海底隧道の様な高い水圧に抵抗すべき構造物の防水工事として、大いに有効である。尙グラウト注入法は岸壁を築造する際のケイソン (Caisson) の継手、岩石の割目の填充等に用ひられる。グラウト注入法を一層進歩させたものは、壓縮空氣に依つてコンクリートの混合、輸送及び打ち方を連続的に行ふ方法であつて、之に依つて密度の大なる水密コンクリートを施工することが出来る。之は隧道に於けるコンクリート・ライニングの目的に使用されて、益々發達する傾向がある。

グラウト注入方法は大工事でなければ、普通の唧筒で注入する。グラウトの量が多く、大なる壓力を必要とする場合には、例へばカンニフ (W. L. Canniff) 氏の考案した器械を用ひる。之は壓縮空氣を使用するもので、ランサム・コンクリート機械會社で製作販賣してゐる。之に依つて得られる壓力は、6~7 氣壓であるが、40 氣壓以上にあげた例もある。

(6) マスチック防水工 マスチック防水工には、シート・マスチック (Sheet mastic) とブリック・イン・マスチック (Brick-in-mastic) とがある。前者はアスファルト、又はコールタールピッチと、砂と、小碎石と、セメント、又は石灰石粉とを混合したものを 12 mm~50 mm の厚さにコンクリート面に塗りつけるものであり、後者はアスファルト、又はコールタールピッチと、砂とセメント、又は石灰石粉とを混合して得るマスチックで、目地及び表面を填充塗布した 1~2 層の煉瓦積によつてコンクリート面の防水をするものである。兩者共、其上にコンクリートなどの保護工を用ひる。

シート・マスチック工は鐵道橋の防水工事に最も多く用ひられる。防水用シート・マスチックの配合は砂、小碎石、セメント、又は石灰石粉の等量に、マスチック全量の 15%~25% のアスファルト、又はピッチを加へたものである。

ブリック・イン・マスチック工は水壓の大なる所に用ひられ、最も信頼し得る防水工である。マスチックに用ひる砂は、清浄で、第 10 番の篩を通過したものを用ひ、一般に熱して、乾燥して用ひる。石灰石粉は少なくとも第 100 番の篩を 80%、第 200 番の篩を 10%、通過する様な細粉を用ひる。アスファルト、又はピッチの量は、普通、マスチック全量の 33% を最小とする。軟かいマスチックを欲する時には 50% まで用ひる。砂とセメント、又は石灰石粉との配合は 1:1 位が普通である。

防水用のマスチックを手で作るには、先づ砂とセメント、又は石灰石粉とを乾燥の儘、充分に混合し、之をアスファルト、又はピッチを沸かした渦の中に少しづつ入れて齊等な混合物が出来るまで掻きまはす。200 リットル入の鍋で、20 分間以上掻きまはす。マスチックの温度は、アスファルトの時で 180°C~200°C、ピッチで 135°C~165°C とする。マスチックの運搬距離が 150 m 以上にもなれば、下に火を入れた小鍋で運搬せねばならぬ。

水平面にブリック・イン・マスチックを施工するには、コンクリート面に之を注ぎ、凡そ 12 mm 位の齊等な厚さに擴げ、此上に、目地がマスチックで充分填充される様に普通煉瓦、又は焼過煉瓦を置く。煉瓦の凡ての面は少なくとも 3 mm 以上のマスチックで包まれてゐる事が必要である。煉瓦と煉瓦とが接觸せない様にする。2 層を用ひる時には、下層が 1 m も進んだならば、前法を繰返して下層と殆んど同時に上層を積む。最後の表面を充分マスチックで覆ふ。施工が終つてマスチックが冷えて落ちついたならば、直ちに保護工を施す。其方法は防水膜工と同様である。

(87) コンクリートの許容應力度 コンクリートの許容應力度は設計に際して示方してある時は、之によるべきであることは勿論であるが、若し制定されて居らないときは、標準示方書に依るのを最も適當とする。土木學會標準示方書 (昭和 14 年 9 月改正案) は次の通り。

「第 75 條 コンクリートの許容應力度

(1) 鐵筋コンクリート部材に於けるコンクリートの應力度は、次の許容應力度を超過すべからず。

許容軸方向壓縮應力度 $\sigma_{ca} = \frac{\sigma_{28}}{4}$ (1)

但し σ_{28} 如何に大なる場合と雖も、 σ_{ca} は 55 kg/cm² を超過すべからず。(σ_{28} は材齡 28 日のコンクリート標準試験体の破壊壓縮強度)

許容曲げ壓縮應力度 (軸方向壓力を伴ふ場合も含む) $\sigma_{ca} = \frac{\sigma_{28}}{3}$ (2)

但し σ_{28} が如何に大なる場合と雖も、 σ_{ca} は 70 kg/cm² を超過すべからず。

許容剪斷應力度 $\tau_n = 4.5 \text{ kg/cm}^2$ (3)

許容附着應力度 $\tau_{oa} = 5.5 \text{ kg/cm}^2$ (4)

(2) コンクリートの支壓應力度は、次の許容應力度を超過すべからず。

許容支壓應力度 $\sigma_{ca} = \frac{\sigma_{28}}{3.5}$ (5)

但し σ_{28} が如何に大なる場合と雖も、 σ_{ca} は 60 kg/cm² を超過すべからず。

特に支承面に螺旋狀の鐵筋其の他を挿入して支壓強度を高めたる場合には σ_{ca} を 70 kg/cm² まで高むる事を得。支承の表面積 A が支壓力を受くる面 A' より大なる場合には、其の許容支壓應力度 σ'_{ca} は次式に依る事を得。

$\sigma'_{ca} = \sigma_{ca} \sqrt{\frac{A}{A'}}$ (6)

但し σ'_{ca} は 70 kg/cm² を超過すべからず」

支圧力度に対しては、支柱に対する軸方向圧縮力度の場合より、幾分安全率を減じてよい。それで 55 kg/cm^2 と云ふ制限の代りに 60 kg/cm^2 としたのである。

橋梁の梁を受ける支承面などに於て、金網、又は螺旋状の鉄筋などを十分に挿入すれば、コンクリートの支圧力を著しく増大せしめることが出来る。斯くの如き場合には大約 70 kg/cm^2 迄、許容支圧力度を高めてよいのである。

柱、又は壁の下に於ける基礎版及び鉄などに於ける支圧強度は、支圧材自身の強度の外に、支圧力を受ける面 A' と支承の表面積 A との関係によるものである。

(6) 式はバツハ (C. Bach) 教授の研究を基として定められたもので、各國の標準示方書にも採用されて居るものである。

σ_{28} を決定し、之を發揮せしむべき水セメント重量比を試験の結果、定める。又試験に依らざるときは、大体次表を標準として採用し得る。

σ_{28} (kg/cm^2)175.....140.....105
水セメント重量比 (%) 55..... 60..... 70
[水セメント容積比 (%)]凡そ 82.....凡そ 90.....凡そ105

第十章 鐵 筋

(88) 鐵筋の材質 鐵筋として使用する鋼材に就いて、標準示方書 (昭和 14 年 9 月改正案) は次の様に規定して居る。

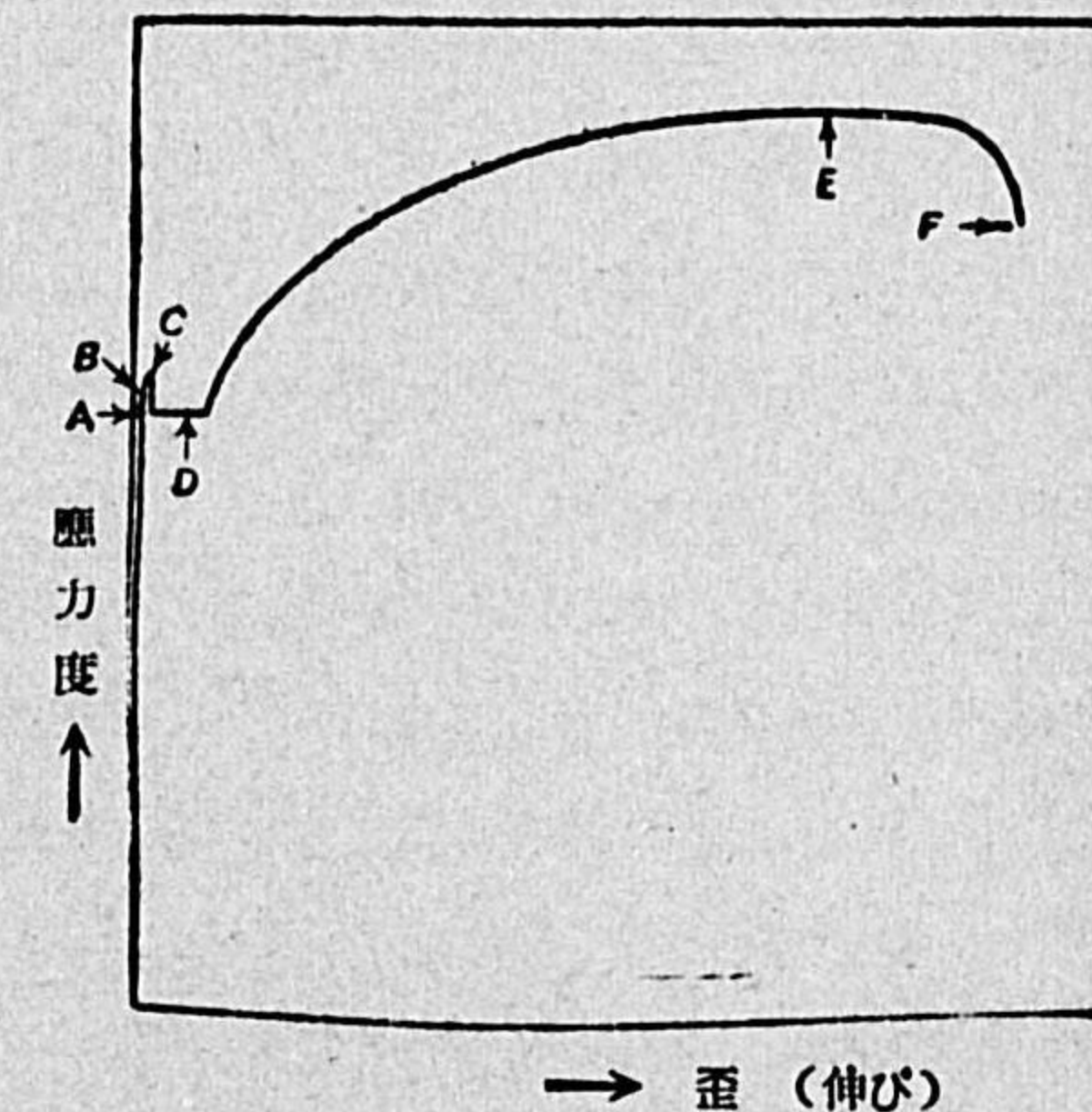
「第 17 條 材質

(1) 鐵筋として使用する鋼材は JES 第 20 號 G9 構造 (橋梁、建築其の他) 用壓延鋼材の規格中、責任技術者の指示するものに合したるものたるべし。」

JES (日本標準規格) 第 20 號 G9 第 9 條には鐵筋コンクリート用棒鋼は、抗張力 $3,900 \text{ kg/cm}^2$ 乃至 $5,200 \text{ kg/cm}^2$ 標準抗張試験片第二號 (標點距離 L は徑、又は對邊距離 D の 8 倍、兩端を太くするものに在りては平行部の長さは D の約 9 倍) を用ひる時の伸び 21% 以上、標準抗張試験片第 3 號 (徑又は對邊距離 25 mm を超ゆる試験片、標點距離 L は徑、又は對邊距離 D の 4 倍、兩端を太くするものに在りては平行部の長さは D の約 4.5 倍) を用ひる時の伸び 25% 以上と規定してある。

鐵筋として使用せられる鋼材の種類に就いては、我國では炭素の含有量の少ない構造用鋼が最も多く用ひられ、歐州では昔から炭素の含有量の少ない軟鋼が専ら使用せられたが、近年では硬鋼の使用が漸次普及せんとして居る。米國では昔から軟鋼を使用せずして主として構造用鋼、又は硬鋼が使用せられ、近來炭素の含有量の多い硬鋼の使用が特に盛んである。鐵筋として使用する鋼を、其引張強度の大きさによつて、大体、軟鋼と硬鋼との二つに分けることが出来る。兩者の區別に就いては、日本ではまだ規定はないが、引張強度が凡そ $4,800 \text{ kg/cm}^2$ 以下である時は、軟鋼、之れ以上であるときは硬鋼と考へてよい。

日本ではまだ軟鋼を推賞する人が多い様であるが、外國では硬鋼の使用が漸次増加せんとしてゐる。要するに、鐵筋として使用するべき鋼の引張強度の選定は、構造物の種類と其の使用の目的、構造物の建造費等を基として、設計者の判断に依つて決定されるものであるが、實際問題としては、多くの場合、JES 第 20 號 G9 の規格に合格するものであれば、値段の安い、容易に得られる鋼を使用することになるのである。



(89) 鐵筋の應力度歪圖 軟鋼の引張試験

第 45 圖 鋼の引張應力度と伸びとの關係

に於ける應力度と伸びとの關係は構造材料としての鋼の最も重要な性質である。其關係は第 45 圖の如くであつて、此曲線上の特殊な點として下記の諸點を考察して見る。

- A: 比例限度 外力と歪とが正比例をなす限度、即ちフツクの法則が成立する限度に於ける應力度
 B: 弾性限度 外力の除去と共に歪が零に歸り得る限度に於ける應力度
 C: 上降伏點 急激に大きな歪の起り始める時の應力度
 D: 下降伏點 前者に次いで現はれるもので牽引が徐々に行はれる時は暫時一定應力に保たれる其應力度を云ふ。
 E: 引張強度 最大引張應力度
 F: 破壊點 引張破斷が起る時の引張應力度

上記諸應力度は常に全荷重を最初の斷面積で除した數字である。

比例限度及び弾性限度は通常材料試験に於ては測定しない。之は降伏點等に比較すると其現象が微弱なること、其値が降伏點に極めて近いこと、測定煩雜なること、及び完全な試験に於ては是等兩限度が存在しないと云ふ説があること等のためである。比例限度内に於ける鋼の弾性係数は $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ である。

上記の關係は引張試験の場合であるが、壓縮試験、又は振り試験の場合も殆んど同様である。鋼の引張強度の値は鐵筋コンクリートに於ては餘り重要でない。それは合理的に設計せられた鐵筋コンクリート構造物の破壊は、たとへ、其原因が鐵筋にあるとしても、鐵筋の破斷に依つて生ずることは殆んど稀であつて、普通は應力度が屈伏點以上になることに依つて生ずるものであるからである。即ち鐵筋の應力度が其屈伏點に達すると、鐵筋の伸張は急激に大となつて、鐵筋周囲のコンクリートに龜裂を生ぜしめ、一方には鐵筋とコンクリートとの附着力が破れ、又梁の場合には、之に依つて壓縮側のコンクリートに著しく大なる壓縮應力度を生ぜしめるからである。従つて鐵筋の許容應力度を屈伏點、又は弾性限度を基準とし、之の分數として規定せるものもある（フランス及びスウェーデンの鐵筋コンクリート示方書）。併し多くの示方書に於ては、鐵筋の許容應力度として $1,000 \text{ kg/cm}^2$ 乃至 $1,200 \text{ kg/cm}^2$ の範圍内の一定値を規定して居るから、引張強度、又は屈伏點の高い鋼を使用することは、計算上鐵筋量を減少し得ることにはならないが、構造物の安全度を大にする意味に於て望ましいことである。併し屈伏點及び引張強度の高い鋼に於ては、屈伏點と破壊點との開きが一般に小となり、且、伸びが小になり、材質が脆くなつて、鐵筋の加工に不便なるのみならず、衝撃、振動等に依つて突然に破損する様になる。従つて吾人は日本標準規格第 20 號 G.9 に合格する範圍のもので適當なるものを使用すればよい。此規格は鐵筋用鋼に對して $3,900 \text{ kg/cm}^2$ 乃至 $5,200 \text{ kg/cm}^2$ の引張強度を規定して居る。

(90) 鐵筋のヤング係數 土木學會標準示方書（昭和 14 年 9 月改正案）は次の通り。

「第 73 條 ヤング係數

- (1) 斷面の決定又は應力算出に於ては、鐵筋及びコンクリートのヤング係數は夫々 $E_s = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$, $E_c = 140,000 \text{ kg/cm}^2$ とす ($n = 15$)。
 (2) 不穩定力又は弾性變形の計算に於ては、コンクリートのヤング係數は $E_c = 210,000 \text{ kg/cm}^2$ とす ($n = 10$)。」

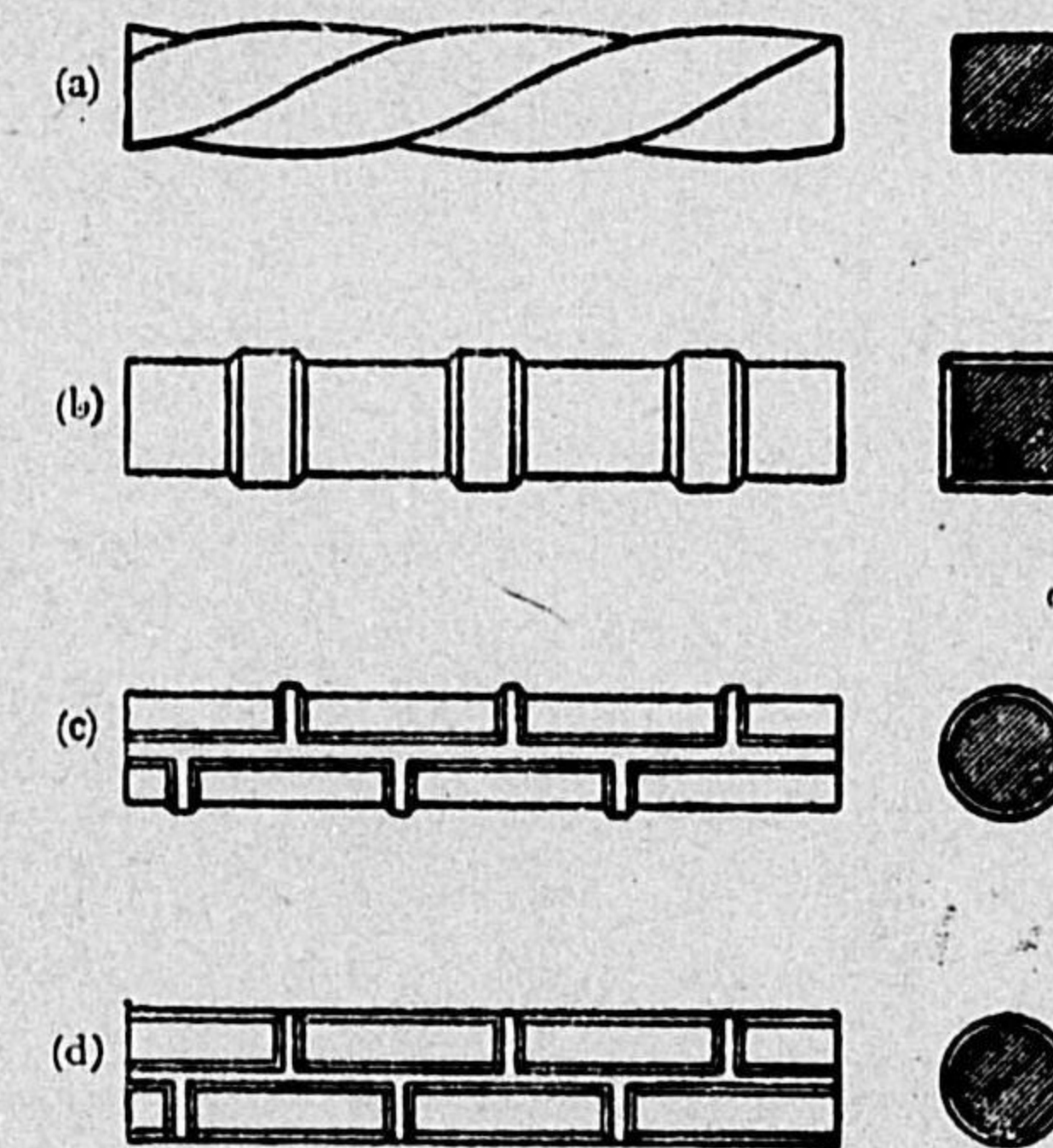
(91) 鐵筋の膨脹係數 土木學會標準示方書（昭和 14 年 9 月改正案）は次の通り。

「第 71 條 溫度變化及硬化收縮

- (3) コンクリート及鐵筋の膨脹係數は 1°C につき $10/1,000,000$ とす。」

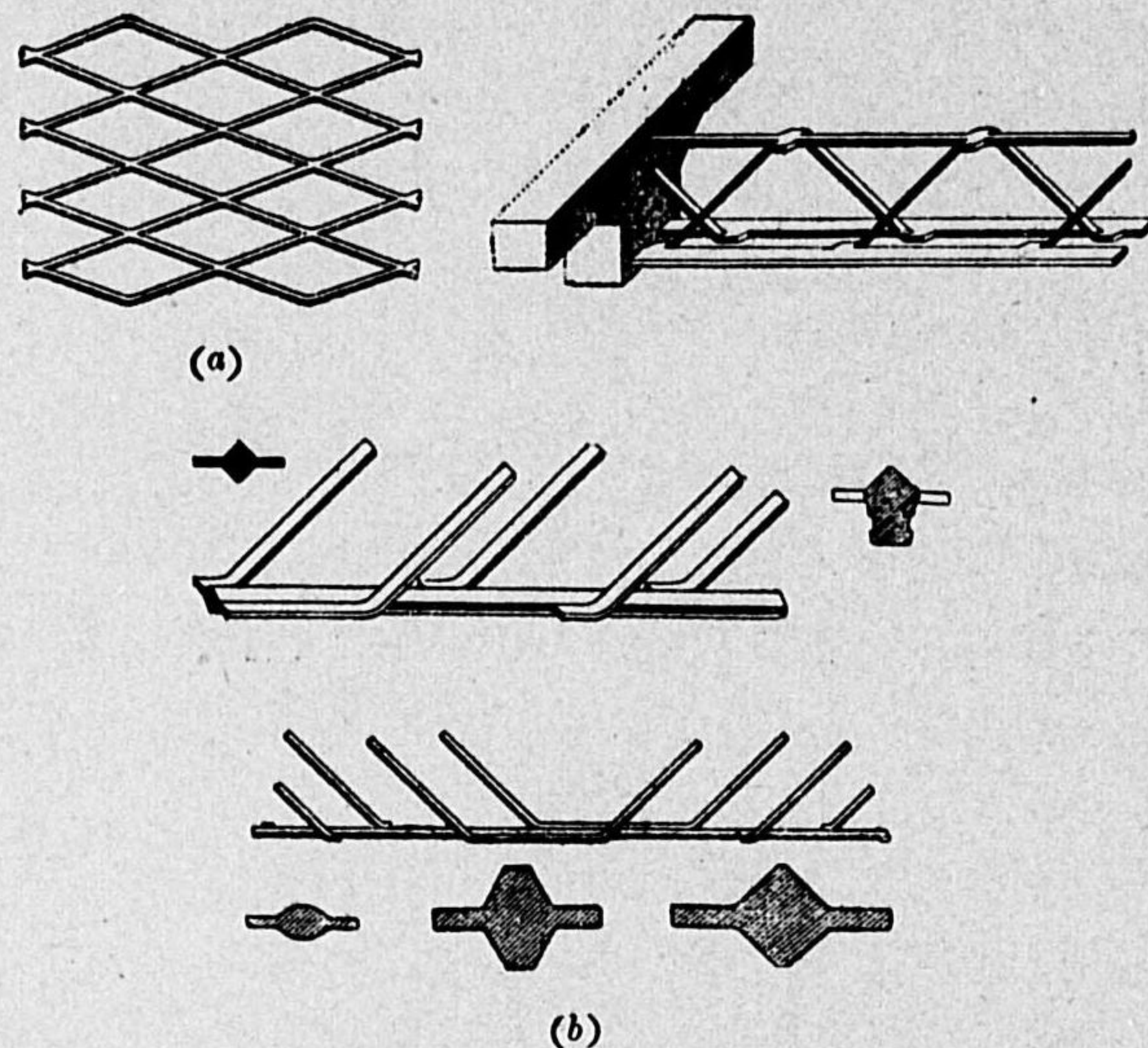
(92) 鐵筋の形狀及び寸法 我國で最も多く用ひられるものは丸鋼である。稀に角鋼、異形鐵筋が用ひられる。丸鋼、角鋼、異形鐵筋を棒鋼と稱する。以上の外に平鋼、形鋼、特種鐵筋等がある。角鋼は取扱ひに不便あり、長さの長い角鋼は振れが出來易いから、鐵筋の組立てに際して正しい位置を保たせるに困難なことが多い。角鋼は特別の場合の外は用ひられない。異形鐵筋は價格が高く、又異形鋼の主張する様な附着力が安全に得られるか甚だ疑問である。米國では大いに使用されてゐる。第 46 圖に異形鐵筋の數種を示す。

特種鐵筋は特に鐵筋として作られたもので、種々の形狀がある。



(a) = ランサム式鐵筋、(b) 及 (c) = ジョンソン式鐵筋
 (d) = カップ式鐵筋

第 46 圖 異形鐵筋



(a) = エキスパンデッド・メタル (Expanded metal),
(b) カーン・バー (Kahn bar)

第 47 圖 特種鐵筋

丸鋼の寸法は土木學會標準示方書 (昭和 14 年 9 月改正案) では 6 mm から 22 mm 置きに 17 種のものを採用する様に定めてある。直徑 (mm) は次の通り。

6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38
標準丸鋼 17 種の斷面積及び重量は、JES 第 25 號 G14 によると、第 19 表の如くである。

第 19 表 標準丸鋼の斷面積及び重量

徑, (mm)	斷面積, (mm) ²	重量, (kg/m)	徑, (mm)	斷面積, (mm) ²	重量, (kg/m)
6	28.27	0.222	24	452.4	3.55
8	50.27	0.395	26	530.9	4.17
10	78.54	0.617	28	615.8	4.83
12	113.1	0.888	30	706.9	5.55
14	153.9	1.21	32	804.2	6.31
16	201.1	1.58	34	907.9	7.13
18	254.5	2.00	36	1,018	7.99
20	314.2	2.47	38	1,134	8.90
22	380.1	2.98			

(93) 鐵筋の加工 土木學會標準示方書 (昭和 14 年 9 月改正案) は次の通り。

「第 46 條 鐵筋の加工

- (1) 鐵筋は設計に示されたる形状及寸法に正しく一致せしむる様材質を傷つけざる方法に依り加工すべし
- (2) 設計に示されざる場合鐵筋を曲ぐるには、其の端に於ては鐵筋徑の 1.5 倍以上、折曲鐵筋の曲點に於ては 5 倍以上、ラーメン隅角部の曲點に於ては 10 倍以上の半徑を有する圓形の型を用ふべし。
- (3) 加熱して曲ぐる場合には其全作業に就て、責任技術者の承認を受くべし。
- (4) 設計に指示せざる急曲を有する鐵筋は使用すべからず。」

鐵筋の端を鈎形に曲げる時の直徑が設計圖に示してない場合には、尠くとも、鐵筋の材質を害さない程度の直徑に曲げなければならない。之には鐵筋を其の直徑の 8 倍以上の直徑を有する型の周りに曲げれば安全である。又折曲鐵筋 (主鐵筋を曲上げ又は曲下げたる腹鐵筋を云ふ) の曲點に於て、鐵筋が餘り小さい直徑の圓弧に曲げてあると曲點に於けるコンクリートが過大な壓縮應力の爲に破壊する恐れがある。此の場合鐵筋を其直徑の 5 倍以上の半徑を有する圓弧に曲げれば安全である。

鐵筋を加熱して曲げる必要のあるのは、鐵筋の直徑が 40 mm 内外もある様な場合である。此の場合加熱の温度が高すぎると、其の材質を害する恐れがあるから、それを防ぐ爲に、加熱の全作業に就て責任技術者の承認を受ける事にしたのである。

鐵筋の直線部は眞直でなければならない。若し製造、運搬、加工等の間に出來た屈曲、急曲等が充分直せなければ、斯かる缺點ある鐵筋は使用してはならない。

(94) 鐵筋の組立 土木學會標準示方書 (昭和 14 年 9 月改正案) は次の通り。

「第 47 條 鐵筋の組立

- (1) 鐵筋は組立に先立ちて清掃し、浮錆其の他コンクリートとの附着力を減ずる虞れあるものは之を除去すべし。
- (2) 鐵筋は正しき位置に配置し、コンクリート打ちの際に位置を變ぜざる様充分堅固に組立つべし。之が爲め必要ある場合には、適當なる組立用鐵筋を使用すべし。
- (3) 鐵筋の交叉點は直徑 0.9 mm 以上の焼鈍鋼線又は適當のクリップに依りて緊結すべし。
- (4) 鐵筋と堰板との間隔はモルタル塊、鐵座、吊金物等に依りて正しく保持せしむべし。
- (5) 鐵筋組立後長時日を経過したる場合にはコンクリート打ちに先立ち、再び組立の検査をなし、必要に應じ清掃すべし。」

鐵筋を設計圖に示した通り正しい位置に固定し、コンクリート打ちの際に少しも移動しない様にすることは、極めて大切である。鐵筋の位置が僅か移動しても、鐵筋コンクリートの強度に大きい影響を及ぼすのみならず、鐵筋保護としてのコンクリートの被りを減じて、鐵筋コンクリートの耐久性を減ずる結果となる。だから、必要に應じて組立用鐵筋 (施工に際し、鐵筋の位置を確保する目的を以て挿入する補助の鐵筋を云ふ) を用ひなければならない。組立用鐵筋は、鐵筋

の位置を固定する爲に必要なばかりでなく、組立を容易ならしめる點からも有効である。従つて之は當然設計圖に示すべきものであるが、計算で求められる主鐵筋（設計荷重に依り其斷面積を決定したる鐵筋を云ふ）でない爲に、往々忘れられることがある。現場施工者として、此の點は充分注意を要する。

鐵筋相互の位置を固定する爲には、鐵筋の交叉點を鐵線で結び付けるのが普通である。之に用ひる鐵線の直徑は最小 0.9 mm に規定されて居るが、なるべく太いものを用ひるのが良い。鐵線を燒鈍せば軟くなるから、使用に便である。比較的太いものを用ひれば、作業が確實に容易に出来る。

鐵筋の交叉點を固定する爲に種々の金物が考案されて居り、米國では大分用ひられて居る。

鐵筋と堰板との間隔を正しく保たせる爲には、コンクリートのモルタルと同じ配合のモルタルで作つた棒形、圓弧形及び環形等のモルタル塊（其厚さは鐵筋と堰板との間隔に等しくする）を鐵筋の支へて用ひるのも一法である。併し大きな梁などに於ては、梁の引張側にモルタル塊が残ることは面白くないし、又型枠の掃除及びコンクリートの行き互りにも妨害となるから、此場合には、鐵筋を版の型枠等で支へた棒などから吊る方が適當である。

鐵筋と堰板との間隔を正しく保たせるために考案された種々の金物即ち鐵座があるが、日本では未だ餘り用ひて居らぬ様である。

(95) 鐵筋の繼手 土木學會標準示方書（昭和 14 年 9 月改正案）は次の通り。

「第 48 條 鐵筋の繼手

鐵筋の繼手は次の方法に據るべし。

- (1) 引張鐵筋には成可く繼手を避くべし。止むを得ず繼手を設くる場合には相互にずらし、1 断面に之を集中せしむべからず。應力大なる部分に於ては繼手を設くべからず。
- (2) 引張鐵筋の重ね繼手に於ては鐵筋の先端を半圓形の鈎に曲げ、鐵筋直徑の 30 倍以上重ね合せ、直徑 0.9 mm 以上の燒鈍鋼線にて數箇所緊結すべし。
- (3) 引張鐵筋の熔接繼手には効率確實に 100% 以上なる方法を採用し、責任技術者の指示する斷面積を有する附加鐵筋を併用すべし。附加鐵筋の長さは其の直徑の 80 倍以上とし兩端には鈎を設けざるものとす。
- (4) 將來繼足しの爲、鐵筋を露出し置く場合には之が腐蝕せざる様保護すべし。」

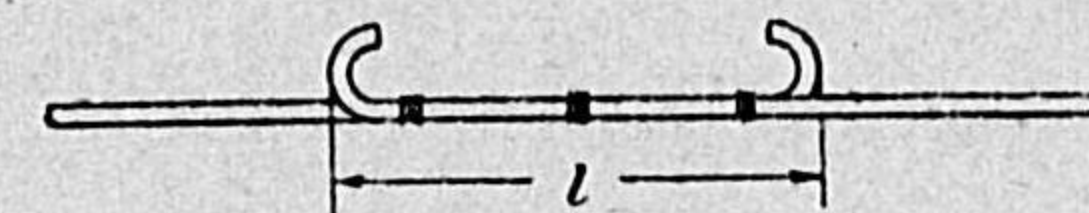
引張鐵筋に於て、なるべく繼手を避ける理由は明白である。現今は、相當大量でさへあれば、随分長い鐵筋でも、比較的容易に之を手に入れることが出来る。長さ 30m 餘の鐵筋を曲げずに鐵道で運搬した例もある。

繼手を作る必要ある場合には、大なる引張應力を受ける箇所、例へば、梁の中央附近を避けるが當然で又之を 1 断面に集中してはならない。繼手を 1 断面に集中すると、其断面が弱くなり、又重ね合せ繼手

を用ひる時はコンクリート打ちが非常に困難になる。だから、繼手は面倒でも、互にずらして、1 箇所に繼手が集まらぬ様になければならない。

重ね合せの長さに対する 30 倍と云ふ數字は、種々の事情を考慮して定めた最小長さであるから、出来れば 40 倍以上とするのが安全である。尙太い鐵筋の重ね合せ繼手に關しては、餘り實驗記録がなく、未だ其効果が明らかでない。故に太い鐵筋の重ね合せに就いては、特に安全度を大にする方がよい。重ね合せの部分に鐵線で緊結するのは、鐵筋の位置を保たせる目的であるから、充分しつかり緊結するのは良いが、あまり多く鐵線で捲き付けるのは、鐵筋の周圍へモルタルが廻り難くなり、コンクリートと鐵筋との附着強度を減じ、従つて繼手の強さを減ずることになるから注意を要する。

熔接は主として電氣熔接を目安として居るのである。引張鐵筋の熔接は、これまで種々の不安があるとの理由で、其使用が禁止されて居つたのであるが、近來は電氣熔接が非常に進歩したから、必ずしも其使用を禁ずる必要はなくなつて來た。



第 48 圖

第十一章 鉄筋コンクリートの性質

(96) 鉄筋コンクリートの固有初應力 鉄筋コンクリートの固有初應力と云ふものは、荷重や反力の爲に鉄筋コンクリート部材に生ずる應力とは無関係のもので、鋼とコンクリートを結合させた爲に、鉄筋コンクリート部材に生ずる應力である。鉄筋コンクリート部材に固有初應力の起る原因は次の通り。

- (1) コンクリートと鋼との温度に対する膨脹係数の差
- (2) コンクリートの恒久歪
- (3) コンクリートの硬化及び乾燥による収縮

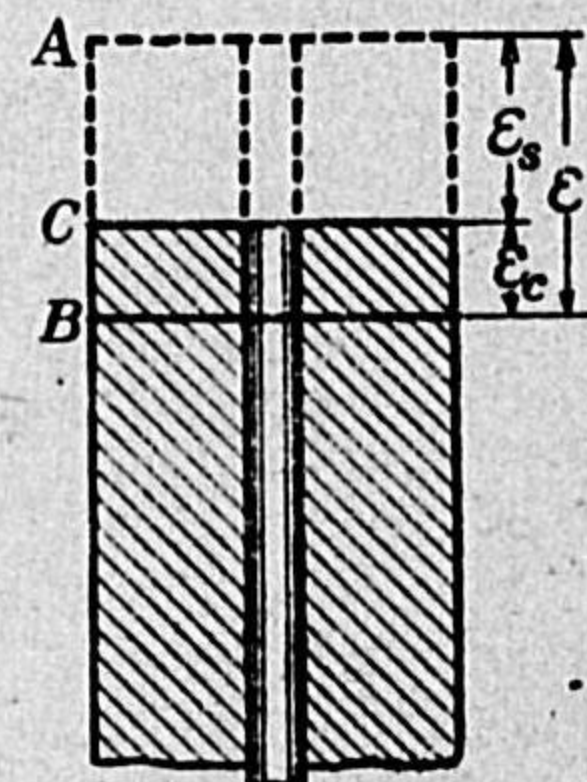
固有初應力が生ずるために鉄筋コンクリート部材は變形し、又往々にしてコンクリートに龜裂が入ることがある。上記の固有初應力の三原因中、コンクリートの硬化に依る収縮が最も恐るべきもので、他の二つは普通の場合には、さほど、恐れるに足らないものである。

静定構造物の場合には部材の内部に於ては硬化収縮のために、固有初應力が生ずるが、構造物全体としては、之がため何等の作用をも受けない。然るに不静定構造物に於ては、一部材が自由に變形を爲し得ざるために、構造物自体に應力を生ずる。之を構造物全体としての初應力と稱し固有初應力と區別して取扱ふ。

コンクリートは空気中で硬化すれば収縮するが、鉄筋コンクリート部材に於ては、鉄筋がコンクリートの収縮を妨げるから、コンクリートが収縮する時、鉄筋は壓縮應力を受け、コンクリートは引張應力を受けることになる。鉄筋の使用量が大きである程、コンクリートに作用する引張應力が大となり、従つて鉄筋コンクリート部材全体としての収縮は小となる。コンクリートの収縮によつて生ずる固有初應力は、かなり大なる値に達し得るもので、時にはコンクリートに龜裂を生じ、鉄筋コンクリート破壊の原因となる事もある。

(97) 硬化収縮に依る均等に分布する固有初應力 鉄筋コンクリート部材の断面の鉄筋の重心軸とコンクリートの重心軸とが一致し、コンクリート及び鉄筋に生ずる固有初應力が夫々均等に分布せられ、且、鉄筋に生ずる初應力は其全長を通じて均等なりとする。

ϵ = 鉄筋が無い時、コンクリートが爲す収縮率、 ϵ_c = 鉄筋がある時、コンクリートに於ける伸率、 σ_c' = 引張應力度、 A_c = 断面積、 E_c = 弾性係数、 N_c = 全引張應力、 ϵ_s = 鉄筋に於ける収縮率、 σ_s' = 壓縮應力



第 49 圖

度、 A_s = 断面積、 E_s = 弾性係数、 N_s = 全壓縮應力

$$\epsilon_c + \epsilon_s = \epsilon$$

鉄筋コンクリート部材に外力が働かなければ

$$N_c = N_s \quad \therefore A_c \sigma_c' = A_s \sigma_s'$$

$$\text{又は} \quad A_c \epsilon_c E_c = A_s \epsilon_s E_s \quad \therefore \epsilon_c = \frac{A_s}{A_c} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot \epsilon$$

$$\text{今} \quad A_s/A_c = p \quad E_s/E_c = n \quad \text{とおけば}$$

$$\epsilon_c = n p \epsilon_s = \frac{n p}{1 + n p} \epsilon = \frac{n A_s}{A_c + n A_s} \epsilon$$

$$\epsilon_s = \frac{1}{1 + n p} \epsilon = \frac{A_c}{A_c + n A_s} \epsilon \quad \sigma_s' = \frac{1}{1 + n p} E_s \cdot \epsilon = \frac{E_s A_c}{A_c + n A_s} \epsilon$$

$$\sigma_c' = \frac{p}{1 + n p} E_s \cdot \epsilon = \frac{E_s A_s}{A_c + n A_s} \epsilon = p \sigma_s'$$

ϵ_s = 鉄筋コンクリート部材の収縮率

今、 $\epsilon = 0.003$ 即ちコンクリート部材の長さ 1 m について 0.3 mm の収縮をなすものとし、 $E_s = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $n = 10$ とすれば、 p の種々の値に對して、 σ_s' 、 σ_c' 、 ϵ_c は第 20 表の如くである。

第 20 表 鉄筋コンクリート部材の断面に均等に分布する硬化収縮固有初應力度

$p = A_s/A_c$ 百分率	σ_s' 鉄筋に於ける 壓縮應力度、 kg/cm^2	σ_c' コンクリートに 於ける引張應力 度、 kg/cm^2	ϵ_s 鉄筋コンクリート の長さ 1 m に對す る収縮、mm	ϵ_c 長さ 1 m に對す るコンクリート の伸び、mm
0.5	600	3.0	0.29	0.01
1	570	5.7	0.27	0.03
2	525	10.5	0.25	0.05
3	485	14.5	0.23	0.07

p の値の大なる時、即ち使用鉄筋量が大なる時には、コンクリートの収縮のためにコンクリートに生ずる引張應力度は其引張強度 (約 14 kg/cm^2) を超過し、コンクリートの伸率は其最大伸率 (1 m について 0.1 mm 位) を超過する様になる。然る時にはコンクリートに龜裂が生ずる理である。

(98) 鉄筋の保護として必要なるコンクリートの厚さ 土木學會標準示方書 (昭和 14 年 9 月 改正案) は次の通り。

「第 57 條 普通の場合

- (1) 主鉄筋の被りは其の直徑以上とすべし。
 (2) 被りは普通の場合表一 5 に依るものとす。
 (3) 床版上面若しくは柱等にて損傷及磨耗の虞れある部分は、其の寸法を應力計算上必要なるものより 1 cm 以上厚くすべし。
 (4) 流水其他により磨損の虞れある部分は被りを適當に増大すべし。

表 - 5

	版の下側	梁	柱
一般の場合	1.0 cm 以上	1.5 cm 以上	2.0 cm 以上
寸法大にして重要な構造物若しくは風雨に曝されるもの	2.0 cm 以上	2.5 cm 以上	3.0 cm 以上
煤煙、乾濕、鹽分等の有害なる影響を受くる虞れある部分を特に有効なる被覆材料を用ひて保護せざる場合	3.0 cm 以上	3.5 cm 以上	4.0 cm 以上

「第 58 條 耐火構造の場合

- (1) 特に構造物を耐火構造として造る場合には、玄武岩若しくは石灰石程度の膨脹率を有する骨材を用ひ、被りは版及壁に對して 2.5 cm 以上、梁及柱に對して 5 cm 以上とすべし。若し花崗岩の如き骨材を用ふる場合には、被りを前記より更に 2.5 cm 増加せしめ、約 2.5 cm の深さに鐵網を入れて補強すべし。
 (2) 高熱に曝される、煙突内面の如き場合には特種の裝置を設くるか、又は被りを相當厚くすべし。」

「第 59 條 海中に於ける場合

海水の作用を受くる場合被りは第 66 條の規定に依るべし。」

(99) 海水の作用を受くる鉄筋コンクリート 土木學會標準示方書 (昭和 14 年 9 月改正案) は次の通り。

「第 62 條 總則

海水の作用を受くる鉄筋コンクリートは其の材料の選擇、配合、水量、ウオーカビリチー、打込み、養生其他の作業に關し、特に注意して之を製造すべし。多孔質又は脆弱なる骨材を使用すべからず。」

「第 63 條 配合

最高最低潮位間及波の作用を受くる部分は、1 m³ に付き 330 kg 以上のセメントを使用すべし。
 普通の場合では 1 m³ のコンクリートにつきセメントの最小使用量は 300 kg である。

「第 64 條 混和材

特に責任技術者の承認を得るにあらざれば混和材を使用すべからず。」

「第 65 條 コンクリート打ち

- (1) コンクリートは出來得る限り水平又は傾斜せる打層を生ぜざる様打つべし。

- (2) 最高最低潮位間のコンクリートは連續作業にて打つべし。」

「第 66 條 鐵筋及コンクリートの保護

- (1) 被りは 7.5 cm 以上、隅角部に於ては 10 cm 以上とすべし。但しコンクリート既製品其他特別なるものに於ては、責任技術者の指示に従ひこの限度を低下することを得。
 (2) 激しき磨損又は腐蝕を受くる虞れある部分は、責任技術者の承認せる材料を以てコンクリート表面を保護すべし。」

第十二章 鉄筋コンクリート部材に於ける應力度の計算及び断面の算定——總説

(100) 鉄筋コンクリート部材の種類 鉄筋コンクリート構造の一部を成す鉄筋コンクリート部材は凡そ次の如くに區分することが出来る。

(1) 壓縮力のみを受ける部材 柱及び壁は一般に壓縮材であるが、偏心荷重を受ける時、又はラーメンの一部である時等に於ては、軸方向力と同時に、曲げモーメントを受ける。

(2) 曲げモーメントのみを受ける部材 版は一般に曲げ材であるが、例へばラーメンの一部を成す様な場合には、曲げモーメント及び剪断力と同時に壓縮力を、穀倉の底版である様な場合には、曲げモーメント及び剪断力と同時に引張力を受ける。

梁も一般に曲げ材であるが、ラーメンの一部を成す時には、曲げモーメント及び剪断力と同時に軸方向力を受ける。

(3) 直接壓縮力と同時に曲げモーメントを受ける部材 アーチは一般に軸方向壓縮力と同時に曲げモーメント及び剪断力を受ける。

是等の鉄筋コンクリート部材に働く軸方向力、曲げモーメント及び剪断力の計算は、普通、構造力學で論ぜられる範圍に屬するもので、鉄筋コンクリートに於て特有とすべきものでない、但し、例へば無梁版構造の様な鉄筋コンクリート固有の構造に於ては、之の版及び柱等に働く外力の計算に於て、特別の考慮を要するものである。

(101) 鉄筋コンクリート部材の應力度算定及び断面決定に對する根本的假定 普通、假定せられる事項は次の如くである。

(1) 部材が歪を起す前に平面であつた部材の横断面は、歪を生じたる後に於ても平面である。此假定は或特種の場合を除きては一般に嚴密に當て嵌らないが、近似的には充分正確に凡ての場合に當て嵌るものと考へられて居る。之を云ひ換へると次の通り、即ち横断面上の任意の點の維歪は中立軸よりの距離に正比例する。

(2) コンクリートは引張力に抵抗し得ざるものと假定する、即ちコンクリートに作用する引張力を無視する。

此假定はコンクリートの引張強度が甚だ小であり、且、一般には信頼し得ないものであること鉄筋コンクリート設計々算が其破壊、又は之に近い状態を基準とすべきであると云ふ見地に從つた假定である。即ち鉄筋の引張應力度が凡そ $300\text{kg/cm}^2 \sim 400\text{kg/cm}^2$ となれば、鉄筋周囲のコンクリートに龜裂を生じ梁の場合に於て、引張鉄筋の引張應力度が其許容應力度の近くに達すればコンクリートの龜裂は中立軸近くにまで進展し、中立軸以下のコンクリートには全く引張應力が

作用しないものと考へられるからである。併し荷重が比較的の小なる間は、コンクリートにも引張應力は働いて居るものであつて、此様な状態例へばコンクリートに龜裂が生ずるや否やに就いて計算を行ふ場合等に於ては、勿論コンクリートの引張應力を考慮すべきである。此際コンクリートの引張弾性係数 E_t と壓縮弾性係数 E_c との関係は凡そ $E_c/E_t = 1.1 \sim 1.4$ であつて、大体に於て $E_c/E_t = 1.2$ とすることが出来る。又此場合には應力の値はかなり小であるから $n = 8 \sim 10$ 位である。併し略算の場合には $E_t = E_c$ と假定しても大なる誤はない。

(3) コンクリートの弾性係数は常數である。

鉄筋コンクリート部材の断面の決定、又は部材が充分な安全度を有するや否やを検するための應力度の計算に對しては、現今に於ては、コンクリートの弾性係数を $140,000\text{kg/cm}^2$ に採ること即ち鉄筋とコンクリートとの弾性係数の比 n を 15 に採ることが適當であることは、一般に認められて居る。又 n の値の少しの變化は計算の結果に餘り大なる影響を及ぼさない。

計算の容易であることを主眼とし、不備の點は、許容應力度及び計算式の選定等に於ける考慮に依つて補ふこととし、コンクリートの弾性係数を定數 $140,000\text{kg/cm}^2$ 、從つて弾性係数比 n を 15 に採ることが廣く行はれてゐる。

鉄筋コンクリート部材の断面の決定、又は部材が充分な安全度を有するや否やを検するための應力度の算定に於ては、部材の破壊に近い状態を基準とするのが適當であるから、之に適應する様な弾性係数比の値を選ぶのである。併し不靜定力若くは弾性變形の計算に於ては、部材の破壊又は破壊に近い状態を基礎とせず、部材に許容應力度近くの應力度が働く場合を基準とするのが適當である。

不靜定力若くは弾性變形の計算に於ては、コンクリートの弾性係数を $210,000\text{kg/cm}^2$ (普通の許容應力度に近い應力度に對する平均の値)、從つて鉄筋とコンクリートの弾性係数比 n を 10 に採ることが廣く行はれて居る。

(102) 記號 本書に於ては、成るべく土木學會の標準示方書(昭和 15 年 8 月改正)第 8 條に規定された記號を使用することとする。第 8 條の規定は次の通り。

A' = 支壓應力の作用する面積(支承面積)、 A_s = 螺旋鐵筋を軸方向鐵筋に換算せる場合、其軸方向鐵筋の断面面積(換算断面面積)、 A_c = 帶鐵筋柱のコンクリート断面面積(軸方向鐵筋断面面積を減せず)、 A_c = 螺旋鐵筋柱のコンクリートの有效断面面積(軸方向鐵筋断面面積を減せず)、 A_i = 鐵筋コンクリート柱の等値断面面積、 A_o = 螺旋鐵筋柱のコンクリート全断面面積(軸方向鐵筋断面面積を減せず)、 A_s = 鐵筋の断面面積、 A_s' = 曲げモーメント或は曲げモーメントと軸方向力を受くる断面に於ける壓縮鐵筋の断面面積、 A_b = 梁の軸方向に測りたる距離 v の間に於ける折曲鐵筋の全断面面積、 A_o = 梁の軸方向に測りたる距離 v の間に於ける助鐵筋の全断面面積、 b = 矩形断面の幅、又は丁形断面突縁の幅、 b_o = 丁形断面腹部の幅、 σ =

コンクリートに於ける全圧縮應力、 σ' = 圧縮鉄筋に於ける全圧縮應力、 d = 鉄筋の直径、 d = 版及び梁に於て圧縮側表面より引張鉄筋断面の圆心までの距離（版及び梁の有効高さ）、 d' = 版及び梁に於て圧縮側表面より圧縮鉄筋断面の圆心までの距離、 D = 螺旋鉄筋柱のコンクリート有効断面の直径（螺旋鉄筋の中心線間の距離）、 E_c = コンクリートのヤング係数（本書に於てはヤング係数、又は弾性係数なる語を用ひてゐる）、 E_s = 鉄筋のヤング係数、 f = 螺旋鉄筋1本の断面積、 h = 柱の高さ即ち柱の横方向に支持せられざる高さ、 h = 矩形断面又は丁形断面の全部の高さ、 i = 断面の最小回轉半径、 I = 断面二次モーメント、 j = 抵抗偶力の臂長さの有效高さ d に対する比、 $jd = z$ = 抵抗偶力の臂長さ、 k = 圧縮側表面より中立軸までの距離の有効高さ d に対する比、 $kd = x$ = 圧縮側表面より中立軸までの距離、 l = 梁又は版のスパン、 M = 曲げモーメント、 n = 鉄筋のヤング係数のコンクリートのヤング係数に対する比、 p = 鉄筋断面積のコンクリート断面積に対する比、 P = 短柱の許容中心軸方向荷重、 N = 軸方向力、 P' = 長柱の許容中心軸方向荷重、 s = 肋鉄筋の間隔又は折曲鉄筋の間隔、 σ_c = コンクリートの圧縮應力度、 σ_{ca} = コンクリートの許容圧縮應力度、 σ_s = 鉄筋の引張應力度、 σ'_s = 鉄筋の圧縮應力度、 σ_{sa} = 鉄筋の許容引張應力度、 σ_{sa}' = 鉄筋の許容圧縮應力度、 σ_{28} = 材齢 28 日のコンクリート標準供試体の圧縮強度、 S = 剪断力、 t = 版の厚さ、丁形梁突縁の厚さ、 t = 帯鉄筋又は螺旋鉄筋の間隔、 τ = コンクリートの剪断應力度、 τ_a = コンクリートの許容剪断應力度、 τ_0 = 鉄筋とコンクリートとの附着應力度、 τ_{at} = 鉄筋とコンクリートとの許容附着應力度、 T = 引張主鉄筋の全引張應力、 U = 鉄筋の周長の總和、 w = 版又は梁の単位面積又は単位長さ當りの等分布荷重、 w_d = 版又は梁の単位面積又は単位長さ當りの等分布静荷重、 w_l = 版又は梁の単位面積又は単位長さ當りの等分布動荷重、 $x = kd$ = 圧縮側表面より中立軸までの距離、 y = 中立軸より應力度を求むる點までの距離、 $z = jd$ = 抵抗偶力の臂長さ。

(103) 計算の精度 鉄筋コンクリート力学は多くの假定に基づきて、部材の安全度を定める程度に過ぎないものであるから、詳細なる計算は無意義である。一般にコンクリートの断面の寸法は 0.1cm^2 まで、鉄筋の断面積は 0.01cm^2 まで、コンクリートの應力度は 0.1kg/cm^2 まで、鉄筋の應力度は 1kg/cm^2 まで計算すれば充分である。断面の寸法が大なる場合は上記標準を更に 1 位づゝ繰り上げた程度まで計算すればよい。上記の程度の計算であるから、圖表又は計算表に依る結果を直ちに採用しても差支ない。

第十三章 単鉄筋矩形梁に於ける曲げ應力度の計算及び曲げモーメントに対する梁断面の算定

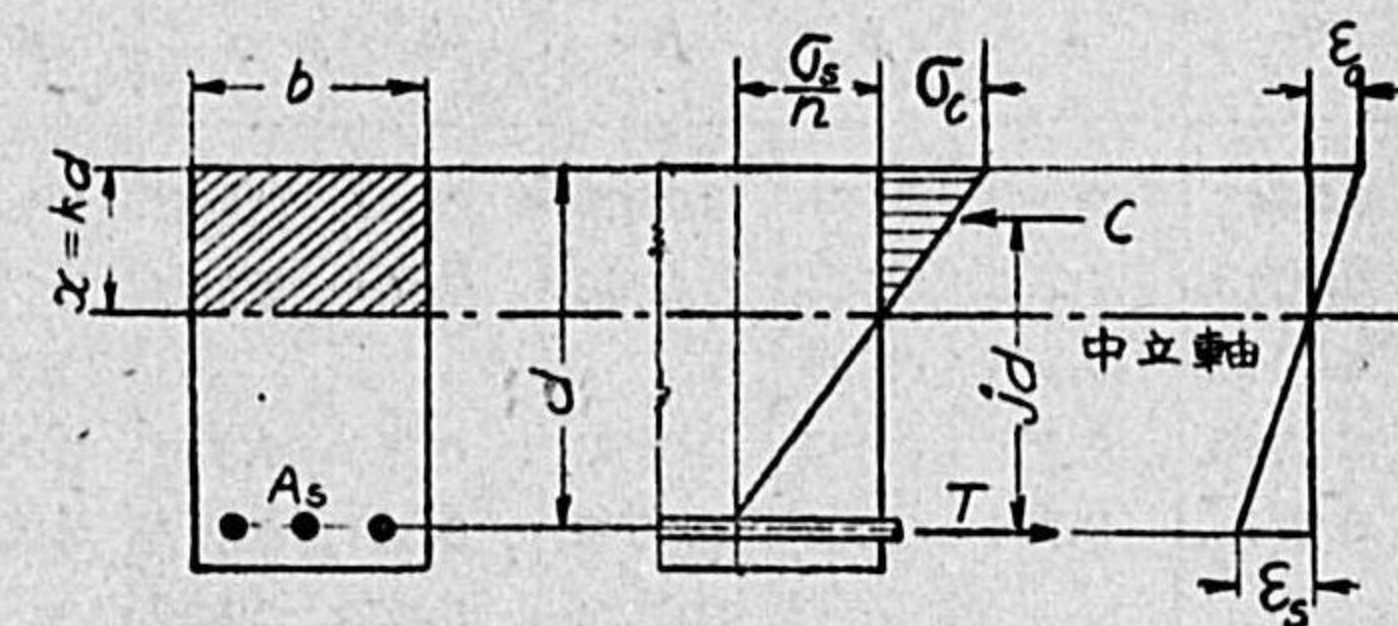
(104) 概論 鉄筋コンクリート梁に於て、曲げモーメントに對して、引張鉄筋のみが存在するものを單鉄筋梁と云ひ、引張鉄筋の外に、曲げ圧縮應力の一部を受ける圧縮鉄筋が存在するものを複鉄筋梁と云ふ。梁の或断面には、一般に曲げモーメントと剪断力とが働く。梁に生ずる剪断應力及び之に備へる複鉄筋等に就いては後章に於て述べることにする。

(105) 應力度の計算 本節では單鉄筋矩形梁が既に設計されて居つて、梁の有効高さ、幅、鉄筋量が既知であるものとして、コンクリートの圧縮應力度 σ_c 及び鉄筋の引張應力度 σ_s を見出し、此値が設計に於て用ひられたコンクリートの許容圧縮應力度及び鉄筋の許容引張應力度の値を超過して居らないかを検するに必要な算式に就いて述べる。若し超過して居れば、此設計は改めなければならぬ。

矩形梁の或断面に於ける應力及び歪の分布を示すと第 50 圖の通り。

b = 梁の幅、 $x = kd$ = 圧縮側表面より中立軸までの距離、 d = 圧縮側表面より引張鉄筋断面の圆心までの距離（版又は梁の有効高さ）、 $z = jd$ = 抵抗偶力の臂長さ、 A_s = 引張鉄筋の全断面積、 σ_c = コンクリートに於ける線形圧縮應力度、 σ_s = 鉄筋に於ける引張應力度、 ϵ_c = コンクリートに於ける線形歪（収縮）、 ϵ_s = 鉄筋に於ける歪（伸び）

第 50 圖の歪圖から次式を得る。



第 50 圖 單鉄筋矩形梁

$$\epsilon_s : \epsilon_c = (d - kd) : kd \dots\dots\dots (1)$$

然るに $\epsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c}$ $\epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}$ $\frac{E_s}{E_c} = n$

$$\therefore \frac{\epsilon_s}{\epsilon_c} = \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \frac{E_c}{\sigma_c} = \frac{d(1-k)}{kd} \quad \frac{1}{n} \frac{\sigma_s}{\sigma_c} = \frac{1-k}{k} \dots\dots\dots (2)$$

而して梁の軸方向に外力が働かないから、コンクリートに働く全圧縮應力 C の数値は、鉄筋に働く全引張應力 T の數値に等しく、 C 及び T よりなる抵抗偶力のモーメントは曲げモーメント M と釣合を保つ。

$$C = T \quad \text{而して} \quad C = \frac{\sigma_c b k d}{2} \quad T = \sigma_s A_s$$

$$\therefore \sigma_s A_s = \frac{\sigma_c b k d}{2} \quad \text{即ち} \quad \frac{\sigma_s}{\sigma_c} = \frac{b k d}{2 A_s} \dots\dots\dots (3)$$

(2) と (3) とから $\frac{n(1-k)}{k} = \frac{bkd}{2A_s} \cdot \frac{A_s}{bd} = p$ と置けば $k^2 = 2np(1-k)$ 之から

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np \dots\dots\dots(4)$$

$kd = x$ であるから $x = \frac{nA_s}{b} \left[\sqrt{1 + \frac{2bd}{nA_s}} - 1 \right] \dots\dots\dots(5)$

抵抗モーメントの臂長さ $z = jd = d - \frac{kd}{3} = d \left(1 - \frac{k}{3} \right)$

$$\therefore j = 1 - \frac{k}{3} \dots\dots\dots(6)$$

n は普通 15 である。第 21 表は、 $n = 15$ として、 p の 2.1% 迄の値に対する k 及び j の値を (4) 式及び (6) 式に依つて計算したものである。

第 21 表 $p = \frac{A_s}{bd}$ に対する k 及び j の値 ($n = 15$)

p	k	j	p	k	j	p	k	j	p	k	j
0.0040	0.292	0.903	0.0066	0.357	0.881	0.0090	0.402	0.866	0.0116	0.441	0.853
0.0042	0.298	0.901	0.0068	0.361	0.880	0.0092	0.405	0.865	0.0118	0.443	0.852
0.0044	0.303	0.899				0.0094	0.408	0.864			
0.0046	0.309	0.897	0.0070	0.365	0.878	0.0096	0.411	0.863	0.0120	0.446	0.851
0.0048	0.314	0.895	0.0072	0.369	0.877	0.0098	0.415	0.862	0.0130	0.459	0.847
			0.0074	0.373	0.876				0.0140	0.471	0.843
0.0050	0.320	0.893	0.0076	0.377	0.875	0.0100	0.418	0.861	0.0150	0.483	0.839
0.0052	0.325	0.892	0.0078	0.381	0.873	0.0102	0.421	0.860	0.0160	0.493	0.835
0.0054	0.320	0.890				0.0104	0.424	0.859			
0.0056	0.334	0.889	0.0080	0.384	0.872	0.0106	0.427	0.858	0.0170	0.503	0.832
0.0058	0.339	0.887	0.0082	0.388	0.871	0.0108	0.430	0.857	0.0180	0.513	0.829
			0.0084	0.392	0.869				0.0190	0.522	0.826
0.0060	0.344	0.885	0.0086	0.395	0.868	0.0110	0.433	0.856	0.0200	0.531	0.823
0.0062	0.348	0.884	0.0088	0.398	0.867	0.0112	0.435	0.855	0.0210	0.539	0.821
0.0064	0.353	0.882				0.0114	0.438	0.854			

j 及び k 、又は z 及び x の値を知れば、コンクリート及び鉄筋の應力度 σ_c 及び σ_s は容易に求められる。

$$C = T = \frac{M}{\left(d - \frac{x}{3}\right)} = \frac{M}{d \left(1 - \frac{k}{3}\right)} = \frac{M}{jd} = \frac{M}{z} \dots\dots\dots(7)$$

然るに $C = \frac{1}{2} \sigma_c b z$ であるから、之と (7) 式とから

$$\sigma_c = \frac{2M}{bz \left(d - \frac{x}{3}\right)} = \frac{2M}{kjbd^2} \dots\dots\dots(8)$$

而して (2) 式より

$$\sigma_s = \frac{n\sigma_c(1-k)}{k} \dots\dots\dots(9)$$

又 $T = A_s \sigma_s$ であるから、此式と (7) 式とから

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \left(d - \frac{x}{3}\right)} = \frac{M}{A_s j d} = \frac{M}{p j b d^2} \dots\dots\dots(10)$$

上式の M は考慮せる断面に働く曲げモーメントである。故に単筋矩形梁の断面が與へられる時に、曲げ應力度を計算するには、先づ (5) 式に依つて、 x 又は (4) 式及び (6) 式に依つて k 及び j を求め、是等を用ひて (8) 式、(9) 式又は (10) 式に依つて計算すればよい。

(例題) $b = 50\text{cm}$ 、 $d = 35\text{cm}$ 、 $A_s = 14\text{cm}^2$ 、 $M = 5,000\text{kgm}$ なる時、 σ_c 及び σ_s を求めよ。

$$\text{鉄筋比 } p = \frac{A_s}{bd} = \frac{14}{50 \times 35} = 0.008$$

第 21 表より $p = 0.008$ に対して、 $k = 0.384$ 、 $j = 0.872$

公式 (10) から $\sigma_s = \frac{M}{p j b d^2} = \frac{500,000}{0.008 \times 0.872 \times 50 \times 35^2} = 1,170\text{kg/cm}^2$

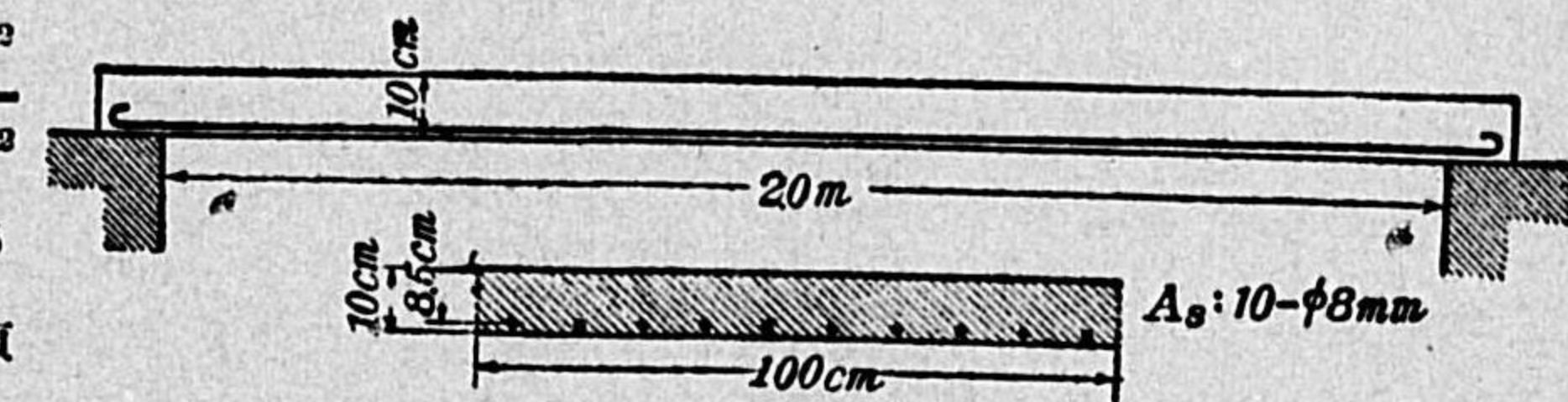
公式 (8) から $\sigma_c = \frac{2M}{kjbd^2} = \frac{2 \times 500,000}{0.384 \times 0.872 \times 50 \times 35^2} \doteq 49\text{kg/cm}^2$

(例題) 第 51 圖は内法スパン 2m の両端単純支承の版を示す。版の全高は 10cm、引張鉄筋は版の幅 1m について直径 8mm の丸鋼 10 本 (第 20 表により $A_s = 5.02\text{cm}^2$)、鉄筋断面の中心は版の引張側表面から 1.5cm の距離にある。版の受ける動荷重は $w_l = 350\text{kg/m}^2$ である。コンクリート及び鉄筋に於ける最大曲げ應力度を求めよ。

固定荷重 $w_d = 2,400 \times 0.10 = 240\text{kg/m}^2$

動荷重 $w_l = 350\text{kg/m}^2$

合計 $w = 590\text{kg/m}^2$



土木學會標準示方書 (昭和 15 年 3 月改正) 第 83 條は次頁の通り。

第 51 圖

第 22 表 鉄筋の断面積、(cm²)

圓釘の直径, mm	重量, kg/m	鉄筋の断面積									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	0.22	0.28	0.56	0.85	1.13	1.41	1.70	1.98	2.26	2.54	2.83
7	0.30	0.38	0.77	1.15	1.54	1.92	2.31	2.69	3.08	3.46	3.84
8	0.40	0.50	1.00	1.51	2.01	2.51	3.01	3.52	4.02	4.52	5.02
10	0.62	0.79	1.57	2.36	3.14	3.93	4.71	5.50	6.28	7.07	7.85
12	0.89	1.13	2.26	3.39	4.52	5.65	6.79	7.91	9.05	10.18	11.31
14	1.21	1.54	3.08	4.62	6.16	7.70	9.24	10.77	12.32	13.86	15.39

第十三章 単鉄筋矩形梁に於ける曲げ耐力の計算及び曲げモーメントに対する梁断面の算定

16	1.58	2.01	4.02	6.03	8.04	10.05	12.06	14.07	16.08	18.09	20.11
18	2.00	2.54	5.09	7.63	10.18	12.72	15.26	17.81	20.36	22.90	25.45
20	2.47	3.14	6.28	9.24	12.57	15.71	18.84	21.97	25.14	28.28	31.42
22	2.98	3.80	7.60	11.40	15.21	19.01	22.81	26.61	30.41	34.21	38.01
24	3.55	4.52	9.05	13.57	18.10	22.62	27.14	31.67	35.19	40.71	45.24
25	3.85	4.91	9.82	14.73	19.63	24.54	29.45	34.36	39.27	44.18	49.09
26	4.17	5.31	10.62	15.93	21.24	25.55	31.86	37.17	42.47	47.78	53.09
28	4.83	6.16	12.31	18.47	24.63	30.79	36.94	43.10	49.26	55.42	61.58
30	5.55	7.07	14.14	21.21	28.27	35.34	42.41	49.48	56.55	63.62	70.68
32	6.31	8.04	16.08	24.13	32.17	40.21	48.26	56.30	64.34	72.33	80.42
34	7.13	9.08	18.16	27.24	35.32	45.40	54.48	63.55	72.63	81.71	90.79
36	8.00	10.18	20.36	30.54	40.72	50.90	61.07	71.26	81.43	91.61	101.80
38	8.90	11.34	22.68	34.02	45.35	56.70	68.04	79.38	90.73	102.10	113.40
40	9.87	12.56	25.13	37.70	50.26	62.83	75.40	87.96	100.50	113.10	125.70

〔(1) 単純梁又は固定梁のスパンは支承面の中心間隔とす。但し支承面の奥行長き場合には、梁の内法スパンに其の 5%を加へたるものとなすことを得。〕

今支承面の奥行が長い場合として、スパンを内法スパンに其の 5%を加へたるものとする。

$$l = 2.0 + 2.0 \times 0.05 = 2.1m$$

版の幅 1 m に對する最大曲げモーメントは

$$M = \frac{wl^2}{8} = \frac{590 \times 2.1^2}{8} = 325kgm = 32,500kgcm$$

$b = 100cm, d = 10 - 1.5 = 8.5cm, A_s = 5.02cm^2, n = 15$ であるから (5) 式に依りて

$$x = \frac{nA_s}{b} \left[\sqrt{1 + \frac{2bd}{nA_s}} - 1 \right] = \frac{15 \times 5.02}{100} \left[\sqrt{1 + \frac{2 \times 100 \times 8.5}{15 \times 5.02}} - 1 \right] = 2.0cm$$

$$\sigma_c = \frac{2M}{bx \left(d - \frac{x}{3} \right)} = \frac{2 \times 32,500}{100 \times 2.0 \times (8.5 - 0.97)} = 29.8kg/cm^2$$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \left(d - \frac{x}{3} \right)} = \frac{32,500}{5.02 \times (8.5 - 0.97)} = 860kg/cm^2$$

(例題) 有効高さ $d = 13.5cm$ の版が 10cm の間隔に 10mm 直径の鉄筋を有する場合、7900kg の曲げモーメントを受けるものとして σ_c 及び σ_s を計算せよ。

第 23 表から $A_s = 7.85cm^2 \therefore p = \frac{7.85}{100 \times 13.5} = 0.58\% = 0.0058$

第 21 表から $k = 0.339, j = 0.887$

$$\sigma_s = \frac{M}{pjbd^2} = \frac{79,000}{0.0058 \times 0.887 \times 100 \times 13.5^2} = 840kg/cm^2$$

$$\sigma_c = \frac{2M}{kjb d^3} = \frac{2 \times 79,000}{0.339 \times 0.887 \times 100 \times 13.5^3} = 29kg/cm^2$$

第 23 表 版の幅 100cm を採りたる場合の鉄筋断面積、(cm²)

鉄筋の間隔, cm	鉄筋の直径, mm					
	6	7	8	10	12	14
7.0	4.04	5.50	7.18	11.22	16.16	21.99
7.5	3.77	5.13	6.70	10.47	15.08	20.52
8.0	3.53	4.81	6.28	9.82	14.14	19.24
8.5	3.33	4.53	5.91	9.24	13.31	18.11
9.0	3.14	4.28	5.59	8.73	12.57	17.10
9.5	2.98	4.05	5.29	8.27	11.90	16.20
10.0	2.83	3.85	5.03	7.85	11.31	15.39
10.5	2.69	3.67	4.79	7.48	10.77	14.66
11.0	2.57	3.50	4.57	7.14	10.28	13.99
11.5	2.46	3.35	4.37	6.83	9.84	13.39
12.0	2.36	3.21	4.19	6.54	9.42	12.83
12.5	2.26	3.08	4.02	6.28	9.05	12.32
13.0	2.17	2.96	3.87	6.04	8.70	11.84
13.5	2.09	2.85	3.72	5.82	8.38	11.40
14.0	2.02	2.75	3.59	5.61	8.08	11.00
14.5	1.95	2.65	3.47	5.42	7.80	10.62
15.0	1.89	2.57	3.35	5.24	7.54	10.26

(106) 抵抗モーメント 単鉄筋矩形梁に於ては、コンクリートに生ずる圧縮應力度 σ_c 及び鉄筋に生ずる引張應力度 σ_s は許容荷重の下に於て夫々許容應力度に達する如くに設計されねばならぬ、斯くの如き条件を満足する鉄筋量を平衡鉄筋量と云ふ。此値は (107) にて述べる。然るに實際の設計に於ては種々の關係から梁の鉄筋量が此平衡量より多い事も又少ない事もある。従つて平衡量より大なる鉄筋量を有する梁に於ては、鉄筋に生ずる應力度は許容應力度以下であるから、断面の抵抗モーメントはコンクリートに依つて定まる。之に反して、平衡量より小なる鉄筋量を有する梁に於ては、上と相反する。故に鉄筋量が平衡量より大なる時は、(12) 式により又小なる場合には (11) 式から抵抗モーメントを求めねばならぬ。第 50 圖から次式を得る。

$$M_s = T_j d = \sigma_s A_s j d = \sigma_s p j b d^2 \dots \dots \dots (11)$$

$$M_c = C j d = \frac{1}{2} \sigma_c k j b d^2 \dots \dots \dots (12)$$

上式中、 M_s 及び M_c は夫々鉄筋及びコンクリートに依る抵抗モーメントであつて、 σ_c 及び σ_s は許容應力度である。又豫め断面の鉄筋量が平衡量であるか否か不明の時は M_s 及び M_c の中の小なる方の値を採ればよい。

(例題) $d = 15cm, A_s = 9.84cm^2$ の版がある。 $\sigma_s = 1,000kg/cm^2, \sigma_c = 40kg/cm^2$ として抵抗

モーメントを求めよ。

$$p = \frac{9.84}{100 \times 15} = 0.00656, \text{ 第 21 表から } k = 0.356, j = 0.882$$

(11) 式から $M_s = \sigma_s A_s j d = 1,000 \times 9.84 \times 0.882 \times 15 = 120,000 \text{ kgcm}$

(12) 式から $M_c = \frac{1}{2} \sigma_c k j b d^2 = \frac{1}{2} \times 40 \times 0.356 \times 0.882 \times 100 \times 15^2 = 140,000 \text{ kgcm}$

∴ 抵抗モーメント $M = M_s = 120,000 \text{ kgcm}$

(107) 断面の算定 単筋矩形断面の設計に於て、其鉄筋量を漠然と定めることはよくない。最も理想的な設計としては、 σ_c 及び σ_s が與へられたる許容應力度と同一値になる様に A_s 又は p を定めなければならぬ。斯くの如き鉄筋量 A_s を前述の如くに平衡鉄筋量、又は理想鉄筋量と云ふ。次に此平衡鉄筋量を求めん。

(2) 式 $\frac{1}{n} \frac{\sigma_s}{\sigma_c} = \frac{1-k}{k}$ から $\frac{\sigma_s}{\sigma_c} = n \left(\frac{1}{k} - 1 \right)$ (13)

(3) 式 $\frac{\sigma_s}{\sigma_c} = \frac{bkd}{2A_s}$ から $\frac{\sigma_s}{\sigma_c} = \frac{bkd}{2A_s} = \frac{k}{2p} \therefore \frac{1}{k} = \frac{\sigma_c}{2\sigma_s p}$ (14)

(13) 式に (14) 式を代入して p を求めることを得る。

$$\frac{\sigma_s}{\sigma_c} = n \left(\frac{1}{k} - 1 \right) = n \left(\frac{\sigma_c}{2\sigma_s p} - 1 \right)$$

之より $p = \frac{1}{\frac{2\sigma_s}{\sigma_c} \left(\frac{\sigma_s}{n\sigma_c} + 1 \right)}$ (15)

即ち平衡鉄筋比 p 、又は鉄筋量 A_s は $\frac{\sigma_s}{\sigma_c}$ の函数である。

(1) 曲げモーメント M 、梁の幅 b 、コンクリートの縁圧縮應力度 σ_c 、鉄筋の引張應力度 σ_s を與へて、梁の有効高さ d 及び引張鉄筋断面積 A_s を求むること。

コンクリートの縁歪は $\frac{\sigma_c}{E_c}$ であり、鉄筋の歪は $\frac{\sigma_s}{E_s}$ であるから、縦歪は断面の中立軸からの距離に比例すると假定すれば

$$\frac{\sigma_c}{E_c} : \frac{\sigma_s}{E_s} = x : (d - x) \therefore x = \frac{n\sigma_c}{n\sigma_c + \sigma_s} d = kd \text{(16)}$$

$$k = \frac{n\sigma_c}{n\sigma_c + \sigma_s}$$

外力に依る曲げモーメントと應力のモーメントとは相等しいから

$$M = \frac{b\sigma_c x}{2} \left(d - \frac{x}{3} \right) = \frac{b\sigma_c kd}{2} \left(d - \frac{kd}{3} \right)$$

$$\therefore d = \sqrt{\frac{2}{\sigma_c k \left(1 - \frac{k}{3} \right)}} \sqrt{\frac{M}{b}} = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}} \left. \begin{array}{l} \text{上式中} \\ C_1 = \sqrt{\frac{2}{\sigma_c k \left(1 - \frac{k}{3} \right)}} = \frac{\sigma_s + n\sigma_c}{n\sigma_c} \sqrt{\frac{6n}{3\sigma_s + 2n\sigma_c}} \end{array} \right\} \text{(17)}$$

第50圖に於て $T = C$ であるから

$$A_s = \frac{\sigma_c x b}{2\sigma_s} = \frac{\sigma_c k b}{2\sigma_s} d = \frac{\sigma_c}{2\sigma_s} k C_1 \sqrt{Mb}$$

又は $A_s = \frac{\sigma_c}{2\sigma_s} \sqrt{\frac{6n}{3\sigma_s + 2n\sigma_c}} \sqrt{Mb} = C_2 \sqrt{Mb}$ (18)
 $C_2 = \frac{\sigma_c}{2\sigma_s} \sqrt{\frac{6n}{3\sigma_s + 2n\sigma_c}}$

故に M 、 b 、 σ_c 及び σ_s が與へられたる時、単筋矩形梁の有効高さ d 及び鉄筋の必要なる断面積 A_s は (17)、(18) 式に依つて算定することが出来る。

第 24 表は σ_c 及び σ_s の種々の値に對して、 $n = 15$ として、(16) 式から梁の壓縮側表面から中立軸までの距離 x 、及び抵抗偶力の臂長さ $z = \left(d - \frac{x}{3} \right) = jd$ の値を示す。

第 24 表 σ_c 及び σ_s の値に對する x 及び $\left(d - \frac{x}{3} \right) = jd$ の値 ($n = 15$)

σ_c	σ_s	$x = kd$	$d - \frac{x}{3} = jd$	σ_c	σ_s	$x = kd$	$d - \frac{x}{3} = jd$
25	800	0.319d	0.894d	35	1,200	0.304d	0.898d
30	800	0.360d	0.880d	40	1,200	0.333d	0.889d
35	800	0.396d	0.866d	45	1,200	0.360d	0.880d
40	800	0.429d	0.857d	50	1,200	0.385d	0.872d
25	1,000	0.273d	0.909d	55	1,200	0.407d	0.864d
30	1,000	0.310d	0.897d	60	1,200	0.429d	0.857d
35	1,000	0.344d	0.885d	65	1,200	0.448d	0.851d
40	1,000	0.375d	0.875d	70	1,200	0.467d	0.845d
45	1,000	0.403d	0.866d	35	1,500	0.259d	0.914d
25	1,250	0.231d	0.923d	40	1,500	0.286d	0.905d
30	1,250	0.265d	0.912d	45	1,500	0.310d	0.897d
35	1,250	0.296d	0.901d	50	1,500	0.333d	0.889d
40	1,250	0.324d	0.892d	55	1,500	0.355d	0.882d
45	1,250	0.351d	0.883d	60	1,500	0.375d	0.875d

第 25 表は σ_c 及び σ_s の種々の値に對して、 $n = 15$ として、(17)、(18) 式に於ける C_1 及び C_2 の値を示す。

第25表 係数 C_1 及び C_2 の値 ($d = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}}$, $A_s = C_2 \sqrt{\frac{M}{b}}$)

σ_c	$\sigma_c = 1,200$		1,100		1,000		950		900		850		800		750	
	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2
60	0.301	0.00323	0.295	0.00362	0.289	0.00411	0.286	0.00487	0.283	0.00471	0.298	0.00508	0.277	0.00549	0.273	0.00596
58	0.309	0.00314	0.303	0.00352	0.296	0.00399	0.293	0.00427	0.290	0.00427	0.296	0.00459	0.283	0.00534	0.278	0.00581
56	0.318	0.00304	0.311	0.00341	0.304	0.00388	0.300	0.00415	0.297	0.00415	0.293	0.00446	0.280	0.00522	0.286	0.00565
54	0.326	0.00296	0.319	0.00332	0.312	0.00377	0.308	0.00403	0.305	0.00403	0.301	0.00433	0.287	0.00505	0.294	0.00549
52	0.335	0.00286	0.328	0.00321	0.321	0.00365	0.317	0.00391	0.313	0.00391	0.309	0.00420	0.295	0.00475	0.302	0.00518
50	0.345	0.00277	0.338	0.00311	0.330	0.00354	0.325	0.00379	0.322	0.00379	0.318	0.00407	0.299	0.00467	0.310	0.00518
49	0.350	0.00273	0.343	0.00306	0.335	0.00347	0.331	0.00372	0.327	0.00372	0.323	0.00401	0.301	0.00458	0.314	0.00508
48	0.356	0.00268	0.348	0.00301	0.340	0.00341	0.336	0.00365	0.332	0.00365	0.332	0.00393	0.307	0.00452	0.319	0.00500
47	0.362	0.00263	0.354	0.00295	0.346	0.00335	0.342	0.00359	0.336	0.00359	0.332	0.00385	0.313	0.00445	0.324	0.00491
46	0.368	0.00258	0.360	0.00290	0.351	0.00330	0.347	0.00353	0.342	0.00353	0.338	0.00379	0.319	0.00438	0.329	0.00482
45	0.375	0.00253	0.367	0.00284	0.357	0.00324	0.352	0.00347	0.348	0.00347	0.343	0.00373	0.325	0.00431	0.334	0.00475
44	0.381	0.00248	0.372	0.00279	0.363	0.00317	0.358	0.00340	0.355	0.00340	0.349	0.00367	0.330	0.00428	0.339	0.00465
43	0.388	0.00243	0.379	0.00274	0.369	0.00314	0.365	0.00334	0.360	0.00334	0.355	0.00359	0.335	0.00420	0.345	0.00457
42	0.395	0.00238	0.385	0.00268	0.376	0.00305	0.371	0.00327	0.366	0.00327	0.361	0.00352	0.340	0.00412	0.351	0.00448
41	0.403	0.00232	0.393	0.00263	0.383	0.00299	0.378	0.00321	0.372	0.00321	0.372	0.00344	0.346	0.00403	0.357	0.00439
40	0.411	0.00228	0.400	0.00258	0.390	0.00293	0.385	0.00314	0.380	0.00314	0.374	0.00337	0.352	0.00395	0.363	0.00432
39	0.419	0.00223	0.408	0.00251	0.398	0.00286	0.393	0.00307	0.388	0.00307	0.378	0.00331	0.358	0.00387	0.370	0.00422
38	0.428	0.00218	0.417	0.00246	0.406	0.00280	0.401	0.00300	0.395	0.00300	0.389	0.00323	0.363	0.00378	0.377	0.00413
37	0.437	0.00213	0.426	0.00240	0.414	0.00273	0.410	0.00293	0.403	0.00293	0.397	0.00315	0.368	0.00370	0.384	0.00403
36	0.447	0.00208	0.435	0.00235	0.423	0.00267	0.419	0.00286	0.411	0.00286	0.405	0.00308	0.373	0.00362	0.393	0.00395
35	0.457	0.00203	0.445	0.00229	0.433	0.00261	0.428	0.00279	0.420	0.00279	0.414	0.00301	0.378	0.00354	0.401	0.00388
34	0.468	0.00198	0.456	0.00224	0.443	0.00254	0.437	0.00272	0.430	0.00272	0.423	0.00293	0.383	0.00345	0.410	0.00376
33	0.480	0.00193	0.467	0.00217	0.454	0.00248	0.448	0.00265	0.440	0.00265	0.443	0.00286	0.388	0.00336	0.419	0.00367
32	0.492	0.00188	0.478	0.00211	0.464	0.00242	0.459	0.00258	0.452	0.00258	0.443	0.00279	0.393	0.00327	0.429	0.00357
31	0.504	0.00182	0.491	0.00205	0.477	0.00235	0.471	0.00251	0.462	0.00251	0.455	0.00271	0.398	0.00318	0.440	0.00348
30	0.519	0.00177	0.504	0.00199	0.490	0.00228	0.483	0.00244	0.475	0.00244	0.467	0.00264	0.403	0.00310	0.451	0.00338
28	0.549	0.00166	0.534	0.00188	0.518	0.00221	0.510	0.00239	0.502	0.00239	0.493	0.00247	0.408	0.00301	0.467	0.00318
25	0.585	0.00155	0.588	0.00176	0.550	0.00200	0.541	0.00215	0.532	0.00215	0.523	0.00232	0.413	0.00292	0.504	0.00299

第52図は σ_c 及び σ_s と係数 C_1 及び C_2 との関係を圖示せるものである。

(例題) 幅 1m について、曲げモーメント $M = 1160 \text{ cm}$ を受ける床版がある。 $\sigma_s = 1,000 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_c = 35 \text{ kg/cm}^2$ として床版の有効高さ d 及び引張鉄筋断面積 A_s を求めよ。

與へられた σ_c 及び σ_s の値に對する係数 C_1 及び C_2 を第 25 表から求める。 $C_1 = 0.433$, $C_2 = 0.00261$

$$(17) \text{ 式から } d = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}} = 0.433 \sqrt{\frac{116,000}{100}} = 14.8 \text{ cm}$$

$$\text{次に (18) 式から } A_s = 0.00261 \times \sqrt{116,000 \times 100} = 8.9 \text{ cm}^2$$

今直径 14mm の丸鋼 (断面積 1.54 cm^2) を使用するとすれば、其中心間隔は $100 \times \frac{1.54}{8.9} = 17.3 \text{ cm}$ である。此鉄筋の中心間隔を 17.0

cm に採れば、版の幅 1m に於ける鉄筋の総断面積 A_s は $1.54 \times \frac{100}{17.0} = 9.06 \text{ cm}^2$ である。

鉄筋保護としてのコンクリートの被りを 1.5cm に採れば (土木學會標準示方書第 57 條)、版の全高は $h = 14.8 + 1.4/2 + 1.5 = 17 \text{ cm}$ である。

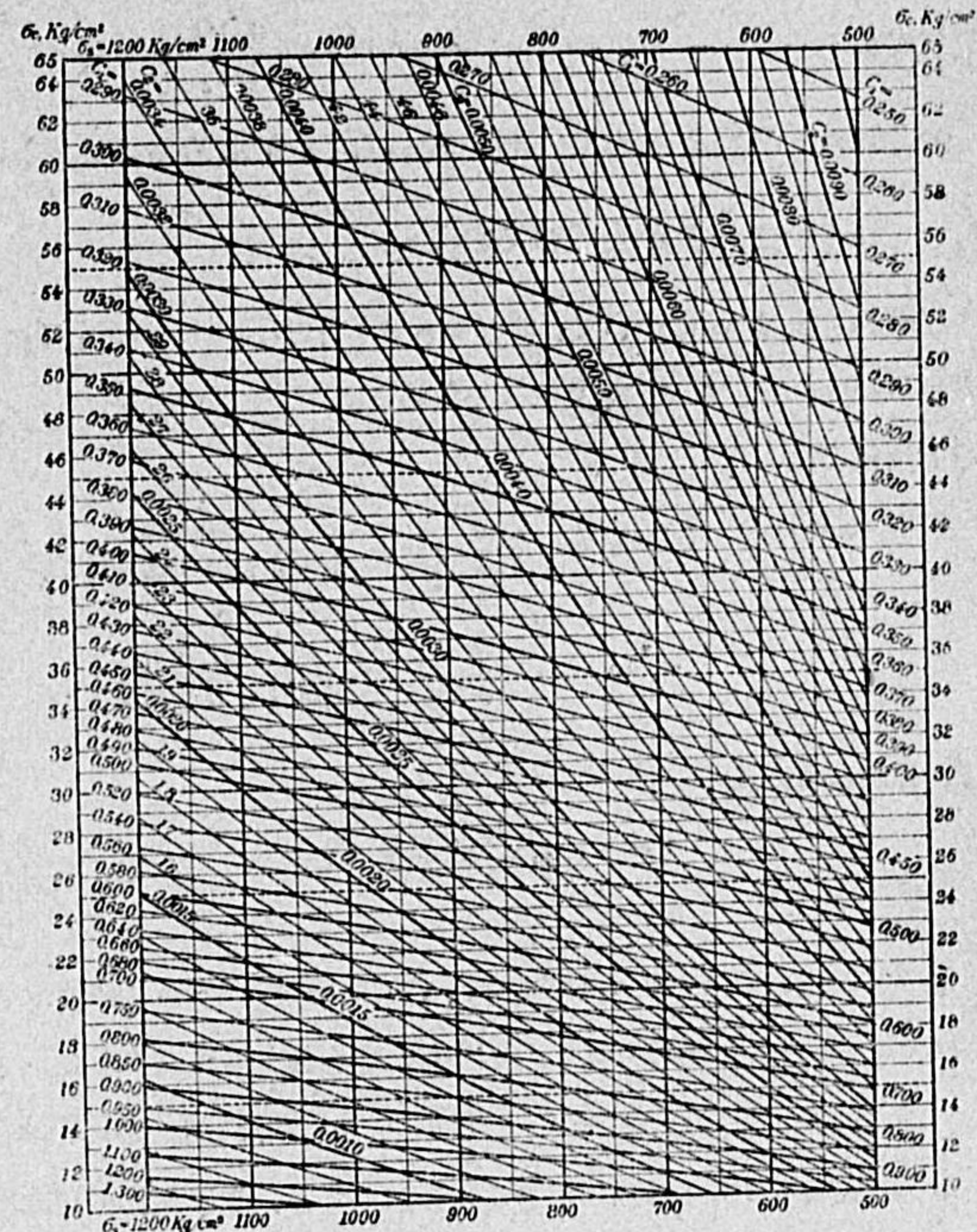
(2) M, b, d 及び σ_s が與へられたる時、 A_s 及び σ_c を求めること 今抵抗モーメントの臂長さである jd の j を σ_c 及び σ_s の種々の値に對して計算すると第 24 表の如くなる。此表から知るが如くに、 j の値は近似的計算の場合には $\frac{7}{8} \sim \frac{8}{9}$ としても差支ない様である。

$$A_s = \frac{M}{\sigma_s \frac{7}{8} d}, \text{ 又は } A_s = \frac{M}{\sigma_s \frac{8}{9} d} \dots \dots \dots (19)$$

近似式を用ひずに、正確に、 A_s 及び σ_c を求めるには次の如くにする。(9) 式から

$$\sigma_s = \frac{n \sigma_c (1-x/d)}{x/d} = \frac{n \sigma_c (d-x)}{x} \therefore \sigma_c = \frac{\sigma_s x}{n (d-x)} \dots \dots \dots (20)$$

(8) 式から
$$\sigma_c = \frac{\sigma_s x}{n (d-x)} = \frac{2 M}{b x \left(d - \frac{x}{3}\right)}$$



第52圖 σ_c 及び σ_s と係数 C_1 及び C_2 との関係 ($n=15$)

上式から
$$x^3 - 3dx^2 - \frac{6Mn}{b\sigma_s}(x-d) = 0 \dots\dots\dots (21)$$

上式から x の値を求めて (20) 式から σ_c を求めることが出来る。而して A_s は (10) 式 $A_s = M + \sigma_s \left(d - \frac{x}{8}\right)$ から求められる。

(例題) 幅 1 m について、曲げモーメント $M = 116000$ を受ける床版がある。 $\sigma_s = 1,000 \text{ kg/cm}^2$, $d = 14.8 \text{ cm}$ として A_s 及び σ_c を求めよ。

(1) 近似方法

(19) 式から
$$A_s = \frac{M}{\sigma_s \frac{7}{8} d} = \frac{116,000}{1,000 \times 0.875 \times 14.8} = 8.95 \text{ cm}^2$$

又は
$$A_s = \frac{M}{\sigma_s \frac{8}{9} d} = \frac{116,000}{1,000 \times 0.889 \times 14.8} = 8.8 \text{ cm}^2$$

(2) 正確なる方法

$$d = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}} \text{ から } C_1 = \frac{d}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = \frac{14.8}{\sqrt{\frac{116,000}{100}}} = 0.435$$

第 25 表に於て $\sigma_s = 1,000 \text{ kg/cm}^2$ の列に於て、 $C_1 = 0.435$ に相當する C_2 の値は凡そ $C_2 = 0.00261$ ($C_2 = 0.00261$ は $C_1 = 0.433$ に相當する値) である。而して σ_c は 35 kg/cm^2 である。

$$A_s = C_2 \sqrt{Mb} = 0.00261 \sqrt{116,000 \times 100} \approx 8.89 \text{ cm}^2$$

第 52 圖を用ひても同様に求めることが出来る、即ち $\sigma_s = 1,000 \text{ kg/cm}^2$ の鉛直線と $C_1 = 0.435$ なる曲線との交點を求め、此點の縦距を測れば $\sigma_c = 35 \text{ kg/cm}^2$ であり、此點の C_2 の値を C_2 の曲線から求めれば、 $C_2 = 0.0026$ である。次に上記の如くにして A_s を求める。近似的計算にて求めたる A_s と正確に計算したる A_s との値には大差がない、故に A_s を求めるには一般に近似式を用ひれば便利である。

(3) M, b, d 及び σ_s を與へて、 A_s 及 σ_c を求めること 版、又は梁の設計に於て、コンクリート及び鉄筋に於ける應力度が、同時に是等の許容應力度に達する有効高さよりも小さい有効高さを用ひねばならぬ場合がある。此時、コンクリートに於ける壓縮應力度が其許容應力度を超過せぬ様にする爲には、壓縮鐵筋を使用するのが普通であるが、(複鐵筋梁参照)、引張鐵筋の斷面積を大として、版又は梁の壓縮側表面から断面の中立軸に至る距離を大としても、或程度までは、コンクリートに於ける應力度を許容應力度、又は其以下にすることが出来る。

(8) 式 $\sigma_c = 2M + bx(d-x/8)$ から x を求めると次の通り。

$$x^3 - 3dx - \frac{6M}{b\sigma_c} = 0 \therefore x = \frac{3d}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{8M}{3bd^2\sigma_c}} \right] \dots\dots\dots (22)$$

上式の σ_c に許容應力度又はそれ以下の値を入れて x を求めて、(20) 式 $\sigma_c = \sigma_s x + n(d-x)$ 及び $A_s = \frac{\sigma_c bx}{2\sigma_s}$ から A_s 及び σ_s を求める。

(例題) 床版あり、幅 1 m について $78,600 \text{ kgcm}$ の曲げモーメントを受ける。 $d = 10 \text{ cm}$, $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ として A_s 及び σ_s を求めよ。

コンクリート及び鐵筋に於ける應力度が、同時に夫々 40 kg/cm^2 及び $1,200 \text{ kg/cm}^2$ に達する爲に必要な梁の有効高さは次の通り。

$$d = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}} = 0.411 \sqrt{\frac{78,600}{100}} = 11.7 \text{ cm}$$

第 25 表より、 $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ に對して、 $C_1 = 0.411$; 然るに與へられたる有効高さは 10 cm であるから、コンクリートに於ける壓縮應力度が、 40 kg/cm^2 を超過せぬ様にする爲には、壓縮鐵筋を使用するか、又は引張鐵筋に對して小さい引張應力度を用ひて、引張鐵筋の斷面積を大きくするかしなければならぬ、今引張鐵筋の斷面積を大きくするものとすれば、(22) 式から

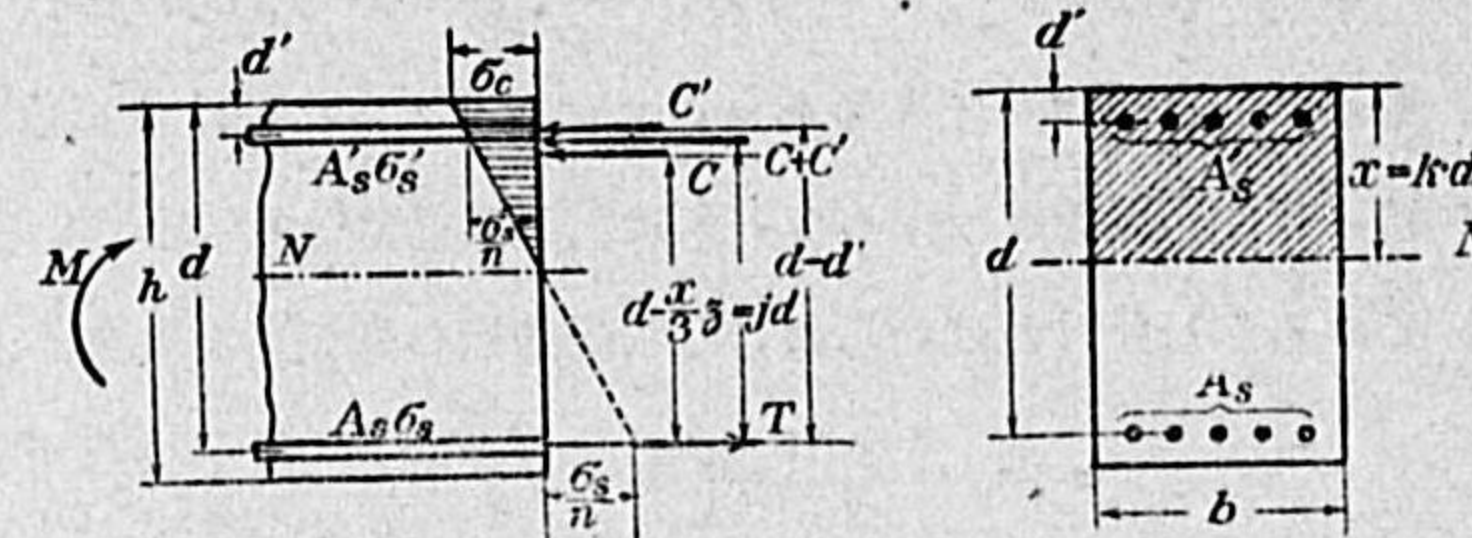
$$x = \frac{3 \times 10}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{8 \times 78,600}{3 \times 100 \times 10^2 \times 40}} \right] = 4.65 \text{ cm}$$

$$\therefore \sigma_s = n \sigma_c \frac{d-x}{x} = 15 \times 40 \times \frac{10-4.65}{4.65} = 690 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = \frac{\sigma_c bx}{2\sigma_s} = \frac{40 \times 100 \times 4.65}{2 \times 690} = 13.5 \text{ cm}^2$$

第十四章 複鉄筋矩形梁に於ける曲げ
 應力度の計算及び曲げモー
 メントに対する断面の算定

(108) 概論 引張鉄筋の外に、梁の圧縮側にも鉄筋を挿入する場合がある。之を複鉄筋梁と云ふ。構造上又は他の事情のために、版又は梁の高さが甚だ小さく制限されて居る時には、コンクリートだけでは圧縮應力に抵抗することが出来ない場合がある。此場合に圧縮鉄筋を必要とする。尙梁の固定支承の部分及び連続梁の内部支承上の部分に於ては、梁は普通に複鉄筋断面を有する。



第 53 圖 複鉄筋矩形梁

(109) 曲げ應力度の計算 第 53 圖に於て、 σ_c' を圧縮鉄筋に於ける圧縮應力度、 A_s' を圧縮鉄筋の總断面積、

C をコンクリートに働く總圧縮應力、 C' を圧縮鉄筋に働く全圧縮應力とする。

第 53 圖から $\sigma_c : \frac{\sigma_s}{n} = x : (d-x)$

又は $\sigma_s = n\sigma_c \frac{d-x}{x} = n\sigma_c \frac{d-kd}{kd} = n\sigma_c \frac{1-k}{k}$ (23)

又 $\frac{\sigma_s'}{n} : \sigma_c = (x-d') : x$

$\therefore \frac{\sigma_s'}{n\sigma_c} = \frac{x-d'}{x} = \frac{kd-d'}{kd}$ 或は $\sigma_s' = n\sigma_c \frac{k-d'/d}{k}$ (24)

梁の軸方向には外力が働かないから、引張鉄筋に働く總引張應力 T は、圧縮鉄筋及びコンクリートに働く總圧縮應力の和に等しくなければならぬ。即ち

$T = C + C'$

圧縮鉄筋の存在に依る圧縮コンクリート断面積の減少は僅少であるから、簡單のために、之を無視するのが普通である。之に従へば

$C = \frac{1}{2} \sigma_c b x, \quad T = A_s \sigma_s, \quad C' = A_s' \sigma_s'$

$\therefore A_s \sigma_s = \frac{1}{2} \sigma_c b x + A_s' \sigma_s'$ (25)

(25) 式に (23) と (24) 式の値を代入して $A_s = pbd$ 、 $A_s' = p'd$ と置けば、 k を求めることが出来る。

$\frac{x}{d} = k = \sqrt{2n(p+p')\frac{d'}{d} + n^2(p+p')^2} - n(p+p')$ (26)

此式から p 、 p' 、 d'/d が與へられるならば、 $k = \frac{x}{d}$ を求めることが出来る。

又 $kd = x = \sqrt{2nI^2 \left(\frac{A_s}{bd} + \frac{A_s' d'}{bd} \right) + n^2 \left(\frac{A_s}{bd} + \frac{A_s'}{bd} \right)^2 d^2} - n \left(\frac{A_s}{bd} + \frac{A_s'}{bd} \right) d$
 $= \sqrt{\frac{2n}{b} (dA_s + d'A_s') + \left\{ \frac{n(A_s + A_s')}{b} \right\}^2} - n \frac{A_s + A_s'}{b}$ (27)

k の値を求めるには第 54 圖を使用すれば便利である。

應力のモーメントは外力に依る曲げモーメントと平衡してゐるから、引張鉄筋断面の中心に關するモーメントの平衡條件から次式を得る。

$M = C \left(d - \frac{kd}{3} \right) + C' (d-d')$
 $= \frac{bkd}{2} \tau_c \left(d - \frac{kd}{3} \right) + \sigma_s' A_s' (d-d')$

上式に (24) 式の値を代入すれば

$M = \sigma_c b d^3 \left[\frac{k}{2} \left(1 - \frac{k}{3} \right) + \frac{np' \left(k - \frac{d'}{d} \right) \left(1 - \frac{d'}{d} \right)}{k} \right]$

又は $\sigma_c = \frac{M}{bd^2 I_c}, \quad I_c = \frac{k}{2} \left(1 - \frac{k}{3} \right) + \frac{np' \left(k - \frac{d'}{d} \right) \left(1 - \frac{d'}{d} \right)}{k}$ (28)

σ_c の値は (28) 式から求められる。 I_c の値は第 55 圖から求むれば便利である。

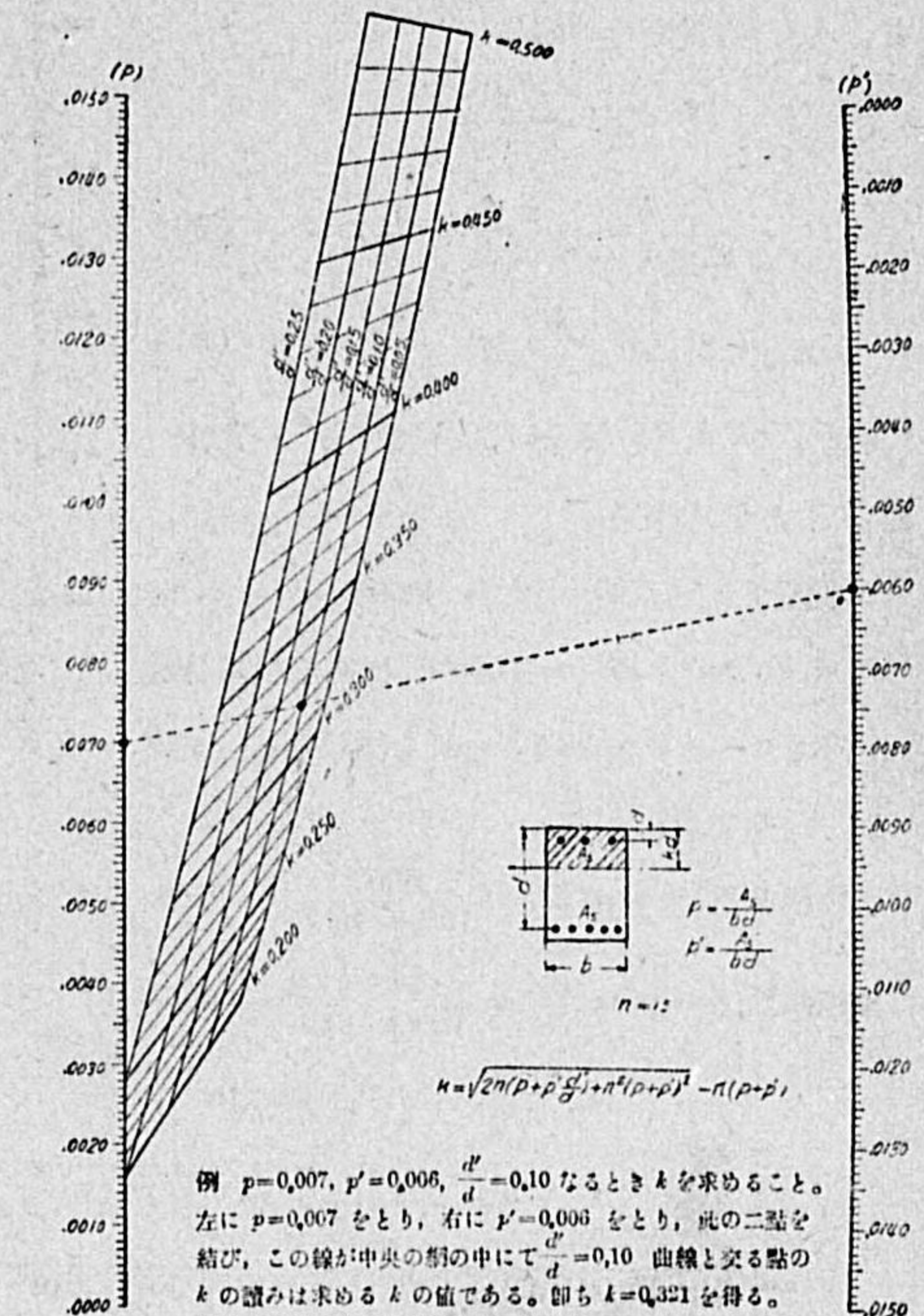
次に σ_s を求めるには、先づ圧縮鉄筋断面の中心に關して應力のモーメントを求め、之を外力による曲げモーメントに等しいと置けばよい。

$M = A_s \sigma_s (d-d') - \frac{\sigma_c k b}{2} \left(\frac{kd}{3} - d' \right)$

上式に (23) 式の變形 $\sigma_c = \sigma_s k/n (1-k)$ の値を入れて

$M = \sigma_s b d^3 \left[p \left(1 - \frac{d'}{d} \right) + \frac{k^3}{2n(1-k)} \left(\frac{d'}{d} - \frac{k}{3} \right) \right], \quad A_s = pbd$

又は $\sigma_s = \frac{M}{bd^2 I_s}, \quad I_s = p \left(1 - \frac{d'}{d} \right) + \frac{k^3}{2n(1-k)} \left(\frac{d'}{d} - \frac{k}{3} \right)$ (29)



第 54 圖 k を求める圖表

例 $p=0.007, p'=0.006, \frac{d'}{d}=0.10$ なるとき k を求めること。
 左に $p=0.007$ をとり、右に $p'=0.006$ をとり、此の二點を結び、この線が中央の形の中にて $\frac{d'}{d}=0.10$ 曲線と交る點の k の讀みは求める k の値である。即ち $k=0.021$ を得る。
 圖中の點線は此の場合の手續きを示す。

又は σ_s を求めるには次の如くにしてもよい。

$$Tjd = A_s \sigma_s jd = M \therefore \sigma_s = \frac{M}{A_s jd}$$

上式と (29) 式 $\sigma_s = M/bd^2 L_s$ と比較し

$$\text{て、} A_s j = pbjd = bdL_s$$

$$\therefore j = \frac{L_s}{p} = \left(1 - \frac{d'}{d}\right) + \frac{k^2}{2np(1-k)} \left(\frac{d'}{d} - \frac{k}{3}\right) \dots (30)$$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s jd} = \frac{M}{p j b d^2} \dots (31)$$

又は $\sigma_s = n \sigma_c (1-k) / k$ から σ_s を求めることが出来る。

(例題) $b = 100\text{cm}$, $d = 45.3\text{cm}$, $d' = 4.5\text{cm}$, $A_s = 49.0\text{cm}^2$, $A_s' = 24.5\text{cm}^2$ である複筋形梁が曲げモーメント $22,500\text{kgm}$ を受ける。 σ_c 及び σ_s を求めよ。

$$\text{引張鉄筋比} = p = \frac{A_s}{bd} = \frac{49.0}{100 \times 45.3} = 0.0108$$

$$\text{圧縮鉄筋比} = p' = \frac{A_s'}{bd} = \frac{24.5}{100 \times 45.3} = 0.0054$$

$$\frac{d'}{d} = \frac{4.5}{45.3} = 0.10$$

$$k = \sqrt{2n \left(p + p' \frac{d'}{d}\right) + n^2 (p + p')^2} - n(p + p')$$

$$= \sqrt{2 \times 15 (0.0108 + 0.0054 \times 0.1) + 15^2 (0.0108 + 0.0054)^2} - 15 (0.0108 + 0.0054) = 0.390$$

第 54 図を用ひれば、左方に 0.0108 を探り、右方に $p' = 0.0054$ を探り、之を結ぶ直線が網の中で $d'/d = 0.1$ と交る点の k を讀めば、 $k = 0.390$ を得る

$$L_c = \frac{k}{2} \left(1 - \frac{k}{3}\right) + \frac{np'}{k} \left(k - \frac{d'}{d}\right) \left(1 - \frac{d'}{d}\right)$$

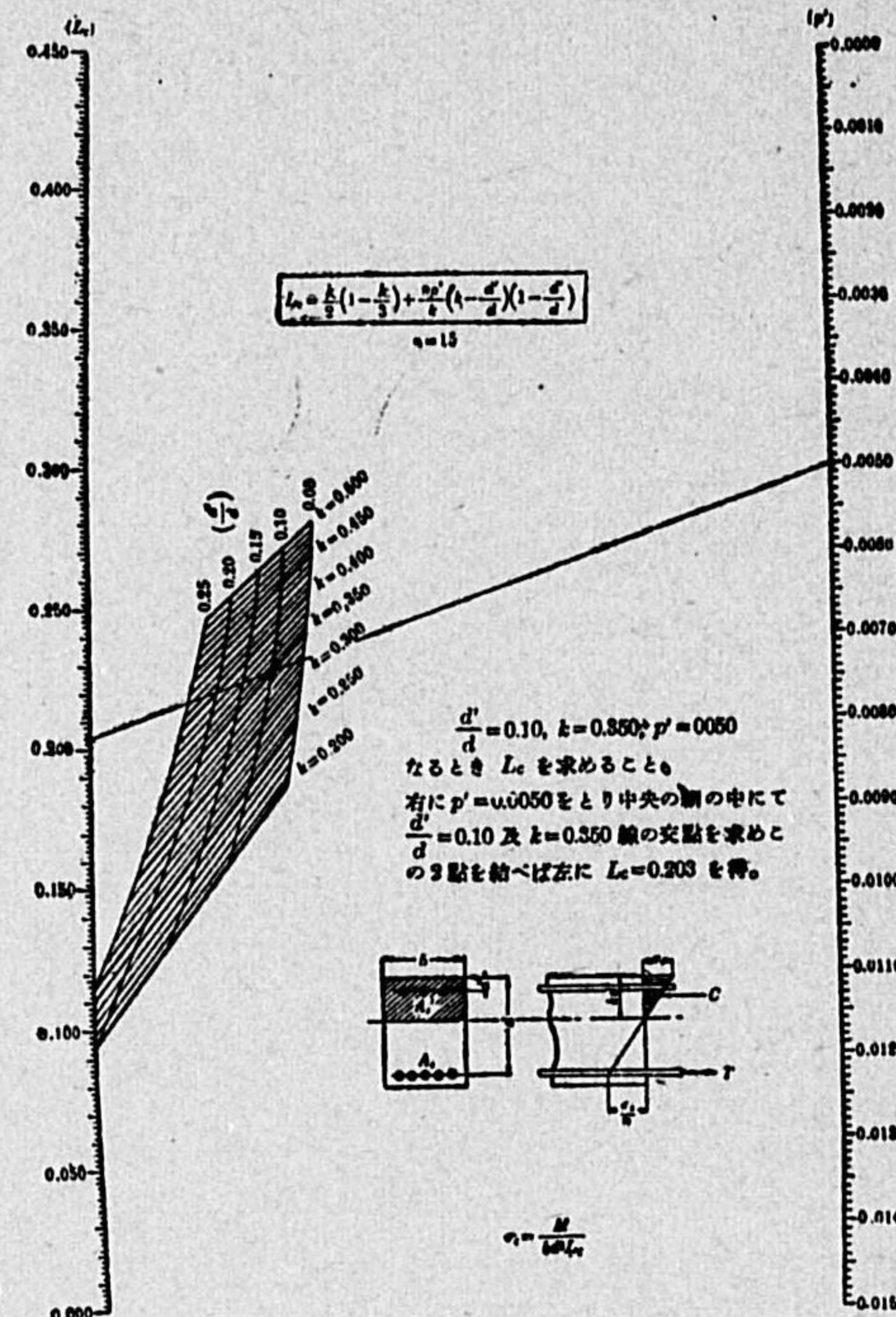
$$= \frac{0.390}{2} \left(1 - \frac{0.390}{3}\right) + \frac{15 \times 0.0054}{0.390} (0.390 - 0.10) (1 - 0.10) = 0.224$$

第 55 図から求めるには、網の中で $d'/d = 0.10$ と $k = 0.390$ との交点を求め、右方に $p' = 0.0054$ を探り、前記交点と此点とを結べば、左方に $L_c = 0.224$ が求められる。

$$\frac{M}{bd^2} = \frac{22,500 \times 100}{100 \times 45.3^2} = 10.95\text{kg/cm}^2, \therefore \sigma_c = \frac{M}{bd^2 L_c} = \frac{10.95}{0.224} = 49\text{kg/cm}^2$$

$$(23) \text{ 式 } \sigma_s = n \sigma_c \frac{1-k}{k} = 15 \times 49 \times \frac{1-0.390}{0.390} = 1,150\text{kg/cm}^2$$

第二の解法は次の通り。



第 55 図 L_c を求める圖表

$$(29) \text{ 式 } L_s = p \left(1 - \frac{d'}{d}\right) + \frac{k^2}{2n(1-k)} \left(\frac{d'}{d} - \frac{k}{3}\right) = 0.0108 (1 - 0.10) + \frac{0.390^2}{2 \times 15 (1 - 0.390)} \left(0.10 - \frac{0.390}{3}\right) = 0.00947$$

$$\sigma_s = \frac{M}{bd^2 L_s} = \frac{10.95}{0.00947} = 1,150\text{kg/cm}^2, \sigma_c = \frac{k}{n(1-k)} \sigma_s = \frac{0.390}{15 (1 - 0.390)} \times 1,150 = 49\text{kg/cm}^2$$

第三の解法は次の通り。

$$(30) \text{ 式 } j = \left(1 - \frac{d'}{d}\right) + \frac{k^2}{2np(1-k)} \left(\frac{d'}{d} - \frac{k}{3}\right) = (1 - 0.10) + \frac{0.390^2}{2 \times 15 \times 0.0108 (1 - 0.390)} \left(0.10 - \frac{0.390}{3}\right) = 0.877$$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s jd} = \frac{22,500 \times 100}{49.0 \times 0.877 \times 45.3} = 1,150\text{kg/cm}^2, \sigma_c = \frac{k}{n(1-k)} \sigma_s = 49\text{kg/cm}^2$$

j の値は第 56 図を用ふれば便利に求められる。例へば $p = 0.0104$, $k = 0.390$ $d'/d = 0.10$ とする。圖の網の中で、 $p = 0.0104$ と $k = 0.390$ との交点を求め、之と左方の $d'/d = 0.10$ 点とを結ぶと、右方に $j = 0.876$ を得る。斯くの如くして j を求めて σ_s , σ_c を次に求めれば計算は簡単である。

近似公式

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s jd}, j = \frac{7}{8}, \sigma_s = \frac{M}{\frac{7}{8} A_s d}$$

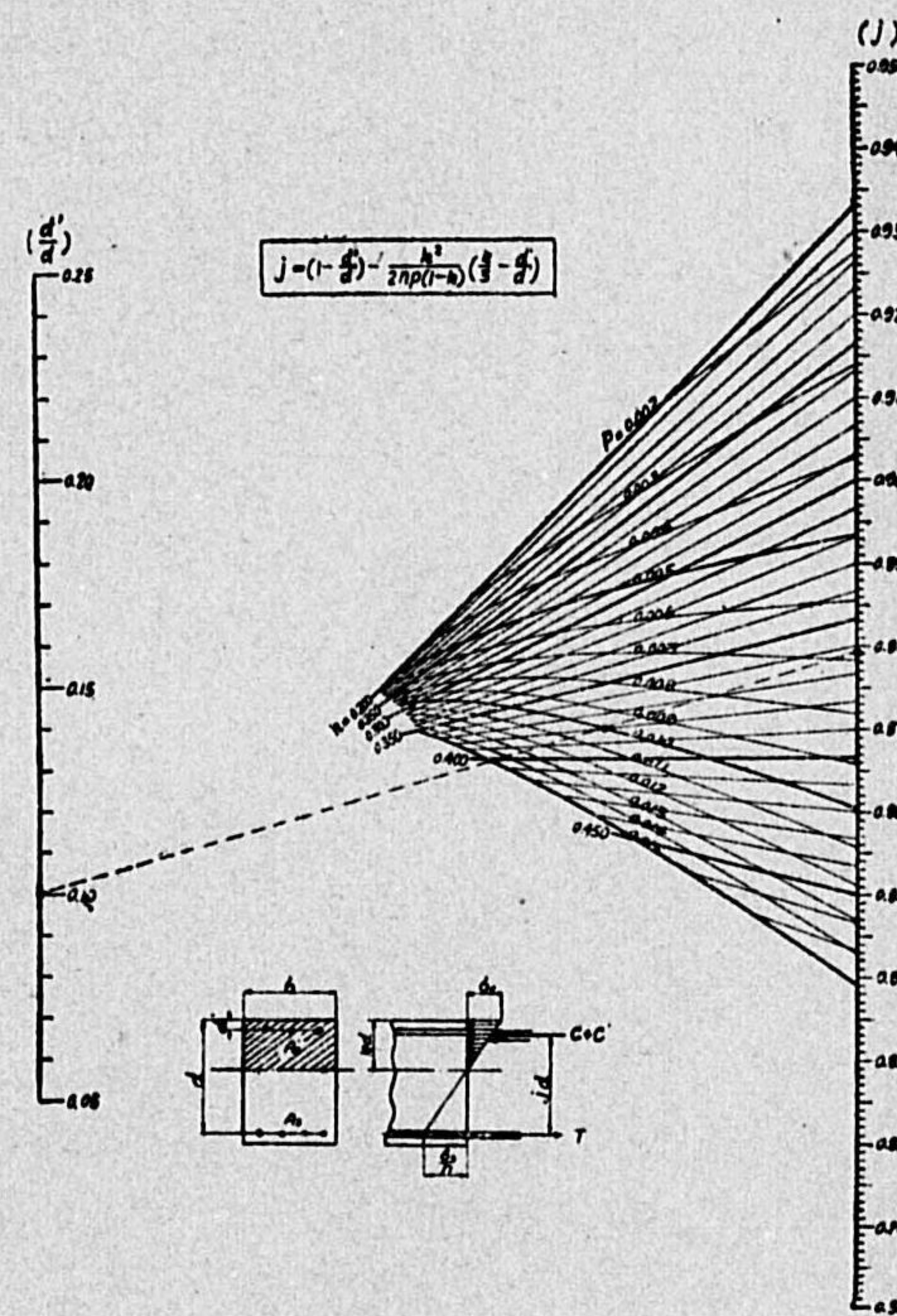
$$= \frac{M}{\frac{7}{8} p b d^2} = \frac{1.14 M}{p b d^2} \dots (32)$$

前例に近似式を用ふれば

$$\sigma_s = \frac{1.14 \times 22,500 \times 100}{0.0108 \times 100 \times 45.3^2} = 1,150\text{kg/cm}^2$$

此場合には近似法と正確法との兩結果が偶然一致したるは近似法の $j = \frac{7}{8} = 0.875$ が精確なる j の値 0.877 と殆んど同値であるからである。一般に近似計算に依るも大差がない様である。

(110) 抵抗モーメント 引張鉄筋が不足の時は抵抗モーメントは次の通り。



第 56 図 j を求める圖表

M_s = \sigma_s A_s j d = \sigma_s p j b d^2 \dots \dots \dots (33)

引張鉄筋が過剰に存在するときは抵抗モーメントは次の通り。

M_c = \frac{1}{2} \sigma_c k \left(1 - \frac{1}{3} k\right) b d^2 + \sigma_s' p' b d (d - d')

然るに \sigma_s' = n \frac{k - d'/d}{k} \sigma_c であるから

M_c = \left[\frac{k}{2} \left(1 - \frac{k}{3}\right) + \frac{np'}{k} \left(k - \frac{d'}{d}\right) \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \right] \sigma_c b d^2 \dots \dots \dots (34)

鉄筋が不足であるか、又は過剰であるかが判明して居らない場合は、M_c 又は M_s 中の小なる方の値を採ればよい。

(111) 断面の設計 複鉄筋矩形断面は連続梁の支承上の負の曲げモーメントに耐へる断面に使用され、又は構造上の事情或は其他の関係から梁の高さが、鉄筋及びコンクリートに於ける應力度が同時に夫等の許容應力度に達するために必要な値よりも小さい値に制限される断面に於ては往々にして複鉄筋を有する断面に設計せねばならぬ。此場合に於ては大抵コンクリートの断面積が豫め定まつて居る場合が多いから、多くの場合には複鉄筋矩形梁断面の設計は曲げモーメント、\sigma_c、\sigma_s、b、d を知つて A_s 及び A_s' を求めることになるが、又時には \sigma_c、\sigma_s 及び A_s'/A_s を知つて d を求めることもある。

(1) M、b、d、d'、\sigma_c 及び \sigma_s を知りて p 及び p' 又は A_s 及び A_s' を求む。

(28) 式から p' = \left[\frac{M}{bd^2} - \frac{\sigma_c k}{2} \left(1 - \frac{k}{3}\right) \right] + \frac{n\sigma_c}{2} \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \left(k - \frac{d'}{d}\right) \dots \dots \dots (35)

(29) 式から p = \left[\frac{M}{bd^2} + \frac{\sigma_c k}{2} \left(\frac{k}{3} - \frac{d'}{d}\right) \right] + \sigma_s \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \dots \dots \dots (36)

上式中 k = \frac{x}{d} = \frac{n\sigma_c}{n\sigma_c + \sigma_s}, 又 M = \sigma_c \frac{bx}{2} \left(d - \frac{x}{3}\right) + A_s' \sigma_s' (d - d'), C = \frac{\sigma_c bx}{2}

\therefore A_s' = \frac{M - \sigma_c \frac{bx}{2} \left(d - \frac{x}{3}\right)}{\sigma_s' (d - d')}, (24) 式から \sigma_s' = n\sigma_c \frac{x - d'}{x}, x = kd \dots \dots (37)

又 M = A_s \sigma_s (d - d') - \frac{\sigma_c bx}{2} \left(\frac{x}{3} - d'\right), \therefore A_s = \frac{M + \frac{\sigma_c bx}{2} \left(\frac{x}{3} - d'\right)}{\sigma_s (d - d')} \dots \dots (38)

梁の高さが1m以下であれば、d' = 0.08h、d = 0.92h位で、1m以上の梁高であれば、d' = 0.05h、d = 0.95h位である。是等の値を(37)式及び(38)式に代入すれば次の如くなる。

d' = 0.08h 及び d = 0.92h を代入して

p_h = \left[\frac{M}{bh^2} + 0.46 \sigma_c k \left(0.92 \frac{k}{3} - 0.08\right) \right] \div 0.84 \sigma_s \dots \dots \dots (39)

p_h' = \left[\frac{M}{bh^2} - 0.4232 \sigma_c k \left(1 - \frac{k}{3}\right) \right] + 13.696 \sigma_c \frac{0.92k - 0.08}{k} \dots \dots \dots (40)

d' = 0.05h 及び d = 0.95h を代入して

p_h = \left[\frac{M}{bh^2} + 0.475 \sigma_c k \left(0.95 \frac{k}{3} - 0.05\right) \right] + 0.9 \sigma_s \dots \dots \dots (41)

p_h' = \left[\frac{M}{bh^2} - 0.4518 \sigma_c k \left(1 - \frac{k}{3}\right) \right] + 14.21 \sigma_c \frac{0.95k - 0.05}{k} \dots \dots \dots (42)

上式中

p_h = \frac{A_s}{hb}, p_h' = \frac{A_s'}{bh}

(例題) 幅 100cm に対して、曲げモーメント 600,000kgcm を受ける鉄筋コンクリート版の有効高さが構造上の都合から、27cm に制限されて居る。σ_c = 40kg/cm²、σ_s = 900kg/cm² である様な鉄筋断面積を求む。

此版に圧縮鉄筋が必要であるか否かは不明であるから、先づ與へられた M、b、σ_c 及び σ_s に対する版の有効高さを求めて見る。

第 25 表に依つて σ_c = 40kg/cm² 及び σ_s = 900kg/cm² に対する C_1 = 0.380 である。

d = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}} = 0.380 \sqrt{\frac{600,000}{100}} = 29.4cm

然るに版の有効高さが 27cm に制限されて居るから圧縮鉄筋を使用することとして、d = 0.92h なりとすれば h = d/0.92 = 27/0.92 = 30cm、d' = 0.08h = 0.08 \times 30 = 2.4cm

\frac{M}{bh} = \frac{600,000}{100 \times 30} = 6.67kg/cm^2, \frac{d'}{h} = \frac{2.4}{30} = 0.08

k = \frac{n\sigma_c}{n\sigma_c + \sigma_s} = \frac{15 \times 40}{15 \times 40 + 900} = \frac{600}{1,500} = 0.4

(39) 式から p_h = \left[6.67 + 0.46 \times 40 \times 0.4 \left(0.92 \times \frac{0.4}{3} - 0.08\right) \right] \div 0.84 \times 900 = 0.923\%

(40) 式から p_h' = \left[6.67 - 0.4232 \times 40 \times 0.4 \left(1 - \frac{0.4}{3}\right) \right] + 13.696 \times 40 \times \frac{0.92 \times 0.4 - 0.08}{0.4} = 0.203\%

A_s = p_h b h = 0.00923 \times 100 \times 30 = 27.69cm^2, A_s' = p_h' b h = 0.00203 \times 100 \times 30 = 6.09cm^2

又は(37)式及び(38)式から A_s と A_s' とを求めることが出来る。

近似的計算 j = \frac{7}{8} と假定するときは

A_s = \frac{M}{\frac{7}{8} d \sigma_s} \dots \dots \dots (43)

A_s' = \frac{1}{\sigma_s'} \left(A_s \sigma_s - \frac{b}{2} \sigma_c x \right), x = \frac{n\sigma_c}{\sigma_s + n\sigma_c} d = kd \left. \dots \dots \dots (44) \right\}

(例題) 前例を近似公式にて解かん。

A_s = \frac{600,000}{0.875 \times 27 \times 900} = 28cm^2, x = 0.4 \times 27 = 10.8cm

\sigma_s' = 15 \times 40 \times \frac{10.8 - 2.4}{10.8} = 467kg/cm^2, A_s' = \frac{1}{467} \left(28 \times 900 - \frac{100 \times 40 \times 10.8}{2} \right) = 7.7cm^2

(2) M, σ_c, σ_s 及び $\frac{A_s'}{A_s}$ が與へられて、断面の有効高さ d を求む

$$\frac{A_s'}{A_s} = \frac{p'}{p} \text{ が與へられて居るから、(35) 式及び (36) 式から}$$

$$\frac{M}{bd^2} = \frac{\sigma_c k}{2} \left[\frac{(1-k) \left(1 - \frac{k}{3}\right) + \frac{A_s'}{A_s} \left(\frac{k}{3} - \frac{d'}{d}\right) \left(k - \frac{d'}{d}\right)}{(1-k) - \left(k - \frac{d'}{d}\right) \frac{A_s'}{A_s}} \right]$$

$$= \frac{\sigma_c k}{2} \left[\left(1 - \frac{k}{3}\right) + \frac{\frac{A_s'}{A_s} \left(k - \frac{d'}{d}\right) \left(1 - \frac{d'}{d}\right)}{(1-k) - \frac{A_s'}{A_s} \left(k - \frac{d'}{d}\right)} \right]$$

$$C_3 = \sqrt{\frac{1}{\frac{\sigma_c k}{2} \left[\left(1 - \frac{k}{3}\right) + \frac{\frac{A_s'}{A_s} \left(k - \frac{d'}{d}\right) \left(1 - \frac{d'}{d}\right)}{(1-k) - \frac{A_s'}{A_s} \left(k - \frac{d'}{d}\right)} \right]}} \dots\dots\dots (45)$$

$$d = C_3 \sqrt{\frac{M}{b}}, \quad k = \frac{n\sigma_c}{n\sigma_c + \sigma_s}$$

上式から $\sigma_c, \sigma_s, A_s'/A_s$ 及び d'/d の値を知つて d を計算することが出来る。(45) 式の C_3 の値は $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ に対しては第 26 表から求めるならば便利である。 C_3 を求めたならば、次に第 57 圖によつて d を求め得る。

第 26 表 C_3 の値、($\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$)

d'/d	$\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$		$\sigma_c = 50 \text{ kg/cm}^2$	
	$A_s' = 0.5A_s$	$A_s' = A_s$	$A_s' = 0.5A_s$	$A_s' = A_s$
0.06	0.364	0.312	0.293	0.233
0.08	0.369	0.321	0.298	0.242
0.10	0.373	0.331	0.302	0.251
0.12	0.377	0.339	0.306	0.260
0.14	0.381	0.348	0.310	0.269
0.16	0.385	0.356	0.313	0.277
0.18	0.388	0.364	0.317	0.285
0.20	0.392	0.371	0.320	0.293

(例題) 曲げモーメント $285,000 \text{ kgcm}$ を受け

る複筋版がある。 $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2, \sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2, d'/d = 0.10, A_s'/A_s = 0.5$ として版の有効高さ d 及び A_s', A_s を求む

第 26 表から $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2, \sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2, d'/d = 0.10, A_s'/A_s = 0.5$ に対して $C_3 = 0.373$ を求め得る。

$$\frac{M}{b} = \frac{285,000}{100} = 2,850 \text{ kg}$$

第 57 圖から、 $M/b = 2,850 \text{ kg}$ で、 $C_3 = 0.373$ であれば $d = 20 \text{ cm}$ となる。 d を求めたならば (35) 式から p' が求められる。

$$k = \frac{15 \times 40}{15 \times 40 + 1,200} = 0.333$$

$$p' = \left[\frac{M}{bd^2} - \frac{\sigma_c k}{2} \left(1 - \frac{k}{3}\right) \right] + \frac{n\sigma_c}{k} \left(1 - \frac{d'}{d}\right) \left(k - \frac{d'}{d}\right)$$

$$= \left[\frac{285,000}{100 \times 20^2} - \frac{40 \times 0.333}{2} \left(1 - \frac{0.333}{3}\right) \right]$$

$$+ \frac{15 \times 40}{0.333} (1 - 0.1) (0.333 - 0.10) = 0.32\%$$

$$p = 0.0032 \times 2 = 0.0064$$

$$\therefore A_s' = p'bd = 0.0032 \times 100 \times 20 = 6.4 \text{ cm}^2, A_s = 6.4 \times 2 = 12.8 \text{ cm}^2$$

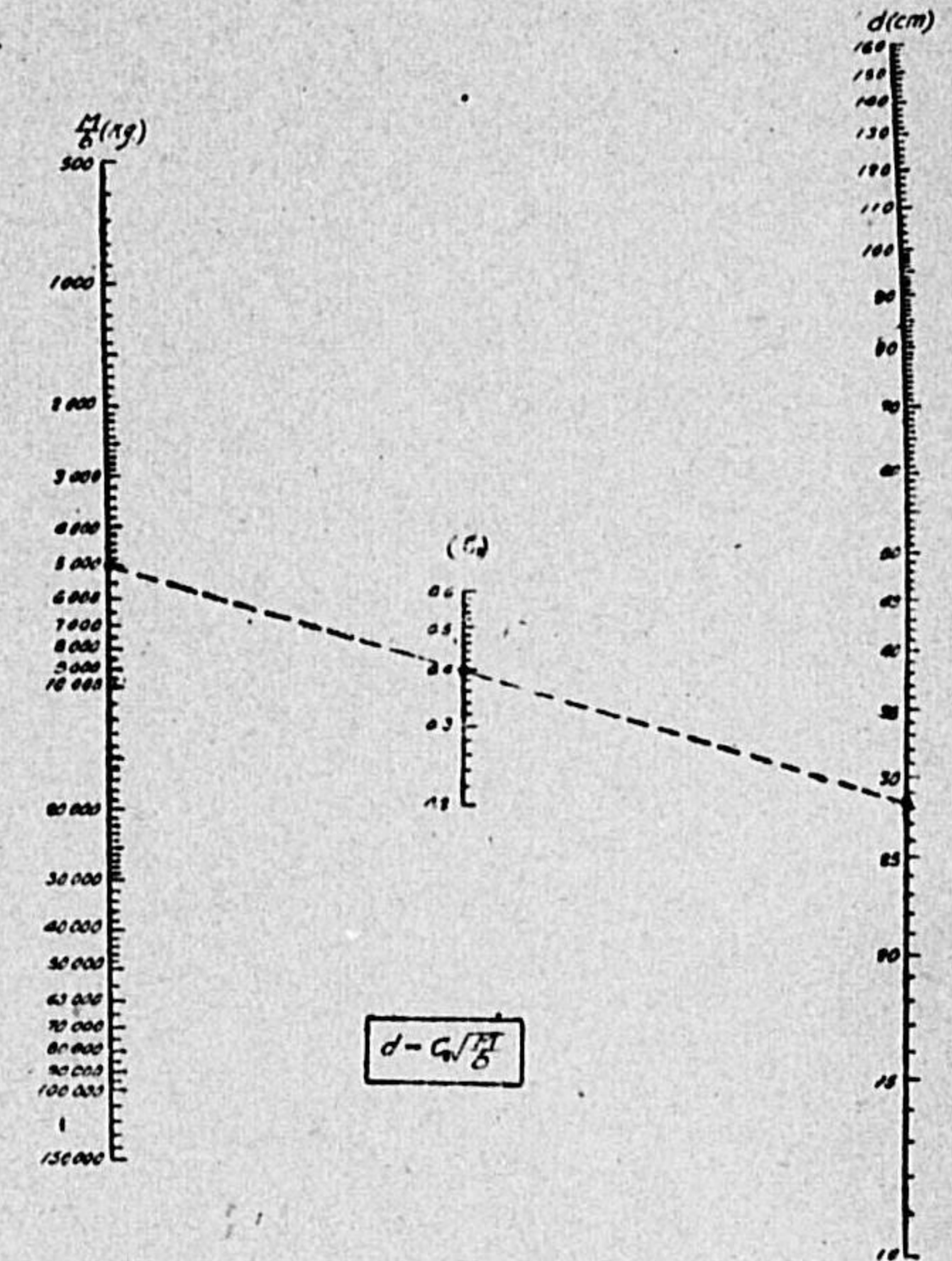
(112) 對稱複筋を有する断面の設計 $M, b, \sigma_s, \sigma_c, d'/d$ を知つて d を求む。(45) 式中に $A_s = A_s'$ と置けば

$$d = C_3 \sqrt{\frac{M}{b}}, \quad C_3 = \sqrt{\frac{1}{\frac{\sigma_c k}{2} \left[\left(1 - \frac{k}{3}\right) + \frac{\left(k - \frac{d'}{d}\right) \left(1 - \frac{d'}{d}\right)}{1 - 2k + \frac{d'}{d}} \right]}} \dots\dots\dots (46)$$

(例題) $M = 22,500 \text{ kgm}, b = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}, \sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2, \sigma_c = 50 \text{ kg/cm}^2, A_s' = \frac{1}{4} A_s, d'/d = 0.10$ として、 A_s 及び A_s' を求む。

$$\frac{M}{b} = \frac{22,500}{1} = 22,500 \text{ kg}$$

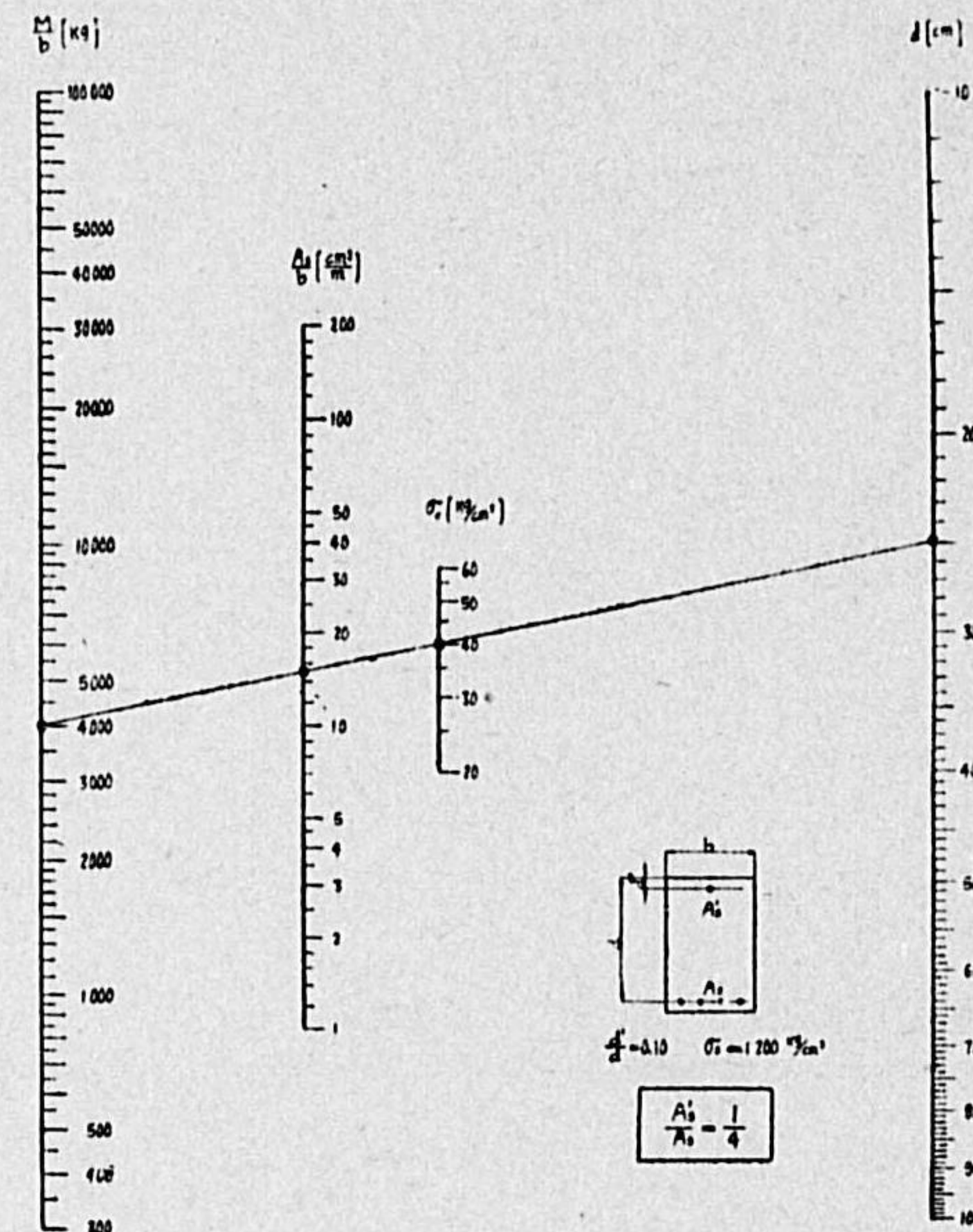
此値を左方に探り、中央に $\sigma_c = 50 \text{ kg/cm}^2$ を探りて、此二點を結べば、左方に $A_s/b = 4b \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}\right)$ を、右方



第 57 圖 $d = C_3 \sqrt{\frac{M}{b}}$ に於ける d を求める圖

に $d = 49cm$ を得る。

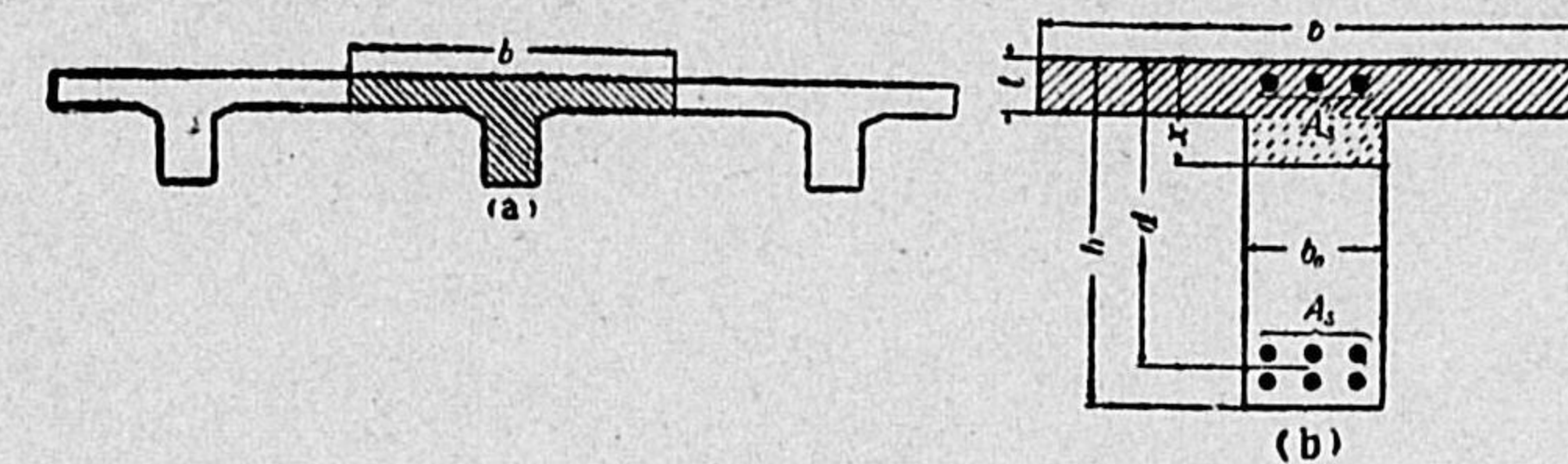
$$A_s = 45 \times 1 = 45cm^2 \quad A_s' = \frac{1}{4} A_s = 11.25cm^2$$



第 58 圖

第十五章 T形梁に於ける曲げ應力度の計算及び曲げモーメントに対する断面の算定

(113) 概論 矩形梁の理論に依つて明かなる如く、引張側のコンクリートは断面の抵抗モーメントを大ならしめる効果なく、却つて死荷重を増加するに過ぎない。従つて梁の引張側に使用するコンクリートの量を減少し、之を壓縮側に集中することは、断面の抵抗モーメントの増加、又は材料の節約となるばかりでなく、死荷重を減少し、矩形梁に比して甚だしく有利な梁となる。第 59 圖の如き断面を有する梁を T 形梁と稱し、此目的に合致するものである。圖 (a) の如く版と梁とが固定せるものでは、是等が一体となりて作用し得るものであるから、影線を附したる



第 59 圖

部分を取り出して (b) 圖の如き T 形梁と考へる。(b) 圖に於て $b \times t$ の部分を突縁 (t は突縁の厚さ)、 $b_e \times (h - t)$ の部分を腹部と云ふ。

T 形梁が正の曲げモーメントを受ける時は、突縁の一部、又は突縁と腹部の一部とが壓縮應力を受け腹部の鉄筋が引張應力を受けるが、負の曲げモーメントを受ける時は、腹部が壓縮應力を受け、突縁の鉄筋が引張應力を受ける。故に T 形梁に於ける曲げ應力度の計算は、曲げモーメントの正負に依つて異なるものである。

第 59 圖に示す如く、T 形梁の突縁と腹部との接合部には隅面又はハンチ (Haunch) を設けるのが普通である。ハンチの断面積は比較的小であり、之が T 形梁の曲げ應力度に及ぼす影響も一般に小さいから、計算の容易と安全とのために、曲げ應力度の算定には、版のハンチの断面積を無視するものとする。

土木學會標準示方書 (昭和 15 年 3 月改正) は次の通り。

「第 88 條 T形梁の突縁

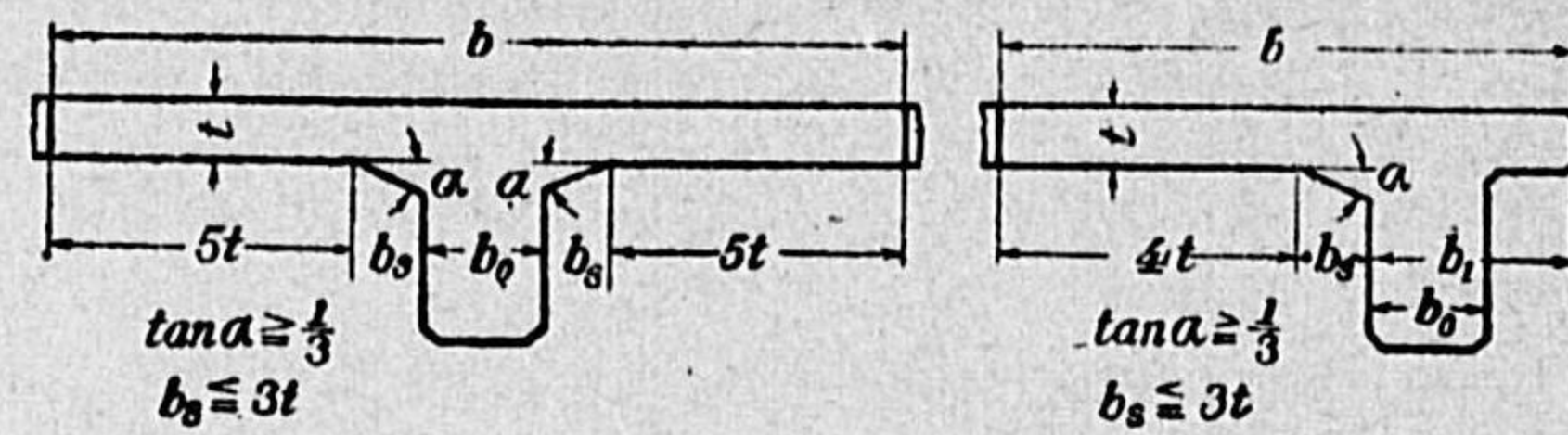
(1) T 形梁の突縁の壓縮有效幅は次式に依りて求めたる値を超過すべからず。

(イ) 断面の決定又は應力算出の場合

兩側に版ある場合 (第 60 圖参照)

$$b = 12t + b_0 + 2b_s$$

但し b は両側に於ける版の中心線間の距離より大ならず、又梁スパンの $\frac{1}{2}$ を超過すべからず
片側に版ある場合 (第 60 圖参照)



$$b = 4.5t + b_1 + b_2$$

但し b は版の内法スパンの $\frac{1}{2}$ に b_1

第 60 圖 昭和 15 年 3 月改正に際して、圖の $5t$ は $6t$ に $4t$ は $4.5t$ に改められた。

を加へたるものより大ならず、又梁スパンの $\frac{1}{4}$ を超過すべからず。

(ロ) 不確定力又は弾性變形の計算の場合

両側に版ある場合

$$b = 6t + b_1 + 2b_2$$

但し b は両側に於ける版の中心線間の距離より大なるべからず。

片側に版ある場合

$$b = 2.25t + b_1 + b_2$$

但し b は版の内法スパンの $\frac{1}{2}$ に b_1 を加へたるものを超過すべからず。

(2) 獨立せる T 形梁の突縁の有効幅は腹部の幅の 4 倍を超過すべからず。」

(114) 應力度の計算 T 形梁に於ては中立軸が突縁内にあるか否かに依つて計算方法が異なる
即ち中立軸が突縁内であれば、計算の方法は矩形梁の場合と全く同じく、中立軸が突縁外にあれば、計算の方法は矩形梁の如く簡單でない。

T 形梁が正の曲げモーメントを受ける時、即ち中立軸より上側は壓縮應力を、下側が引張應力を受ける時に、中立軸が突縁内にあるか否かを求める方法は、先づ兩者の中の一方向であると假定して中立軸の位置を計算し、其假定が正しいか否かを検する。併し以下述べる方法に依つても中立軸の位置を充分正確に知ることが出来る。

中立軸が突縁内に在る時、中立軸以下のコンクリートの引張應力を無視すれば、引張鐵筋のみを持つ T 形梁は、幅が b である單鐵筋矩形梁として働くから、中立軸の位置は

$$x = kd = kC_1 \sqrt{\frac{M}{b}}$$

に依つて與へられる。突縁の厚さを t とすれば

$$t > kC_1 \sqrt{\frac{M}{b}} \quad \text{又は} \quad bt^3 \frac{1}{(kC_1)^2} > M$$

であれば、中立軸は突縁内にある。断面に生じて居る曲げ應力度 σ_c 及び σ_s と、 k 及び C_1 との

間には次の關係がある。

$$k = \frac{n\sigma_c}{n\sigma_c + \sigma_s} \quad C_1 = \sqrt{\frac{2}{\sigma_c k \left(1 - \frac{k}{8}\right)}}, \quad \left\{ (107) \text{ 節の(17)式参照} \right\}$$

$$n = 15 \text{ とすれば} \quad \frac{1}{(kC_1)^2} = \frac{1}{8} \left(\sigma_c + \frac{\sigma_s}{10} \right) \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{故に } \sigma_c = 30 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2 \text{ とすれば } \frac{1}{(kC_1)^2} = 50;$$

$$\sigma_c = 25 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma_s = 1,000 \text{ kg/cm}^2 \text{ とすれば } \frac{1}{(kC_1)^2} = 42 \text{ である。}$$

故に中立軸が突縁内にある場合は

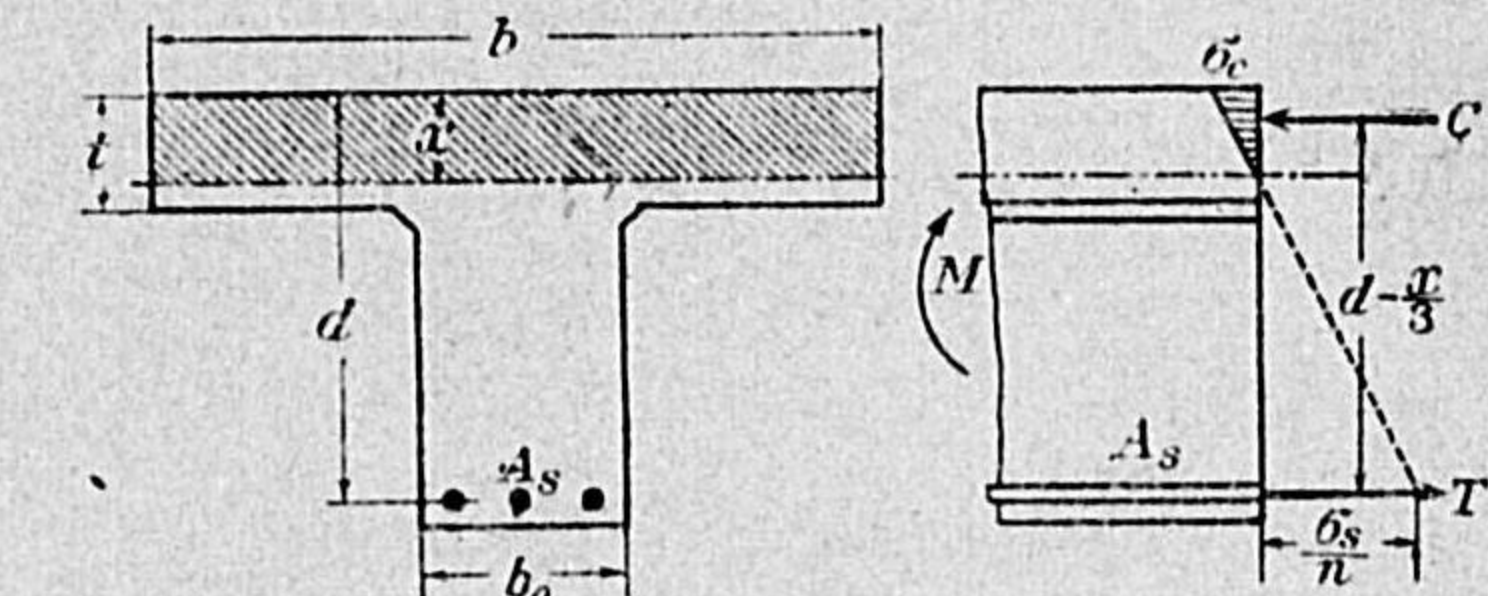
$$50bt^2 > M \quad \text{又は} \quad 42bt^2 > M \dots \dots \dots (47)$$

中立軸が腹部にある場合は

$$50bt^2 < M \quad \text{又は} \quad 42bt^2 < M \dots \dots \dots (48)$$

中立軸が突縁内にある場合の曲げ應力度の計算 曲げ應力度の計算は幅が b である單鐵筋矩形梁の場合と同じである。即ち曲げ應

力の分布は第 61 圖に示す如くである



(105) 節の (5) 式から

$$x = \frac{nA_s}{b} \left[\sqrt{1 + \frac{2bd}{nA_s}} - 1 \right]$$

$$(8) \text{ 式から } \sigma_c = \frac{2M}{bx \left(d - \frac{x}{3} \right)}$$

$$(10) \text{ 式から } \sigma_s = \frac{M}{A_s \left(d - \frac{x}{3} \right)}$$

中立軸が突縁内にある場合の近似式

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \left(d - \frac{t}{3} \right)}$$

中立軸が腹部にある場合 壓縮應力は突縁のみならずハンチ及び腹部にも生ずるが、後の二部分に生ずる應力の量は一般に甚だ僅小であるから、之を全然無視しても實際上には差支へないから、以下は此假定に基づくものとする。

第 62 圖に於て

$$\sigma_c : \frac{\sigma_s}{n} = kd : (d - kd)$$

$$\therefore \frac{\sigma_s}{n\sigma_c} = \frac{d - kd}{kd} = \frac{1 - k}{k} \quad \text{又は} \quad \sigma_s = n\sigma_c \frac{1 - k}{k}$$

突縁に於けるコンクリートの全圧縮應力は

$$C = \frac{\sigma_c b d}{2} + \frac{\sigma_t b t}{2} \quad (\sigma_t \text{ は突縁の} \\ \text{下端に於ける圧縮應力度}) \quad \dots (a)$$

然るに $\sigma_c : \sigma_t = kd : (kd - t)$

$$\therefore \sigma_t = \frac{(kd - t) \sigma_c}{kd} = \left(1 - \frac{t}{kd}\right) \sigma_c$$

之を (a) 式中に代入して

$$C = \frac{bt}{2} \left[\sigma_c + \sigma_c \left(1 - \frac{t}{kd}\right) \right] = bt \sigma_c \left(1 - \frac{t}{2kd}\right)$$

引張鉄筋に生ずる全引張應力は

$$T = C = \sigma_s A_s = bt \sigma \left(1 - \frac{t}{2kd}\right)$$

上式に σ_s の値を入れ、 $A_s = pbd$ として

$$n \sigma_c \frac{1-k}{k} \times pbd = bt \sigma_c \left(1 - \frac{t}{2kd}\right)$$

之から k を求めると次の通り。

$$k = \frac{np + \frac{1}{2} \left(\frac{t}{d}\right)^2}{np + \left(\frac{t}{d}\right)} \quad \dots (49)$$

第 62 圖の圧縮應力分布圖に於ける梯形の重心、又は全圧縮應力 C の作用線と突縁の上側表面との距離を y' とすれば

$$y' = \frac{t}{3} \cdot \frac{\sigma_c + 2\sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t} = \frac{t}{3} \cdot \frac{\sigma_c + 2\sigma_c \left(1 - \frac{t}{kd}\right)}{\sigma_c + \sigma_c \left(1 - \frac{t}{kd}\right)} = \frac{t}{3} \cdot \frac{3kd - 2t}{2kd - t}$$

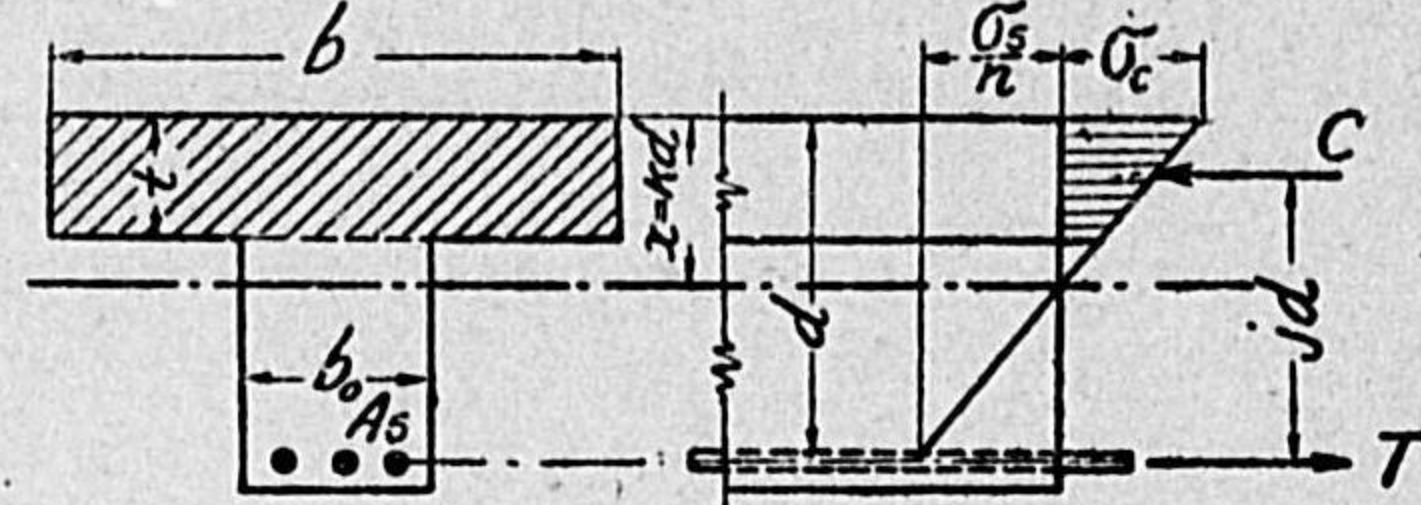
$$y' = d - jd = d(1 - j) = \frac{t}{3} \cdot \frac{3kd - 2t}{2kd - t}$$

$$\therefore j = 1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{t}{d} \left(\frac{3k - 2 \left(\frac{t}{d}\right)}{2k - \left(\frac{t}{d}\right)} \right) \quad \dots (50)$$

(50) 式中へ (49) 式の k の値を代入すれば

$$j = \frac{6 - 6 \left(\frac{t}{d}\right) + 2 \left(\frac{t}{d}\right)^2 + \left(\frac{t}{d}\right)^3 / 2np}{6 - 3 \left(\frac{t}{d}\right)} \quad \dots (51)$$

上記の k 及び j の計算は、かなり、複雑であるから、ノモグラムを利用すれば便利である。第 63 圖は k を求めるノモグラムであり、第 64 圖は j を求めるノモグラムである。上述の如くに



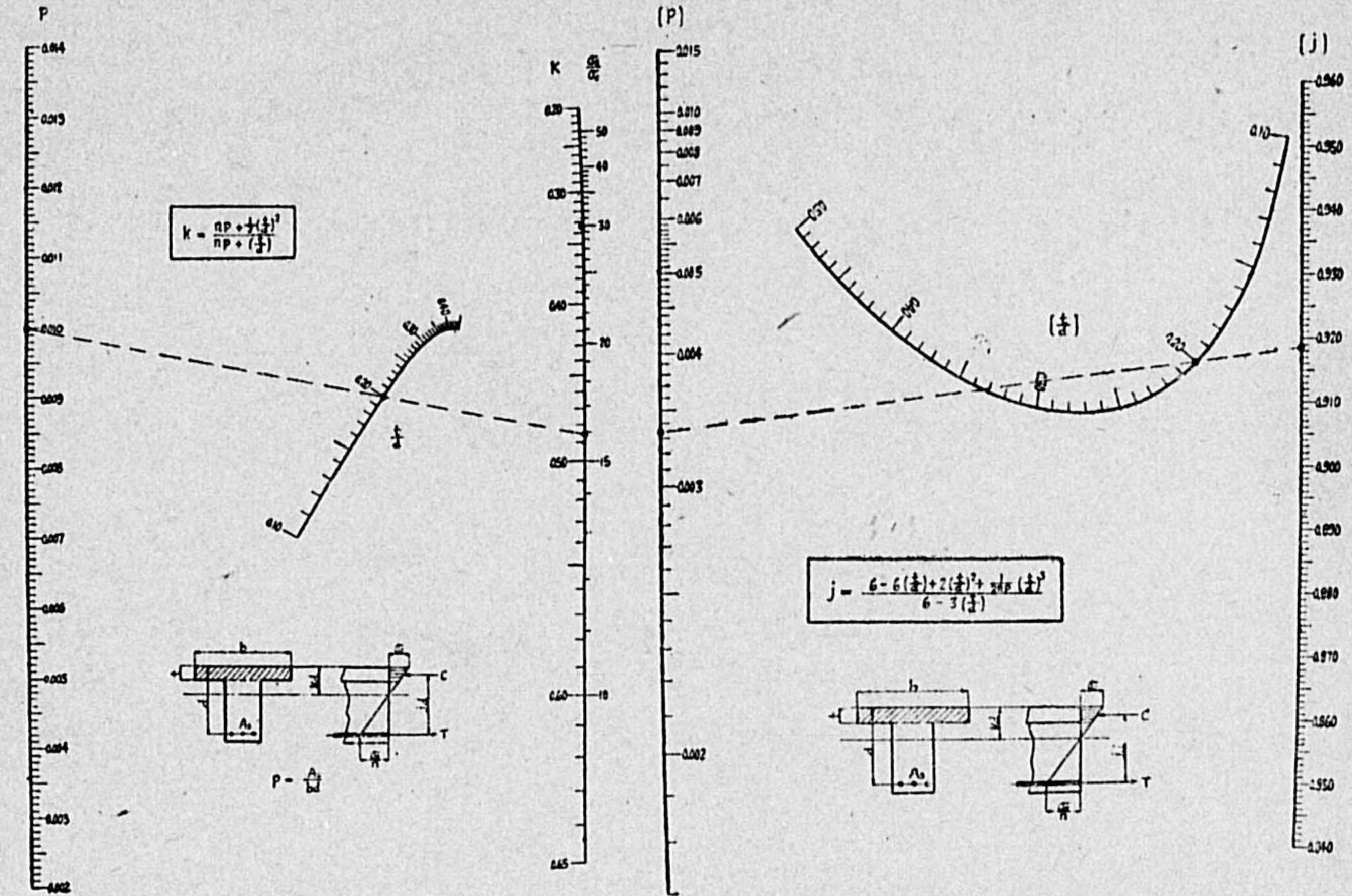
第 62 圖

して k 及び j の値を求めて、 σ_s 及び σ_c を求める。

$$M = \sigma_s A_s j d \quad \therefore \sigma_s = \frac{M}{A_s j d} \quad \text{又は} \quad \sigma_s = \frac{M}{p j b d^2} \quad \dots (52)$$

$$\sigma_c = \frac{k \sigma_s}{n(1-k)} \quad \dots (53)$$

即ち M, b, t, d 及び A_s 又は p を知りて σ_s 及び σ_c を求めることが出来る。



第 63 圖 k を求めるノモグラム

第 64 圖 j を求めるノモグラム

(例題) 第 65 圖に示す如き断面を有する T 形梁が曲げモーメント $M = 912,000 \text{ kgcm}$ を受ける時、 σ_c 及び σ_s を求む。但し $A_s = 6\phi 25 \text{ mm} = 29.45 \text{ cm}^2$ とする。

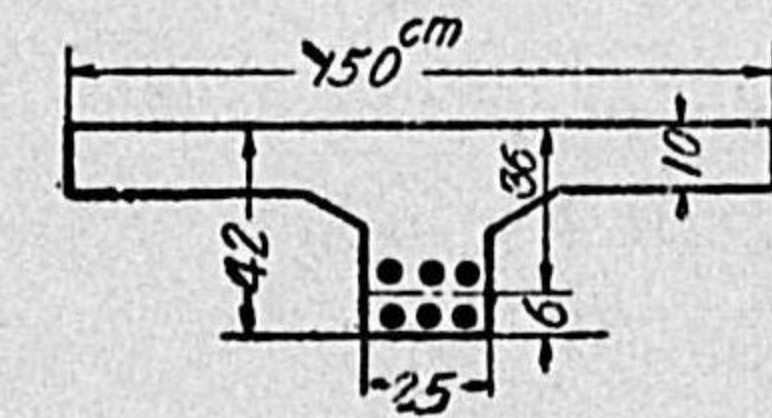
$$p = \frac{A_s}{bd} = \frac{29.45}{150 \times 36} = 0.545\%, \quad \frac{t}{d} = \frac{10}{36} = 0.278$$

第 63 圖から $k = 0.335$ 、第 64 圖から $j = 0.894$

$$(52) \text{ 式から} \quad \sigma_s = \frac{M}{A_s j d} = \frac{912,000}{29.45 \times 0.894 \times 36} = 962 \text{ kg/cm}^2$$

$$(53) \text{ 式から} \quad \sigma_c = \frac{k \sigma_s}{n(1-k)} = \frac{0.335 \times 962}{15(1-0.335)} = 32.3 \text{ kg/cm}^2$$

(例題) 第 66 圖の如き断面を持つ T 形梁が $50,000 \text{ kgm}$ の曲げモーメントを受けますとき、曲げ應力度



第 65 圖

σ_c, σ_s を求む。

中立軸が突縁内にあるか、又は腹部にあるかを検する。

$$50bt^3 = 50 \times 100 \times 20^3 = 2,000,000 \text{kgcm}$$

之は 5,000,000kgcm より小であるから (48) 式に依つて中立軸は腹部内にあることが判断出来る。

$$p = \frac{A_s}{bd} = \frac{48}{100 \times 100} = 0.0048, \quad \frac{t}{d} = \frac{20}{100} = 0.20$$

$$(49) \text{ 式から } k = \frac{np + \frac{1}{2} \left(\frac{t}{d}\right)^2}{np + \left(\frac{t}{d}\right)} = \frac{15 \times 0.0048 + \frac{1}{2} \times 0.20^2}{15 \times 0.0048 + 0.20} = 0.338$$

又は第 63 圖から、 $p = 0.0048$ を左に探り、 $t/d = 0.20$ を中央の曲線に探つて、此二點を結べば、右に $k = 0.338$ を得る。 j の値は (51) 式から

$$j = \frac{6 - 6(t/d) + 2(t/d)^2 + (t/d)^3 / 2np}{6 - 3(t/d)} = \frac{6 - 6 \times 0.20 + 2 \times 0.20^2 + 0.20^3 / 2 \times 15 \times 0.0048}{6 - 3 \times 0.20} = 0.914$$

第 64 圖を用ふれば、左方に $p = 0.0048$ 、中央に $t/d = 0.20$ を探り、此二點を結びて右方に $j = 0.914$ を得る。(52) 式から

$$\sigma_s = \frac{M}{pjb d^2} = \frac{5,000,000}{0.0048 \times 0.914 \times 100 \times 100^2} = 1,140 \text{kg/cm}^2$$

$$(53) \text{ 式から } \sigma_c = \frac{k \sigma_s}{n(1-k)} = \frac{0.338 \times 1,140}{15 \times (1-0.338)} = 39 \text{kg/cm}^2$$

(115) 抵抗モーメント σ_s 及び σ_c を鉄筋及びコンクリートの許容耐力とすれば、鉄筋及びコンクリートに依る抵抗モーメントは次の通り。

$$M_s = \sigma_s A_s j d, \quad M_c = \sigma_c \left(1 - \frac{t}{2kd}\right) b j d \dots (54)$$

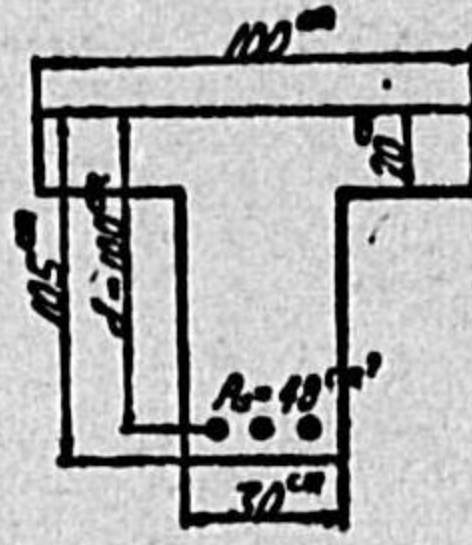
梁の断面に生ずる σ_s 及び σ_c は必ずしも其許容耐力の値と一致しないから、 M_s 及び M_c の値も亦等しい譯ではない。故に断面の抵抗モーメントとしては M_s 及び M_c の中の小なる方を探るべきである。

(116) 断面の設計 (1) 曲げモーメント M 、コンクリート及び鉄筋の許容耐力 σ_c 及び σ_s 、突縁の厚さ t を與へ有効高さ d を假定して、突縁の有効幅 b 及び鉄筋断面積 A_s を求む。

$C = T$ であるから

$$C = T = A_s \sigma_s = \sigma_c b t \left(1 - \frac{t}{2kd}\right) \dots (55)$$

$A_s \sigma_s = M/jd$ 及び (50) 式から $jd = d - \frac{t}{3} \left(\frac{3kd-2t}{2kd-t}\right)$ であるから、是等を (55) 式に代入して b を求めると次の通り。



第 66 圖

$$b = \frac{M}{\sigma_c \left[\left(d - \frac{t^2}{2} \right) - \frac{1}{k} \left(\frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3d} \right) \right]}$$

上式中に $k = n\sigma_c/(\sigma_s + n\sigma_c)$ を代入して

$$b = \frac{M}{\sigma_c \left(d - t^2 + \frac{t^3}{3d} \right) - \frac{\sigma_s}{n} \left(\frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3d} \right)} \dots (56)$$

(55) 式に $A_s = pbd$ 及び $k = n\sigma_c/(\sigma_s + n\sigma_c)$ を代入して簡単にすれば

$$p = \frac{\sigma_c \left[\left(\frac{t}{d} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{t}{d} \right)^2 \right] - \frac{1}{2n} \left(\frac{t}{d} \right)^3}{\sigma_s} \dots (57)$$

又 $A_s = M/\sigma_s j d$ であるから

$$A_s = \frac{M}{\sigma_s \left[d - \frac{t}{3} \left(\frac{3kd-2t}{2kd-t} \right) \right]} = \frac{1}{\sigma_s \left[1 - \frac{t}{3d} \left(\frac{3kd-2t}{2kd-t} \right) \right]} \frac{M}{d}$$

$$\therefore A_s = K_1 \frac{M}{d}, \quad K_1 = \frac{1}{\sigma_s \left[1 - \frac{t}{3d} \left(\frac{3kd-2t}{2kd-t} \right) \right]} \dots (58)$$

上式から A_s を求め、次に (55) 式から b を求め得る。

$$b = \frac{A_s \sigma_s}{\sigma_c \left(1 - \frac{t}{2kd} \right)} = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} \frac{t}{d} \left(1 - \frac{t}{2kd} \right) \frac{A_s}{d}$$

$$\therefore b = K_2 \frac{A_s}{d}, \quad K_2 = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} \frac{t}{d} \left(1 - \frac{t}{2kd} \right) \dots (59)$$

(2) M, σ_c, σ_s, t 及び b が與へられて、 d 及び A_s を求む。

$$(56) \text{ 式から } \frac{M}{bt^3} = \sigma_c \left(\frac{d}{t} - 1 + \frac{t}{3d} \right) - \frac{\sigma_s}{n} \left(\frac{1}{2} - \frac{t}{3d} \right)$$

上式中に $t/d = \varphi$ と置けば

$$\frac{M}{bt^3} = \sigma_c \left(\frac{1}{\varphi} - 1 + \frac{\varphi}{3} \right) - \frac{\sigma_s}{n} \left(\frac{1}{2} - \frac{\varphi}{3} \right) \dots (60)$$

上式の兩邊に φ^3 を乗じて d に関して解けば

$$d = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}}, \quad C_1 = \frac{1}{\sqrt{\sigma_c \left(\varphi - \varphi^3 + \frac{\varphi^3}{3} \right) - \frac{\sigma_s}{n} \left(\frac{\varphi^3}{2} - \frac{\varphi^3}{3} \right)}} \dots (61)$$

$$\text{又は } C_1 = \sqrt{\frac{1}{\sigma_c \left(\frac{t}{d} \right) \left[1 - \left(\frac{t}{d} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{t}{d} \right)^2 \right] - \frac{\sigma_s}{n} \left(\frac{t}{d} \right)^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \left(\frac{t}{d} \right) \right]}}$$

d を求めたならば、 A_s 又は p は (57) 式又は (58) 式から求められる。第 67 圖は C_1 を求めるノモグラムである。

(3) σ_c , σ_s , b , t 及び d が與へられて、 M 及び A_s を求む。

(60) 式に φ^2 を乗じ M を計算すれば次の通り。

$$M = \left[\sigma_c \left(\varphi - \varphi^2 + \frac{\varphi^3}{3} \right) - \frac{\sigma_s}{n} \left(\frac{\varphi^2}{2} - \frac{\varphi^3}{3} \right) \right] b d^2$$

即ち $M = \frac{b d^2}{K_3}$, $K_3 = \left[\sigma_c \left(\varphi - \varphi^2 + \frac{\varphi^3}{3} \right) - \frac{\sigma_s}{n} \left(\frac{\varphi^2}{2} - \frac{\varphi^3}{3} \right) \right]^{-1}$

M を求めたならば、(58) 式から A_s が求められる。

$$A_s = K_1 \frac{M}{d}$$

又 (59) 式から $A_s = \frac{b d}{K_2} \dots \dots (62)$

(例題) 曲げモーメント $M = 863,000 \text{ kgcm}$ を受ける T 形梁がある。 $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$, $t = 12.5 \text{ cm}$, $h = 54 \text{ cm}$, 又は $d = 50 \text{ cm}$ を與へて断面の突縁有効幅 b 及び鉄筋断面積 A_s を求む。

$$k = \frac{n \sigma_c}{\sigma_s + n \sigma_c} = \frac{15 \times 40}{1,200 + 15 \times 40} = 0.333$$

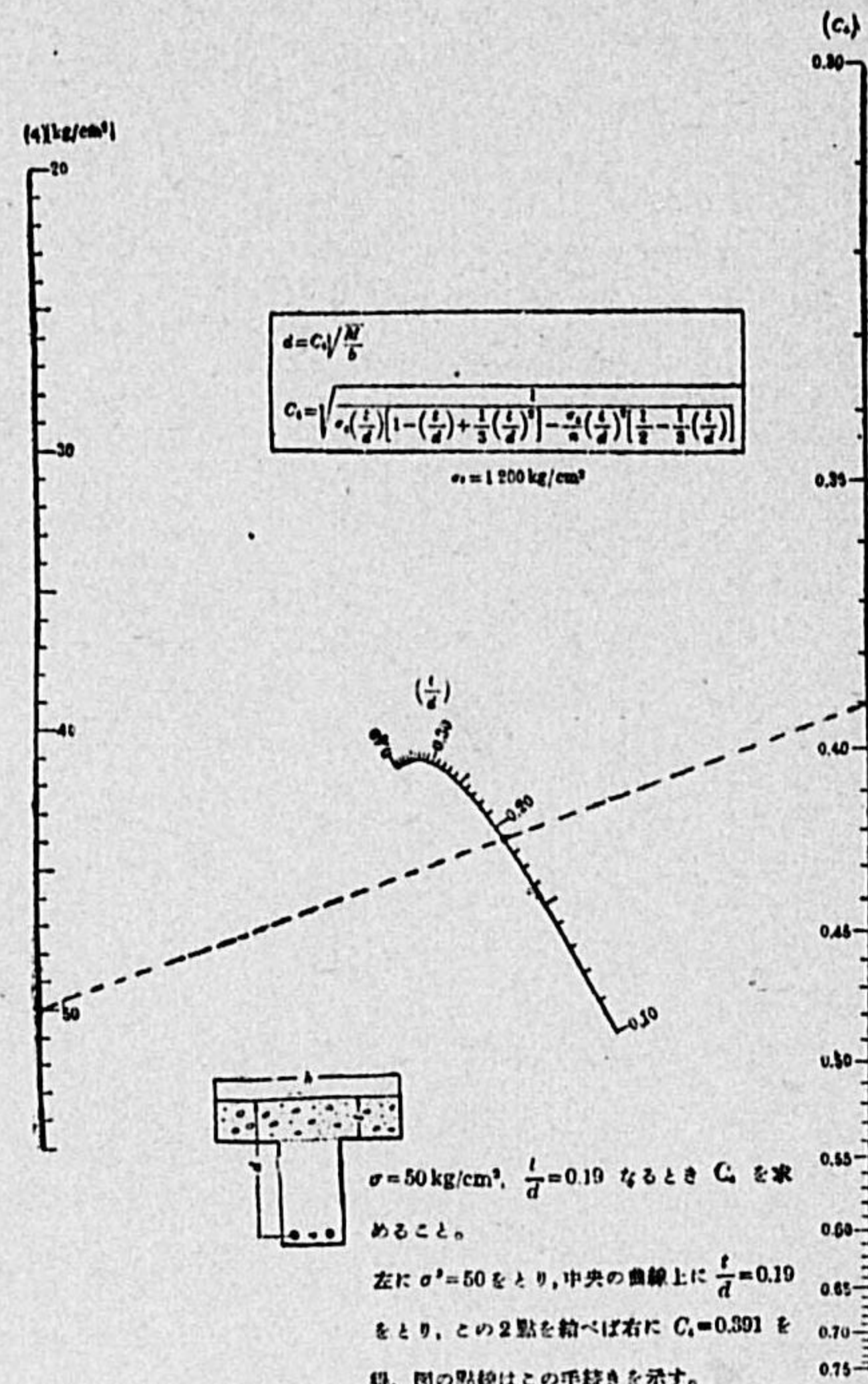
$$b = \frac{M}{\sigma_c \left[\left(t d - \frac{t^2}{2} \right) - \frac{1}{k} \left(\frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3d} \right) \right]} = \frac{863,000}{40 \left[\left(12.5 \times 50 - \frac{12.5^2}{2} \right) - \frac{1}{0.333} \left(\frac{12.5^2}{2} - \frac{12.5^3}{3 \times 50} \right) \right]} = 61.4 \text{ cm} \approx 62 \text{ cm}$$

(57) 式から
$$p = \frac{\sigma_c}{\sigma_s} \left[\left(\frac{t}{d} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{t}{d} \right)^2 \right] - \frac{1}{2n} \left(\frac{t}{d} \right)^3$$

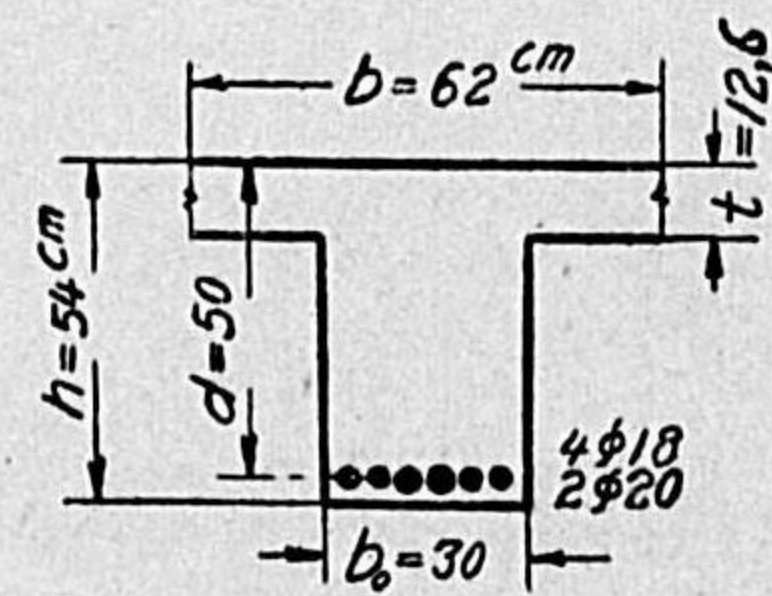
$$= \frac{40}{1,200} \left[\left(\frac{12.5}{50} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{12.5}{50} \right)^2 \right] - \frac{1}{2 \times 15} \left(\frac{12.5}{50} \right)^3 = 0.0052$$

$$A_s = p b d = 0.0052 \times 61.4 \times 50 = 15.96 \text{ cm}^2$$

用ひる鉄筋は $4\phi 18 \text{ mm}$ と $2\phi 20 \text{ mm}$ とすれば全鉄筋断面積は $10.18 + 6.28 = 16.46 \text{ cm}^2$ となる。



第 67 圖 C_1 を求めるノモグラム



第 68 圖

(例題) $M = 80,000 \text{ kgm}$, $b = 80 \text{ cm}$, $t = 26 \text{ cm}$, $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_c = 45 \text{ kg/cm}^2$ とし d 及び A_s を求む。

今 $d = 130 \text{ cm}$ と假定すれば $t/d = \frac{26}{130} = 0.2$ 故に第 67 圖から $C_1 = 0.41$ である。

$$d = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}} = 0.41 \sqrt{\frac{80,000 \times 100}{80}} = 129.56 \text{ cm}$$

即ち假定した d の値と大いに一致する故に $d = 130 \text{ cm}$ でよい。(57) 式から

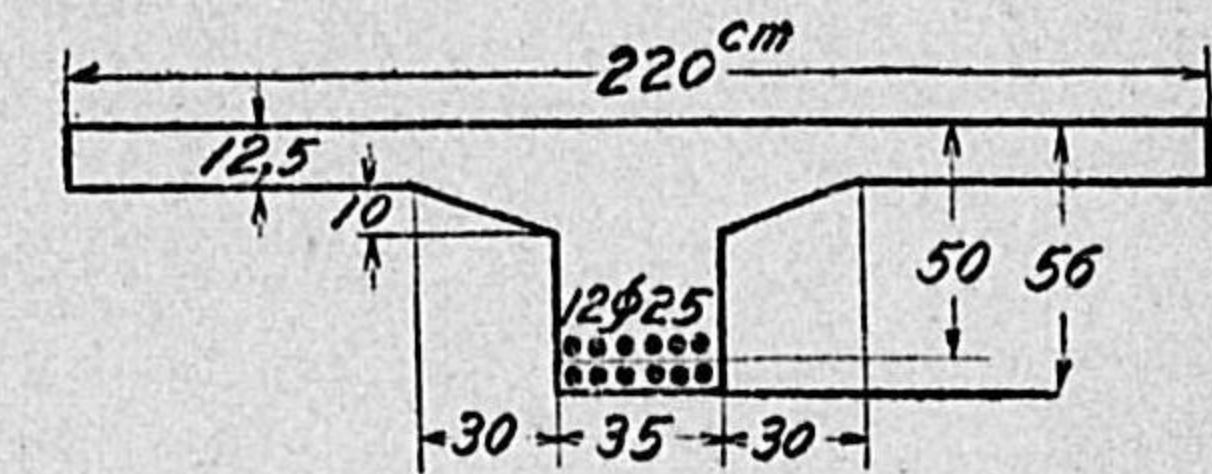
$$p = \frac{\sigma_c}{\sigma_s} \left[\left(\frac{t}{d} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{t}{d} \right)^2 \right] - \frac{1}{2n} \left(\frac{t}{d} \right)^3 = \frac{45}{1,200} \left(0.2 - \frac{1}{2} \times 0.2^2 \right) - \frac{1}{2 \times 15} \times 0.2^3 = 0.005418$$

$$A_s = p b d = 0.005418 \times 80 \times 130 = 56.35 \text{ cm}^2$$

(例題) $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$, $t = 12.5 \text{ cm}$ 及び $d = 50 \text{ cm}$ として、 M 及び A_s を求む。

土木學會標準示方書第 88 條 (1) (昭和 15 年 3 月改正) に依つて

$$b = 12t + b_0 + 2b_s = 12 \times 12.5 + 35 + 2 \times 30 = 245 \text{ cm}$$



第 69 圖 (圖中 220cm は 245cm に $12\phi 25$ は $12\phi 26$ に訂正す)

$$\phi = t/d = 12.5/50 = 0.25$$

$$M = \left[\sigma_c \left(\varphi - \varphi^2 + \frac{\varphi^3}{3} \right) - \frac{\sigma_s}{n} \left(\frac{\varphi^2}{2} - \frac{\varphi^3}{3} \right) \right] b d^2$$

$$= \left[40 \left(0.25 - 0.25^2 + \frac{0.25^3}{3} \right) - \frac{1,200}{15} \left(\frac{0.25^2}{2} - \frac{0.25^3}{3} \right) \right] \times 245 \times 50^2 = 3,429,900 \text{ kgcm}$$

(59) 式から
$$K_2 = \frac{\sigma_s}{\sigma_c t \left(1 - \frac{t}{2kd} \right)} = \frac{1,200}{40 \times 0.25 \left(1 - \frac{0.25}{2 \times 0.333} \right)} = 192$$

(62) 式から
$$A_s = b d / K_2 = 245 \times 50 \div 192 = 63.8 \text{ cm}^2$$

故に $12\phi 26 \text{ mm} = 63.7 \text{ cm}^2$ を採用する。

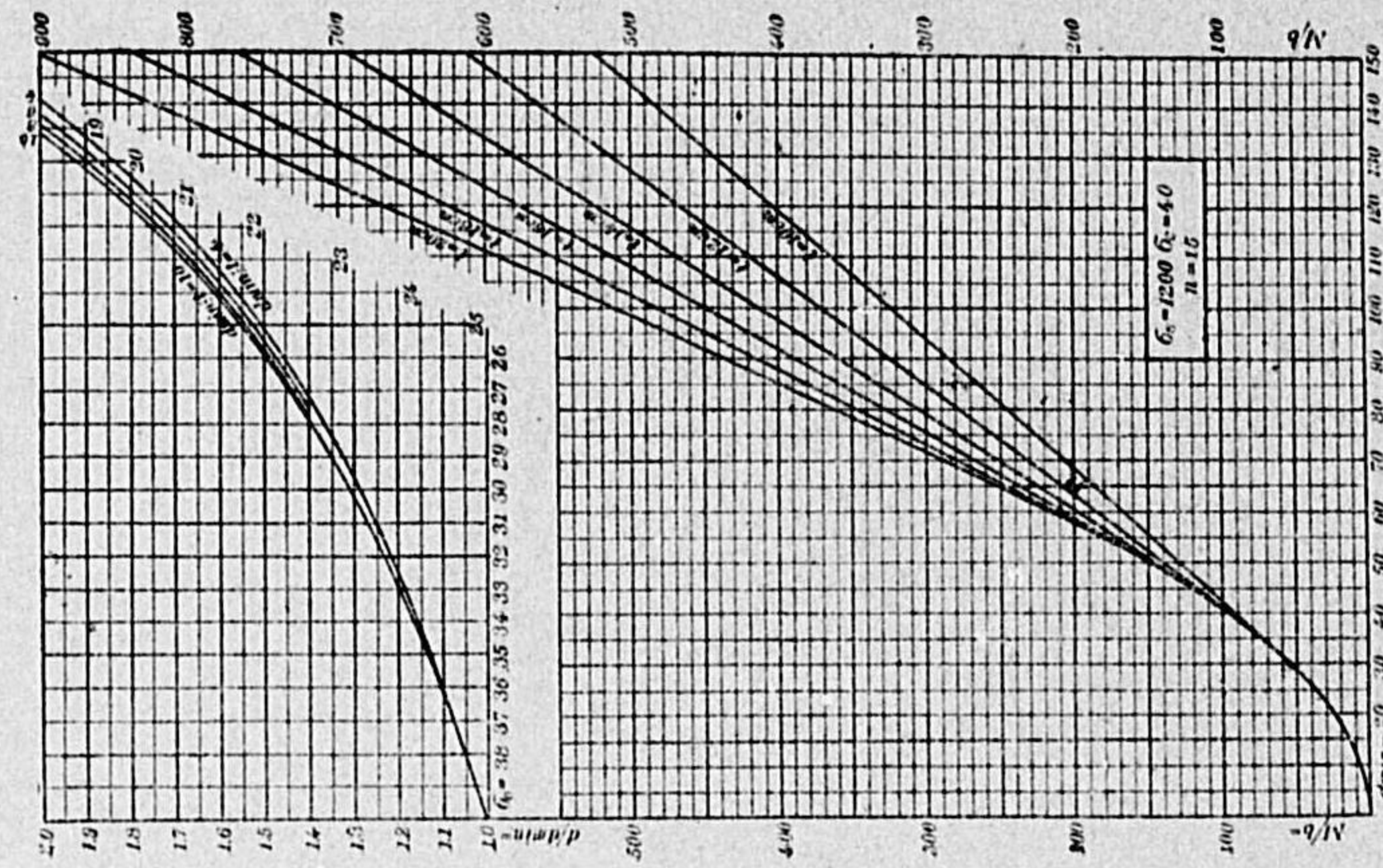
(117) 断面の近似的設計

$$A_s = \frac{M}{\sigma_s \left(d - \frac{t}{2} \right)} \dots \dots (63)$$

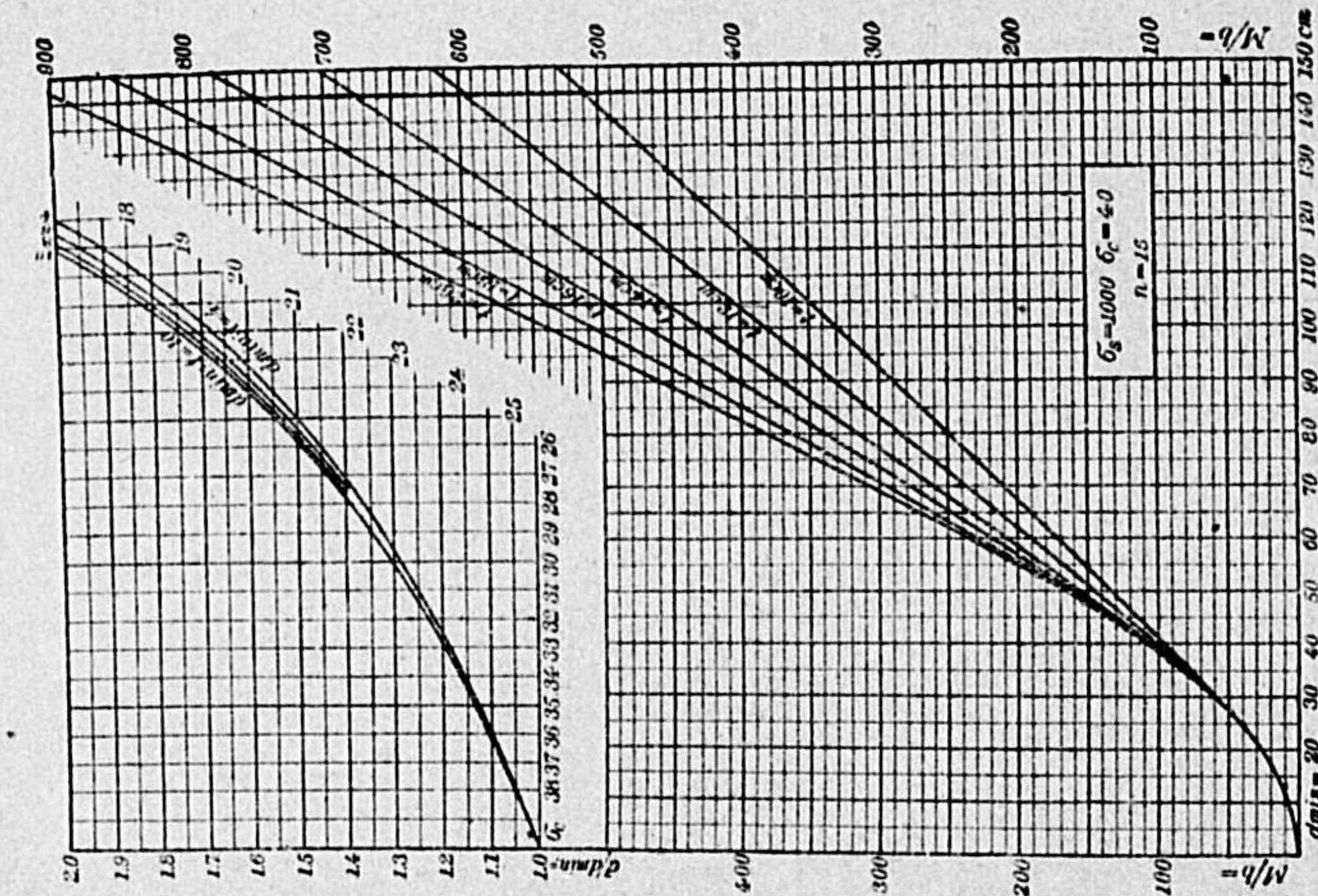
$$d^2 - d \left(t + \frac{M}{\sigma_c b t} + \frac{\sigma_s t}{2n\sigma_c} \right) + \frac{t^2}{4k} = 0 \dots \dots (64)$$

第 70 圖は $\sigma_s = 1,000 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$, $n = 15$ の場合、第 71 圖は $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$, $n = 15$ の場合に M , b 及び t を知つて d を求める圖表である。

(例題) $b = 190 \text{ cm}$, $t = 12 \text{ cm}$ である単鉄筋 T 形梁が正の曲げモーメント $5,700,000 \text{ kgcm}$ を受ける。コンクリート及び鉄筋の耐力度が、夫々同時に、許容耐力度 $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$ 及び $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ に達する様な d 及び A_s を求む。



第71圖 $\frac{M}{b} (kg \cdot m) / N$ 及び $\frac{d}{min d}$ に対する $\sigma_s = 1200 kg/cm^2$ のときの T 形梁の断面の算定



第70圖 $\frac{M}{b} (kg \cdot m) / N$ 及び $\frac{d}{min d}$ に対する $\sigma_s = 1000 kg/cm^2$ のときの T 形梁の断面の算定

近似的解法を用ひる。(64)式から

$$d^2 - d \left\{ 12 + \frac{5,700,000}{40 \times 190 \times 12} + \frac{1,200 \times 12}{2 \times 15 \times 40} \right\} + \frac{12^2}{4 \times 0.333} = 0$$

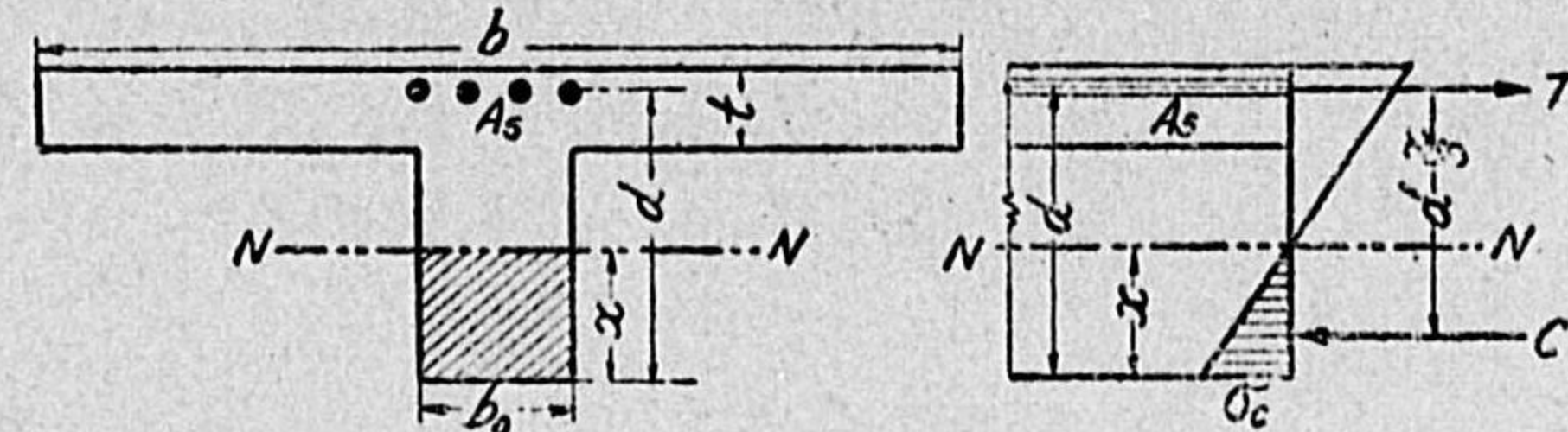
上の二次方程式を解いて

$$d = 85.3cm$$

(63)式から $A_s = \frac{M}{\sigma_s(d - \frac{t}{2})} = \frac{5,700,000}{1,200(85.3 - \frac{12}{2})} = 59.9cm^2$

之を正確な方法にて解けば $d = 85cm, A_s = 59.8cm^2$ が得られる。

(118) 負の曲げモーメントを受ける T 形梁 片持式 T 形梁の場合、又は T 形連続梁の支点上にては、T 形梁が負の曲げモーメントを受ける。此場合に於ては梁が引張鉄筋のみを有し、中立軸が梁の腹部に在れば、曲げ応力度の算定及び曲げモーメントに対する断面の設計は幅が b である単鉄筋矩形梁の場合と少しも差異は無い。又梁が引張鉄筋と圧縮鉄筋とを有するならば、應力度の計算や断面の設計は幅が b である複鉄筋矩形梁の場合と同一である。



72 圖

(119) 複鉄筋 T 形梁の應力度の計算及び断面の設計—概論 複鉄筋 T 形梁に於て中立軸が突縁内にあるならば、計算は幅が b である複鉄筋矩形梁の場合と同様である。以下中立軸が腹部に在る場合に就いて論ぜんとする。

(120) 應力度の計算

$$\frac{\sigma_s}{n} : \sigma_c = (d - x) : x \therefore \frac{\sigma_s}{n\sigma_c} = \frac{d - x}{x} = \frac{d - kd}{kd} = \frac{1 - k}{k}$$

突縁に於けるコンクリートの全圧縮

應力は

$$C = b\sigma_c \left(1 - \frac{t}{2kd}\right) \dots (114) \text{節参照}$$

圧縮鉄筋の全圧縮應力 $C' = \sigma_s' A_s'$

$$= \frac{n\sigma_c \left(k - \frac{d'}{d}\right)}{k} A_s' \dots (21) \text{式参照}$$

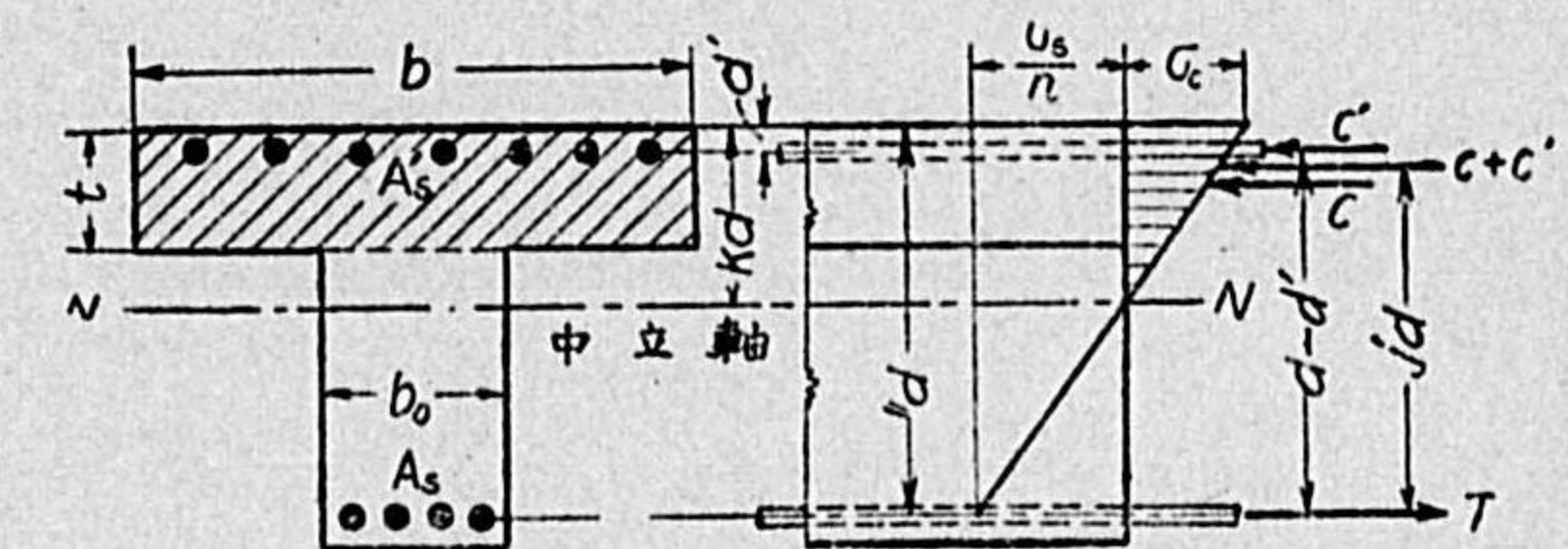
引張鉄筋の全引張應力 $T = \sigma_s A_s = \frac{n\sigma_c(1 - k)}{k} A_s \dots (23) \text{式参照}$

$T = C + C'$ であるから

$$\frac{n\sigma_c(1 - k)}{k} A_s = \sigma_c b t \left(1 - \frac{t}{2kd}\right) + \frac{n\sigma_c \left(k - \frac{d'}{d}\right)}{k} A_s'$$

上式に $A_s = pbd, A_s' = p'bd$ を代入して k を求むれば

$$k = \frac{np + \frac{1}{2} \left(\frac{t}{d}\right)^2 + np' \left(\frac{d'}{d}\right)}{np + \frac{t}{d} + np'} \dots (65)$$



第73圖 正の曲げモーメントを受ける複鉄筋 T 形梁

次に抵抗モーメントの臂長を求めん。壓縮鉄筋の中心線に關する應力のモーメントは外力のモーメント M に等しい。

$$M = \sigma_s A_s (d - d') - \sigma_c \left(1 - \frac{t}{2kd}\right) bt \left(\frac{t}{3} \frac{3kd - 2t}{2kd - t} - d'\right) \dots\dots\dots (a)$$

上式に $\sigma_s = M/A_s j d$, $A_s = p b d$, $\sigma_c = \frac{\sigma_s k}{n(1-k)}$ を代入して j を求むれば

$$j = \frac{\frac{d'}{d} \left(\frac{t}{d}\right) \left(2k - \frac{t}{d}\right) - \left(\frac{t}{d}\right)^2 \left(k - \frac{2}{3} \frac{t}{d}\right) + 2np(1-k) \left(1 - \frac{d'}{d}\right)}{2np(1-k)} \dots\dots\dots (66)$$

次に σ_s 及び σ_c を次式から求める。

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s j d} = \frac{M}{p j b d^2} \quad \text{及び} \quad \sigma_c = \frac{k}{n(1-k)} \sigma_s \dots\dots\dots (67)$$

第74圖は複鐵筋T形梁の中立軸比 k を求める圖表である。

$b = 120\text{cm}$, $d = 115\text{cm}$, $d' = 5\text{cm}$,
 $t = 25\text{cm}$, $A_s = 80\text{cm}^2$, $A_s' = 60\text{cm}^2$
 $M = 100,000\text{kgm}$ なる時、 σ_c 及び σ_s を求めよ。

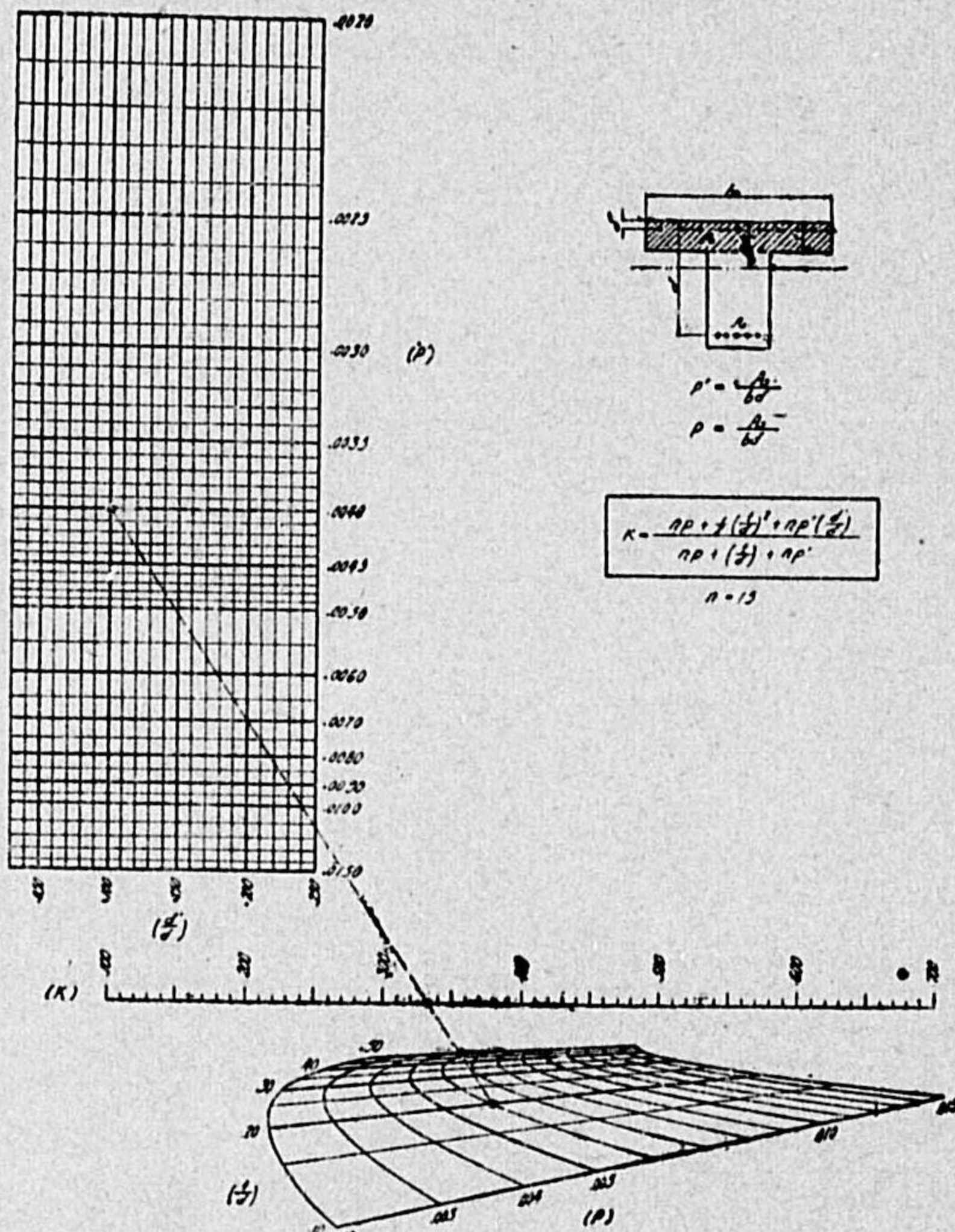
$$p = A_s/bd = 0.0058, \quad p' = A_s'/bd = 0.0044, \quad t/d = 25/115 = 0.218, \quad d'/d = 5/115 = 0.044$$

左上の網の中に $p' = 0.0044$ と $d'/d = 0.044$ との交點を求め、次に右下の網の中で $p = 0.0058$ と $t/d = 0.218$ との交點を求め、此の二點を結ぶと水平に置かれた k の目盛りで $k = 0.307$ を得る。

第75圖は複鐵筋T形梁に於て j を求める圖表である。

$$M = 100,000\text{kgm}, \quad p = 0.0058, \quad p' = 0.0044, \quad t/d = 0.218, \quad d'/d = 0.044, \quad A_s = 80\text{cm}^2, \quad k = 0.307, \quad d = 115\text{cm},$$

左下の網の中で $k = 0.307$ と $t/d = 0.218$ との交點を見出す。此點と直ぐ右の $d'/d = 0.044$ とを結ぶ。此直線に平行に、上部の網の中の $d'/d = 0.044$ と $p = 0.0058$ との交點から平行線を引き、之が



第74圖 複鐵筋T形梁の k を求める圖表

j の目盛りを切るとき、其目盛を読む。 $j = 0.924$ である。

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s j d} = \frac{100,000 \times 100}{80 \times 0.924 \times 115} = 1,180\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{k}{n(1-k)} \sigma_s = \frac{0.307 \times 1,180}{15 \times (1-0.307)} = 35\text{kg/cm}^2$$

(例題) $M = 100,000\text{kgm}$, $b = 120\text{cm}$,
 $d = 115\text{cm}$, $d' = 5\text{cm}$, $t = 25\text{cm}$, $A_s = 80\text{cm}^2$, $A_s' = 60\text{cm}^2$,

$$p = \frac{A_s}{bd} = \frac{80}{120 \times 115} = 0.0058, \quad p' = \frac{A_s'}{bd} = \frac{60}{120 \times 115} = 0.0044, \quad \frac{t}{d} = \frac{25}{115} = 0.218, \quad \frac{d'}{d} = \frac{5}{115} = 0.044$$

(65) 式から $k = \frac{15 \times 0.0058 + \frac{1}{2} \times 0.218^2 + 15 \times 0.0044 \times 0.044}{15 \times 0.0058 + 0.218 + 15 \times 0.0044} = 0.307$

(66) 式から j の値を計算する。
$$j = \frac{0.614 \times 0.218(2 \times 0.307 - 0.218) - 0.218^2(0.307 - \frac{2}{3} \times 0.218) + 2 \times 15 \times 0.0058(1 - 0.307)(1 - 0.044)}{2 \times 15 \times 0.0058(1 - 0.307)} = 0.924$$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s j d} = \frac{100,000 \times 100}{80 \times 0.924 \times 115} = 1,180\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{k}{n(1-k)} \sigma_s = \frac{0.307}{15(1-0.307)} \times 1,180 = 35\text{kg/cm}^2$$

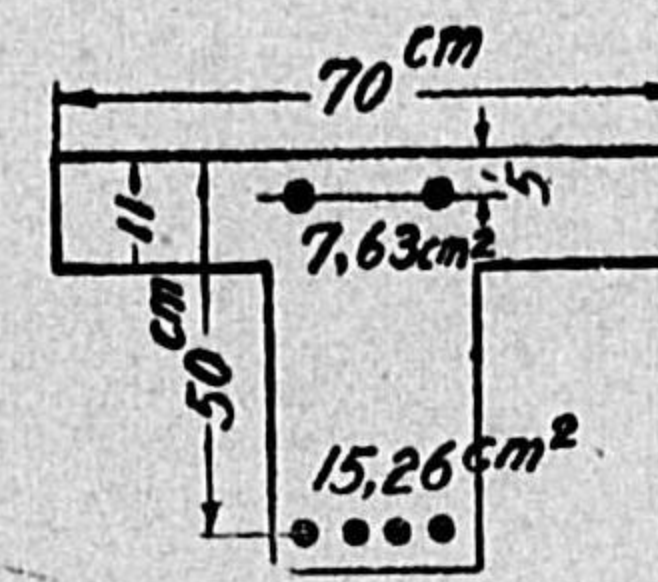
(例題) 圖示の断面が $M = 805,000\text{kgcm}$ を受ける場合、 σ_c 及び σ を求めよ。

$$t/d = 11/50 = 0.22, \quad d'/d = 5/50 = 0.10, \quad p = \frac{15.26}{70 \times 50} = 0.436\%, \quad p' = 0.218\%$$

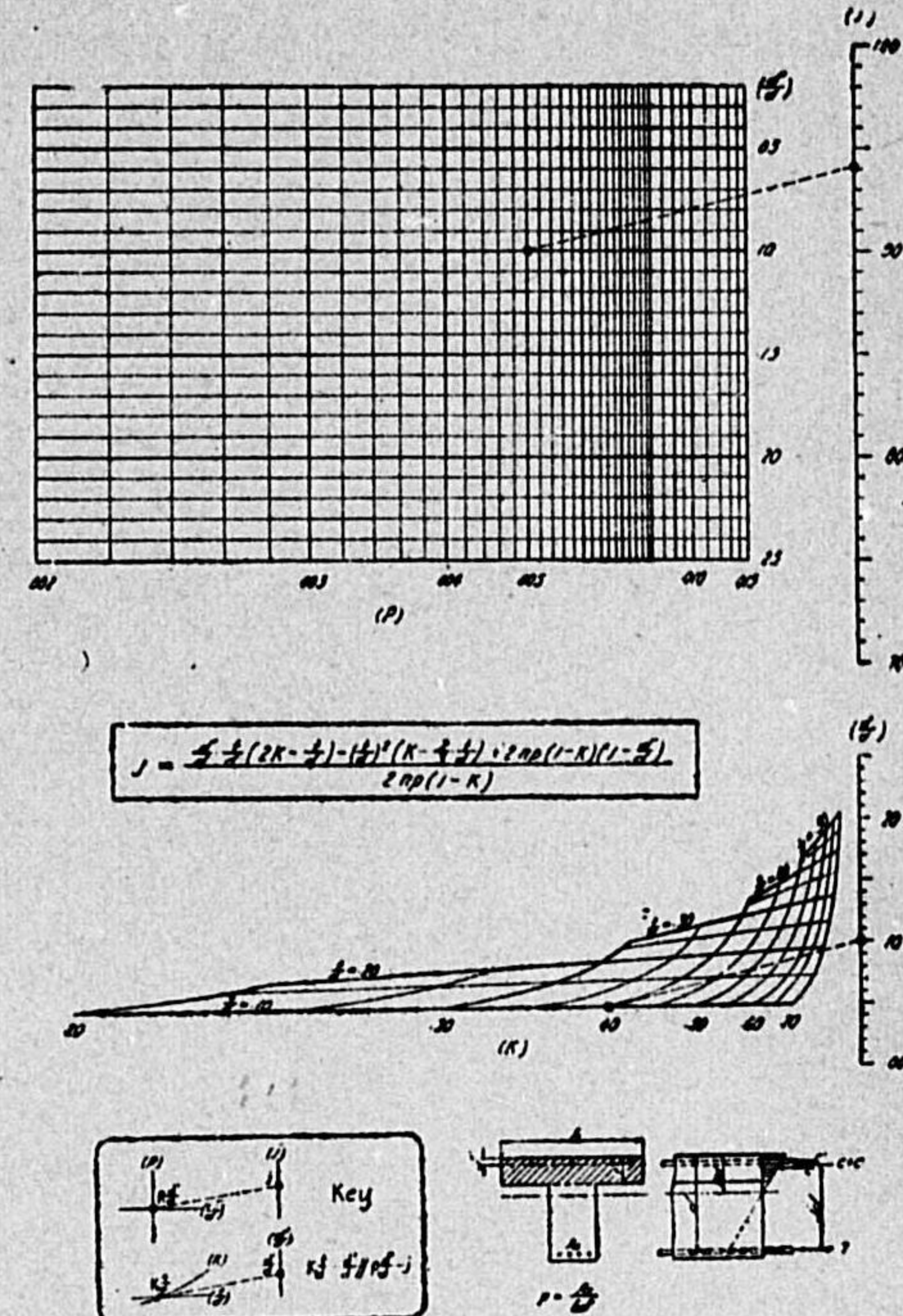
第74圖から $k = 0.290$, 第75圖から $j = 0.910$ を得る。

$$\sigma = \frac{M}{A_s j d} = \frac{805,000}{15.26 \times 0.91 \times 50} = 1,160\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{k}{n(1-k)} \sigma_s = \frac{0.29}{15(1-0.290)} \times 1,160 = 31.6\text{kg/cm}^2$$



第76圖



第75圖 j を求める圖表

(121) 断面の設計 T形梁の設計に際して圧縮鉄筋を必要とするのは、多くは梁の高さが制限を受ける場合であつて特別の事である。

(120) 節 (a) 式から

$$A_s = \frac{M + \sigma_c \left(1 - \frac{t}{2kd}\right) bt \left(\frac{t}{3} \frac{3kd - 2t}{2kd - t} - d'\right)}{\sigma_s (d - d')} \dots \dots \dots (68)$$

引張鉄筋の中心線に関するモーメントを求めて

$$M = \sigma_s' A_s' (d - d') + \sigma_c \left(1 - \frac{t}{2kd}\right) bt \left(d - \frac{t}{3} \frac{3kd - 2t}{2kd - t}\right)$$

$$\therefore A_s' = \frac{M - \sigma_c \left(1 - \frac{t}{2kd}\right) bt \left(d - \frac{t}{3} \frac{3kd - 2t}{2kd - t}\right)}{\sigma_s' (d - d')} \dots \dots \dots (69)$$

$$\sigma_s' = n \sigma_c \frac{x - d'}{x}$$

(例題) $M = 12,000,000 \text{ kgcm}$, $b = 120 \text{ cm}$, $t = 20 \text{ cm}$, $d = 100 \text{ cm}$, $d' = 4 \text{ cm}$, $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ なるとき、 A_s 及び A_s' を求む。

$$k = \frac{n \sigma_c}{\sigma_s + n \sigma_c} = \frac{15 \times 40}{1,200 + 15 \times 40} = 0.333$$

(68) 式から $A_s = \frac{12,000,000 + 40 \left(1 - \frac{20}{2 \times 0.333 \times 100}\right) \times 120 \times 20 \left(\frac{20}{3} \frac{3 \times 0.333 \times 100 - 2 \times 20}{2 \times 0.333 \times 100 - 20} - 4\right)}{1,200 (100 - 4)} \doteq 107 \text{ cm}^2$

$$\sigma_s' = 15 \times 40 \frac{0.333 \times 100 - 4}{0.333 \times 100} \doteq 530 \text{ kg/cm}^2$$

(69) 式から $A_s' = \frac{12,000,000 - 40 \left(1 - \frac{20}{2 \times 0.333 \times 100}\right) \times 120 \times 20 \left(100 - \frac{20}{3} \frac{3 \times 0.333 \times 100 - 2 \times 20}{2 \times 0.333 \times 100 - 20}\right)}{530 (100 - 4)} \doteq 116 \text{ cm}^2$

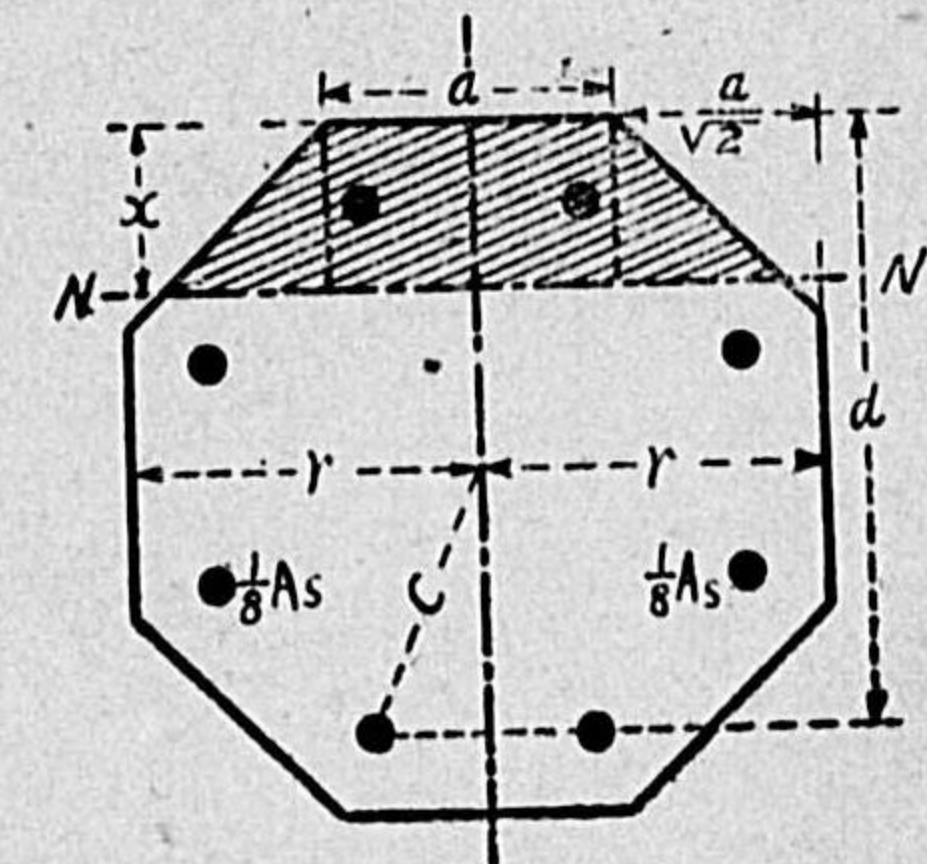
(例題) $M = 3,000,000 \text{ kgcm}$, $b = 150 \text{ cm}$, $t = 15 \text{ cm}$, $d = 55 \text{ cm}$, $d' = 5 \text{ cm}$, $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ なるとき、 A_s 及び A_s' を求めよ。

$$k = 0.333, \quad x = kd = 0.333 \times 55 \doteq 18.32 \text{ cm}$$

上例と同様にして $A_s \doteq 50.77 \text{ cm}^2$, $A_s' \doteq 16.78 \text{ cm}^2$ を得る。

第十六章 正八角形断面、圓形断面、壁厚比較的薄い圓形中空断面の梁の計算

(122) 正八角形断面の梁の曲げ應力度の計算 鉄筋コンクリートの杭は、正八角形断面に作られる事が屢々である。此杭の運搬中又は之を打つ爲に引き上げる作業中に、杭は梁として曲げモーメントを受ける。又杭が打ち終られた後にも曲げモーメントを受ける事がある。次に正八角形断面の梁が曲げモーメントを受ける場合の曲げ應力度の計算を述べる。



第77圖 正八角形断面梁、 $x < \frac{a}{\sqrt{2}}$

(1) 中立軸が正八角形断面の中央部に無い場合の曲げ應力度の計算 第77圖に於て $x < \frac{a}{\sqrt{2}}$ とし、影線を施したる部分は圧縮コンクリートの断面積とする。中立軸は圧縮コンクリート断面積と、鉄筋断面積の n 倍とから成る有效等値断面の圆心を通る。鉄筋断面の圆心は正八角形断面の圆心と一致するものと假定する。 A_s を鉄筋断面積とする。 x は次の方程式から求めるか又は第78圖に依つて之を求める。

$$\frac{x^3}{3} + 0.4142rx^2 + nA_s x = nA_s r \dots \dots \dots (70)$$

コンクリートに於ける最大曲げ圧縮應力度 σ_c は

$$\sigma_c = \frac{M}{I} x \dots \dots \dots (71)$$

鉄筋に於ける最大引張應力度 σ_s は

$$\sigma_s = n \frac{M}{I} (d - x) \text{ 又は } \sigma_s = n \sigma_c \frac{d - x}{x} \dots \dots \dots (72)$$

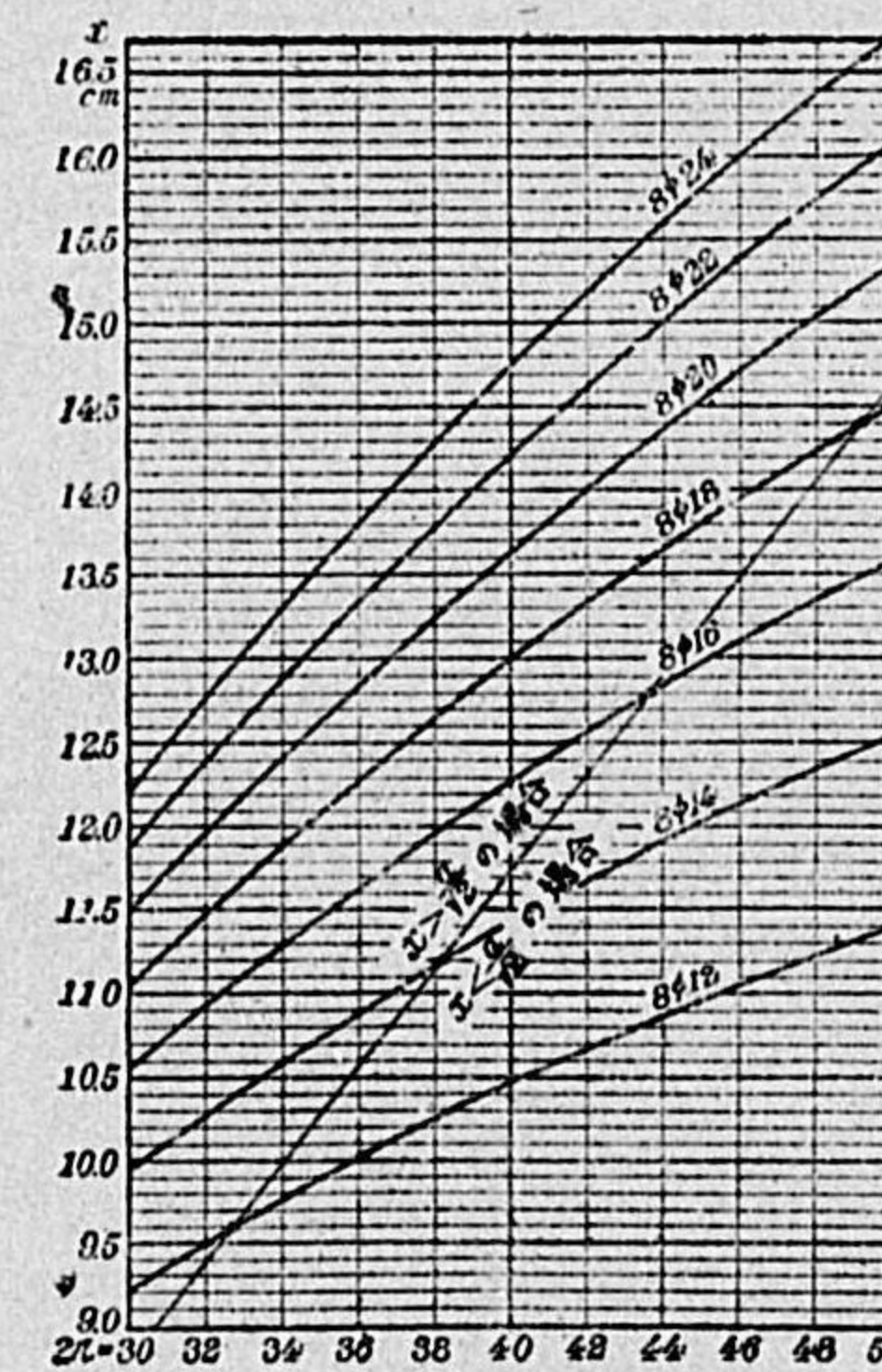
有效等値断面の中立軸に関する断面二次

$$\text{モーメント} = I = \frac{x^3}{6} (1.6568r + x) + nA_s \left[\frac{a^2}{2} + (r - x)^2 \right] \dots \dots \dots (73)$$

(2) 中立軸が正八角形断面の中央部にある場合の曲げ應力度の計算 $x > \frac{a}{\sqrt{2}}$ とする。

$$rx^2 + (nA_s - 0.3431r^2)x = nrA_s - 0.0670r^3 \dots \dots \dots (74)$$

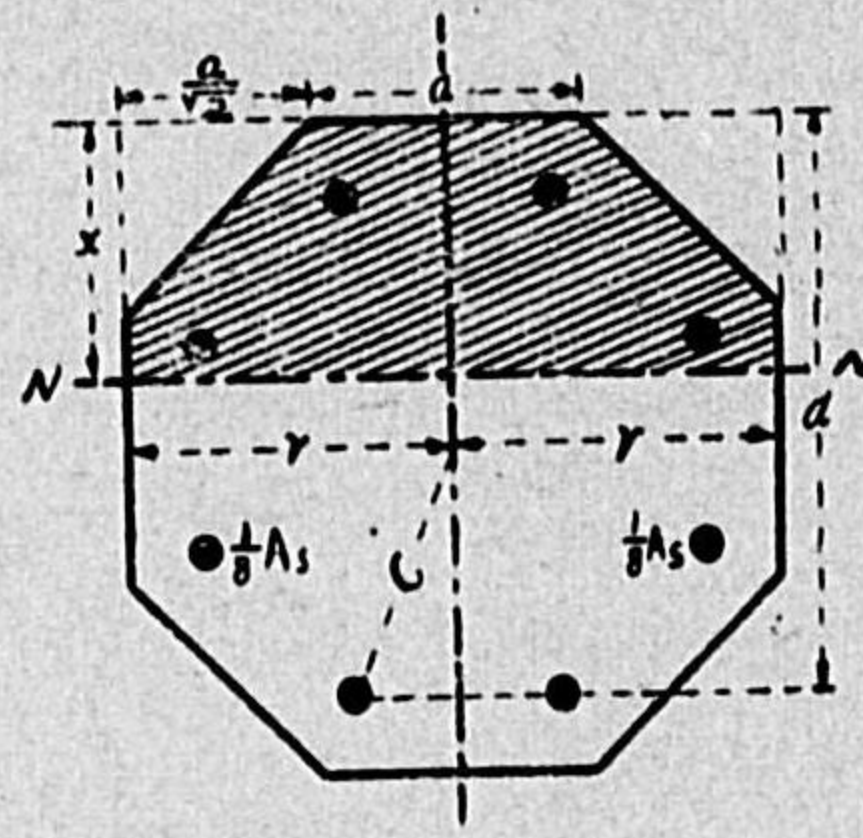
$$\sigma_c = \frac{M}{I} x \dots \dots \dots (75) \quad \sigma_s = n \frac{M}{I} (d - x) \dots \dots \dots (76)$$



第78圖 正八角形断面梁に対して、與へられたる r 及び A_s に対する x の値

$$I = \frac{2r}{3} x^3 - 0.3431 r^2 x^2 + 0.1340 r^3 x - 0.0196 r^4 + n A_s \left[\frac{c^2}{2} + (r-x)^2 \right] \dots (77)$$

第78圖は r 及び A_s の種々の値に對して、(70) 式及び (74) 式に依つて求めた x の値を示したもので、横距の $2r$ (cm) を通る鉛直線と、種々の直徑 (mm) の丸鋼 8 本を用ひる時の A_s の曲線との交點の縦距が、 x (cm) の値を與へる。圖中の破線の右の部分は第77圖の場合であり、左の部分は第79圖の場合である。



第79圖 正八角形断面梁
 $x > \frac{a}{\sqrt{2}}$

(123) 圓形断面の梁の曲げ應力度の計算 鐵筋は圓の中心に對して對稱的に配置せられるものとする。(第80圖)

r = 圓の半径、 r_s = 鐵筋の中心と圓の中心との距離、 a = 中立軸と圓周との交點 E が圓の中心に於て AD 線 (中立軸に直角) となす角

$$a \text{ (ラジアン)} = \frac{\pi}{180} a \text{ (度)} = 0.0174533 a \text{ (度)} \dots (78)$$

$$\tan a (2 + \cos^2 a) - 3a - 3\pi n p = 0 \dots (79)$$

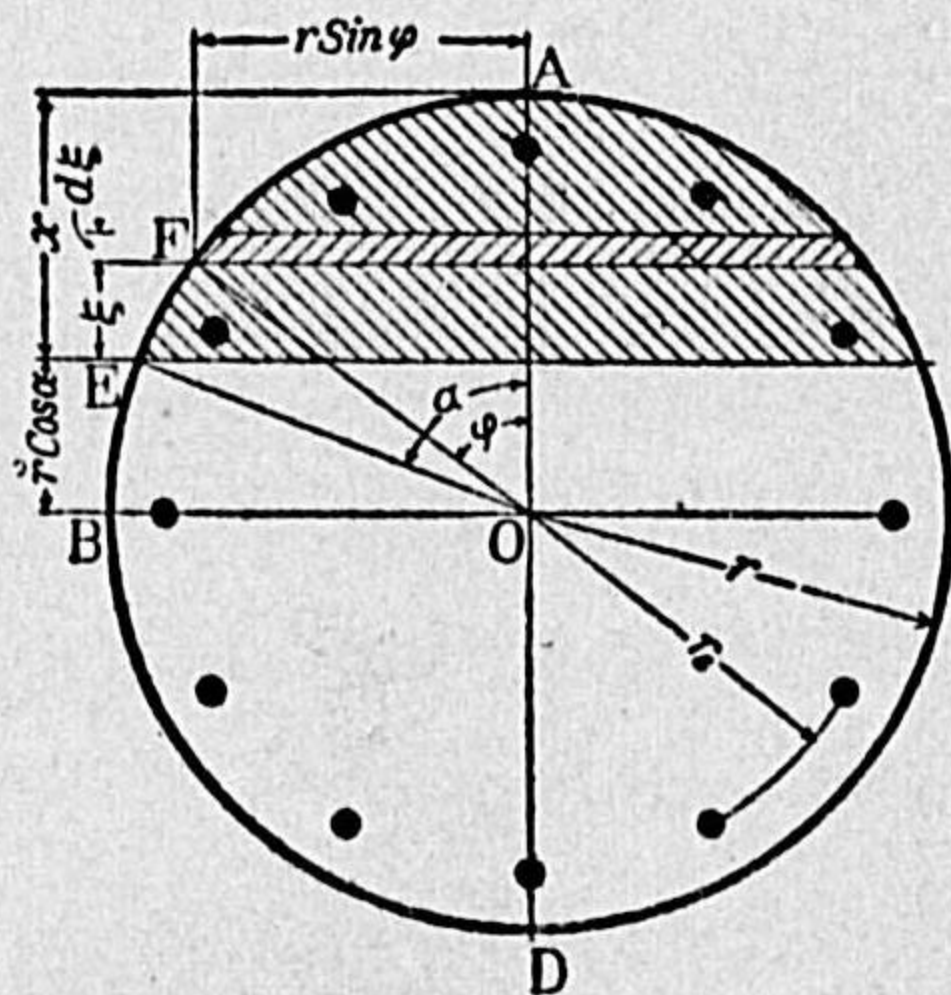
I_c = 中立軸に關する壓縮コンクリートの断面二次モーメント

$$= \frac{r^4}{12} [3a (1 + 4\cos^2 a) - \sin a \cos a (13 + 2\cos^2 a)] \dots (80)$$

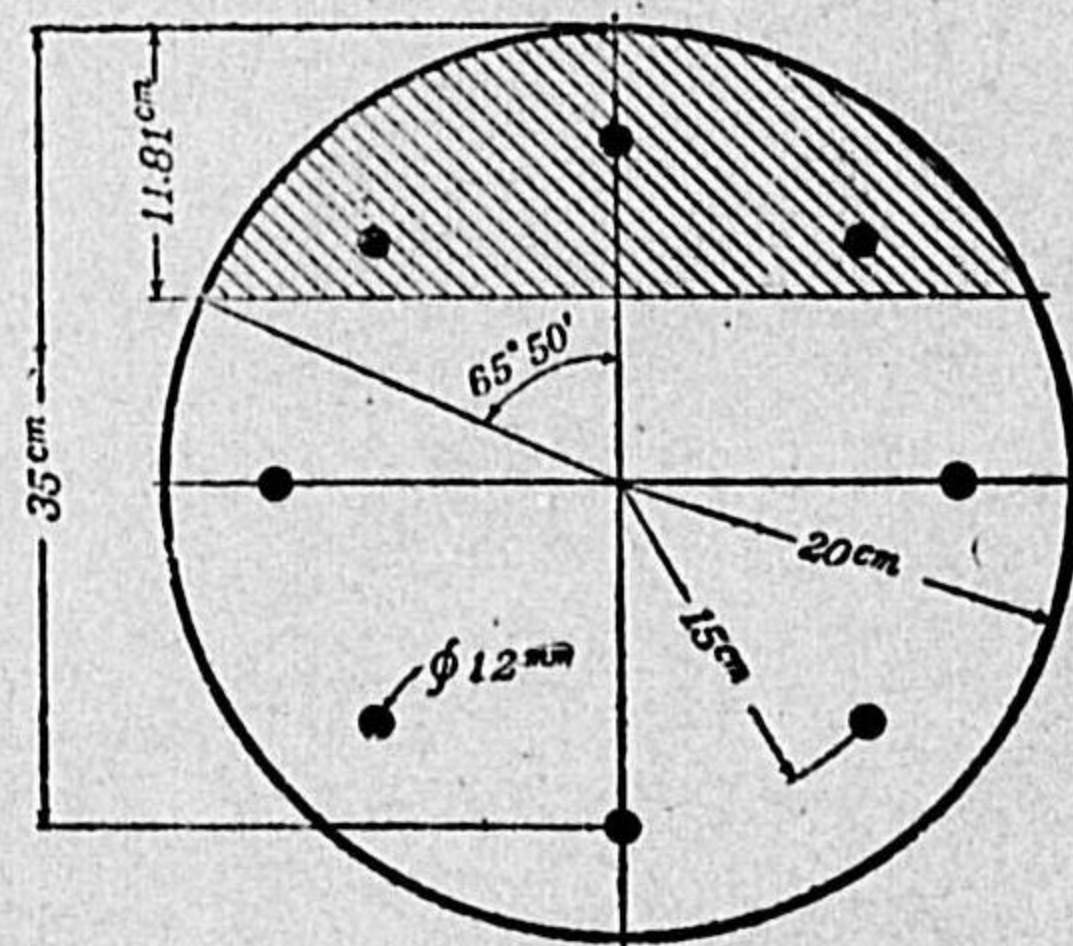
$$I_s = \text{中立軸に關する主鐵筋断面の断面二次モーメント} = A_s (r^2 \cos^2 a + \frac{r_s^2}{2}) \dots (81)$$

$$x = r (1 - \cos a) \dots (82)$$

$$\sigma_c = \frac{x M}{I_c + n I_s}, \quad \sigma_s = n \sigma_c \frac{d-x}{x}, \quad d = r + r_s \dots (83)$$



第80圖



第81圖 (圖の $\phi 12\text{mm}$ は $\phi 14\text{mm}$ と訂正す。)

第27表 單純曲げを受ける圓形断面の中
立軸を求める a に對する p の値

α (度)	α (ラジアン)	p	α (度)	α (ラジアン)	p	α (度)	α (ラジアン)	p
51	0.8901	0.00204	61	1.0647	0.00593	71	1.2392	0.01697
52	9076	228	62	1.0821	658	72	1.2566	1895
53	9250	254	63	1.0996	729	73	1.2741	2121
54	9425	284	64	1.1170	809	74	1.2915	2380
55	9599	316	65	1.1345	897	75	1.3090	2679
56	9774	351	66	1.1519	996	76	1.3265	3025
57	9948	390	67	1.1694	0.01106	77	1.3439	3431
58	1.0123	434	68	1.1868	1228	78	1.3614	3911
59	1.0297	482	69	1.2043	1367	79	1.3788	4485
60	1.0472	534	70	1.2217	1522	80	1.3963	5181

$$A_s = \pi r^2 p, \quad (79) \text{ 式参照}$$

(例題) $r = 20\text{cm}$ 、 $r_s = 15\text{cm}$ の圓形断面梁が $145,000\text{kgcm}$ の曲げモーメントを受ける場合のコンクリート及び鐵筋の應力度を求む。鐵筋には直徑 14mm の丸鋼を 8 本使用し、之を圖の如く配置する。

14mm 丸鋼 8 本の面積は次の通り。

(第81圖参照)

$$A_s = 12.32\text{cm}^2 \quad n A_s = 12.32 \times 15 = 184.8\text{cm}^2$$

$$p = \frac{A_s}{\pi r^2} = \frac{12.32}{3.1416 \times 400} = 0.00980$$

第27表から

$$\alpha = 66^\circ \text{ の時 } p = 0.00996$$

$$\alpha = 65^\circ \text{ の時 } p = 0.00897$$

$$\text{差 } 1^\circ \dots \text{差 } 0.00099$$

$$\alpha = x \text{ の時 } p = 0.00980$$

$$\alpha = 65^\circ \text{ の時 } p = 0.00897$$

$$\text{差 } \Delta \dots \text{差 } 0.00083$$

$$1^\circ : \Delta = 0.00099 : 0.00083$$

$$\therefore \Delta = \frac{0.00083}{0.00099} = 0.84^\circ \quad \therefore \alpha = 65.84^\circ \approx 65^\circ 50'$$

$$(78) \text{ 式} \quad \alpha = 0.0174533 \times 65.84 = 1.149 \text{ (ラジアン)}$$

$$(79) \text{ 式} \quad 2.2288 (2 + 0.4091^2) - 3 \times 1.149 - 3 \times 3.1416 \times 15 \times 0.00980 = 4.831 - 4.832 \approx 0$$

即ち α は前の値にて可である。

$$(80) \text{ 式} \quad I_c = \frac{20^4}{12} [3 \times 1.149 (1 + 4 \times 0.4091^2) - 0.9124 \times 0.4091 \times (13 + 2 \times 0.4091^2)] = 10,328\text{cm}^4$$

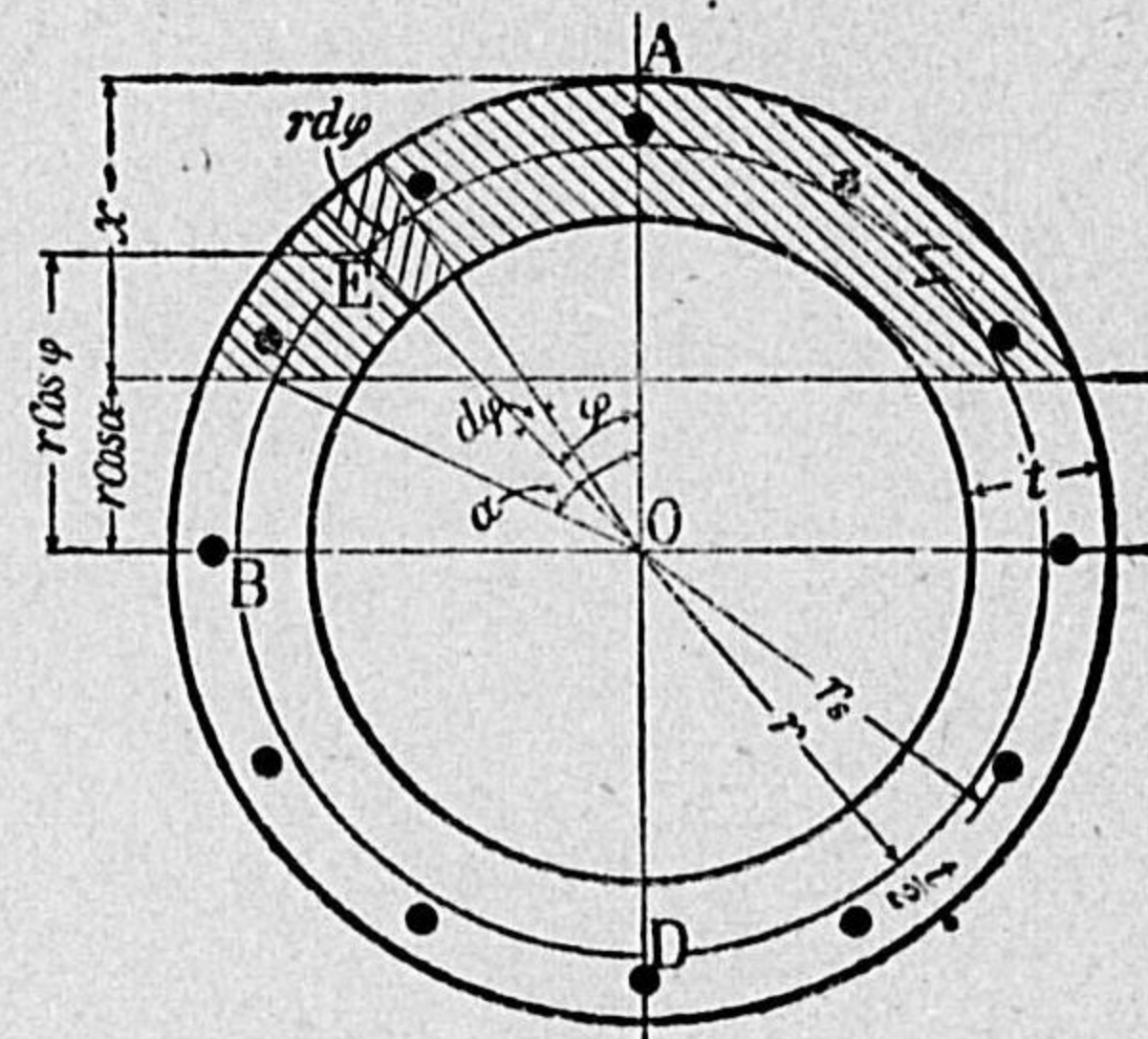
$$nI_s = nA_s \left(r^2 \cos^2 \alpha + \frac{r_s^2}{2} \right) = 184.8 \left(400 \times 0.4094^2 + \frac{225}{2} \right) = 33,161 \text{ cm}^4$$

(82) 式 $x = 20(1 - 0.4094) = 11.81 \text{ cm}$ (83) 式 $\sigma_c = \frac{11.81 \times 145,000}{10,328 + 33,161} = 39.4 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_s = 15 \times 39.4 \times \frac{35 - 11.81}{11.81} = 1,160 \text{ kg/cm}^2$$

(124) 壁の厚さ比較的薄い圓形管の曲げ應力度の算定

r = 管壁中心線の半径、 r_s = 管の中心より鉄筋中心までの距離、 a = 中立軸と管壁中心線との交点が中心 O に於て AD 線 (中立軸に直角) となす角、 φ = 壓縮側に於ける管壁中心線上の任意の点 E が中心 O に於て AD 線となす角、 t = 管壁の厚さ、 A_s = 鉄筋の總断面積



第 82 圖

$$p = \text{鉄筋比} = \frac{A_s}{2\pi r t}$$

$$x = r(1 - \cos a) + \frac{t}{2} \approx r(1 - \cos a) \dots (84)$$

G_c = 中立軸に関する壓縮側コンクリート断面 A_c の断面一次モーメント = $2r^2 t (\sin a - a \cos a)$
 $I_c = r^3 t [a(1 + 2\cos^2 a) - 3\sin a \cos a]$ (85)

G_s = 中立軸に関する主鉄筋断面の断面一次モーメント = $-A(r-x) = -rA_s \cos a$

$$I_s = A_s \left[(r-x)^2 + \frac{r_s^2}{2} \right] = A_s \left(r^2 \cos^2 a + \frac{r_s^2}{2} \right)$$

$$\tan a - a = \frac{nA_s}{2rt} \dots (86)$$

$$\tan a - a = \pi n p \dots (87)$$

(87) 式の種類 a に対する p は第 28 表より求めることが出来る。與へられたる p に等しい値を第 28 表中に見出し得ざるときは、比例式に依つて此 p に対する a を定める。

$$I_i = I_c + nI_s = r^3 t (a - \sin a \cos a) + \frac{nA_s}{2} r_s^2 \dots (88)$$

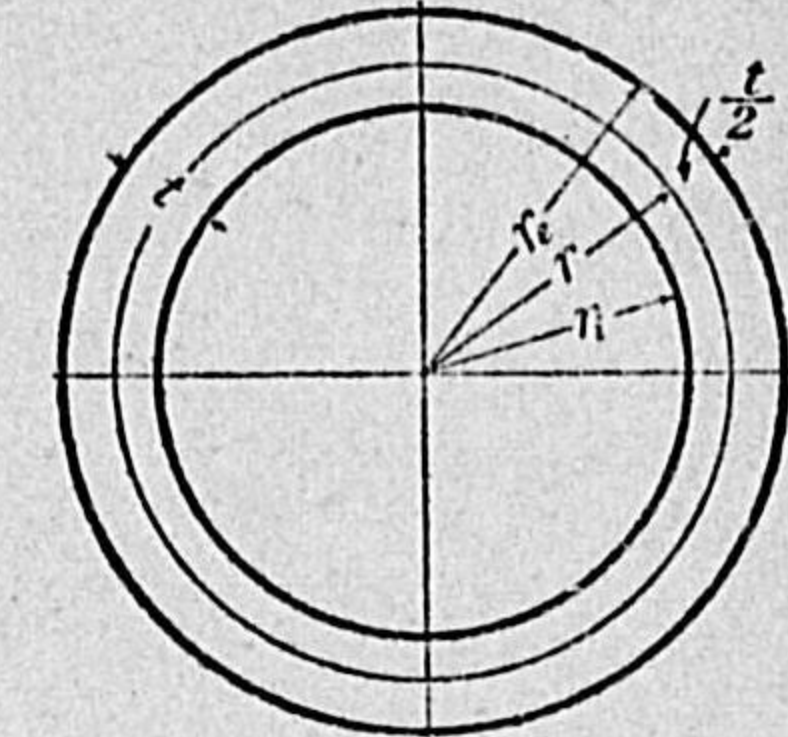
(87) 式から a を求め、(88) 式から I_i を定むれば

$$\sigma_c = \frac{xM}{I_i} \quad \sigma_s = n\sigma_c \frac{y}{x}$$

$\sigma_s' = n\sigma_c \frac{y'}{x}$ より σ_s, σ_s' を求め得る。 σ_s は引張鉄筋の應力度、 σ_s' は壓縮鉄筋の應力度にして、鉄筋の位置に依つて引張鉄筋及び壓縮鉄筋まで中立軸からの距離 y 、及び y' の値は異なる

ものである。即ち

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{s1} &= n\sigma_c \frac{y_1}{x}, & \sigma_{s1}' &= n\sigma_c \frac{y_1'}{x} \\ \sigma_{s2} &= n\sigma_c \frac{y_2}{x}, & \sigma_{s2}' &= n\sigma_c \frac{y_2'}{x} \\ \sigma_{s3} &= n\sigma_c \frac{y_3}{x}, & \sigma_{s3}' &= n\sigma_c \frac{y_3'}{x} \\ & \dots & & \dots \end{aligned} \right\} \dots (89)$$



第 83 圖

上記公式の應用範圍 管壁比較的薄いと云ふ意味は、管壁中心線の半径に比して管壁が薄いことであり、更に厳格に云へば次の通り。

r_e = 管の外側の半径、 r_i = 管の内側の半径、 r = 管壁中心線の半径として、次の近似式が成立し得るものと見做し得る場合である。

$$r_e^2 + r_i^2 \approx 2r^2, \quad r_e r_i \approx r^2$$

第 28 表 單純曲げを受ける中空圓形断面の中立軸を求める a に対する p の値

α (度)	α (ラジアン)	p	α (度)	p	α (度)	p
31	0.5411	0.00127	51	0.00732	71	0.03533
32	5585	141	52	790	72	3864
33	5760	156	53	853	73	4237
34	5931	172	54	921	74	4660
35	6109	190	55	994	75	5142
36	6283	0.00208	56	0.01072	76	0.05696
37	6458	229	57	1157	77	6340
38	6632	251	58	1248	78	7095
39	6807	274	59	1347	79	7991
40	6981	299	60	1453	80	9072
41	0.7156	0.00326	61	0.01569		
42	7330	355	62	1695		
43	7505	386	63	1831		
44	7680	420	64	1980		
45	7854	455	65	2143		
46	0.8029	0.00494	66	0.02322		
47	8203	535	67	2518		
48	8378	579	68	2734		
49	8552	626	69	2973		
50	8727	677	70	3238		

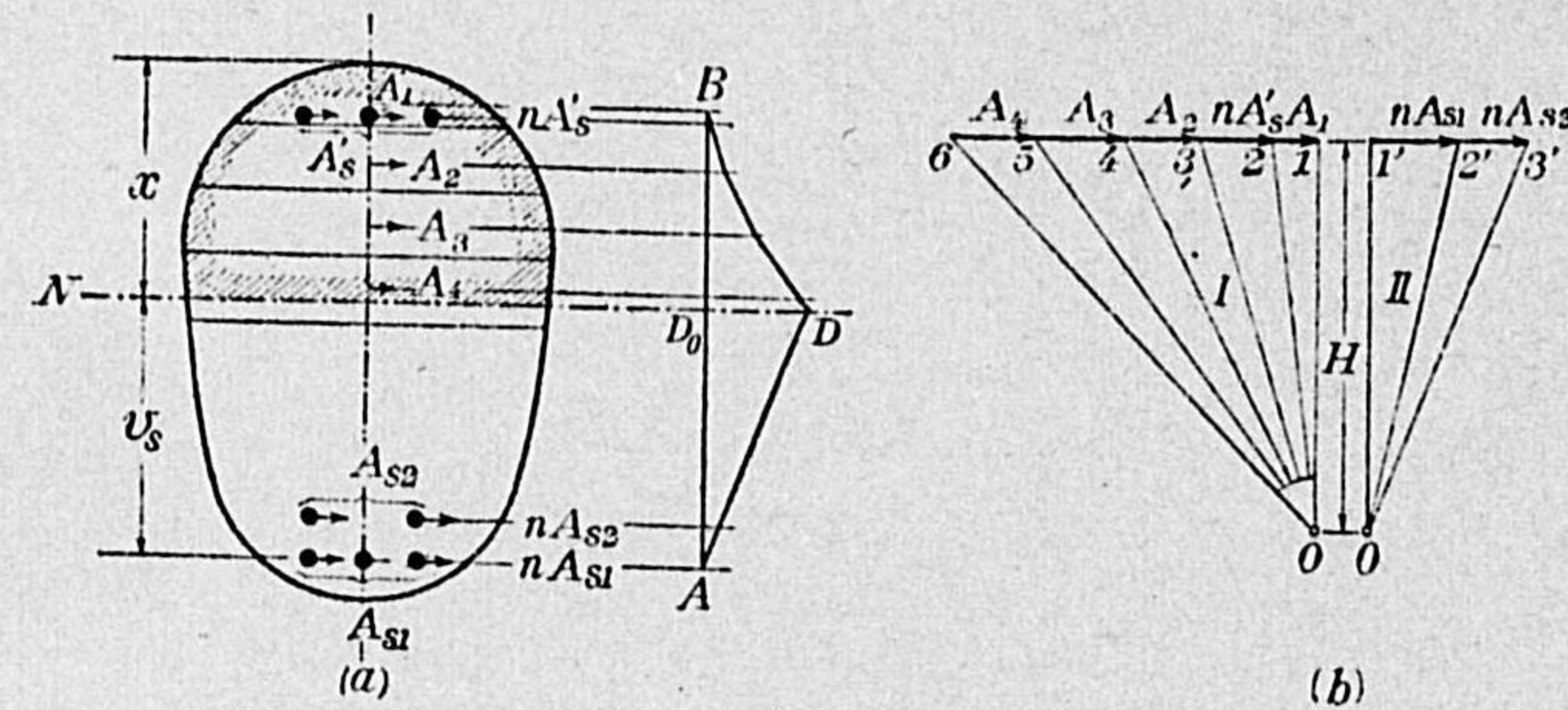
$$A_s = 2\pi r t p, \quad (87) \text{ 式参照}$$

第十七章 曲げ應力度の圖式解法

(125) 概論 複雑なる断面の梁に於ける曲げ應力度を求めるには、有效断面の中立軸の位置及び中立軸に関する有效断面の断面二次モーメントを圖式的に求め、齊等質材料から成る梁に於ける普通の曲げ應力度の計算式 $\sigma = \frac{M}{I}v$ を應用するのが便利である。

コンクリートの引張應力を無視し、維歪は断面の中立軸からの距離に比例する事、及びコンクリートのヤング係数は定数である事等を假定して曲げ應力度を求める圖式解法を説明せん。

(126) 曲げ應力度の圖式解法 第 84 圖は對稱軸を有する梁断面で、曲げモーメントは、此對稱軸と梁の軸とを含む平面内に働くものとする。然れば中立軸は断面の對稱軸に直角である。



第 84 圖 中立軸の位置及び断面二次モーメントを求める圖式解法

中立軸の位置を求めるには、先づ梁の壓縮側断面を中立軸に平行な線に依つて細長帯に分割し各細長帯の面積及び圖心を求める。是等の圖心及び壓縮鐵筋断面の圖心を通つて、中立軸に平行なる線を引き。各細長帯の断面積 A_1, A_2, \dots 及び壓縮鐵筋断面積の n 倍を力と考へて、第 84 圖 (b) の I に示す如くに、1...6 なる示力線を引き、示力線に直角なる直線 01 上の一 點 0 を極として 01, 02, ... なる直線を引き、之を用ひて第 84 圖 (a) の BD なる速力圖を畫く。次に引張鐵筋断面 A_{s1}, A_{s2} の圖心を通つて、中立軸に平行なる線を引き、前同様に引張鐵筋の断面積の n 倍、 nA_{s1}, nA_{s2} を力と考へて第 84 圖 (b) の II に示す様な示力線 1'3' を引き、前と同じ極距 H を用ひて、01', 02' ... なる線を引き、是等を用ひて第 84 圖 (a) に示す速力圖 AD を畫き、前に畫いた速力圖 BD との交點 D を求める。然れば D を通つて對稱軸に直角な直線が中立軸である。何となれば $\overline{DD}_0 \times H = \overline{DD}_0$ 線の上側及び下側に於ける有效等値断面の断面一次モーメントにて \overline{DD}_0 は上、下側に共通であるから、 \overline{DD}_0 線の上、下側の有效等値断面の断面一次モーメントは相等しい、即ち \overline{DD}_0 線は有效等値断面の圖心を通過する。故に D を通りて對稱軸に直角なる線が中立軸である。

有效等値断面の中立軸に関する断面二次モーメント I を Mohr の方法で求めると

$$I = 2H (\text{面積 } ADB) \dots \dots \dots (90)$$

(90) 式に依つて I を計算するには、 H は断面積 A を示した單位で、面積 ADB は梁の断面を畫いた單位で測定した値を用ひる。

x の値と I が定まれば、コンクリートの縁壓縮應力度 σ_c は

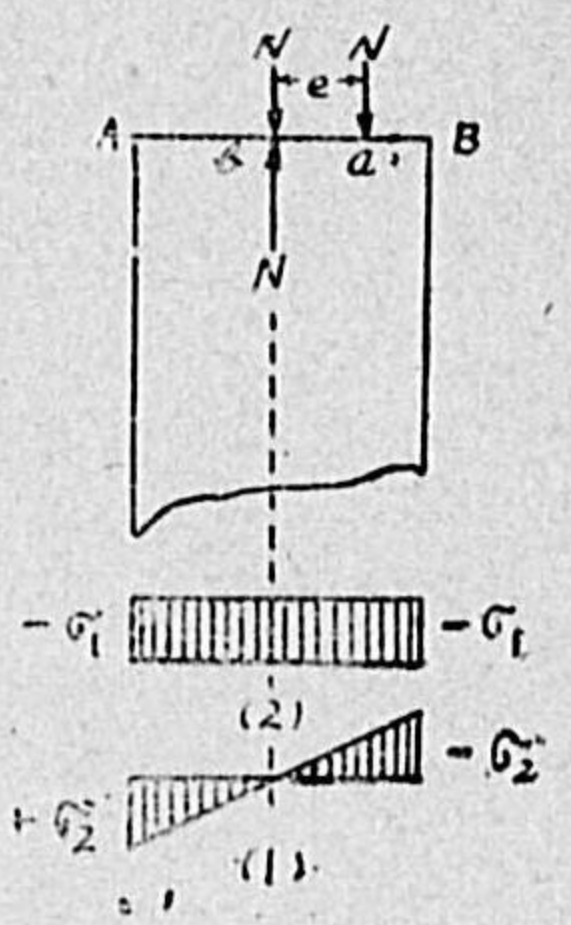
$$\sigma_c = \frac{M}{I} x \dots \dots \dots (91)$$

鐵筋に於ける最大引張應力度 σ_s は

$$\sigma_s = n \frac{M}{I} v_s \dots \dots \dots (92)$$

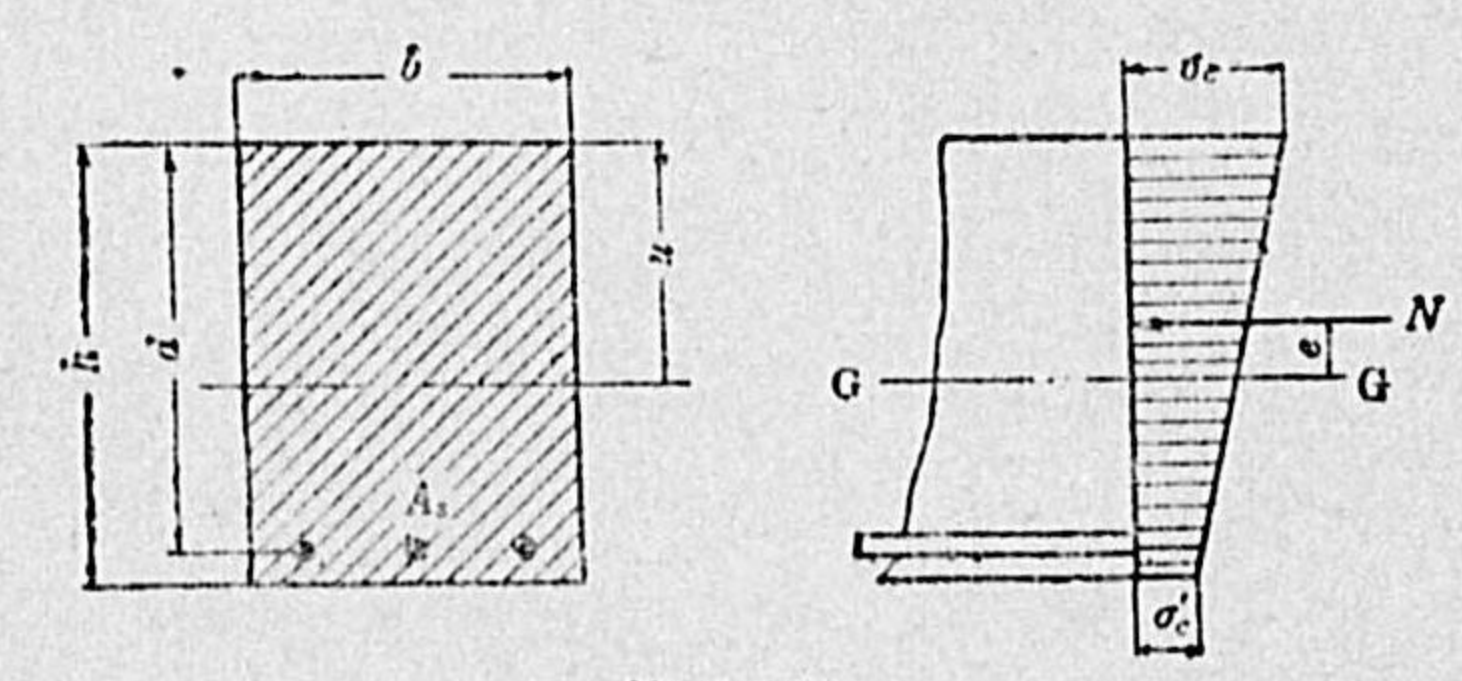
第十八章 曲げモーメントと同時に軸方向圧縮力又は偏心軸方向圧縮力を受ける矩形断面の計算

(127) 概論 或物体の断面に対して外力の垂直分力 N が其断面の圖心から e なる距離に働くときは、其物体は偏心軸方向圧縮力を受けると云ふ。偏心軸方向圧縮力は、之を其断面の圖心に作用する中心軸方向力 N と、 $M = Ne$ なる大いさの曲げモーメントとの二つに分解して、考ふことを得る。第85圖に於て N なる一軸方向圧縮力が中心から e なる距離にある a 點に働くときは、其中心點 b に於て更に N に等しくして反對の方向を有する二力が働くものと見るも、其結果は、 N の一力のみが a 點に働くものと其平衡状態に於て全く相異なることはない然るときは a 點に於ける N と b 點に於て上向きに働く N とは e なる挺率を以て $M = Ne$ なる曲げモーメントを生ずべく、 b 點に於て下向きに働く N は AB なる断面に一樣圧縮力を與へることとなる。之を圖を以て示せば前者は(1)の如く、後者は(2)の如き力度の配布を生ずる。即ち物体が偏心荷重を受けるときは、軸方向圧縮力と曲げモーメントとを同時に受ける場合と相同じ。アーチに來る合成壓力線が其アーチの中心線と一致せざるときは、偏心状態にあるものとして計算せねばならぬ。



第85圖

(128) 心(獨Kern,英Core)の幅及び應力度の算定 總て偏心状態にあるものの計算を爲すためには、其外力が構造物の部材断面の心の内に働くか又は其外部に働くかによりて異なる、即ち心の内に圧縮力が働くときは、断面何れの部分にも圧縮應力のみを生じ、心の外部に圧縮力が働くときは同時に一部圧縮應力、一部引張應力を生ずる。



第86圖

偏心荷重 N の働く場合に於て、其断面の兩縁に於ける應力度を σ_c, σ_c' とし、断面積を A 、断面係数を W とせば

$$\sigma_c \text{ 又は } \sigma_c' = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \dots (93)$$

若し $\frac{N}{A} > \frac{M}{W}$ ならば、外力が圧縮力なるときは、断面の何れにも圧縮應力のみを生ずべく、 $\frac{N}{A} < \frac{M}{W}$ ならば一方に引張應力、他方に圧縮應力を生ずる。故に心の限界迄の距離を k とせば、其限界は $\frac{N}{A} = \frac{M}{W}$ の場合に於て見出すことを得る。然るに $M = Ne$ なるを以て $N/A = Ne/W$ 然るに此場合には $e = k$ であるから $k = W/A$

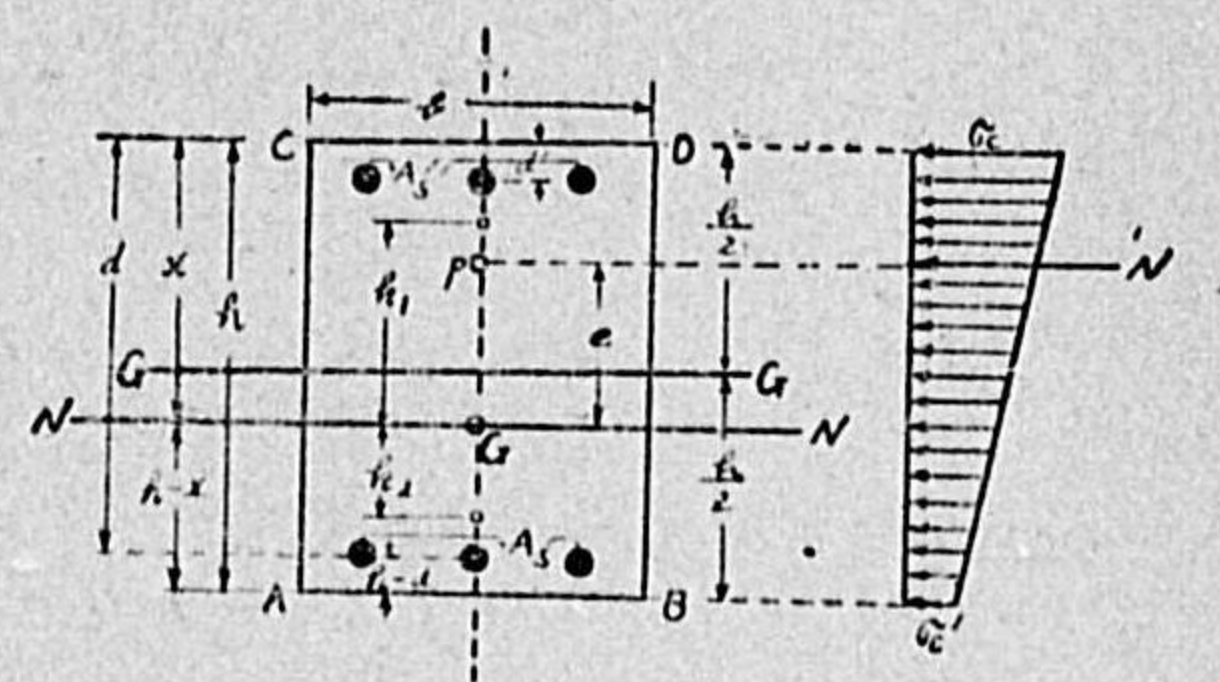
偏心荷重 N の働く場合に於て、其断面の兩縁に於ける應力度を σ_c, σ_c' とし、断面積を A 、断面係数を W とせば

之を鉄筋コンクリートに應用せん。第87圖に於て矩形断面の等値全断面積 A_i は

$$A_i = bh + n(A_s + A_s') \dots (94)$$

不對稱なる断面を有するときは、断面係数 W の値を求めるには、先づ其断面の圖心を知らねばならぬ。 CD 邊に対する断面一次モーメントを求めると

$$\frac{bh^3}{2} + n(A_s'd + A_s'l) = x[bh + n(A_s + A_s')] \dots (95)$$



第87圖 GG=コンクリート断面の圖心を通る線、NN=等値全断面の圖心を通る線

$$\therefore x = \frac{\frac{bh^3}{2} + n(A_s'd + A_s'l)}{bh + n(A_s + A_s')} \dots (96)$$

NN 軸に対する等値全断面の断面二次モーメントは

$$I_i = \frac{b}{3} [x^3 + (h-x)^3] + n [A_s (d-x)^2 + A_s' (x-d')^2] \dots (97)$$

共断面係数は次の通り。

$$W_1 = \frac{I_i}{x} \quad W_2 = \frac{I_i}{h-x} \dots (98)$$

G 點から上側及び下側の心點迄の距離を夫々 k_1 及び k_2 とすれば

$$k_1 = \frac{W_2}{A_i} = \frac{I_i}{(h-x)A_i} \dots (99)$$

$$k_2 = \frac{W_1}{A_i} = \frac{I_i}{xA_i} \dots (100)$$

$$\sigma_c = \frac{N}{A_i} + \frac{Ne}{W_1} = \frac{N}{A_i} + \frac{Ne}{I_i} x \dots (101)$$

$$\sigma_c' = \frac{N}{A_i} - \frac{Ne}{W_2} = \frac{N}{A_i} - \frac{Ne}{I_i} (h-x) \dots (102)$$

(例題) $b = 40\text{cm}$, $h = 100\text{cm}$, $d' = 5\text{cm}$, $A_s' = 19.5\text{cm}^2$, $A_s = 0$ である時、断面の上縁から 40cm の距離にある p 點に、軸方向圧縮力 $N = 100,000\text{kg}$ が働く。コンクリート及び鐵筋の壓縮應力度を求む。(第87圖参照)

$$A_i = bh + nA_s' = 40 \times 100 + 15 \times 19.5 = 4,292\text{cm}^2$$

(96) 式から
$$x = \frac{\frac{40 \times 100^3}{2} + 15 \times 19.5 \times 5}{4,292} = 47\text{cm} \quad e = 47 - 40 = 7\text{cm}$$

(97) 式から
$$I_i = \frac{40}{3} [47^3 + (100 - 47)^3] + 15 \times 19.5 \times (47 - 5)^2 = 3,884,420\text{cm}^4$$

(99) 式及び (100) 式から

$$k_2 = \frac{3,884,420}{4,292 \times 47} = 19.26\text{cm} \quad k_1 = \frac{3,884,420}{(100 - 47) \times 4,292} = 17.1\text{cm}$$

$e < k_1$ であるから、断面には圧縮力のみが働く。(101) 式及び (102) 式から

$$\sigma_c = \frac{100,000}{4,292} + \frac{100,000 \times 7 \times 47}{3,884,420} = 31.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c' = \frac{100,000}{4,292} - \frac{100,000 \times 7 \times (100 - 47)}{3,884,420} = 13.8 \text{ kg/cm}^2$$

鉄筋に於ける圧縮力度 σ_s' は

$$\sigma_s' = n \sigma_c \frac{x - d'}{x} = 15 \times 31.8 \times \frac{47 - 5}{47} = 426 \text{ kg/cm}^2$$

対称鉄筋の場合 $A_s = A_s'$

$$A_i = bh + 2nA_s = bh(1 + 2np) \dots\dots (103)$$

$x = h/2$ であるから

$$I_i = \frac{bh^3}{12} + 2nA_s \left(\frac{h}{2} - d' \right)^2 = bh^3 \left[\frac{1}{12} + 2np \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{h} \right)^2 \right] \dots (104)$$

(101) 式は次の通り。

$$\sigma_c = \frac{N}{bh(1 + 2np)} + \frac{Ne}{bh^3 \left[\frac{1}{12} + 2np \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{h} \right)^2 \right] \frac{h}{2}}$$

$$= \frac{N}{bh} \left[\frac{1}{(1 + 2np)} + \frac{e/h}{1/6 + 4np(1/2 - d'/h)^2} \right] \dots\dots (105)$$

$$C = \frac{1}{1 + 2np} + \frac{e/h}{1/6 + 4np(1/2 - d'/h)^2} \dots\dots (106)$$

$$\sigma_c = \frac{N}{bh} C \dots\dots (107)$$

C の値は第 89 図から求めることが出来る。

$$\sigma_c' = \frac{N}{bh} C' \dots\dots (108)$$

$$C' = \frac{1}{1 + 2np} - \frac{e/h}{1/6 + 4np(1/2 - d'/h)^2} \dots\dots (109)$$

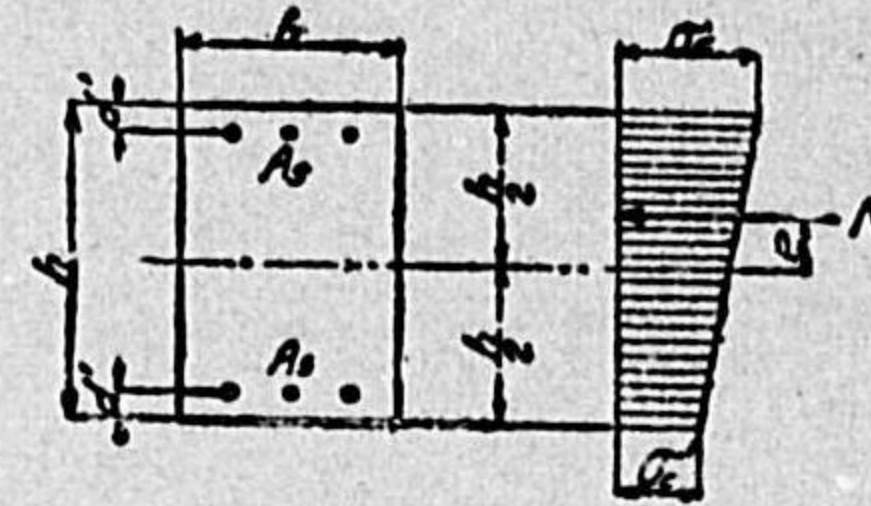
(例題) $b = 40\text{cm}$, $h = 100\text{cm}$, $d' = 5\text{cm}$ の矩形断面に $100,000\text{kg}$ の軸方向圧縮力が断面の中央から 10cm の位置に作用するものとして、圧力度を算定せよ。但し $A_s = A_s'$ にして第 90 図の如く直径 25mm の丸鋼 5 本を使用するものとする。25mm 直径の丸鋼 5 本の面積は $A_s = A_s' = 24.54\text{cm}^2$

$$A_i = bh + 2nA_s = 40 \times 100 + 2 \times 15 \times 24.54 = 4,736.2\text{cm}^2$$

$$I_i = \frac{bh^3}{12} + 2nA_s \left(\frac{h}{2} - d' \right)^2 = \frac{1}{12} \times 40 \times 100^3 + 2 \times 15 \times 24.54 \left(\frac{100}{2} - 5 \right)^2 = 4,824,138\text{cm}^4$$

$$e = 10\text{cm}, \quad x = 50\text{cm}$$

$$\sigma_c = \frac{N}{A_i} + \frac{Ne}{I_i} x = \frac{100,000}{4,736.2} + \frac{100,000 \times 10 \times 50}{4,824,138} = 31.5 \text{ kg/cm}^2$$



第 88 図

$$\sigma_c' = \frac{100,000}{4,736.2} - \frac{100,000 \times 10 \times 50}{4,824,138} = 10.8 \text{ kg/cm}^2$$

又 (106) 式、(107) 式を用ひるときは

$$p = \frac{A_s}{bh} = \frac{24.54}{40 \times 100} = 0.006135, \quad e/h = 0.1, \quad d'/h = \frac{5}{100} = 0.05$$

$$\therefore C = \frac{1}{1 + 2 \times 15 \times 0.006135} + \frac{0.1}{1/6 + 4 \times 15 \times 0.006135(0.5 - 0.05)^2}$$

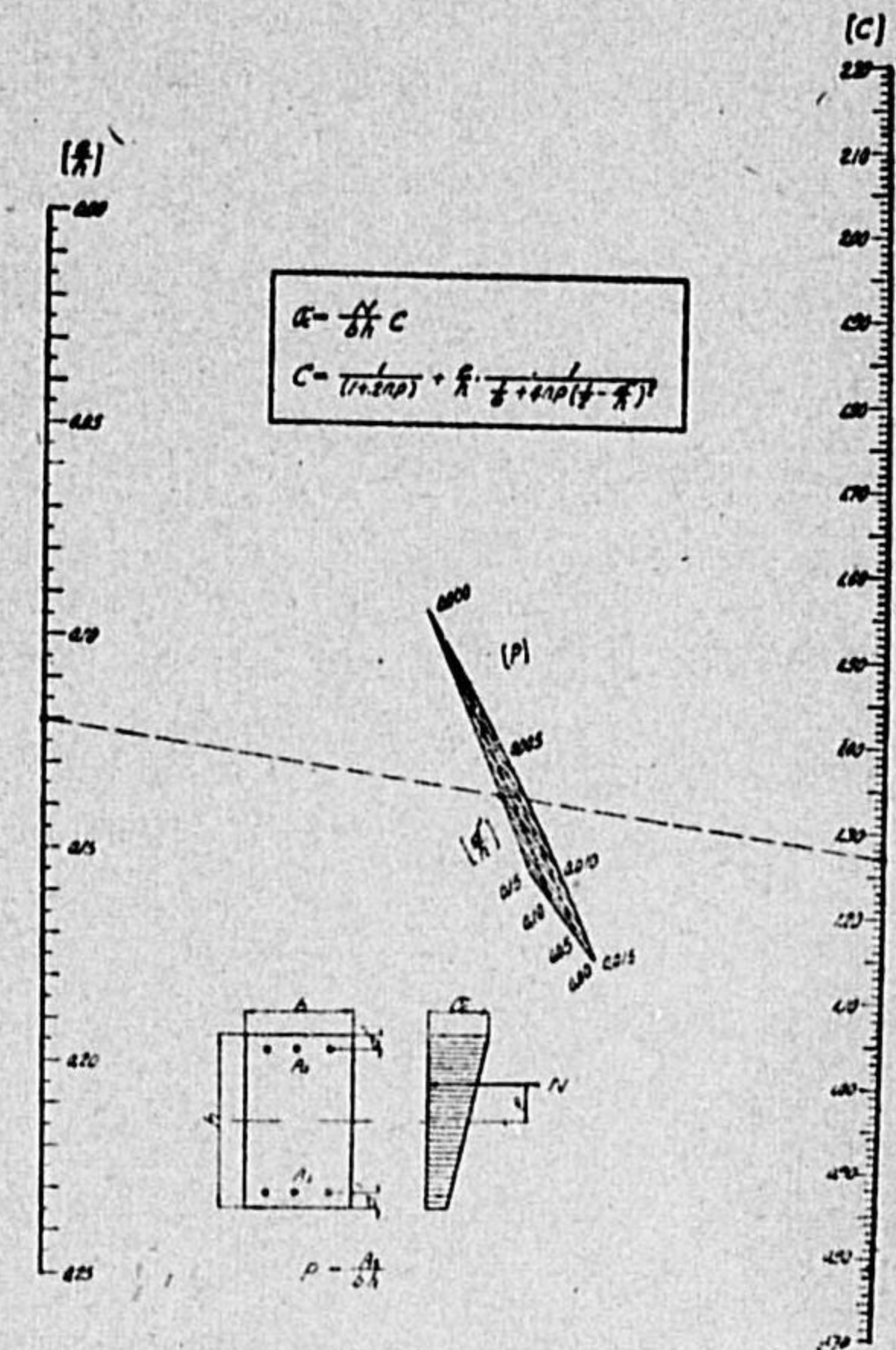
$$= \frac{1}{1 + 0.18405} + \frac{0.1}{0.16666 + 0.07454} = 0.845 + 0.416 = 1.261$$

$$C' = 0.845 - 0.416 = 0.429$$

$$\sigma_c = \frac{N}{bh} C = \frac{100,000 \times 1.261}{40 \times 100} = 31.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c' = \frac{N}{bh} C' = \frac{100,000 \times 0.429}{40 \times 100} = 10.7 \text{ kg/cm}^2$$

又 C は第 89 図から簡単に見出すことが出来る、即ち左方に $e/h = 0.1$ を探り、中央の網の中に $p = 0.006135$, $d'/h = 0.05$ の点を見出し、之を結べば右方に $C = 1.26$ を求め得る。



第 89 図 C を求める圖、場合に依つて C を既知として p を求めることも出来る

(129) 鉄筋コンクリート柱の圧力度算定に関する標準示方書の規定 (昭和 15 年 3 月改正)

「第 100 條 偏心軸方向荷重を受ける柱

(1) 偏心軸方向荷重を受ける短柱及び長柱の圧縮力度は、夫々次式に依りて求むべし。

短柱に對し
$$\sigma_c = \frac{N}{A_i} \pm \frac{Ne}{I_i} y \dots\dots (13)$$

長柱に對し
$$\sigma_c = \frac{N}{A_i \left(1.45 - 0.01 \frac{h}{l} \right)} \pm \frac{Ne}{I_i} y \dots\dots (14)$$

茲に σ_c : コンクリート断面の維圧縮力度、 N : 軸方向力、 A_i : コンクリート全断面積に鉄筋断面積の 15 倍を加へたる等値全断面積、 I_i : A_i の圖心線に關する断面二次モーメント、 e : A_i の圖心線より N の作用點迄の距離、 y : 圖心線より壓力度を求むる點までの距離、 h : 柱の高さ、 l : 柱のコンクリート断面の最小回轉半径

前式にて求めたる圧縮力度は第 75 條 (2) 式の許容曲げ圧縮力度を超過することを得ず。且つ N は中心軸方向荷重として柱の支へ得る軸方向荷重よりも小なる事を要す。

(2) 前式に於て断面の一方に引張力度の生ずる場合にも、引張力度の絶対値が第 75 條 (1) 式の許容

圧縮力度の $\frac{1}{5}$ 以下の場合に限り前式を用ひて圧縮力度を計算する事を得。此場合に於ても引張力度は盡く鉄筋にて之を探らしむべし。

(130) 軸方向圧縮力の作用點が矩形断面の心の外にある場合の應力度の計算 軸方向圧縮力 N の作用點が矩形断面の心の外に在るときでも、作用點と等値全断面 A_i の圖心との距離 e が小さい時には、先づコンクリートの引張力度を無視しない (101) 式及び (102) 式に依つて、應力度の計算を試みる。而して求めたコンクリートの引張力度の絶対値がコンクリートの許容軸方向圧縮力度の $\frac{1}{5}$ 以下であれば、土木學會の標準示方書第 100 條 (2) の規定に依つて、(101) 式で計算した値を共儘求める圧縮力度とする事が出来る。併しコンクリートに於ける引張力度の絶対値が許容軸方向圧縮力度の $\frac{1}{5}$ 以上であれば、コンクリートの引張力度を無視して應力度を計算せねばならぬ。

次には曲げ應力度の計算の場合に於けると同様に、コンクリートの引張力度を無視し、且つ維歪は中立軸からの距離に比例すると假定し、又コンクリートのヤング係数を定數と假定する應力度の計算方法を述べる。尙計算の簡便のために、圧縮鉄筋の存在に依るコンクリート断面積の減少を無視する。

第 90 圖に於て GG 軸をコンクリート断面の圖心を通る軸とし、 GG 軸から e なる距離にある p 點に軸方向圧縮力 N が働いて居るものとする。内力と外力との釣合の條件から次式が得られる。

$$N = \frac{\sigma_c}{2} bx + A_i' \sigma_i' - A_i \sigma_i \dots \dots \dots (110)$$

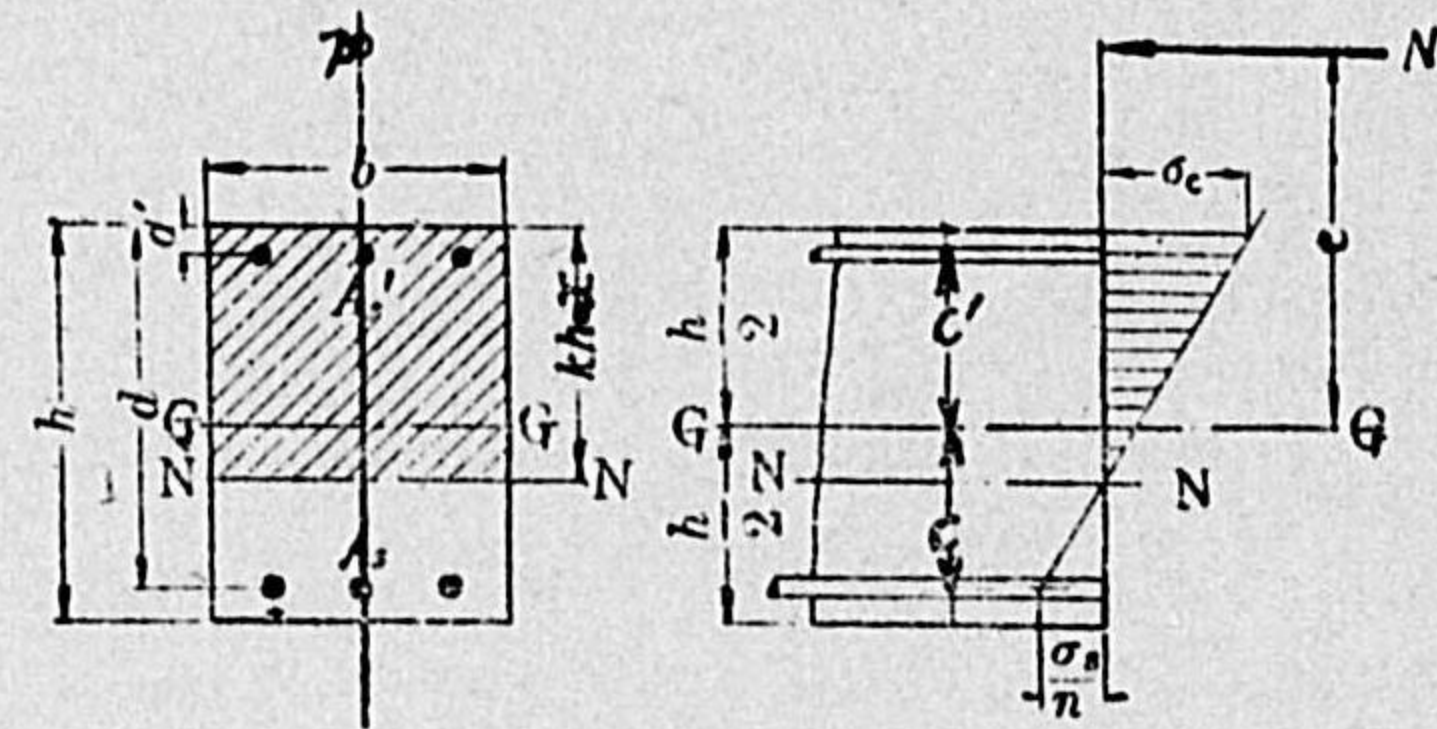
$$M = N_e = \frac{\sigma_c bx}{2} \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{3} \right) + A_i' \sigma_i' e + A_i \sigma_i c \dots \dots \dots (111)$$

又應力分布圖から

$$\sigma_c : \frac{\sigma_i}{n} = x : \left(c + \frac{h}{2} - x \right), \text{ 及び } \sigma_c : \frac{\sigma_i'}{n} = x : \left(c' - \frac{h}{2} + x \right)$$

$$\therefore \sigma_i = \frac{n \sigma_c}{x} \left(c + \frac{h}{2} - x \right) \dots \dots \dots (112)$$

$$\sigma_i' = \frac{n \sigma_c}{x} \left(c' - \frac{h}{2} + x \right) \dots \dots \dots (113)$$



第 90 圖

上記の 4 式から $N, \sigma_c, \sigma_i, \sigma_i'$ を消去し x の方程式を求めると次の通り。

$$x^3 - x^2 \cdot 3 \left(\frac{h}{2} - e \right) + x \cdot \frac{6n}{b} \left[A_i \left(e + c \right) + A_i' \left(e - c' \right) \right] - \frac{6n}{b} \left[A_i \left(c + \frac{h}{2} \right) \left(e + c \right) + A_i' \left(\frac{h}{2} - c' \right) \left(e - c' \right) \right] = 0 \dots \dots \dots (114)$$

(114) 式を解いて x を求める事が出来る。三次方程式の解法は後述する。

(110) 式の σ_i' 及び σ_i に (112) 式、(113) 式の値を代入すれば

$$N = \frac{\sigma_c}{2} bx + A_i' \frac{n \sigma_c}{x} \left(c' - \frac{h}{2} + x \right) - A_i \frac{n \sigma_c}{x} \left(c + \frac{h}{2} - x \right)$$

$$\therefore \sigma_c = \frac{N}{\frac{1}{2} bx + \frac{n A_i'}{x} \left(c' - \frac{h}{2} + x \right) - \frac{n A_i}{x} \left(c + \frac{h}{2} - x \right)} \dots \dots \dots (115)$$

又 (111) 式を變化して

$$N_e = \frac{\sigma_c bx}{2} \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{3} \right) + A_i' \frac{n \sigma_c}{x} \left(c' - \frac{h}{2} + x \right) e + A_i \frac{n \sigma_c}{x} \left(c + \frac{h}{2} - x \right) c$$

$$\therefore \sigma_c = \frac{N_e}{\frac{bx}{2} \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{3} \right) + \frac{n A_i'}{x} \left(c' - \frac{h}{2} + x \right) e + \frac{n A_i}{x} \left(c + \frac{h}{2} - x \right) c} \dots \dots \dots (116)$$

(115) 式又は (116) 式から σ_c を求める事が出来る。 σ_c を求めたならば (112) 式から σ_i を求め得る。

$$\sigma_i = \frac{n \sigma_c}{x} \left(c + \frac{h}{2} - x \right)$$

今 $x = kh, A_i = pbh, A_i' = p'bh$ とすれば (114) 式、(115) 式、(116) 式、(112) 式は次の如くなる。

$$k^3 - k^2 \cdot 3 \left(\frac{1}{2} - \frac{e}{h} \right) + k \cdot 6n \left[p \left(\frac{e}{h} + \frac{c}{h} \right) + p' \left(\frac{e}{h} - \frac{c'}{h} \right) \right] - 6n \left[p \left(\frac{e}{h} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{e}{h} + \frac{c}{h} \right) + p' \left(\frac{1}{2} - \frac{c'}{h} \right) \left(\frac{e}{h} - \frac{c'}{h} \right) \right] = 0 \dots \dots \dots (117)$$

$$\sigma_c = \frac{N}{bh \left[\frac{k^3}{2} + np' \left(\frac{c'}{h} - \frac{1}{2} + k \right) p - np \left(\frac{c}{h} + \frac{1}{2} - k \right) \right]} \dots \dots \dots (118)$$

$$\sigma_c = \frac{N_e}{bh^3 \left[\frac{k^3}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3} \right) + np' \left(\frac{c'}{h} - \frac{1}{2} + k \right) \frac{e}{h} + np \left(\frac{c}{h} + \frac{1}{2} - k \right) \frac{c}{h} \right]} \dots \dots \dots (119)$$

$$\sigma_i = n \sigma_c \frac{c + \frac{1}{2} - k}{k} \dots \dots \dots (120)$$

又 (117)、(118)、(119)、(120) 式は次の形で示すことが出来る。

c' = h/2 - d', c = d - h/2 とすれば c'/h = 1/2 - d'/h, c/h = d/h - 1/2 であるから

k^3 - k^2 \cdot 3 \left(\frac{1}{2} - \frac{c}{h} \right) + k \cdot 6n \left[p \left(\frac{c}{h} + \frac{d}{h} - \frac{1}{2} \right) + p' \left(\frac{c}{h} + \frac{d'}{h} - \frac{1}{2} \right) \right] - 6n \left[p \left(\frac{c}{h} + \frac{d}{h} - \frac{1}{2} \right) \frac{d}{h} + p' \left(\frac{c}{h} + \frac{d'}{h} - \frac{1}{2} \right) \frac{d'}{h} \right] = 0 \dots (121)

\sigma_c = \frac{N}{bh^2} \left[\frac{k}{\frac{k^2}{2} + np' \left(k - \frac{d'}{h} \right) - np \left(\frac{d}{h} - k \right)} \right] \dots (122)

\sigma_c = \frac{N\sigma}{bh^2} \left[\frac{k}{\frac{k^2}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3} \right) + np' \left(k - \frac{d'}{h} \right) \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{h} \right) + np \left(\frac{d}{h} - k \right) \left(\frac{d}{h} - \frac{1}{2} \right)} \right] \dots (123)

\sigma_s = n\sigma_c \frac{\frac{d}{h} - k}{k} \dots (124)

(131) 三次方程式の解法 (1) Cardan 氏の解法 三次方程式の一般式は次の通り。

x^3 + ax^2 + bx + c = 0 \dots (a)

に於て

x = z - \frac{1}{3} a \dots (b)

と置けば

z^3 + Pz + Q = 0 \dots (c)

となる。茲に

P = \left(b - \frac{1}{3} a^2 \right) \dots (d)
Q = \left(\frac{2}{27} a^3 - \frac{1}{3} ab + c \right)

(e) 式を解けば z = \sqrt[3]{-\frac{Q}{2} + \sqrt{\left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{Q}{2} - \sqrt{\left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3}} \dots (125)

(2) 圓函數及び雙曲線函數に依る解法

(a) z^3 + Pz + Q = 0 に於て P 及び Q が共に正である場合には雙曲線函數を用ひて解くのが便利である。但し此函數表が手許にない時には使用出来ぬのが不便である。雙曲線函數表の一二是次の通り。

Becker and Van Orstrand, Smithsonian Tables. (1923, Wash.)

林桂一氏, Sieben- und mehrstellige Tafeln der Kreis- und Hyperbelfunktionen. (1926, Julius Springer)

\sinh \varphi = \frac{\frac{1}{2} Q}{\frac{1}{3} P \sqrt{\frac{1}{3} P}} \dots (e)

から \varphi を知るときは z は次の如くなる。

z_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{3} P} \sinh \frac{1}{3} \varphi \dots (126)

(b) z^3 - Pz + Q = 0 に於て P 及び Q が共に正であつて \left(\frac{1}{3} P\right)^3 < \left(\frac{1}{2} Q\right)^2 なるときは、先づ

\cosh \varphi = \frac{\frac{1}{2} Q}{\frac{1}{3} P \sqrt{\frac{1}{3} P}} \dots (f)

から \varphi を求める。然れば z は次の如くなる。

z_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{3} P} \cosh \frac{1}{3} \varphi \dots (127)

(c) z^3 - Pz + Q = 0 に於て P 及び Q が共に正であつて、\left(\frac{1}{3} P\right)^3 > \left(\frac{1}{2} Q\right)^2 なるときは圓函數を用ひて解く。

\cos \varphi = \frac{\frac{1}{2} Q}{\frac{1}{3} P \sqrt{\frac{1}{3} P}} \dots (g)

から \varphi を求める。然れば z は次の如くなる。

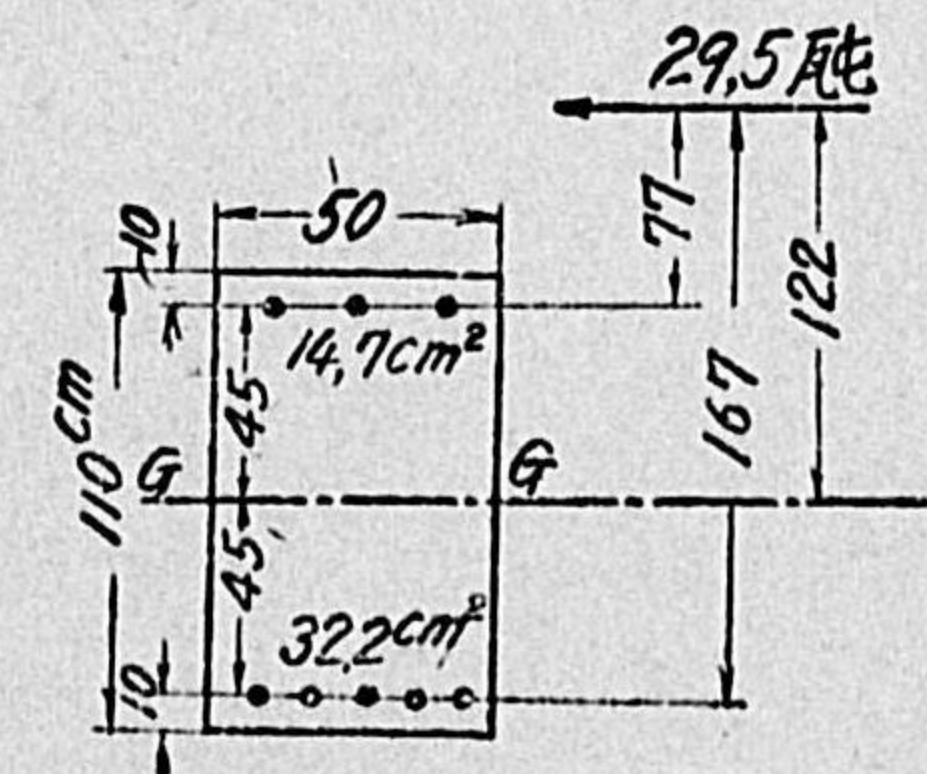
z_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{3} P} \cos \frac{1}{3} \varphi
z_2 = \pm \sqrt[3]{\frac{1}{3} P} \cos \left(60^\circ - \frac{1}{3} \varphi \right)
z_3 = \pm \sqrt[3]{\frac{1}{3} P} \cos \left(60^\circ + \frac{1}{3} \varphi \right) \dots (128)

(d) z^3 - Pz + Q = 0 に於て P 及び Q が共に正であつて \left(\frac{1}{3} P\right)^3 = \left(\frac{1}{2} Q\right)^2 のときは

z_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{3} P}
z_2 = z_3 = \pm \sqrt[3]{\frac{1}{3} P} \dots (129)

(例題) 第 91 圖の如き矩形断面が圖示の如き偏心軸方向圧縮力を受けた場合の中立軸の位置並にコンクリート及び鐵筋に生ずる最大應力度を算定せよ。(114) 式から

x^3 - x^2 \cdot 3 \left(\frac{110}{2} - 122 \right) + x \cdot \frac{6 \times 15}{50} [32.2 (122 + 45) + 14.7 (122 - 45)] - \frac{6 \times 15}{50} \left[32.2 \left(45 + \frac{110}{2} \right) (122 + 45) + 14.7 \left(\frac{110}{2} - 45 \right) (122 - 45) \right] = 0



第 91 圖

又は

$$x^3 + 201x^2 + 11,717x - 988,310 = 0$$

$$x = z - \frac{1}{3}a = z - \frac{201}{3} = z - 67 \text{ とする。}$$

$$P = b - \frac{1}{3}a^2 = 11,717 - \frac{1}{3} \times 201^2 = -1,750$$

$$Q = \frac{2}{27}a^3 - \frac{1}{3}ab + c = \frac{2}{27} \times 201^3 - \frac{1}{3} \times 201 \times 11,717 - 988,310 = -1,171,820$$

$$\therefore z^3 - 1,750z - 1,171,820 = 0 \text{ (125)式から } z = 111\text{cm}$$

$$\therefore x = 111 - 67 = 44\text{cm, 又は } k = \frac{44}{110} = 0.40$$

$$(116) \text{ 式から } \sigma_c = \frac{29,500 \times 122}{\frac{50 \times 44}{2} \left(\frac{110}{2} - \frac{44}{3} \right) + \frac{15 \times 14.7}{44} \left(45 - \frac{110}{2} + 44 \right) 45 + \frac{15 \times 32.2}{44} \left(45 + \frac{110}{2} - 44 \right) \times 45} = 45.1\text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{n\sigma_c}{x} \left(c + \frac{h}{2} - x \right) = \frac{15 \times 45.1}{44} \left(45 + \frac{110}{2} - 44 \right) = 861\text{kg/cm}^2$$

(例題) 第92圖の如き矩形断面の σ_c, σ_s を求む。

$$N = 15,000\text{kg}, \quad e = 90\text{cm}, \quad h = 60\text{cm},$$

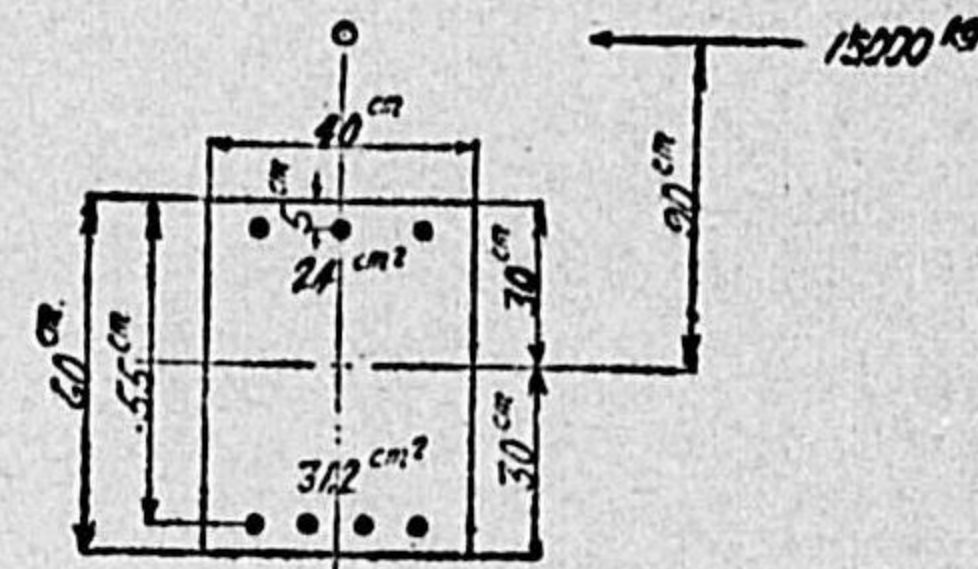
$$d = 55\text{cm}, \quad d' = 5\text{cm}, \quad b = 40\text{cm},$$

$$A_s' = 24.0\text{cm}^2, \quad A_s = 31.2\text{cm}^2,$$

$$p' = \frac{A_s'}{bh} = \frac{24.0}{40 \times 60} = 0.0100,$$

$$p = \frac{A_s}{bh} = \frac{31.2}{40 \times 60} = 0.0130 \quad e/h = \frac{90}{60} = 1.5$$

$$d/h = \frac{55}{60} = 0.917, \quad d'/h = \frac{5}{60} = 0.083$$



第92圖

(121) 式を用ひて

$$k^3 - 3(0.5 - 1.5)k^2 + 6 \times 15 [0.013(1.5 + 0.917 - 0.5) + 0.010(1.5 + 0.083 - 0.5)]k - 6 \times 15 [0.013 \times 0.917(1.5 + 0.917 - 0.5) + 0.010 \times 0.083(1.5 + 0.083 - 0.5)] = 0$$

即ち

$$k^3 + 3k^2 + 3.218k - 2.138 = 0$$

之を(131)節の一の方法にて解いて $k = 0.449$ を得る。

(122) 式に依つて σ_c を求める。

$$\sigma_c = \frac{15,000}{40 \times 60} \left[\frac{0.449}{\frac{1}{2} \times 0.449^2 + 15 \times 0.010(0.449 - 0.083) - 15 \times 0.013(0.917 - 0.449)} \right] = 43.5\text{kg/cm}^2$$

(124) 式から

$$\sigma_s = 15 \times 43.5 \times \frac{0.917 - 0.449}{0.449} = 678\text{kg/cm}^2$$

(132) 對稱鉄筋の場合 (軸方向圧縮力の作用點が矩形断面の心の外にある場合) 杭やアーチなどに於ては、引張鉄筋及び壓縮鉄筋が對稱的に用ひられる事が屢々である。此場合には $A_s =$

$A_s', c' = c$ である。

$d' = 0.1h, n = 15$ である時、 A_s/bh の種々の値に對して、 e/h の値が、次表に示す値よりも小であれば、全断面に壓縮應力を生じ、之よりも大であれば、断面の一部に引張應力を生ずる。

$A_s/bh = 0\%$	$\frac{1}{2}\%$	1%	1.5%	2%
$e/h = \frac{1}{6} = 0.166$	0.187	0.202	0.214	0.244

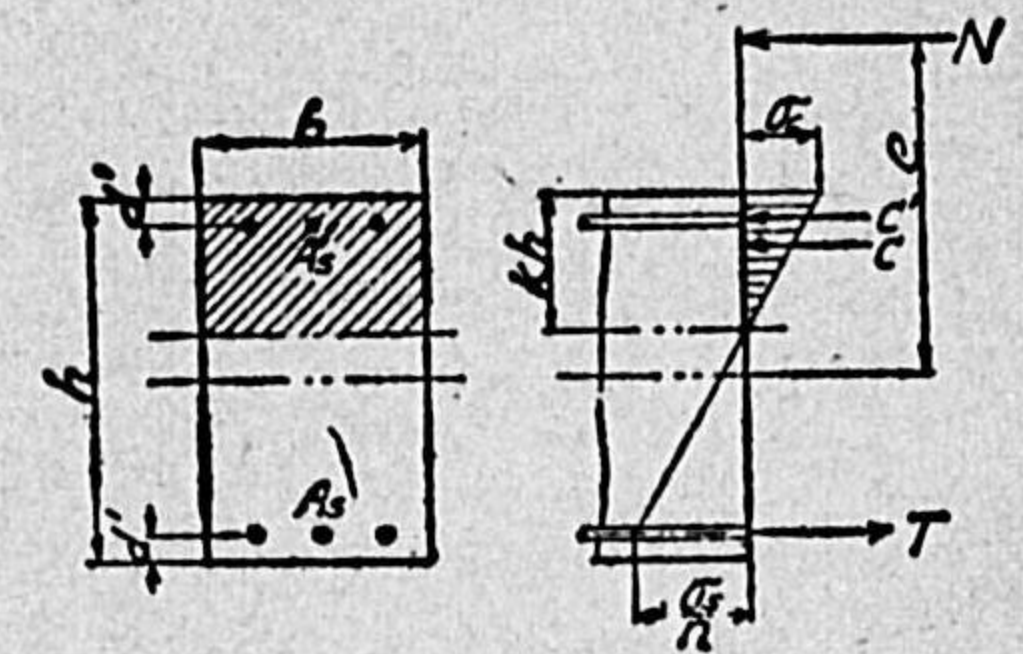
(114) 式に於て、 $A_s' = A_s, c' = c$ とおけば、中立軸の位置を求める次の如き三次方程式を得る。

$$x^3 - x^2 \cdot 3 \left(\frac{h}{2} - c \right) + x \cdot 12n \cdot e \frac{A_s}{b} - 6n \frac{A_s}{b} (2c^2 + hc) = 0 \dots\dots (130)$$

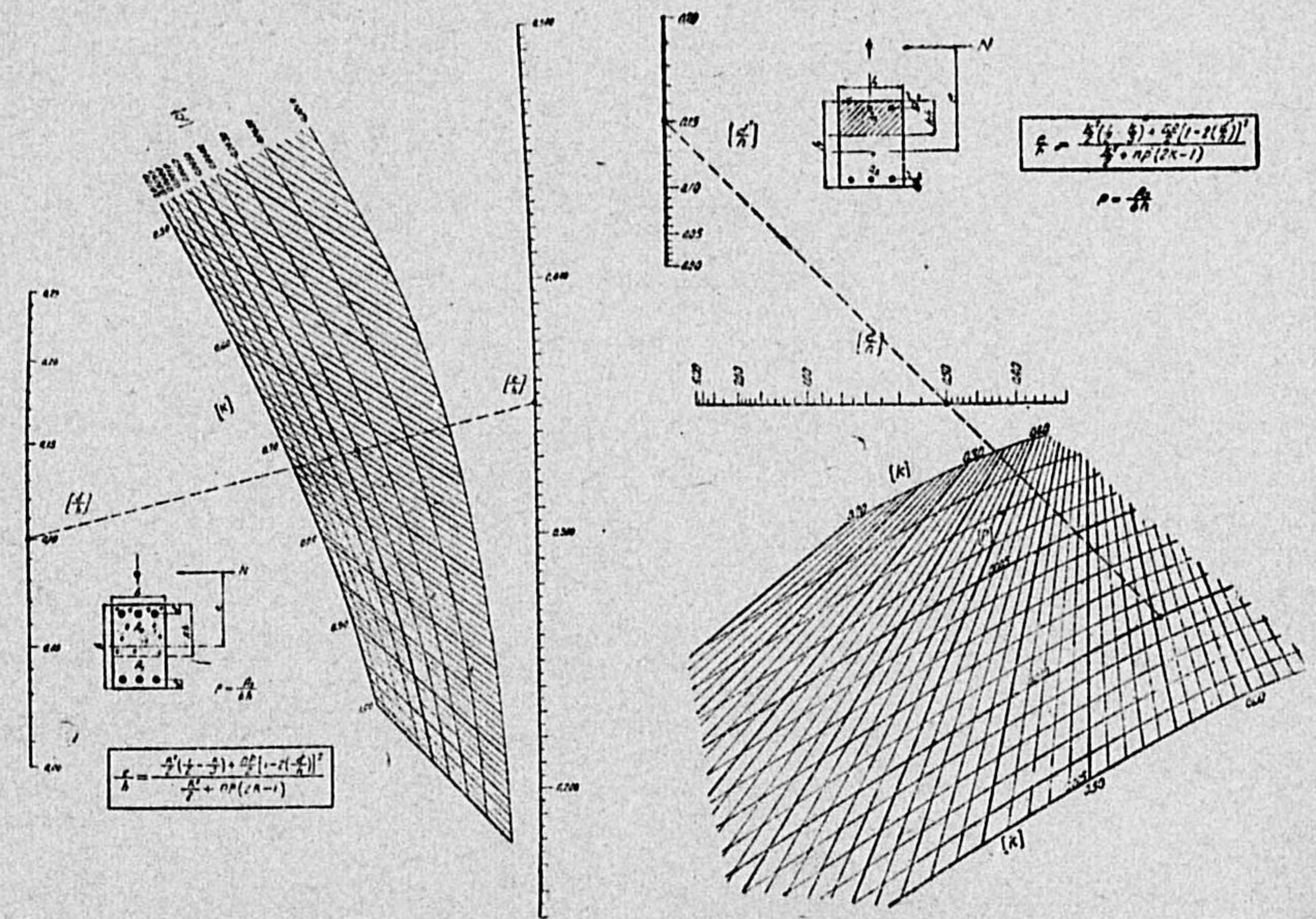
尙 (130) 節の諸公式は次の如くなる。

$$\sigma_s = n\sigma_c \frac{1 - k - \frac{d'}{h}}{k} \dots\dots (131)$$

$$p = \frac{A_s}{bh} \dots\dots (132)$$



第93圖



第94圖 對稱鉄筋の場合、中立軸を見出す圖表 ($e/h < 0.5$ の場合)

第95圖 對稱鉄筋の場合、中立軸を見出す圖表 ($e/h > 0.5$ の場合)

$$k^3 - 3\left(\frac{1}{2} - \frac{e}{h}\right)k^2 + 12np\left(\frac{e}{h}\right)k - 6np\left[\frac{e}{h} + \frac{1}{2}\left(1 - 2\frac{d'}{h}\right)^2\right] = 0 \dots\dots(133)$$

$$\sigma_c = \frac{N}{bh} \cdot \frac{k}{\frac{1}{2}k^2 + np(2k - 1)} \dots\dots(134)$$

$$\sigma_c = \frac{N\sigma}{bh^2L} \dots\dots(135)$$

$$L = \frac{k}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3}\right) + \frac{2np}{k} \left(\frac{1}{2} - \frac{d'}{h}\right)^2 \dots\dots(136)$$

(133) 式の k の値は (131) 節の方法でもよいが、第 94 圖及び第 95 圖からも見出す事が出来る。又 (136) 式の L の値は第 96 圖から簡単に見出すことが出来る。

(例題) 矩形断面を持つ鉄筋コンクリート部材が、或断面に於て、軸方向圧縮力 $N = 15,000$ kg 、曲げモーメント $M = 1,350,000$ $kgcm$ を受ける時、直接應力度を求め。但し引張鉄筋及び圧縮鉄筋は對稱的に配置せられ、 $A_s = A_s' = 24.54$ cm^2 、 $e = e' = 25.2$ cm 、 $b = 40$ cm 、 $h = 60$ cm である。

$$e = \frac{M}{N} = \frac{1,350,000}{15,000} = 90$$
 cm 、 $d' = \frac{1}{2}(60 - 25.2 \times 2) = 4.8$ cm 、 $p = \frac{A_s}{bh} = \frac{24.54}{40 \times 60} = 0.0102$ 、 $e/h = 90/60 = 1.5$ 、 $d'/h = 4.8/60 = 0.08$

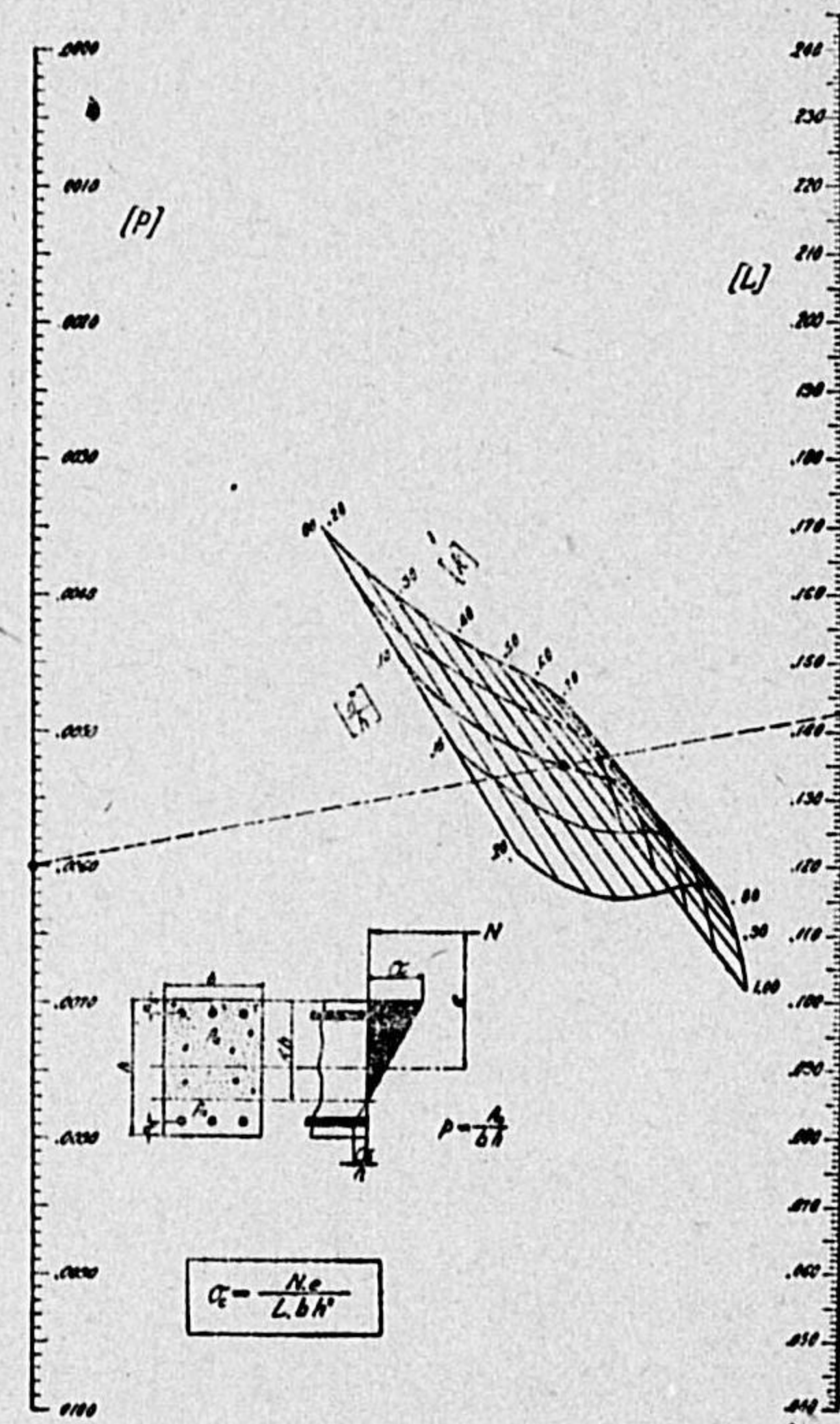
$$(133) \text{ 式から } k^3 - 3\left(\frac{1}{2} - 1.5\right)k^2 + 12 \times 15 \times 0.0102 \times 1.5k - 6 \times 15 \times 0.0102 \left[1.5 + \frac{1}{2}\left(1 - 2 \times 0.08\right)^2\right] = 0$$

$$k^3 + 3k^2 + 2.75k - 1.7 = 0$$

e/h の値は 0.5 より大であるから第 95 圖を用ひて k を求める。鉛直の尺度上に $d'/h = 0.08$ を探り、水平の尺度上に $e/h = 1.5$ を探り、此二点を結びて、其延長線が網の中で $p = 0.0102$ と交る點の k の目盛を読む。 $k = 0.41$ が得られる。

次に Curdan 氏の方法にて k の値を求めん。

$$k = z - \frac{1}{3} a = z - \frac{3}{3} = z - 1 \text{ とする。}$$



第 96 圖 k の値を用ひて σ_c を求める圖表

$$P = b - \frac{1}{3} a^2 = 2.75 - \frac{1}{3} \times 3^2 = 2.75 - 3 = -0.25$$

$$Q = \frac{2}{27} a^3 - \frac{1}{3} ab + c = \frac{2}{27} \times 3^3 - \frac{1}{3} \times 3 \times 2.75 - 1.7 = -2.45$$

$$z^3 - 0.25z - 2.45 = 0$$

上式の z の値は (125) 式から求められる。又は Robert Hauer 氏の解法に依りて z を求め得る。Robert Hauer 氏の解法は次の通り。

$$z^3 + Pz + Q = 0$$

に於て P が負である時は

$$y^2(y + 1) = \left| \frac{Q^2}{P^3} \right| = R \dots\dots(a)$$

P が正である時は

$$y^2(y - 1) = \left| \frac{Q^2}{P^3} \right| = R \dots\dots(b)$$

と置いて、(a) 式又は (b) 式を満足する y の値を求める。但し是等兩式の右邊は數値のみを考へる。 y を求めたならば、次式で z の値を計算する。

$$z = \frac{-Q}{|Py|} \dots\dots(c)$$

(a) 式の場合にては、 $R < 1$ なるときは、 y は \sqrt{R} よりも少し小であり、 $R > 1$ なるときは、 y は $(R)^{\frac{1}{3}}$ よりも少し小である。(b) の場合に於ては、 $R < 1$ なるときは、 y は $(1 + R)$ よりも小であり、 $R > 1$ なるときは $(R)^{\frac{1}{3}}$ よりも少し大である。

此例題に於ては P は負であるから、(a) 式に依つて y を求める。

$$y^2(y + 1) = \left| \frac{Q^2}{P^3} \right| = \left| \frac{2.45^2}{0.25^3} \right| = \left| \frac{6.0025}{0.0156} \right| = 385$$

之を満足する y の値は $(3.85)^{\frac{1}{3}}$ より少し小である。

$$\frac{1}{3} \log 385 = \frac{1}{3} \times 2.58546 = 0.86182$$

對數が之である數は約 7.27 である。

試算に依つて上式を満足する y の値を求めると、凡そ $y = 7$ である。故に (c) 式に依つて

$$z = \frac{-Q}{|Py|} = \frac{2.45}{0.25 \times 7} = 1.4 \quad k = z - 1 = 1.4 - 1 = 0.4$$

$k = 0.4$ を用ひるものとする。(134) 式にて σ_c を計算する。

$$\sigma_c = \frac{15,000}{40 \times 60} \cdot \frac{0.4}{\frac{0.4^2}{2} + 15 \times 0.0102 (2 \times 0.4 - 1)} = 50.5 \text{ kg/cm}^2$$

又 (136) 式で L を計算すれば次の通り。

$$L = \frac{0.4}{2} \left(0.5 - \frac{0.4}{3}\right) + \frac{2 \times 15 \times 0.0102}{0.4} (0.5 - 0.08)^2 = 0.208$$

第 96 圖から L を求めると次の通り。網の中で $k = 0.4$ と $d'/h = 0.08$ との交点を求め、此点と左方の $p = 0.0102$ とを結ぶと、右方に $L = 0.208$ を得る。(135) 式から σ_c を求めると次の通り。

$$\sigma_c = \frac{Ne}{bh^2L} = \frac{15,000 \times 90}{40 \times 60^2 \times 0.208} = 45 \text{ kg/cm}^2$$

σ_c を算出するに以上の二式があるが、一般に (135) 式、(136) 式を用ひる方が精度が大であるから、普通、之を用ひる。 σ_s の値は (131) 式から算出する。

$$\sigma_s = 15 \times 45 \times \frac{1 - 0.4 - 0.08}{0.4} = 877.5 \text{ kg/cm}^2$$

(133) 単鉄筋の場合 (軸方向圧縮力の作用点が矩形断面の心の外にある場合) 圧縮側の鉄筋が挿入されて居らない場合には、圧縮側及び引張側の両方に鉄筋を有する場合の諸式に於て $A'_s = 0$ と置けば、此場合に於ける諸式を得る。

$$p = \frac{A_s}{bh} \dots \dots \dots (137)$$

(121) 式から次式を得る。

$$k^3 - 3 \left(\frac{1}{2} - \frac{c}{h} \right) k^2 + 6np \left(\frac{c}{h} + \frac{d}{h} - \frac{1}{2} \right) k - 6np \frac{d}{h} \left(\frac{c}{h} + \frac{d}{h} - \frac{1}{2} \right) = 0 \dots (138)$$

(122) 式から
$$\sigma_c = \frac{N}{bh} \left[\frac{k}{\frac{1}{2} k^2 - np \left(\frac{d}{h} - k \right)} \right] \dots \dots \dots (139)$$

(123) 式から
$$\sigma_c = \frac{Ne}{bh^3} \left[\frac{k}{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3} \right) + np \left(\frac{d}{h} - k \right) \left(\frac{d}{h} - \frac{1}{2} \right)} \right] \dots \dots \dots (140)$$

(124) 式は其儘である。
$$\sigma_s = n\sigma_c \frac{\frac{d}{h} - k}{k} \dots \dots \dots (141)$$

又は (114) 式から次式を得る。

$$x^3 - x^2 \cdot 3 \left(\frac{h}{2} - c \right) + x \cdot \frac{6nA_s}{b} (c + c) - \frac{6nA_s}{b} \left(c + \frac{h}{2} \right) (c + c) = 0 \dots (142)$$

(115) 式から次式を得る。
$$\sigma_c = \frac{N}{\frac{bx}{2} - \frac{nA_s}{x} \left(c + \frac{h}{2} - x \right)} \dots \dots \dots (143)$$

(116) 式から次式を得る。
$$\sigma_c = \frac{M}{\frac{bx}{2} \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{3} \right) + \frac{nA_s c}{x} \left(c + \frac{h}{2} - x \right)} \dots \dots \dots (144)$$

$$\sigma_s = \frac{n\sigma_c}{x} \left(c + \frac{h}{2} - x \right) \dots \dots \dots (145)$$

(例題) $b = 40\text{cm}$, $h = 60\text{cm}$ なる矩形断面の鉄筋コンクリート部材が、或断面に於て、軸方向圧縮力 $N = 12,480\text{kg}$, 曲げモーメント $M = 718,750\text{kgcm}$ を受ける時、直接応力度を求め。但し鉄筋は引

張鉄筋のみで、其断面積は $A_s = 9.27\text{cm}^2$, 其位置は $c = 25.2\text{cm}$ である。

$$e = \frac{M}{N} = \frac{718,750}{12,480} = 57.6\text{cm}$$

(142) 式から

$$x^3 - x^2 \cdot 3 (30 - 57.6) + x \frac{6 \times 15 \times 9.27}{40} (57.6 + 25.2) - \frac{6 \times 15 \times 9.27}{40} (25.2 + 30) (57.6 + 25.2) = 0$$

$$x^3 + 82.8x^2 + 1,725x - 95,200 = 0 \quad \therefore x = 22.95\text{cm}$$

(144) 式から
$$\sigma_c = \frac{718,750}{40 \times 22.95 \left(\frac{60}{2} - \frac{22.95}{3} \right) + \frac{15 \times 9.27 \times 25.2}{22.95} \left(25.2 + \frac{60}{2} - 22.95 \right)} = 47.3 \text{ kg/cm}^2$$

(145) 式から
$$\sigma_s = \frac{15 \times 47.3}{22.95} \left(25.2 + \frac{60}{2} - 22.95 \right) = 998 \text{ kg/cm}^2$$

(134) 断面及び鉄筋量の算定 断面の寸法及び σ_c, σ_s が與へられて居る時、鉄筋量 A_s 及び A'_s を求め 断面の寸法及び許容応力度 σ_c, σ_s が與へられて居る場合、其許容応力度に丁度達する様な鉄筋断面積 A_s 及び A'_s を求めん。

$$k = \frac{n\sigma_c}{n\sigma_c + \sigma_s}$$

圧縮鉄筋に於ける圧縮応力度を σ'_s とすれば

$$\sigma'_s = n\sigma_c \frac{x - d'}{x} \dots \dots \dots (146)$$

C をコンクリートに働く全圧縮應力とすれば $C = \frac{bx}{2} \sigma_c$

C' を圧縮鉄筋に働く全圧縮應力とすれば、 $C' = \sigma'_s A'_s$ 、 T を引張鉄筋に働く全引張應力とすれば、

$$T = \sigma_s A_s$$

圧縮鉄筋断面の圖心に關する N のモーメント M'_s は、同じ點に關する應力のモーメントに等しいから

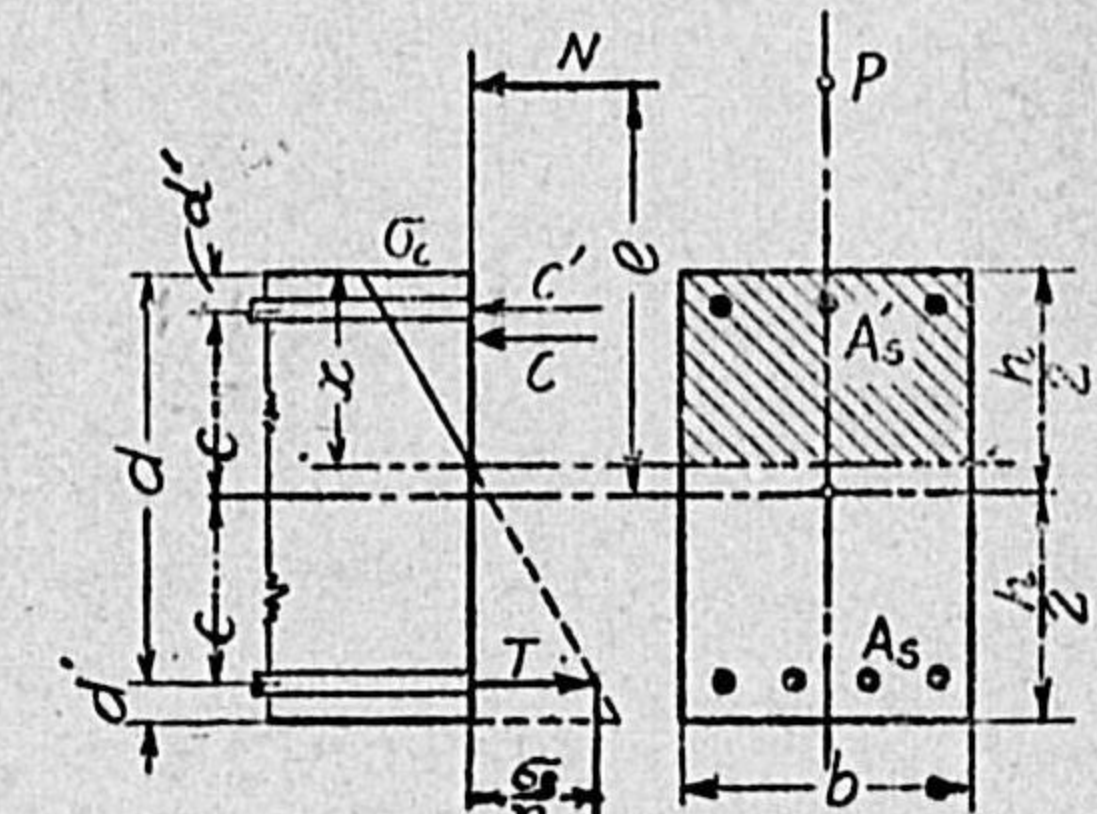
$$N(c - c) = M'_s = A_s \sigma_s (d - d') - \sigma_c \frac{bx}{2} \left(\frac{x}{3} - d' \right)$$

同様に引張鉄筋の圖心に關するモーメントの式は

$$N(c + c) = M_s = A'_s \sigma'_s (d - d') + \sigma_c \frac{bx}{2} \left(d - \frac{x}{3} \right)$$

$$\therefore A_s = \frac{M'_s + \sigma_c \frac{bx}{2} \left(\frac{x}{3} - d' \right)}{\sigma_s (d - d')} \dots \dots \dots (147)$$

$$A'_s = \frac{M_s - \sigma_c \frac{bx}{2} \left(d - \frac{x}{3} \right)}{\sigma'_s (d - d')} \dots \dots \dots (148)$$

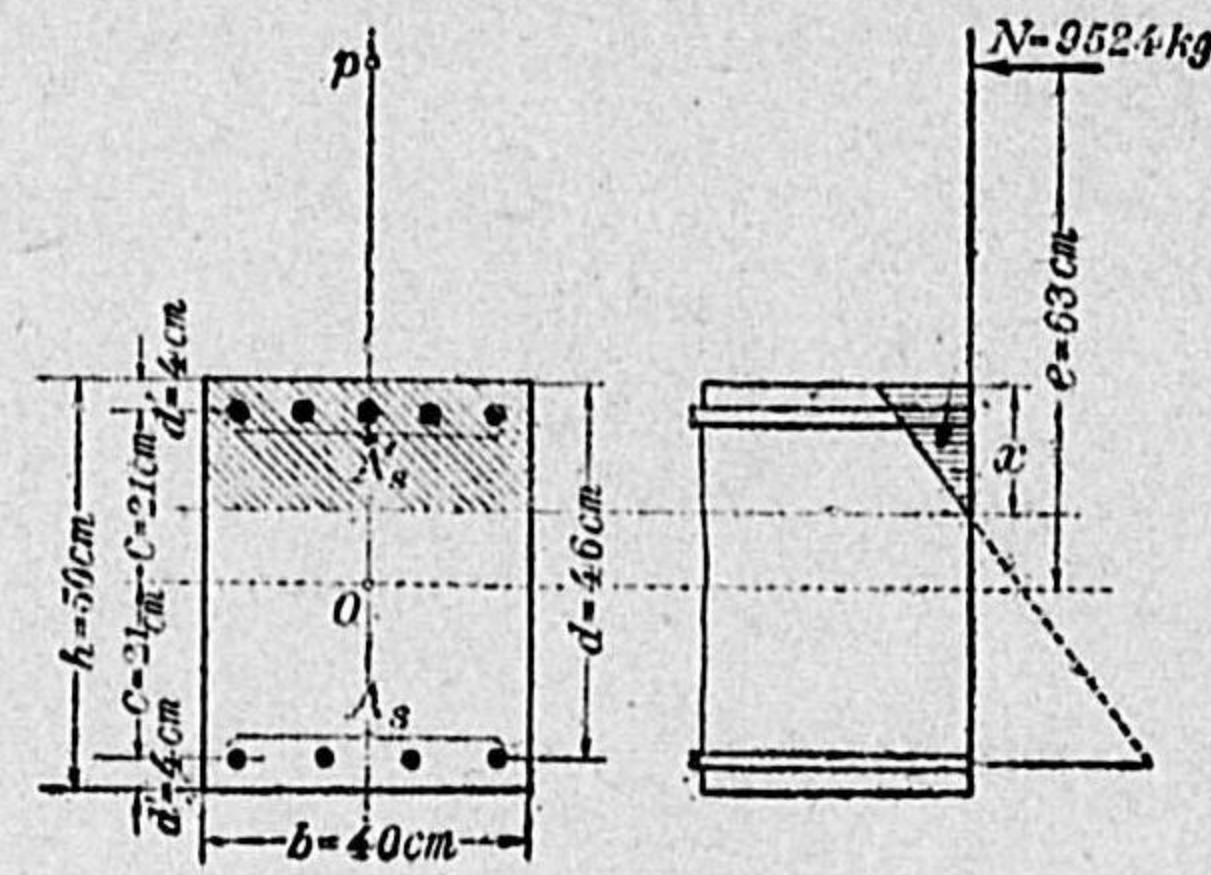


第 97 圖

$$N = C + C' - T, \quad T = C + C' - N, \quad A_s = \frac{C + C' - N}{\sigma_s}$$

(例題) 第 98 圖に示してある $b = 40\text{cm}$, $h = 50\text{cm}$ である矩形断面に於て、偏心距離 $e = 63\text{cm}$ である點に、軸方向圧縮力 $N = 9,524\text{kg}$ が働く時、コンクリート及び引張鉄筋に於ける應力度が同時に、 $\sigma_c = 40\text{kg/cm}^2$, $\sigma_s = 1,200\text{kg/cm}^2$ に達する様な引張及び壓縮鉄筋断面面積を求めよ。

$$x = \frac{n\sigma_c}{n\sigma_c + \sigma_s} d = kd = 0.333d = 0.333 \times 46 = 15.33\text{cm}$$



第 98 圖

$$\sigma_s' = 15 \times 40 \times \frac{15.33 - 4}{15.33} = 443\text{kg/cm}^2$$

$$M_s' = 9,524 (63 - 21) = 400,000\text{kgcm}$$

$$M_s = 9,524 (63 + 21) = 800,000\text{kgcm}$$

(147) 式から $A_s = \frac{400,000 + 40 \times \frac{40 \times 15.33}{2} \left(\frac{15.33}{3} - 4 \right)}{1,200 (46 - 4)} = 8.16\text{cm}^2$

(148) 式から $A_s' = \frac{800,000 - 40 \times \frac{40 \times 15.33}{2} \left(46 - \frac{15.33}{3} \right)}{443 (46 - 4)} = 16.04\text{cm}^2$

$$\therefore A_s + A_s' = 24.2\text{cm}^2$$

此例題に於て σ_s を許容引張應力度以下に選んで例へば $\sigma_s = 800\text{kg/cm}^2$ とすれば、上記と全く同様にして、 $A_s = 13.11\text{cm}^2$, $A_s' = 8.86\text{cm}^2$ $\therefore A_s + A_s' = 21.97\text{cm}^2 < 24.2\text{cm}^2$

此場合には引張鉄筋の應力度を許容應力度以下に選んで鉄筋断面面積を算定する方が、コンクリート及び引張鉄筋に於ける應力度が同時に夫等の許容應力度に達する様に、鉄筋断面面積を算定するよりも、経済的な結果が得られる事が判る。之は引張鉄筋に於ける應力度を小さく選べば、其断面面積は増加するが、之がために、断面の壓縮側表面から中立軸に至る距離 x が大となつて、壓縮コンクリート断面面積が大となつて、壓縮鉄筋断面面積を減じ、此影響の方が、引張鉄筋断面面積の増加よりも大なるためである。勿論引張鉄筋断面面積の増加に依る x の増加の影響は、 e/h の値に依つて異なるものである。

(135) 矩形断面の寸法が與へられて居る時に、引張及び壓縮鉄筋断面面積の和が最小となる様な鉄筋断面面積の算定 次に理論を省略して、例題を以て其方法を示す。第 99 圖に於て、最小鉄筋量 $A_s + A_s'$ を求めん。

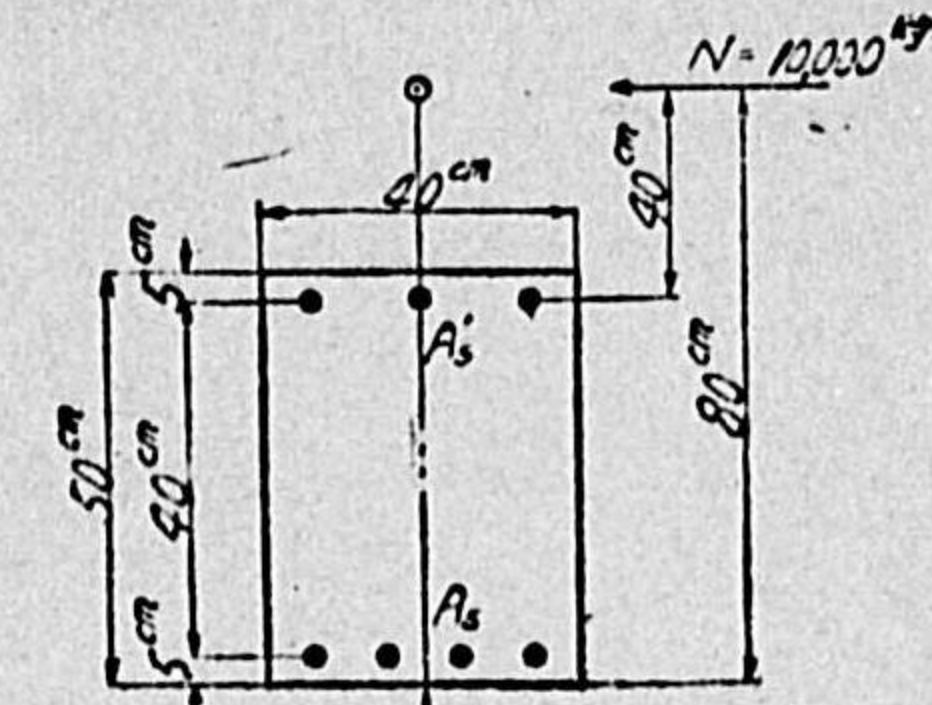
$N = 10,000\text{kg}$, $b = 40\text{cm}$, $h = 50\text{cm}$, $d' = 5\text{cm}$, $d'/h = 5/50 = 0.1$, $e = 8\text{cm}$, $e' = 40\text{cm}$, $\sigma_c = 50\text{kg/cm}^2$ とする。

$$Ne = 10,000 \times 80 = 800,000\text{kgcm}$$

$$Ne' = 10,000 \times 40 = 400,000\text{kgcm}$$

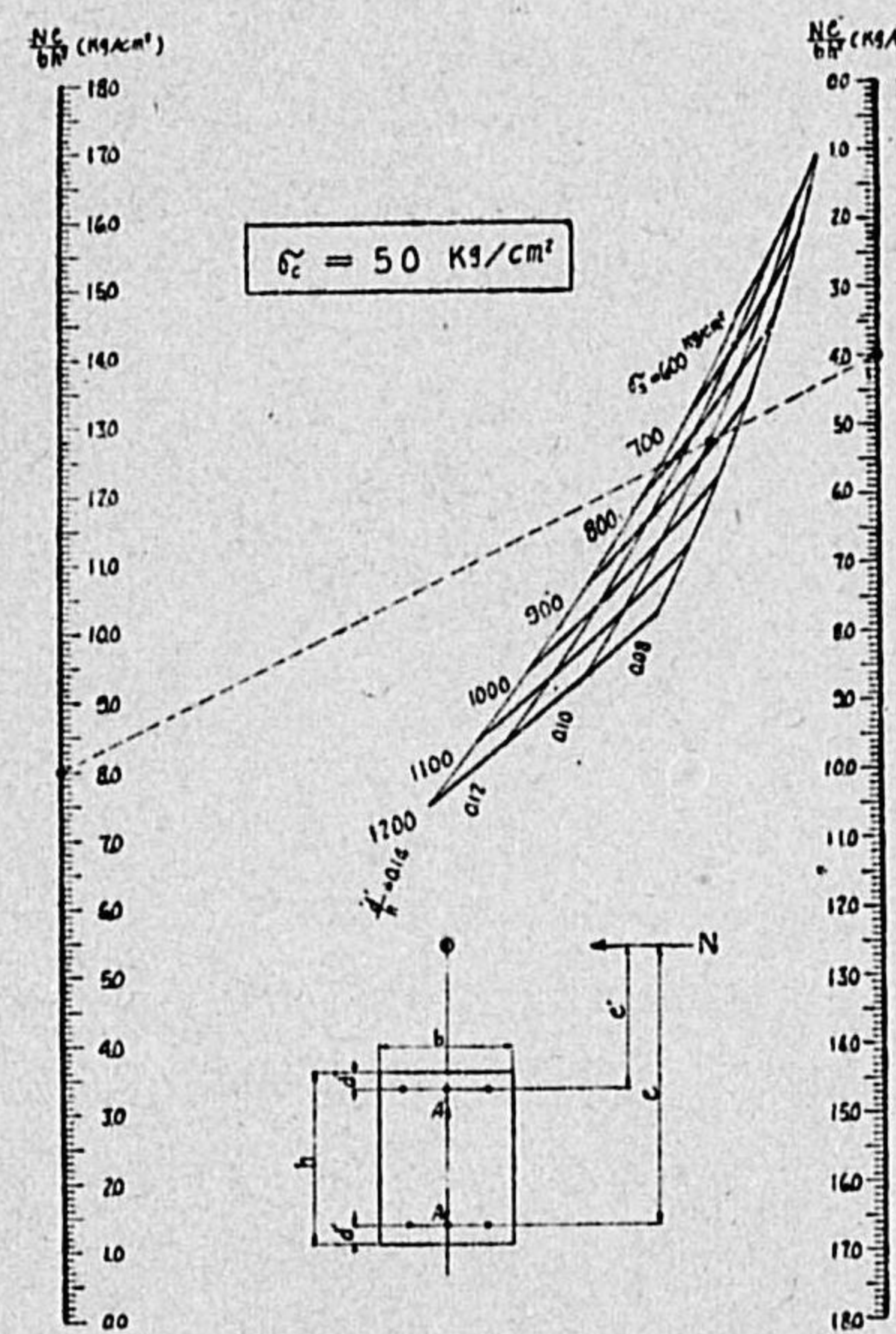
$$\frac{Ne}{bh^2} = \frac{800,000}{40 \times 50^2} = 8.0\text{kg/cm}^2$$

$$\frac{Ne'}{bh^2} = \frac{400,000}{40 \times 50^2} = 4.0\text{kg/cm}^2$$

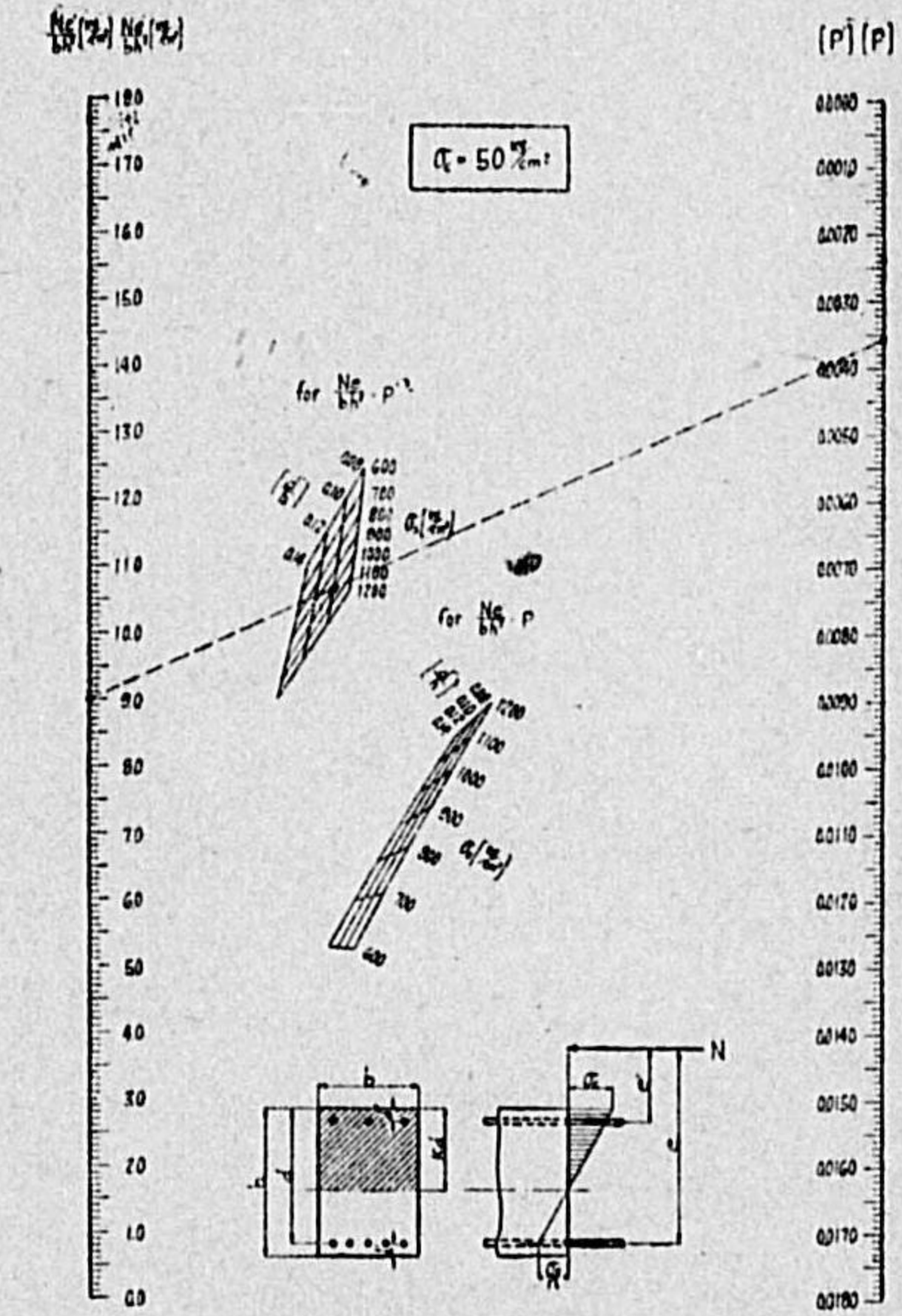


第 99 圖

第 100 圖を用ひて左方に $Ne/bh^2 = 8.0$ を探り、右方に $Ne'/bh^2 = 4.0$ を探り、此兩點を結ぶ線が中央の網目の $d'/h = 0.1$ の線と交る點の σ_s の値を讀む。 $\sigma_s = 880\text{kg/cm}^2$ を得る。即ち此場合に於て



第 100 圖 最小鉄筋量を求めるための σ_s の値を見出す圖表、 $\sigma_c = 50\text{kg/cm}^2$ と假定する



第 101 圖

は $\sigma_c = 50\text{kg/cm}^2$, $\sigma_s = 1,200\text{kg/cm}^2$ として $A_s + A_s'$ を計算するよりも、 $\sigma_c = 50\text{kg/cm}^2$, $\sigma_s = 880\text{kg/cm}^2$ として $A_s + A_s'$ を計算する方が、其鉄筋断面面積が小である。次に第 101 圖を使用して $Ne'/bh^2 = 4.0$ を左方に探り、上方の網目内で $d'/h = 0.1$ と $\sigma_s = 880\text{kg/cm}^2$ との交點を求め、之を結びて右方に延長して $p = 0.003$ を得る。又 p を求めるには左方に $Ne'/bh^2 = 4.0$ を探り、下方の

網の内径 $d'/h = 0.1$ と $\sigma_s = 880 \text{ kg/cm}^2$ との交点を求め、之を結びて右方に延長して $p = 0.0082$ を得る。故に

$$A_s' = 0.0003 \times 40 \times 50 = 0.6 \text{ cm}^2, \quad A_s = 0.0062 \times 40 \times 50 = 12.4 \text{ cm}^2$$

$$A_s + A_s' = 13.0 \text{ cm}^2$$

次に $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ として上記と全く同様に計算すると

$$p' = 0.0020 \quad p = 0.0043$$

$$A_s' = 0.0020 \times 40 \times 50 = 5.8 \text{ cm}^2, \quad A_s = 0.0043 \times 40 \times 50 = 8.6 \text{ cm}^2,$$

$$A_s + A_s' = 14.4 \text{ cm}^2 > 13.0 \text{ cm}^2$$

$$\left[\frac{N_0}{\sigma_c b h^2} \left(1 - \frac{1}{a}\right) + \frac{k^3 a^2}{3} - \frac{k^2 a}{2} + k a (1 - a) \right] \div \left(k - \frac{1}{a} + 1\right)^2$$

$$+ \left[\frac{N_0'}{\sigma_c' b h^2} + \frac{a k^2}{2} - \frac{a^2 k^3}{3} - a k (1 - a) \right] \div (1 - k)^2 = 0, \quad a = \frac{d}{h}$$

上式は $A_s + A_s'$ が最小であると云ふ関係式である。第 100 圖は上式の関係を圖示したるもので $N_0/\sigma_c b h^2$, $N_0'/\sigma_c' b h^2$ 及び a が判つて居つて、上式の條件に適當する σ_s の値を見出すに便利なる圖である。但し此圖は $\sigma_c = 50 \text{ kg/cm}^2$ と假定して作られて居る。

$$p' = \left[\frac{N_0}{\sigma_c' b h^2} k - \frac{k^2 a^2}{2} \left(1 - \frac{k}{3}\right) \right] \div \left(k - \frac{1}{a} + 1\right) (2a - 1)$$

$$p = \left[\frac{N_0'}{\sigma_c b h^2} k - \frac{k^2 a^2}{2} \left(\frac{1}{a} - 1 - \frac{k}{3}\right) \right] \div (1 - k) (2a - 1)$$

第 101 圖は $\sigma_c = 50 \text{ kg/cm}^2$ として、 a , σ_s 等の種々の値に對する p , p' を求めるに便利なる圖である。

(136) 對稱断面の鐵筋断面積及び断面寸法の算定 拱橋及びラーメン等の構造物には鐵筋が屢々對稱的に配置されて居る。此場合には軸方向壓縮力 N と曲げモーメント M とが與へられるものであつて、断面の寸法及び鐵筋断面積の算定は次の通り。

$$A_s = A_s'$$

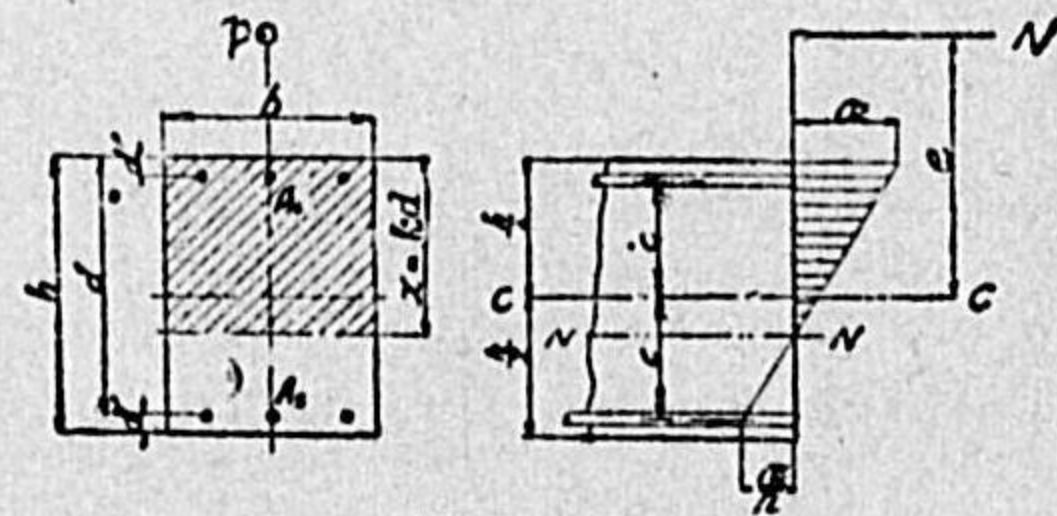
$$N = \sigma_c \frac{bkd}{2} + A_s (\sigma_s' - \sigma_s) \dots\dots (a)$$

断面の中心線 CC' 軸に關する應力のモーメントは外力に依るモーメントに等しい。

$$M = \sigma_c \frac{bkd}{2} \left(\frac{h}{2} - \frac{kd}{3}\right) + e A_s (\sigma_s' + \sigma_s) \dots\dots (b)$$

但 $\sigma_s' = n \sigma_c (k - d'/d)/k$, $\sigma_s = n \sigma_c (1 - k)/k$ であるから

$$\sigma_s' - \sigma_s = \frac{n \sigma_c}{k} \left[(k - d'/d) - (1 - k) \right] = \frac{n \sigma_c}{k} (2k - d'/d - 1) = \frac{n \sigma_c}{k} (2k - h/d)$$



第 102 圖

$$\sigma_s' + \sigma_s = \frac{n \sigma_c}{k} \left[(k - d'/d) + (1 - k) \right] = \frac{n \sigma_c}{k} (1 - d'/d) = \frac{n \sigma_c}{k} (2 - h/d)$$

$d/h = B$ と置けば $d'/h = (h - d)/h = 1 - B$, $e = h/2 - d = h(B - 1/2)$, $d'/d = (h - d)/Bh = 1/B - 1$ であるから (a) 式、(b) 式は次の如くなる。

$$N = \sigma_c \frac{bkBh}{2} + A_s (2k - h/d) \frac{n \sigma_c}{k} \dots\dots (c)$$

$$M = \sigma_c \frac{bkBh^2}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{kB}{3}\right) + h (1/2 - B) A_s \left(2 - \frac{1}{B}\right) \frac{n \sigma_c}{k} \dots\dots (d)$$

(c), (d) 兩式から A_s を消去して次式を得る。

$$\frac{B(N - \sigma_c bkBh/2)}{2k - 1/B} = \frac{k}{h(1/2 - B)(2 - 1/B)} \left[M - \sigma_c \frac{Bk}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{kB}{3}\right) bh^2 \right]$$

今 $N_1 = \frac{N}{b}$, $e = \frac{M}{N}$ として上式を少しく變形すれば

$$\frac{e}{N_1} = \sigma_c \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} - \frac{kB}{3} - \frac{(2B-1)(B-0.5)}{(2kB-1)} \right] \left(\frac{h}{N_1}\right)^2 + \frac{(2B-1)(B-0.5)}{(2kB-1)} \left(\frac{h}{N_1}\right) \dots\dots (149)$$

(149) 式を h/N_1 について解けば h を求め得る。(a) 式から鐵筋断面積 A_s を求めることが出来る、即ち

$$A_s = \frac{k}{n \sigma_c (2k - 1/B)} \left(N - \sigma_c \frac{Bkh}{2} \right) \dots\dots (150)$$

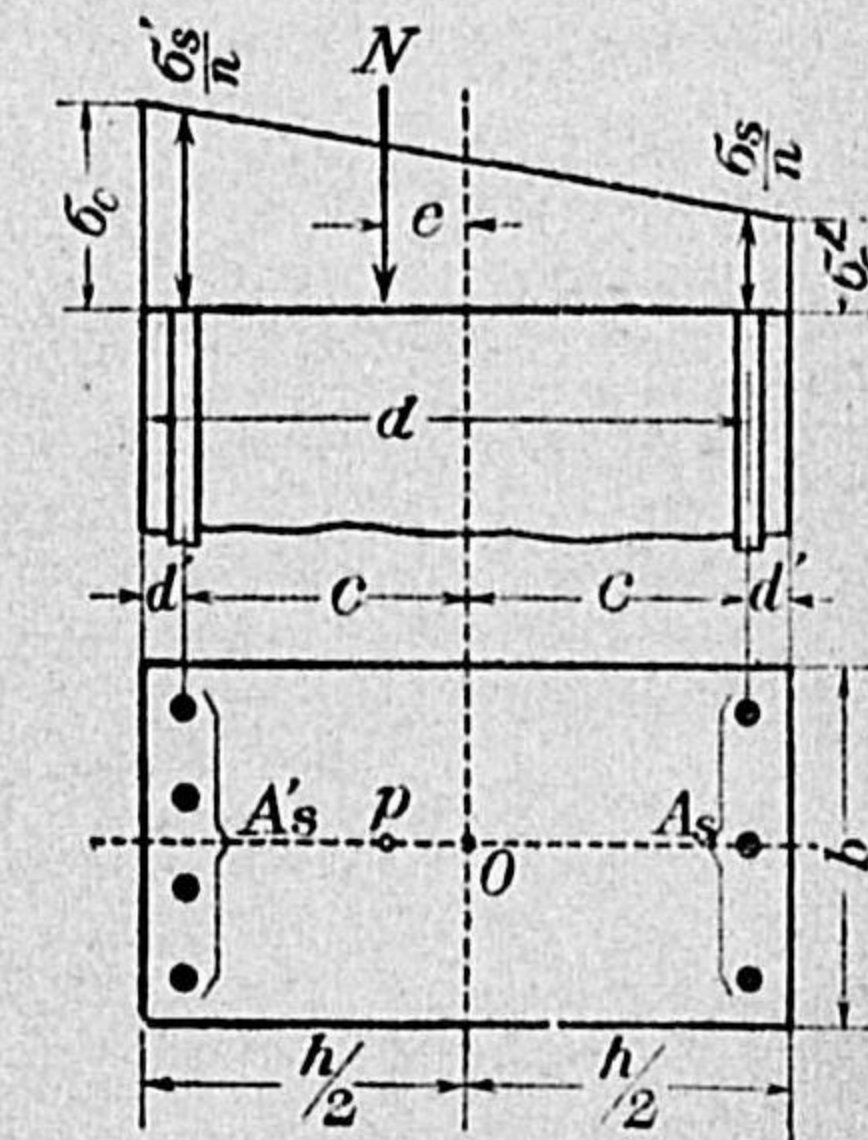
(例題) $N = 20,000 \text{ kg}$, $M = 160,000 \text{ kgm}$, $b = 50 \text{ cm}$, $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$, $d'/h = 0.06$ として、 h 及び A_s を求めよ。

$e = M/N = 160,000/20,000 = 8 \text{ m} = 800 \text{ cm}$, $N_1 = N/b = 20,000/50 = 400 \text{ kg/cm}$, $e/N_1 = 800/400 = 2.00$, $\sigma_s = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ とすれば $k = n \sigma_c / (n \sigma_c + \sigma_s) = 0.333$
 $B = d/h = h(1 - 0.06)/h = 0.94$

是等の値を (149) 式に代入して $h/N_1 = 0.531$ を得る。故に $h = 0.531 N_1 = 0.531 \times 400 = 212 \text{ cm}$, 次に (150) 式から A_s を求めると $A_s = 64.6 \text{ cm}^2$ を得る。

(137) 矩形断面に軸方向壓縮力と曲げモーメントとが働き全断面に壓縮應力のみを生ずる場合の断面の算定

コンクリートに於ける壓縮應力度が許容曲げ壓縮應力度を超過しないための壓縮鐵筋断面積を算定せん。壓縮鐵筋は、之を其反對側にある軸方向鐵筋(断面積 A_s) と帶鐵筋で緊結する。 A_s の値は柱の高さと横寸法との關係に依つて、コンクリート断面積の 0.25%~0.4% 位に採るのが適當である。



第 103 圖

b, h, e, e', d, d' 及び A_s は與へられて居るものとし、 σ_c はコンクリートの許容曲げ圧縮應力度に採る。

$$\sigma_s = n \left(\sigma_c' + \frac{\sigma_c - \sigma_c' d'}{h} \right), \quad \sigma_s' = n \left(\sigma_c' + \frac{\sigma_c - \sigma_c' d}{h} \right)$$

断面に於ける全圧縮應力は、 N に等しいから

$$N = \frac{\sigma_c + \sigma_c'}{2} lh + nA_s \left(\sigma_c' + \frac{\sigma_c - \sigma_c' d'}{h} \right) + nA_s' \left(\sigma_c' + \frac{\sigma_c - \sigma_c' d}{h} \right)$$

$$\therefore A_s' = \frac{N - \frac{\sigma_c + \sigma_c'}{2} lh - nA_s \left(\sigma_c' + \frac{\sigma_c - \sigma_c' d'}{h} \right)}{n \left(\sigma_c' + \frac{\sigma_c - \sigma_c' d}{h} \right)} \dots (151)$$

A_s' の圖心に關してモーメントを採りて

$$N(e - e') = nA_s \left(\sigma_c' + \frac{\sigma_c - \sigma_c' d'}{h} \right) \cdot 2e + \sigma_c' lhc + \frac{\sigma_c - \sigma_c' d}{2} bh \left(\frac{h}{3} - d' \right)$$

$$\therefore \sigma_c' = \frac{N(e - e') - 2nA_s \sigma_c' \frac{d'}{h} c - \frac{\sigma_c l h}{2} \left(\frac{h}{3} - d' \right)}{2nA_s \frac{c}{h} d + \frac{bh}{6} (2h - 3d')} \dots (152)$$

壓縮鐵筋のみを使用する場合は $A_s = 0$ である。

(例題) 第104圖は矩形柱の断面である。コンクリートの最大壓縮應力度が許容曲げ壓縮應力度 $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$ になる様な壓縮鐵筋断面積を求む。

$N = 85,000 \text{ kg}$, $e = 8 \text{ cm}$, $b = 50 \text{ cm}$, $h = 60 \text{ cm}$, $d' = 4.8 \text{ cm}$, $d = 55.2 \text{ cm}$, $e = 25.2 \text{ cm}$

鐵筋が存在しないものとする、最大壓縮應力度は

$$\sigma = \frac{6N}{bh^2} (e + h/6) = \frac{6 \times 85,000}{50 \times 60^2} (8 + 60/6) = 51 \text{ kg/cm}^2$$

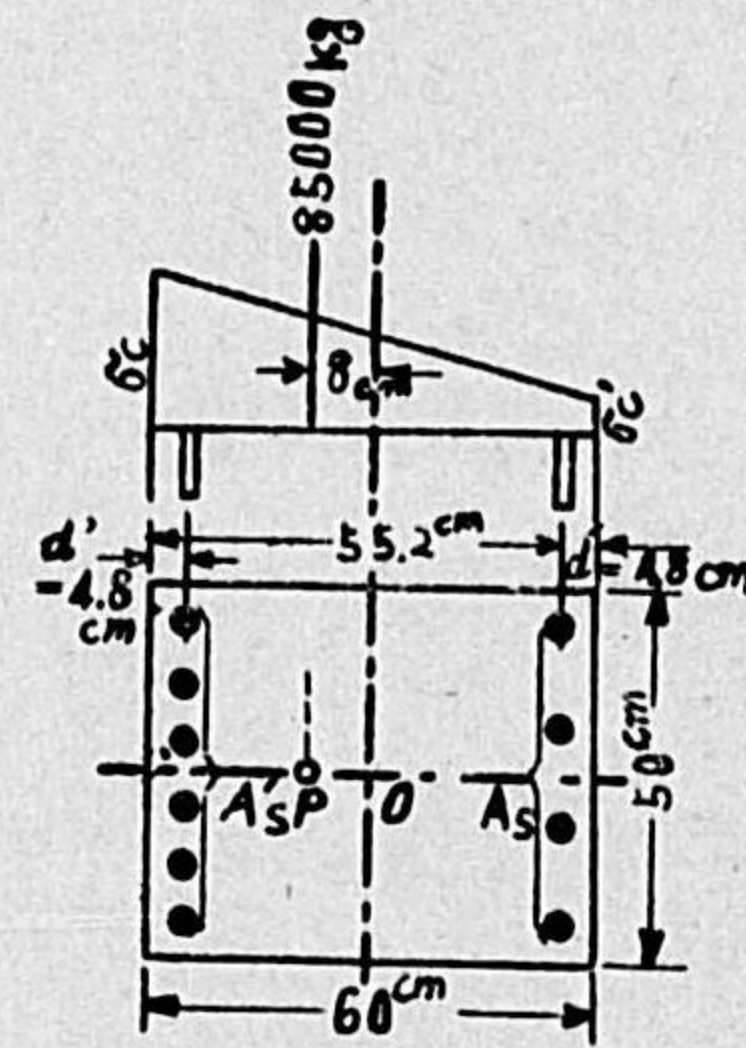
コンクリート断面積を増加しないものとするれば、コンクリートに於ける最大壓縮應力度を 40 kg/cm^2 にするためには、壓縮鐵筋を用ひる必要がある。 A_s をコンクリート断面積の 0.4% とする。

$$A_s = 0.004 \times 50 \times 60 = 12 \text{ cm}^2$$

(152) 式に依つて

$$\sigma_c' = \frac{85,000(25.2 - 8) - 2 \times 15 \times 12 \times 40 \times \frac{4.8}{60} \times 25.2 - \frac{40}{2} \times 50 \times 60 \left(\frac{60}{3} - 4.8 \right)}{2 \times 15 \times 12 \times \frac{25.2}{60} \times 55.2 + \frac{50 \times 60}{6} (2 \times 60 - 3 \times 4.8)} = 8.52 \text{ kg/cm}^2$$

(151) 式に依つて



第104圖

$$A_s' = \frac{85,000 - \frac{40 + 8.52}{2} \times 50 \times 60 - 15 \times 12 \left(8.52 + \frac{40 - 8.52}{60} \times 4.8 \right)}{15 \left(8.52 + \frac{40 - 8.52}{60} \times 55.2 \right)} = 18.2 \text{ cm}^2$$

(138) コンクリートに於ける壓縮應力度が許容曲げ壓縮應力度を超過しないための對稱な壓縮鐵筋断面積の算定

第103圖に於て $A_s = A_s'$ 、等値全断面の圖心とコンクリート断面の圖心とは一致する。今等値全断面の圖心と N なる偏心軸方向壓縮力との距離を e とすれば

$$\sigma_c = \frac{N}{A_i} + \frac{N_e}{I_i} x \quad (101) \text{ 式参照}$$

$$A_i = bh + 2nA_s, \quad x = h/2, \quad I_i = \frac{bh^3}{12} + 2e^2 nA_s$$

$$\therefore \sigma_c = \frac{N}{bh + 2nA_s} + \frac{N_e}{\frac{bh^3}{12} + 2e^2 nA_s} \cdot \frac{h}{2} \dots (153)$$

(153) 式に於て $A_s = p' h = A_s'$, $n = 15$, $e = 0.42h$ と置けば

$$\sigma_c = \frac{N}{lh} \left(\frac{1}{1 + 30p} + \frac{6}{1 + 63.504p} \frac{e}{h} \right) \dots (154)$$

第105圖は(154)式に依つて p を計算する手数を省くための圖である。第105圖は $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$ に對して作られたるものであるが、 σ_c の他の値に對しても用ひられる、例へば $\sigma_c = 35 \text{ kg/cm}^2$ であれば與へられた N を $\frac{40}{35}$ 倍した値を圖表に於ける N の値として、之に相等する p の値を求め、 $\sigma_c = 50 \text{ kg/cm}^2$ であれば、 N を $\frac{40}{50}$ 倍した値を用ひて、 p の値を求むればよい。尙此圖はコンクリートに於ける引張應力度が 10 kg/cm^2 に相當する迄の e/h の値について曲線が引いてある。

(例題) $b = 50 \text{ cm}$, $h = 60 \text{ cm}$ なる柱の断面に於て $e = 8 \text{ cm}$ の點に $N = 85,000 \text{ kg}$ の軸方向壓縮力が加はる場合、其鐵筋断面積を求む。許容曲げ壓縮應力度 $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$, $A_s = A_s'$,

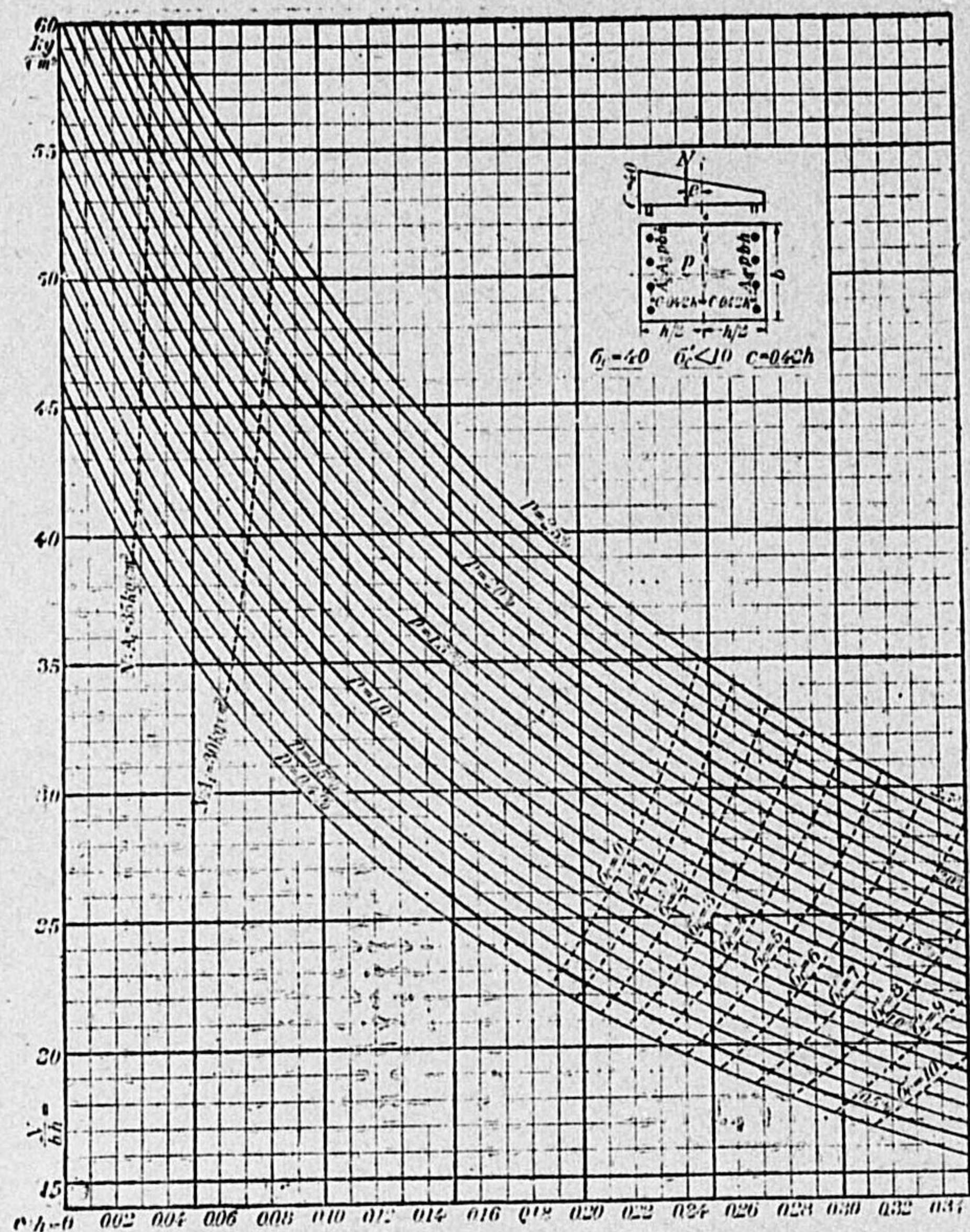
$$e = 0.42h = 25.2 \text{ cm}$$

$$\frac{N}{bh} = \frac{85,000}{50 \times 60} = 28.33 \text{ kg/cm}^2, \quad \frac{e}{h} = \frac{8}{60} = 0.133, \text{ 是等の値に相當する } p \text{ の値を第105圖から求めると、} p = 0.63\%, \text{ 故に } A_s = A_s' = 0.63 \times \frac{50 \times 60}{100} = 18.9 \text{ cm}^2,$$

片持梁又は連續梁等を支持する柱などの如く、偏心軸方向荷重を受ける柱に於て、動荷重の位置に依つて偏心距離が變化し、軸方向荷重の作用點が、断面の中心の右又は左に来る事がある。若し兩側に於ける偏心距離及び軸方向荷重の値に大差ない時には、對稱なる鐵筋を使用することとなる。對稱な軸方向鐵筋の配置は、偏心荷重の作用點が、断面の中心の兩側に来る時だけに用ひるのがよい。

$e = 15 \text{ cm}$ とすれば、 $e/h = 15/60 = 0.25$ 第105圖から $p = 1.62\%$, $A_s = A_s' = 48.6 \text{ cm}^2$ 。コンクリートに於ける引張應力度は σ_c' の曲線から、 $\sigma_c' = 1.8 \text{ kg/cm}^2$ である。

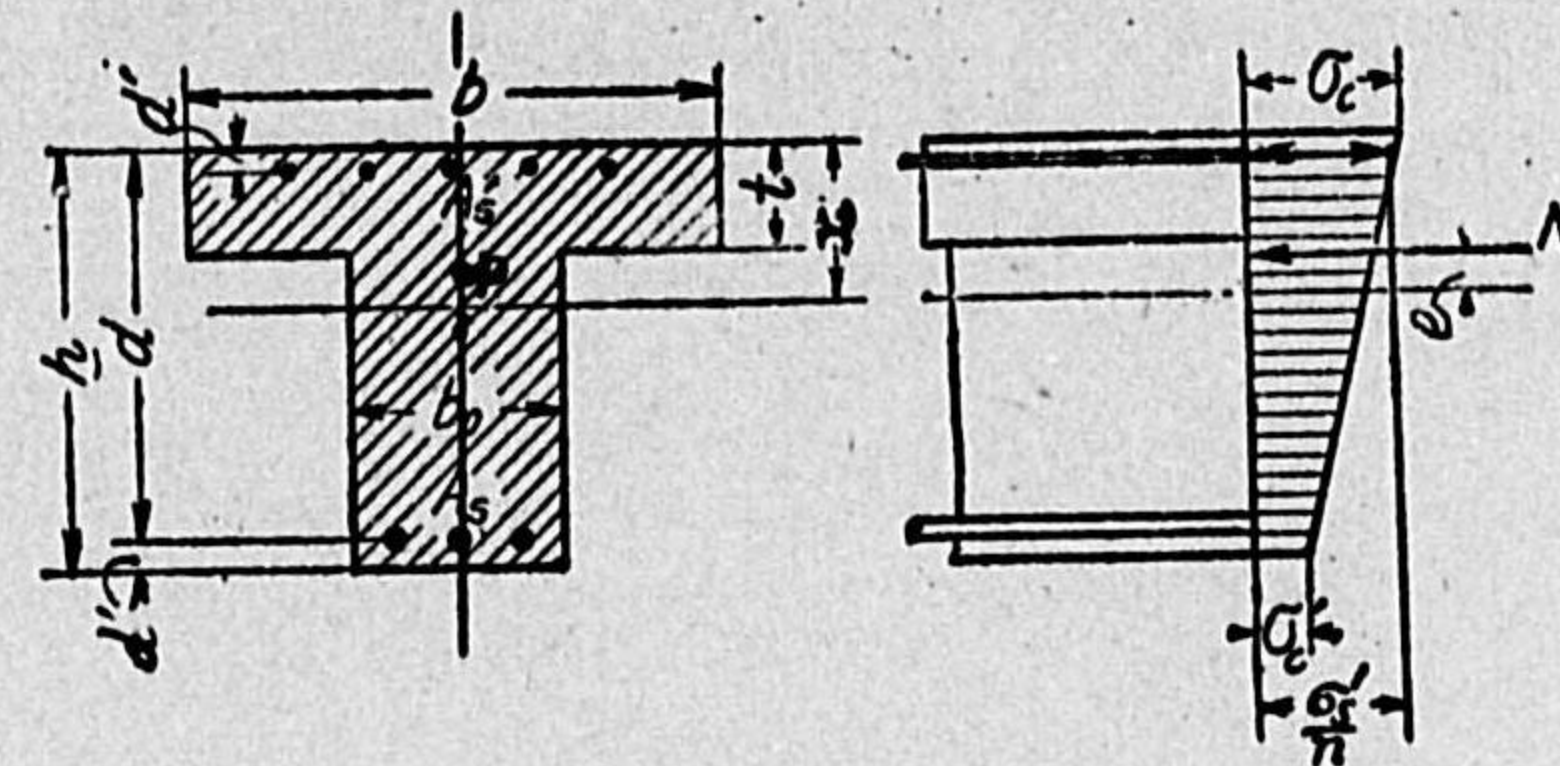
$$\sigma = N/A_i + N_e x/I_i, \quad \sigma_c' = N/A_i - N_e (h - x)/I_i \text{ に依つて } \sigma_c, \sigma_c' \text{ の値を検算すると、} \sigma = 19.1 + 20.9 = 40 \text{ kg/cm}^2, \quad \sigma_c' = 19.1 - 20.9 = -1.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (引張應力度)}$$



第105圖 b, h, N 及び e が與へられて、 $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$ に對し、對稱な壓縮鐵筋斷面積を求め、 $A_s' = pbh = A_s$

第十九章 軸方向圧縮力と曲げモーメントとを受けるT形断面の計算

(139) 断面に引張應力を生じない場合の應力度の計算 軸方向圧縮力の作用點が等値全断面の心の内にある時は、断面に壓縮應力のみを生じて、引張應力は生じない。圖に於て等値全断面の圖心線と突縁の上縁との間の距離を x とする。



第106圖

等値全斷面積 $A_i = bt + b_0(h - t) + n(A_s + A_s')$

$$x = \frac{1}{2} \frac{bt^2 + b_0(h^2 - t^2) + 2n(A_s d + A_s' d')}{bt + b_0(h - t) + n(A_s + A_s')} \dots (155)$$

等値全断面の圖心線に關する等値全断面の斷面二次モーメントは

$$I_i = \frac{1}{3} [bx^3 - (b - b_0)(x - t)^3 + b_0(h - x)^3] + n[A_s(d - x)^2 + A_s'(x - d')^2] \dots (156)$$

圖心線から上側及び下側の心點迄の距離を夫々 k_1 及び k_2 とすれば

$$k_1 = \frac{I_i}{A_i(h - x)}, \quad k_2 = \frac{I_i}{A_i x} \dots (157)$$

$e < k_1$ である時、即ち N の作用點が心の内にあるときは断面に壓縮應力のみを生ずる。コンクリートに於ける壓縮應力度は

$$\sigma_c = \frac{N}{A_i} + \frac{N e}{I_i} x \dots (158)$$

$$\sigma_c' = \frac{N}{A_i} - \frac{N e}{I_i} (h - x) \dots (159)$$

$A_s' = 0$ の場合

$$x = \frac{1}{2} \frac{bt^2 + b_0(h^2 - t^2) + 2nA_s d}{bt + b_0(h - t) + nA_s} \dots (160)$$

$$A_i = bt + b_0(h - t) + nA_s$$

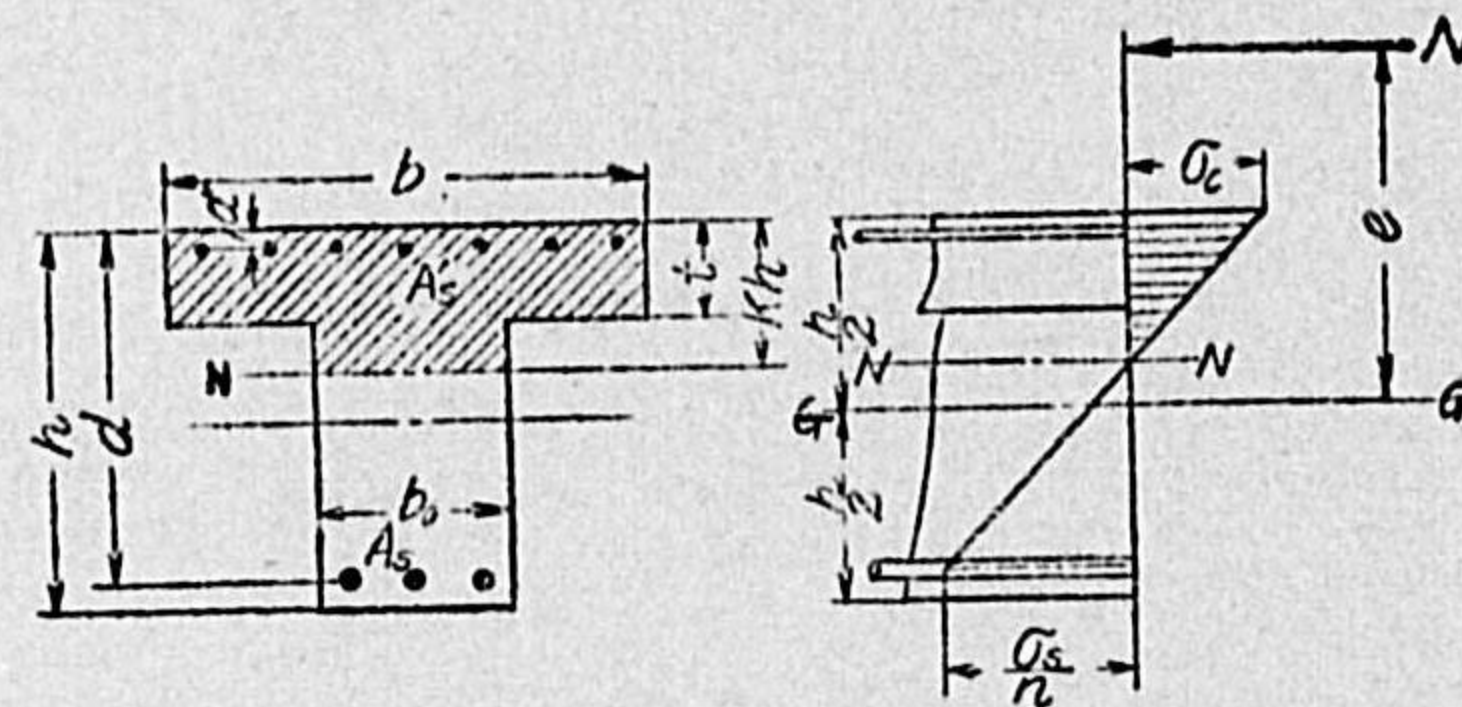
$$I_i = \frac{1}{3} [bx^3 - (b - b_0)(x - t)^3 + b_0(h - x)^3] + nA_s(d - x)^2 \dots (161)$$

$$\sigma_c = \frac{N}{A_1} + \frac{Nc}{I_1} x \dots\dots\dots (162)$$

$$\sigma_c' = \frac{N}{A_1} - \frac{Nc}{I_1} (h-x) \dots\dots\dots (163)$$

(140) 断面の一部に引張応力が生ずる場合の応力度の計算 軸方向圧縮力の作用点が等価全断面の心の外にある時は、断面の一部に引張応力が生ずる。(163)式に依つて求めた σ_c' の絶対値がコンクリートの許容軸方向圧縮応力度の 1/5 以下であれば、コンクリートに於ける最大圧縮応力度を(162)式で求めて差支へない、(土木学会標準示方書第100条(2))。 σ_c' の絶対値がコンクリートの許容軸方向圧縮応力度の 1/5 以上である時は、コンクリートの引張応力を無視して応力度を計算せねばならぬ。此場合、中立軸が突縁内にある時の応力度の計算方法は矩形断面の場合と全く同様である。

中立軸が腹部内にある場合、コンクリートの引張応力を無視する応力度の計算式は次の通り。之は計算式が複雑であつて、後に述べる圖式解法が便利である。



第107圖

$$p = \frac{A_s}{bh}, \quad p' = \frac{A_s'}{bh}$$

$$\frac{e}{h} = \frac{\left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3}\right)k^2 - \left(1 - \frac{b_0}{b}\right)\left(k - \frac{t}{h}\right)^2\left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3} - \frac{2}{3}\frac{t}{h}\right) + 2np\left(k - \frac{d'}{h}\right)\left(\frac{d'}{h} - \frac{1}{2}\right) + 2np'\left(k - \frac{d'}{h}\right)\left(\frac{d'}{h} - \frac{1}{2}\right)}{k^2 - \left(1 - \frac{b_0}{b}\right)\left(k - \frac{t}{h}\right)^2 + 2np\left(k - \frac{d'}{h}\right) - 2np'\left(\frac{d'}{h} - k\right)} \dots\dots (164)$$

$$\therefore \sigma_c = \frac{N}{bh} \cdot \frac{2k}{k^2 - \left(1 - \frac{b_0}{b}\right)\left(k - \frac{t}{h}\right)^2 + 2np\left(k - \frac{d'}{h}\right) - 2np'\left(\frac{d'}{h} - k\right)} \dots\dots (165)$$

$$\sigma_s = n\sigma_c \frac{\frac{d}{h} - k}{k} \dots\dots\dots (166)$$

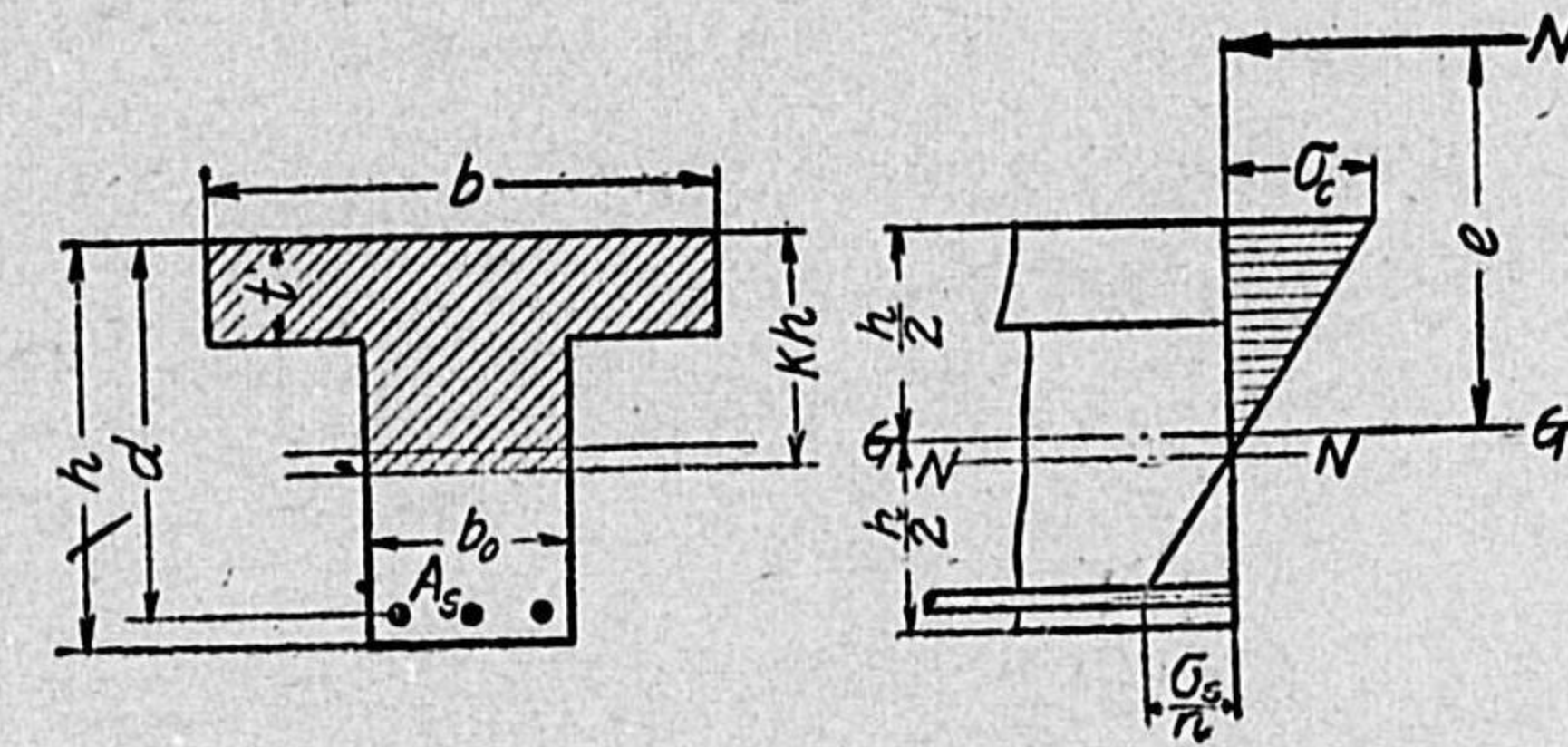
$A_s' = 0$ の場合

$$p = \frac{A_s}{bh}$$

$$\frac{e}{h} = \frac{\left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3}\right)k^2 - \left(1 - \frac{b_0}{b}\right)\left(k - \frac{t}{h}\right)^2\left(\frac{1}{2} - \frac{k}{3} - \frac{2}{3}\frac{t}{h}\right) + 2np\left(k - \frac{d'}{h}\right)\left(\frac{d'}{h} - \frac{1}{2}\right)}{k^2 - \left(1 - \frac{b_0}{b}\right)\left(k - \frac{t}{h}\right)^2 - 2np\left(\frac{d'}{h} - k\right)} \dots\dots (167)$$

$$\sigma_c = \frac{N}{bh} \cdot \frac{2k}{k^2 - \left(1 - \frac{b_0}{b}\right)\left(k - \frac{t}{h}\right)^2 - 2np\left(\frac{d'}{h} - k\right)} \dots\dots (168)$$

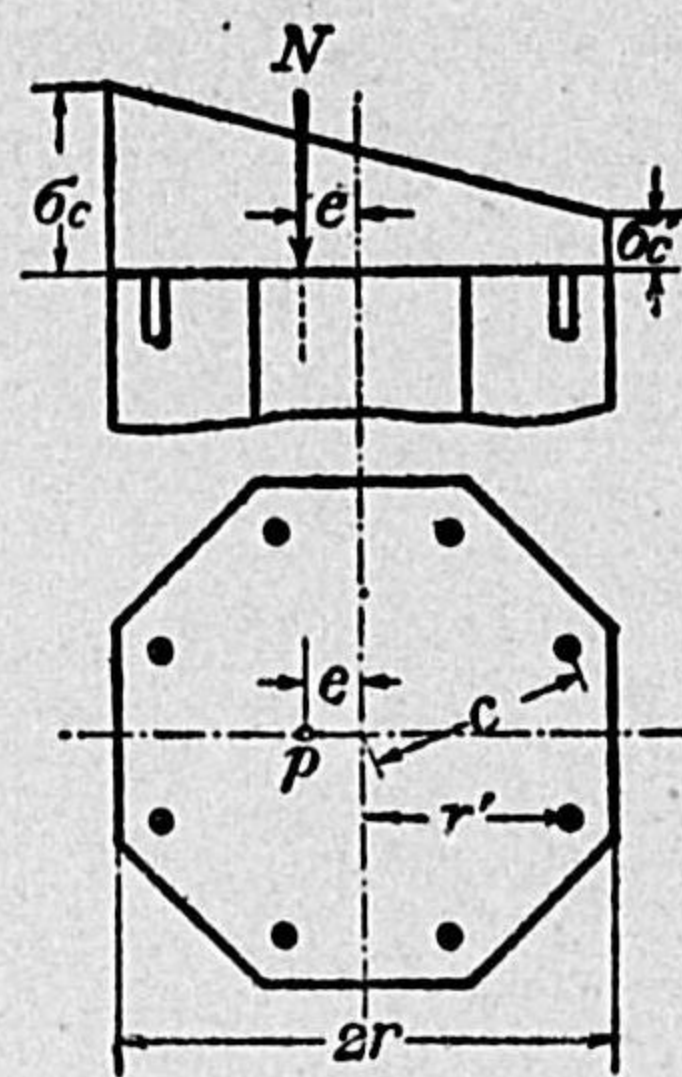
$$\sigma_s = n\sigma_c \frac{\frac{d}{h} - k}{k} \dots\dots\dots (169)$$



第108圖

第二十章 軸方向圧縮力と曲げモーメントとを受ける正八角形断面の部材に於ける応力度の計算及び断面の算定

(141) 軸方向圧縮力の作用点が等値全断面の心の内にある場合の応力度の計算 ラーメンの一部を成す正八角形断面の部材又は床版を支へる正八角形断面の柱が軸方向圧縮力と同時に曲げモーメントを受ける場合の断面に生ずる応力度の計算並に断面の設計について述べる。此正八角形断面の設計に於ては、鉄筋の数は 8 本又は 16 本の如く 8 の倍数とするがよい。今の場合、軸方向圧縮力の作用点が等値全断面の心の内にあるから、断面には圧縮応力のみを生ずる。軸方向鉄筋が図示の如く一円周上に齊等に配置されて居る時は、等値全断面の圖心とコンクリート断面の圖心とは一致する。 A_s を鉄筋の總断面積とする。



第 109 圖

$$\sigma_c = \frac{N}{A_s} + \frac{N_0}{W_s} \text{ 及び } \sigma_c' = \frac{N}{A_s} - \frac{N_0}{W_s} \dots\dots\dots (a)$$

$$A_s = 3.3137r^2 + nA_s = 3.3137r^2 (1 + np)$$

$$p = \frac{A_s}{3.3137r^2} \quad I_s = 0.8758r^4 + \frac{nA_s e^2}{2}$$

$$W_s = \frac{I_s}{r} = 0.8758r^3 + \frac{nA_s e^2}{2r}$$

$$\left. \begin{matrix} \sigma_c \\ \sigma_c' \end{matrix} \right\} = \frac{N}{r^2} \left[\frac{1}{3.3137(1+np)} \pm \frac{1}{0.8758 + 1.9411np \left(\frac{r'}{r}\right)^2} \frac{e}{r} \right] \dots\dots\dots (170)$$

心点と圖心との距離 k は次の通り。

$$k = \frac{0.2643 + 0.5858np \left(\frac{r'}{r}\right)^2}{1 + np} \dots\dots\dots (171)$$

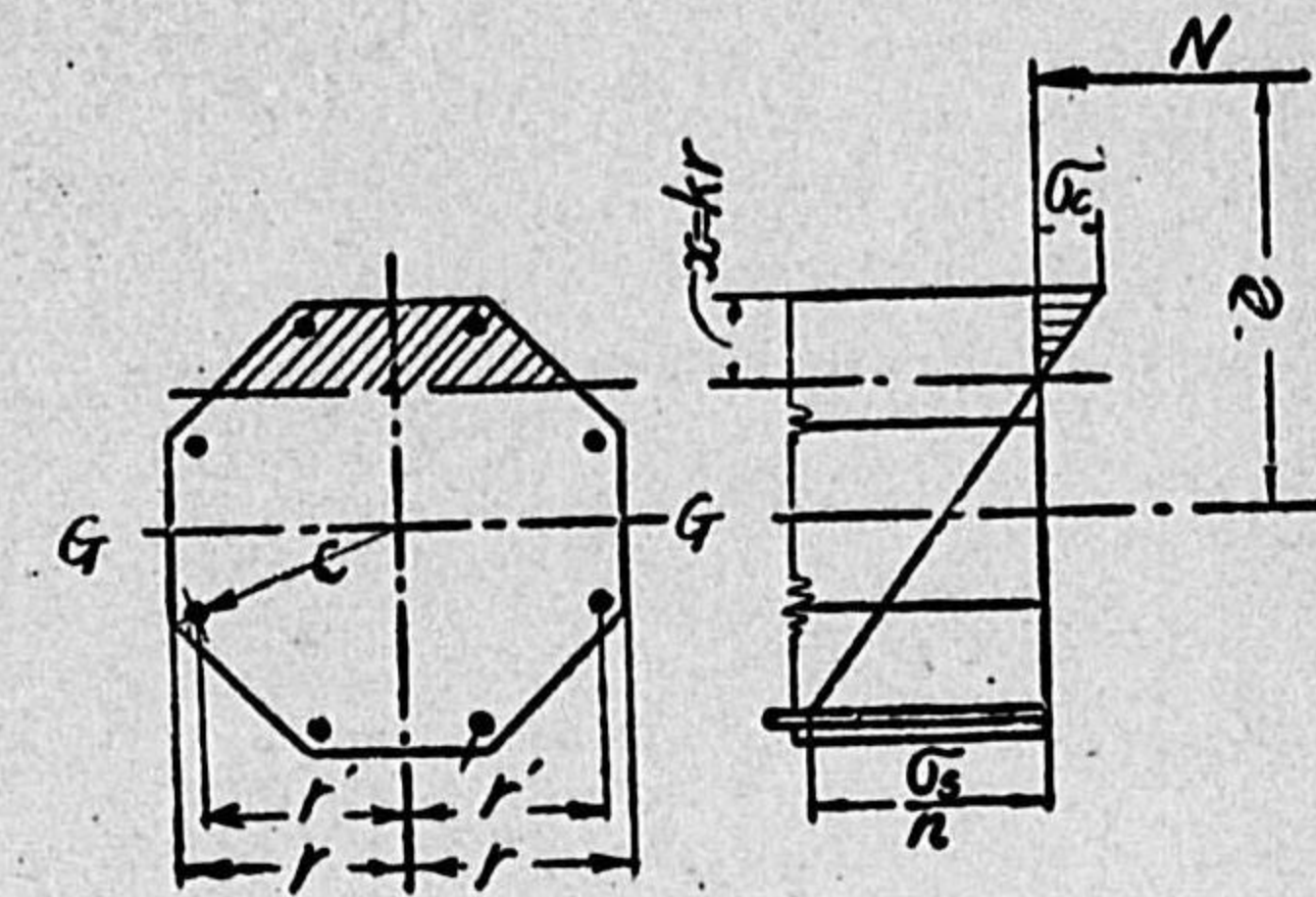
鉄筋に働く圧縮応力度は、其點に於けるコンクリートの圧縮応力度の n 倍であつて、コンクリートに於ける圧縮応力度が許容曲げ圧縮応力度以下であれば、常に鉄筋の許容圧縮応力度以下であるから、普通計算する必要はない。

(142) 軸方向圧縮力の作用点が等値全断面の心の外にある場合の応力度の計算 軸方向圧縮力の作用点が等値全断面の心の外にある時でも、偏心距離が小である時、(a) 式にて算定した縁引張応力度の絶対値が、コンクリートの許容軸方向圧縮応力度の 1/5 以下であれば、コンクリートに於ける最大圧縮応力度を (a) 式で算定してよい (土木學會標準示方書第 100 條(2))。

(a) 式で算定したコンクリートの引張応力度の絶対値がコンクリートの許容軸方向圧縮応力度

の 1/5 以上であれば、コンクリートの引張応力を無視して σ_c を計算せねばならぬ。此場合の計算式は甚だ複雑であるから、後述の圖式解法又は後に示す圖に依りて求める方が寧ろ便利である。

(1) $k = 0 \sim 0.5858$ の場合 鉄筋總断面積を A_s とする。



第 110 圖

$$p = \frac{A_s}{3.3137r^2}$$

$$N = \frac{0.8284rx}{2} \sigma_c + \frac{x^2}{3} \sigma_c - nA_s \frac{\sigma_c}{x} (r - x)$$

$$M = N_0 = \frac{0.8284rx}{2} \sigma_c (r - \frac{x}{3}) + \frac{x^2 \sigma_c}{8} (r - \frac{x}{2}) + \frac{nA_s e^2}{2r} \frac{\sigma_c}{x} r'$$

$$\frac{e}{r} = \frac{x^2(x + 1.2426r) - \frac{x^3}{r}(0.5x + 0.4142r) + 5.8234np(r')^2 r}{x^2(x + 1.2426r) - 9.9411np(r - x)r^2} \dots\dots\dots (172)$$

又は

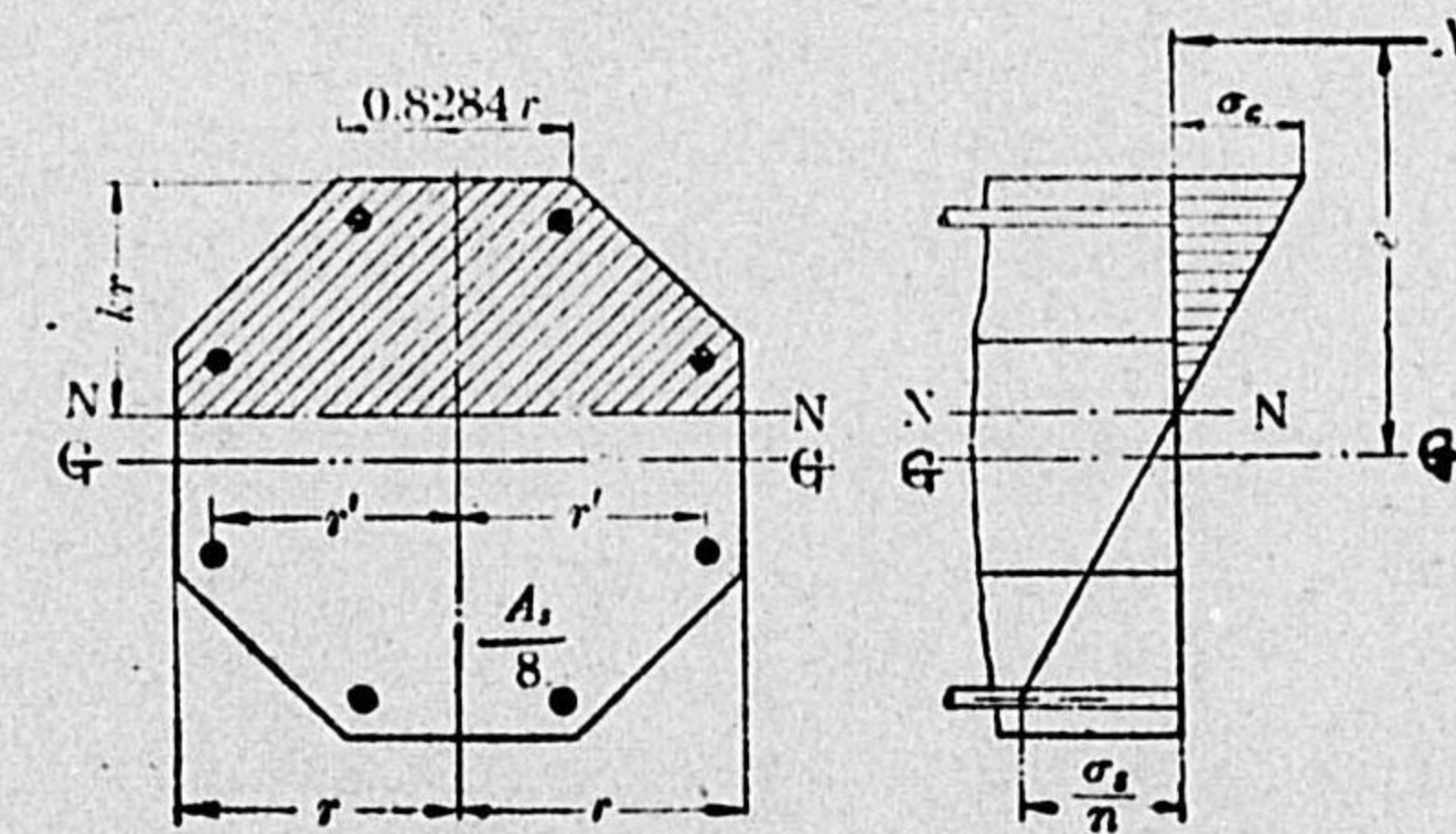
$$\frac{e}{r} = \frac{k^2(k + 1.2426) - k^3(0.5k + 0.4142) + 5.8234np \left(\frac{r'}{r}\right)^2}{k^2(k + 1.2426) - 9.9411np(1 - k)} \dots\dots\dots (173)$$

\therefore

$$\sigma_c = \frac{N}{r^2} \frac{k}{k^2 \left(\frac{k}{3} + 0.4142\right) - 3.3137np(1 - k)} \dots\dots\dots (174)$$

$$\sigma_s = n\sigma_c \frac{1 + k + \frac{r'}{r}}{k} \dots\dots\dots (175)$$

(2) $k = 0.5858 \sim 1.4142$ の場合



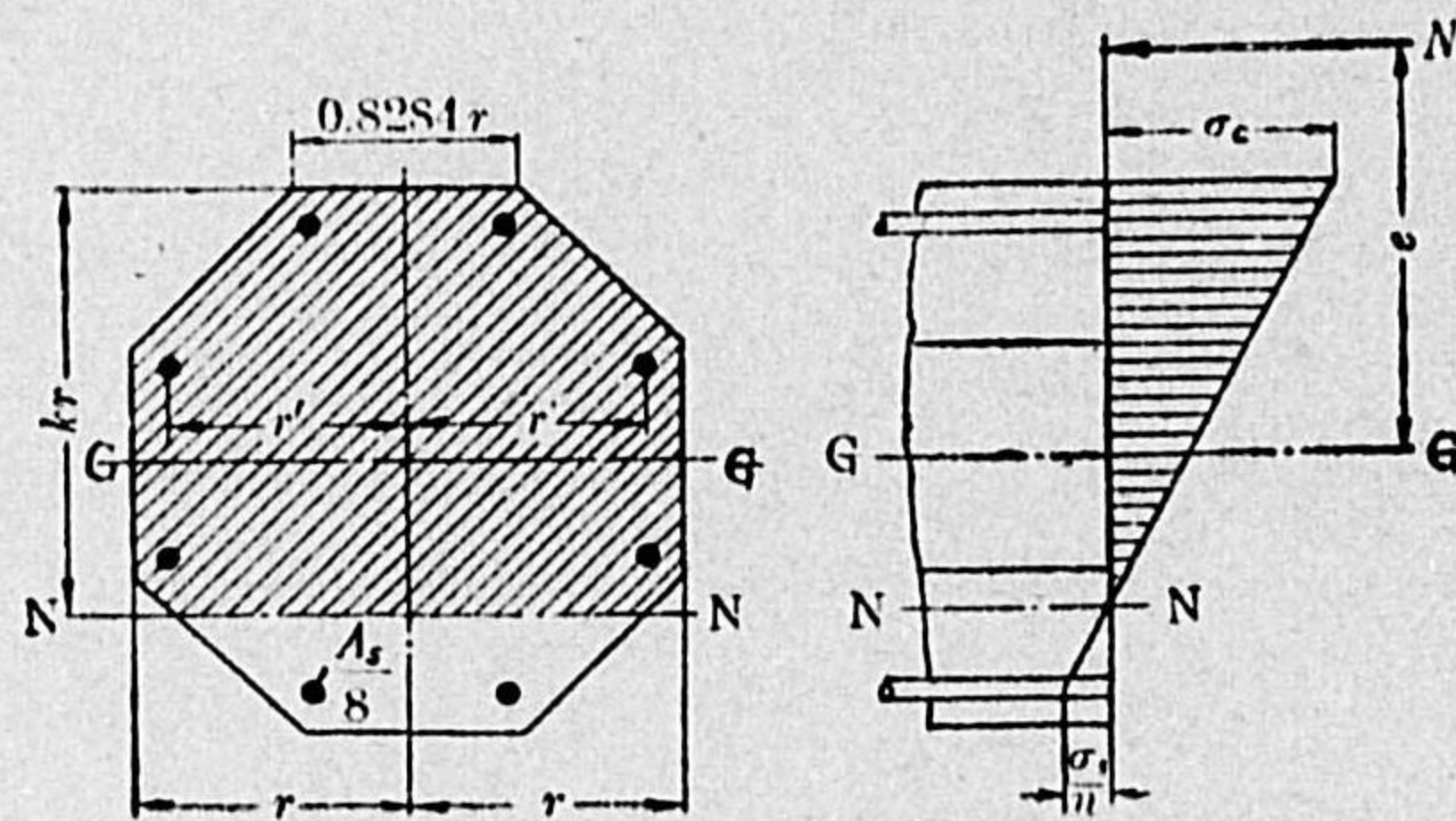
第 111 圖

$$\frac{e}{r} = \frac{k^3 - 0.3333k^3 - 0.0066 - 0.2761(k - 0.1958) + 1.9411np \left(\frac{r'}{r}\right)^3}{k^3 - 0.3431(k - 0.1958) - 8.8137np(1 - k)} \dots (176)$$

$$\sigma_c = \frac{N}{r^2} \frac{k}{k^3 - 0.3431(k - 0.1958) - 8.8137np(1 - k)} \dots (177)$$

(3) $k = 1.4142 \sim 2.000$ の場合

$$\frac{e}{r} = \frac{k^3 - \frac{1}{8}k^3 - 0.0066 - 0.2761(k - 0.1958) - \frac{1}{6}(k - 1.4142)^3}{k^3 - 0.3431(k - 0.1958) - \frac{1}{8}(k - 1.4142)^3} \times \frac{(0.5858 - k) + 1.9411np \left(\frac{r'}{r}\right)^3}{-8.8137np(1 - k)} \dots (178)$$



第 112 圖

$$\sigma_c = \frac{N}{r^2} \frac{k}{k^3 - 0.3431(k - 0.1958) - 0.3333(k - 1.4142)^3 - 8.8137np(1 - k)} \dots (179)$$

(143) 正八角形断面の寸法が異へられ、断面に圧縮應力のみを生ずる場合の鉄筋断面積の算定

A_c = コンクリートの全断面積、 A_s = 鉄筋全断面積

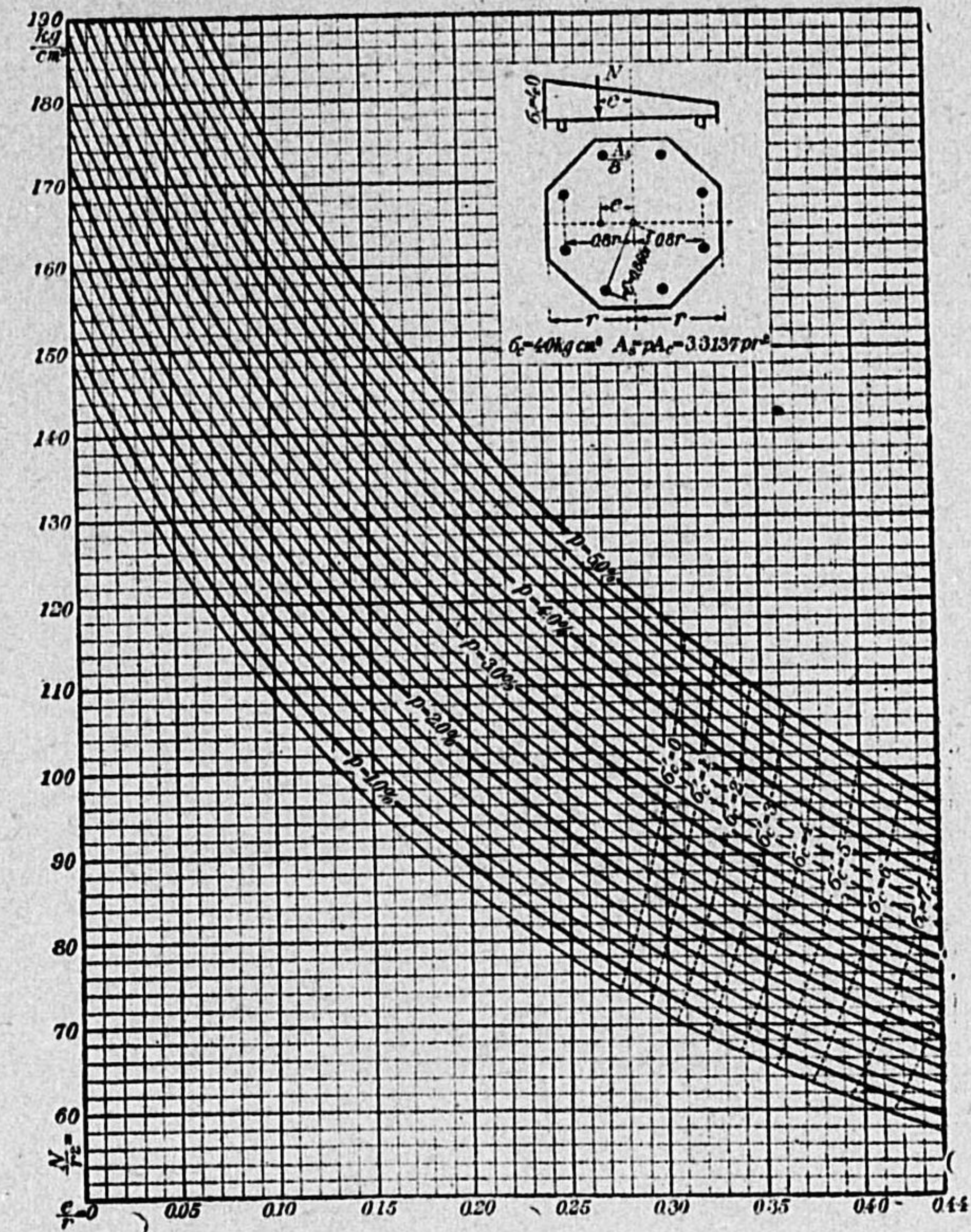
$$A_s = pA_c = 3.3137pr^2, \quad A_t = 3.3137r^2 + nA_s = 3.3137r^2(1 + 15p);$$

$$e = 0.866r \text{ とすれば、} W_t = 0.8758r^3 + 18.6345pr^3$$

$$\sigma_c = \frac{N}{r^2} \left[\frac{1}{3.3137(1 + 15p)} + \frac{1}{0.8758 + 18.6345p} \frac{e}{r} \right] \dots (180)$$

(180) 式を p について解いて $A_s = 3.3137pr^2$ から A_s を求める。コンクリート断面、 N 及び e が判れば、 $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$ に対する p の値は、第 113 圖から求める事が出来る。此圖には、点線でコンクリートに於ける應力度が 8 kg/cm^2 の引張應力度に達する迄の σ_c' の曲線が示されてある。 $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$ 以外の他つ値例へば $\sigma_c = 50 \text{ kg/cm}^2$ に対しては、 N の値を $\frac{40}{50}$ 倍して

此圖を用ひ、 $\sigma_c = 80 \text{ kg/cm}^2$ に対しては、 N の値を $\frac{40}{80}$ 倍して此圖を用ひることが出来る。



第 113 圖 中心軸方向圧縮力と曲げモーメントを受ける正八角形断面に圧縮應力のみが働く場合、異へられた r, N, e , 及び $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$ に対し、必要鉄筋断面積 A_s を求める圖表 $A_s = pA_c = 3.3137pr^2$

(例題) $r = 50 \text{ cm}, r' = 40 \text{ cm}, N = 240,000 \text{ kg}, e = 15 \text{ cm}, \sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$ を與へて p を求む。

$$\frac{N}{r^2} = \frac{240,000}{50^2} = 96 \text{ kg/cm}^2, \quad \frac{e}{r} = \frac{15}{50} = 0.3$$

$$(180) \text{ 式から } 40 = 96 \left[\frac{1}{3.3137(1 + 15p)} + \frac{0.3}{0.8758 + 18.6345p} \right]$$

$$\text{又は } 385.93p^2 + 10.323p - 0.6607 = 0 \quad \therefore p = 0.02935 \approx 3\%$$

又は第 113 圖から $N/r^2 = 96 \text{ kg/cm}^2, e/r = 0.30$ に対して $p = 3\%$ を求める事が出来る。

(144) 正八角形断面の寸法が異へられ、断面に圧縮應力と引張應力とを生ずる場合の鉄筋断面積の算定

(1) 第 114 圖の如き位置に中立軸がある場合

$r' = 0.8r$ とする。外力 N と

内力との釣合条件から次の式が成立する。

$$N = \frac{0.8284rx}{2} \sigma_c + \frac{x^2}{3} \sigma_c - nA_s \frac{\sigma_c}{x} (r-x) \dots (a)$$

$$x = \frac{n\sigma_c}{n\sigma_c + \sigma_s} d = kd$$

$d = 1.8r$ とすれば、 $x = 1.8kr$ 、又 $A_s = pA_c = 3.3137pr^2$

とおけば、(a) 式は次の如くなる。

$$\frac{N}{r^2\sigma_c} = 0.4142 \times 1.8k + \frac{(1.8k)^2}{3} - np \frac{3.3137}{1.8k} (1 - 1.8k)$$

$$\therefore p = \frac{-\frac{N}{r^2\sigma_c} + 0.4142 \times 1.8k + \frac{(1.8k)^2}{3}}{15 \times 3.3137 \left(\frac{1}{1.8k} - 1 \right)} \dots (181)$$

外力のモーメントと内力のモーメントとは相等しいから

$$Nc = M = \frac{0.8284rx\sigma_c}{2} \left(r - \frac{x}{3} \right) + \frac{x^2\sigma_c}{3} \left(r - \frac{x}{2} \right) + \frac{nA_s c^2}{2 \times 0.8r} \frac{\sigma_c}{x} \times 0.8r$$

上式に $c = \frac{0.8r}{\cos 22 \frac{1}{2}^\circ} = 0.866r$ と置けば次式を得る。

$$\frac{M}{r^3\sigma_c} = 0.7456k \left(1 - \frac{1.8k}{2} \right) + \frac{(1.8k)^2}{3} \left(1 - \frac{1.8k}{2} \right) + \frac{18.6396}{1.8k} p$$

$$\therefore p = \frac{\frac{M}{r^3\sigma_c} - 0.7456k \left(1 - 0.6k \right) - \frac{(1.8k)^2}{3} \left(1 - 0.9k \right)}{18.6396/1.8k} \dots (182)$$

(2) 第 115 圖の如き位置に中立軸がある場合

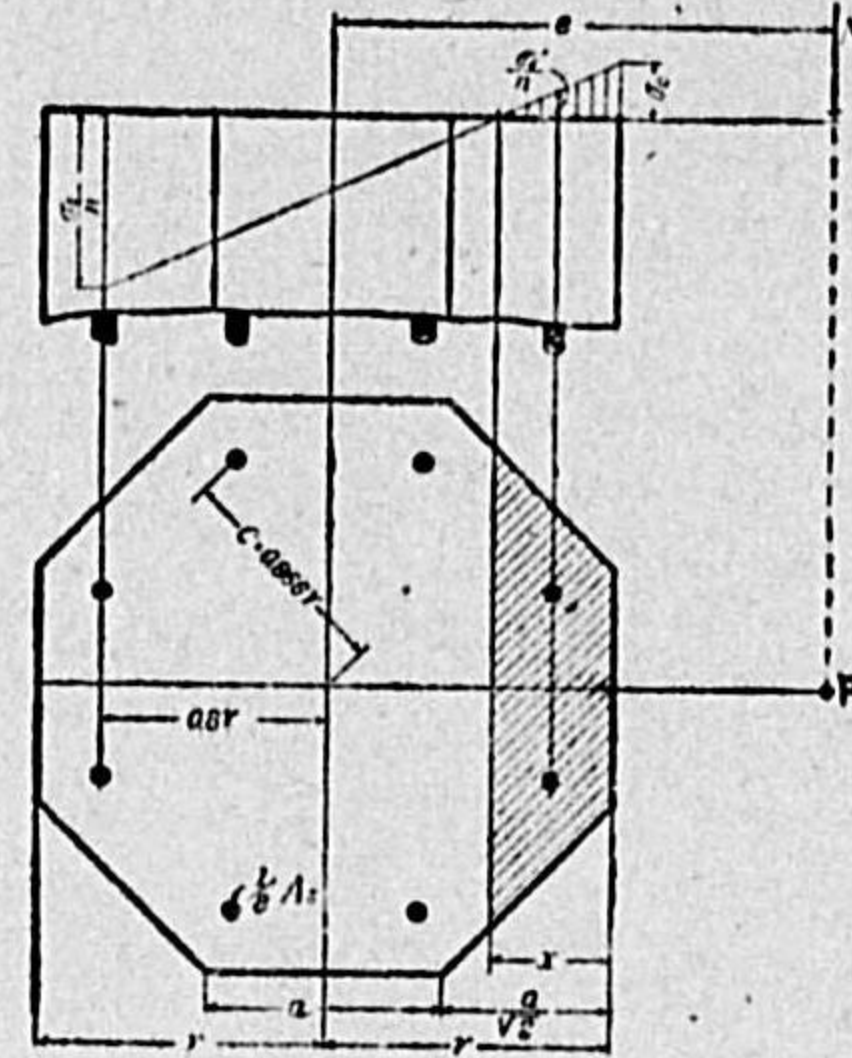
$$p = \frac{\frac{N}{r^2\sigma_c} - 1.8k + 0.3432 \left(1 - \frac{0.1953}{1.8k} \right)}{15 \times 3.3137 \left(1 - \frac{1}{1.8k} \right)} \dots (183)$$

又は

$$p = \frac{\frac{M}{r^3\sigma_c} - 1.8k \left(1 - 0.6k \right) + 0.2762 - \frac{0.0474}{1.8k}}{18.6396/1.8k} \dots (184)$$

(3) 中立軸が断面に於て偏心軸方向圧縮力の作用点の反対の側部にある場合

$$p = \frac{\frac{N}{r^2\sigma_c} - 1.8k + 0.3432 \left(1 - \frac{0.1953}{1.8k} \right) + \frac{(1.8k - 1.4142)^3}{3 \times 1.8k}}{49.705 \left(1 - \frac{1}{1.8k} \right)} \dots (185)$$



第 114 圖

$$\text{又は } p = \frac{\frac{M}{r^3\sigma_c} - 1.8k \left(1 - 0.6k \right) + 0.2762 - \frac{0.0474}{1.8k} - (1.8k - 1.4142)^3 \left(\frac{1}{6} - \frac{0.0976}{1.8k} \right)}{18.6396/1.8k} \dots (186)$$

正八角形断面に働く N と M とが與へられて居る

時、 σ_c が許容應力度に達する様な A_s を求めるに

は、 $N/r^2\sigma_c$ と $M/r^3\sigma_c$ を計算し、第 116 圖に於て

是等曲線の交点の横距及び縦距を求めれば、 p 及び

σ_s/σ_c を求める事が出来る。 $A_s = 3.3137pr^2$ 、 $\sigma_s =$

$(\sigma_s/\sigma_c) \times \sigma_c$

(例題) $r = 50\text{cm}$ 、 $r' = 40\text{cm}$ 、 $N = 80,000\text{kg}$ 、 $e =$

35cm を與へて、 p 及び σ_s を求め。 $\sigma_c = 40\text{kg/cm}^2$

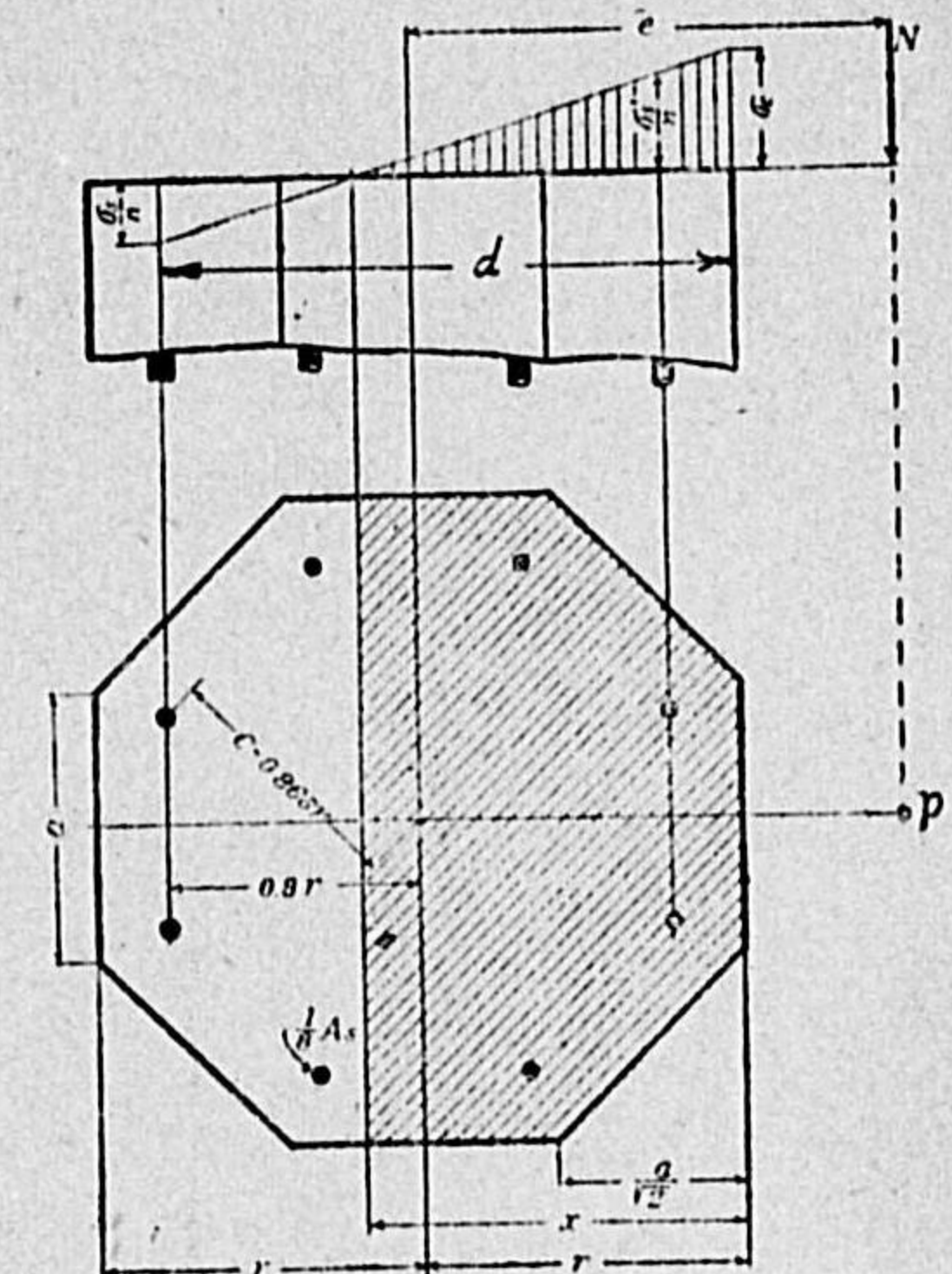
とす。

$$\frac{N}{r^2\sigma_c} = \frac{80,000}{50^2 \times 40} = 0.8, \quad \frac{M}{r^3\sigma_c} = \frac{80,000 \times 35}{50^3 \times 40}$$

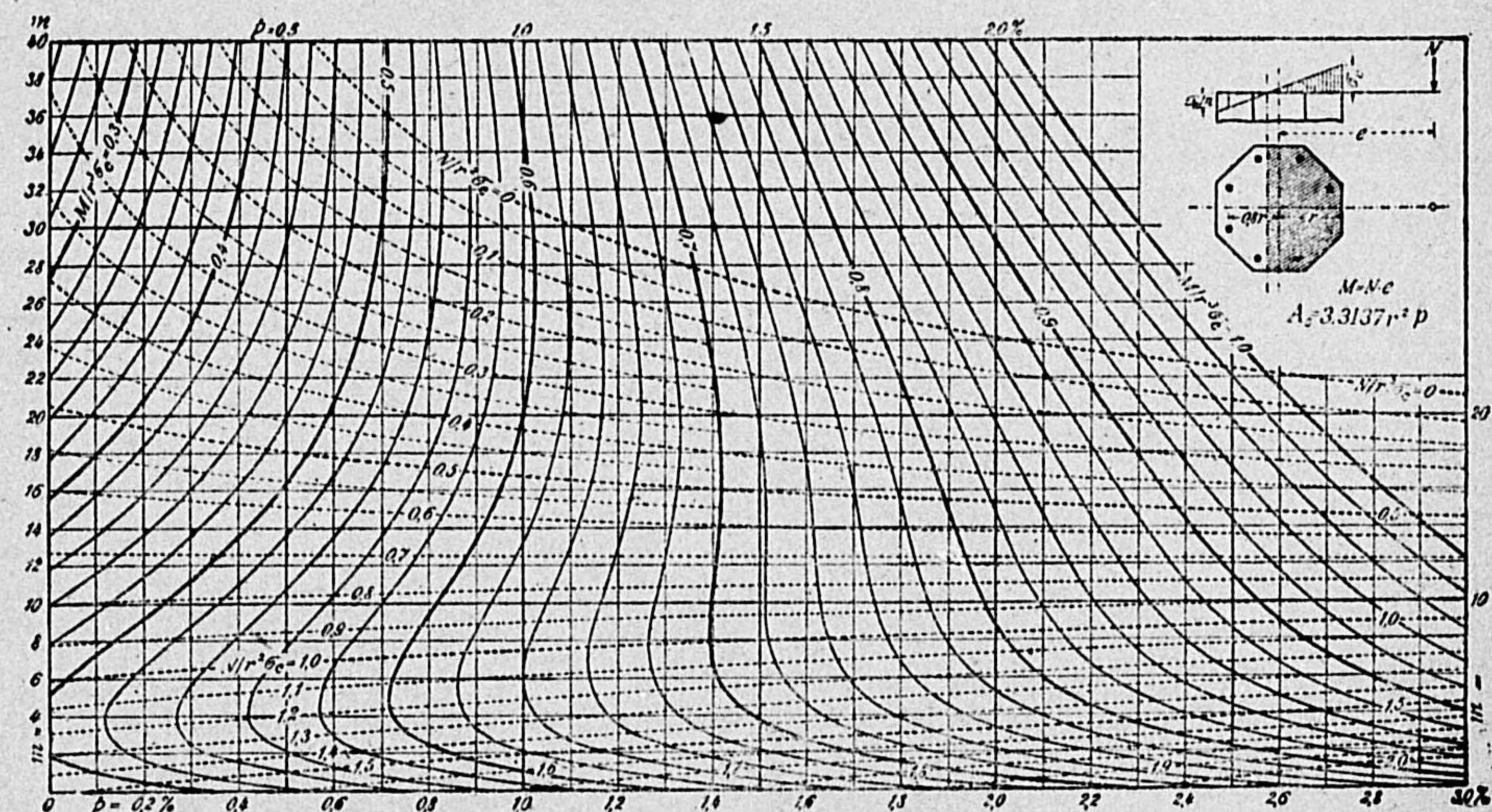
$= 0.56$ の兩曲線の交点を探し、之に相當する $p = 0.6$

$\%$ 、 $\frac{\sigma_s}{\sigma_c} = 10.5$ を得る。 $\sigma_s = 40 \times 10.5 = 420$

kg/cm^2



第 115 圖



第 116 圖 中心軸方向圧縮力と曲げモーメントとを受ける正八角形断面に壓縮應力と引張應力とが働く場合與へられた M 、 N 及び σ_c の値に對する鐵筋断面積 A_s を求める圖表、 $A_s = pA_c = 3.3137pr^2$