



始



竹
の
研
究

茂庭忠次郎著

980
61

竹 の 研 究

工學博士 茂庭忠次郎著

東京土木技術社發行

980
61

511A9
Mo-33



竹 の 研 究

工学博士 茂庭忠次郎著



980
61

目 次

第1章 は し が き

1. 竹の種類と其の分布	1
2. 竹の利用と其の効果	4
3. 竹の科學的研究	5
4. 筆者の實驗方法	8

第2章 竹材の性能

1. 竹材の比重	10
2. 竹材の收縮率と其の吸水量	12
3. 竹の成分と其の發熱量	13
4. 竹材の壓縮強さ	13
5. 竹材の引張強さ	14
6. 竹材の應曲強さ	18
7. 竹材の彈性係數	19
8. 古竹の耐久力	20
9. 大氣中の乾枯と水中浸漬	21
10. 竹と壁土	22
11. 節の影響	23
12. コンクリート塊中の竹	24
13. セメント溶液中の竹	25
14. 石灰溶液中の竹	26
15. 鹽酸溶液中の竹	27
16. 竹の強さと同體の影響	28
17. 竹管の耐水壓力	29
18. 竹材の應剪強さ	32
19. 竹材とコンクリートの附着強	33

20. 竹材の許容強度	37
-------------	----

第3章 竹材の防蝕と其の補強

1. 竹齡と伐採季節	42
2. 竹材の貯藏方法	44
3. 煮沸と蒸氣乾燥	45
4. 防蝕塗附劑	46
5. 耐アルカリ處理法	48
6. 外形的加工	49
7. 施工の要領	50

第4章 實驗其の一(桁及版)

1. 桁に關する筆者の實驗	53
2. 應力の計算	55
3. 桁に關する河村協氏の實驗	61
4. 桁に關する安藝皎一氏の實驗	62
5. 桁に關する巽純一氏の實驗	64
6. 版に關する藤田章氏の實驗	66
7. 版に關する栗山寛氏の實驗	67

第5章 實驗其の二(管)

1. 日本ヒューム管會社の實驗	70
2. 應力の計算	74
3. 東京都藤田章氏の實驗	78
4. 竹筋と無筋及鐵筋との比較	85

第6章 むすび

1. 性能の改善	91
2. 防蝕と補強	94
3. 應用の範圍	95

竹の研究

第1章 はしがき

1. 竹の種類と其の分布

世界に産する竹の種類は凡そ30餘屬200餘種の多きに及ぶと稱へられて居るが、中にも大東亞は其の主産地であつて實に150餘種に達すると云ふことである。即ち南は印度・ビルマ・馬來諸國より支那及び我國を中心に繁茂し笹屬の如きは北方千島列島に迄野生し、又高くは新高山或はヒマラヤ山の中腹海拔4,000米の高原にさへ成長して居る。亞細亞以外には中央亞米利加・北亞米利加の一部・マスカレン群島・ニューカレドニア・マダガスカル・秘露・伯拉西爾等に分布し、*Chusquea aristata* 種の如きはアンデス山上4,500米の高處にすら自生するのである。竹類の中で馬來其の他熱帯地方の産には頗る巨大なものがあり、*Bambusa arundinacea* 種は高さ24米周囲90寸に達し又大麻竹(*Deudrocalamus-Giganteus*)は高さ36米周囲1米餘に及ぶと云ふ。斯かる巨竹の林が一朝猛火の襲ふ所となれば爆聲殷々として百雷の如く、遠聞宛らバンブ、バンブと聽ゆるのでマラツカ土人は遂に竹類の總稱をバンブ(Bambu)と呼ぶに至つたのだと云ふ。15世紀に及び來航せる葡萄牙の探險隊は之をマンブ(Mambu)と訛聞し初めて竹を其の名稱と共に歐羅巴に傳へたのであるが、後其の誤れるを知るに及んで更にBambuと改稱したと云ふことである。今日行はるゝ英語のBamboo、獨逸語のBambus、佛蘭西語のBambou、露西亞語のBambuk、西班牙及び伊太利語のBambu、和蘭語のBamboesなど、何れも馬來語のBambuなる爆音から轉訛したものなのである。

又竹の漢音はChikuであるが今の支那ではchuと呼び、蒙古ではHolose、朝鮮ではTaiと云ひ、我國ではTakeと發音して居る。「大言海」には「竹(たけ)……は長け生ふるの義、成長の早きにつきて名あるか又高生の約とも云ふ。眞竹(またけ)と云ふは蘆に似て大なること木の如く幹圓くして直立し、中空しくして處々に節ありて隔をなし節毎に枝葉を生ず、數十年にして花を開き實を結びて枯る。實を自然杭(じねんご)と云ひ、形骸の如く味糧の如し飯として食ふべし」とあり、「和漢三才圖會」には「竹……土中笋を苞み時到れば萌え出で旬日にして籬(竹の皮)を落し成竹するなり、小を篠と云ひ大を籜と云ふ其中は皆虛る其外は皆圓く其性或は柔かく或は勁く或は滑かに或は脆く、其の幹或は長く或は短く或は太く或は細く、其の色青あり黄あり白あり赤あり黒あり紫あり斑あり、60年に一度花を開き實を結べば即ち枯る。竹の枯るを箒と云ひ竹の實を篔と云ふ云々」。蓋し竹は其の幹通直にして容姿整備し適度の間節を保ち

強靱にして克く中正を守り、葉は又常に濃緑を帯び嚴寒の候にも凋落することなく宛ら人類の清節に比すべき愼がある。而も容姿優雅崇高にして端麗なる氣品を備ふる爲め古より愛好せられ詩歌に詠はれ畫題に選ばれたことは周知の通りである。去れば古來支那及び我國では竹の霜雪に耐ふる節操を賞し其の清麗なる美容を愛して、芽出度いもの珍重すべきもの敬ふべきものとする習性を招來し、松竹梅を配して歲寒三友と稱へ竹と梅を配して二友と呼び、野竹に梅と水仙を配して三清と唱へ或は蓬萊山の圖・竹林七賢の圖・竹に雀の圖・竹林猛虎の圖と云ふが如き皆然りで、又竹の根が克く蔓延重疊し筍が群生する所から子孫繁榮の標徴として珍重し來つたのである。

支那人は竹の愛好最も篤く之を君子・青子・此君・抱節君・龍孫君・瀟洒侯など、稱へて尊崇し、王微之の如き如何に竹を絶讃したかは、

王微之題。寄人空宅住。便令種竹。或問墜住何煩再爾。王嘯詠良久。直指竹曰。何可一日無此君耶。

の章句あるに依るも明かである。「新千載集」に曰く、

萬代も色はかはらじ此君と 仰げば高き園の吳竹

我國にも竹の古名は色々あるが中にも、千色草・千尋草・夕玉草・小枝草・河玉草など著名で「藏王集」には、

月に聞くゆゑ玉草の秋風に 音はいつより寢覺めとはまし

又「古今集」には

世に経れば言の葉繁き千色草 うきふしおこに鶯ぞ鳴く

我國も亦竹の名産地で9屬30餘種を算し變種を加ふれば100種にも及ぶと云ふ。而も産業上重要な品種に富み又觀賞用として庭園に缺く能はざる種類も少くはないのである。

中にも眞竹(またけ)は苦竹、雄竹、唐竹、漢竹、吳竹、幹竹などの異名があり、材質最も強靱にして大なるは高さ15米周囲50糎に達し、色青く節間遠く眞直にして凡ゆる資材に應用せられ用途の廣大なること竹類中の王者である。北海道及び青森を除く以外内地の到る處に生産し畿内地方特に京都は栽培最も盛んで就中嵯峨の眞竹は材質良好を以て知られて居る。眞竹の變種金明竹は觀賞用として各地に愛植せられ緑葉の間に黄幹の隠見する容姿誠に優雅で、材も亦頗る佳なれば筆軸、煙管、提籠などの上等品に作られ好事者の愛玩措かざるものである。

眞竹に次ぐ良種は淡竹(はちく)で幹材の利用價値は眞竹に比べ稍劣るも、堅靱性は却て眞竹を凌ぎ且つ割裂容易なる爲め細工物に愛用せられ、茶釜・梳櫛・箆・扇子・提灯骨・簾・籠籠などを作るに適する。

孟宗竹(もうそうちく)は南支の江南地方を原産地とする寒竹の1種であるが、正徳の頃支那より琉球に移せしを今から約200年前即ち元文元年(2396)島津侯が此の種を琉球に求め薩摩

に移植したのが素となり忽ち全國に傳播した。寛政元年(2449)目黒の人山路次郎衛門勝孝之を薩摩から移植したのが今日の目黒の筍である。幹極めて太く徑30糎に及ぶものあり肉甚だ厚く、寒冬の候已に筍を生じ味美にして軟かく筍中の白眉と稱されて居る。

紫竹(しちく)は黒竹とも呼ばれ初めは緑なるも翌年には幹體紫黒色に變じ美なるを以て、各地に栽培せられ殊に近畿丹波丹後地方では輸出向として培植して居る。容姿雅趣に富み庭園に愛植せらるゝのみならず、材は机案・書架・釣竿・家具・柄類等に作られ海外にも相當廣く輸出せられて居る。

女竹(めたけ)は全國到る處の原野丘陵に野生し本邦産竹類中最も普遍的に發育して居る。材は柔軟で弾力に富み團扇・扇子・釣竿・箆・籠などの製作に適するを以て著名である。女竹の1種箱根竹は關東及び東北地方の山野河邊に生じ、殊に箱根山中に繁茂するので此の名があるが壁下の木舞を始め、筆軸・團扇・箆・籠・箆など其の用途伸々廣汎である。

以上の外各種の篠竹(しのたけ)、伊豫簾を作る(いよたけ)、可愛い稚兒籠、可憐な禿笹、庭園に植ゑて眺める寒竹、方竹、業平竹、鳳凰竹、矢の製作に適する矢竹など夫々の特色があり面白いものも我國には數多いのである。

臺灣には竹種甚だ多く其の産額も夥しいのであるが就中主要のものを列挙すれば次の通りである。

桂竹(けいちく)は内地産眞竹に酷似する臺灣固有の竹で全島に廣く栽培せられて居る。用途極めて廣き爲め處々に桂竹の大竹林がある。稈高大體9~12米、徑4~9糎、節間距離20~40糎、建築材、家具、樂器、籠籠、扇子、提灯、傘、竹槍、弓、竹釘等あらゆるものに應用せられて居る。

茅茄竹は孟宗竹の別名であるが臺灣産のものは稈高25米、稈周45糎、稈肉厚く質最も堅靱にして節間長さも蟲害激しく往々折損等の缺點がある。花瓶、盆皿、雨樋、浮標、各種の食器、傘骨などに用ひられて居る。

刺竹(しちく)は臺灣固有種にして人家の附近に防風又は防匪牆として栽培せられて居る。稈高15米、稈徑15糎、節間比較的短小にして30糎前後、表皮厚く靱性に富むを以て建築材、土工用、農具用、荷棒、弓、槍、竹箸、竹釘、食器などに應用せられて居る。

石竹(せきちく)は臺灣固有の竹類にして稈高12米、稈徑12~18糎、節間長く25~40糎に達す。肉厚く強靱なるを以て輜輿又は山車の荷棒などに愛好せらる。

麻竹(まちく)は臺灣産竹類中最も大稈を有し、稈高20~25米、稈徑30糎、節間60糎に及ぶものあり。建築材、橋梁材、筏材、籠籠類の製作等に使用せられて居る。

綠竹(りよくちく)は稈高12米、稈徑12糎、節間約45糎にして表皮厚く深綠色を呈し強靱なるを以て炭礦坑木、槍柄、漕竿などに用ひられて居る。

2. 竹の利用と其の効果

叙上の如く地球上に於ける竹の分布は相當に廣いのであつて其の利用價値も亦莫大である。馬來・臺灣・其の他東亞の熱帯諸島では、竹の柱に竹の屋根、竹の寢臺に竹の壁、陸を行くには竹の輿、海を越すにも竹筏、川には竹の橋を架け、家の廻りは竹林、庭の境は竹垣根、篋で水を送りこみ、干すも擔ふも竹の棹、椅子も机も桶も杓子も、笛や大鼓も竹細工、飯を炊くにも竹を焚き、酒を買ふにも竹の筒、戦さするにも竹槍弓矢、漕舟釣魚も竹の竿、食ふに筍、藥に竹糖、物を包むに竹の皮、竹なくしては11日も生活が出来ない程に之を利用して居るのである。

生長が極めて早く使用に便利な竹類は我國でも遠き神代の昔から諸種の用途に供せられ、日常百般の生活必需品として珍重し又庭園に植ゑて觀賞するなど其の貢獻は頗る著大であつた。現存する内地竹林の總面積は12萬町歩に及ぶと云ふことであり、之より産出する竹材は籬及び笥代を合すれば實に1,500萬圓に上るのである。竹材及び竹製品の海外輸出年額は約300萬圓に達し、之に提灯・團扇・扇子・和傘などの準竹製品を加ふれば輸出年額500萬餘圓にも及ぶ重要生産品である。而も竹林の培養は京都・岐阜地方を除いては殆んど放漫の取扱をして居るので、若し之等に充分な手入れを施し竹林の保護を完からしむるに於ては生産の増進・品種の改善は必然と信ぜらるゝのである。

竹の用途は日常の家財家具以外にも建築用・土木用乃至遊戯用・藥用・食用等枚舉に遑がない程廣汎なことは周知の事實である。我國では昔から竹瀝と稱へ籬を黒燒として止血打傷などの治療又は強健劑として珍重し、又籬は防腐の效ありとして肉類又は羊羹など菓子類の包装に賞用して居た。熱帯産の竹類中には節の間に清澄な甘味の液汁又は粉末を貯ふるものがある。其の味砂糖を凌ぐものがあるので土人等は古來之を貴重な醫藥とし殊に發汗劑として珍重して居た。波斯人は之を「竹の乳汁」と稱へ亞刺比亞人は竹黃(Tabaschir……英名 Tabasheer)と呼び、印度人は之を竹砂糖(Sakker Bambu)と唱へて居たが後年亞刺比亞人は外觀 Tabasheer に類する蔗糖に對して迄 Sakker なる名稱を興へた。英語の Sugar, 獨語の Zucker, 佛語の Sucre は何れも之からの轉訛でサツカリンなども同様の辭義だと云ふことである。

叙上以外にも獨逸人は竹條から電燈用カーボンを製作し、支那及び我國でも竹幹の内皮より纖維を採り楮と混じて竹紙、雁皮紙を作り、或は蓆に編み網代に仕揚げ籬を作つて桶の補強をなし竹肉を叩いて火繩を製するなど、直接有形的の利用効果も夥しいのであるが、尙ほ竹類の根は相錯綜して土壤を結束緊張せしむる力大なる爲め、古來河川の護岸又は堤塘の根方に植栽して其の根固めに應用し、或は山岳・海濱・河岸等の急斜地に繁茂せしめ砂防又は防水・防風・防雪に備ふるなど間接の效も亦至大であつた。更に近來は笹の葉を利用し笹蒲團又は笹枕を製し病牀に使用して居るが中風患者などには特效があるとのことである。

要するに竹類は月餘にして生長し數年にして發育完了する爲め、適當に之を栽培し適當に之を活用するに於ては植物中土地の利用能率萬點である。而も竹は其の幹通直にして丈け高く強靱にして彈力に富み、割裂爲易きのみならず抗張力極めて強く抗壓・抗曲・抗折等の力も相當に備はり、適度の間節を保ち中空にして輕い爲め伐採にも運搬にも骨折れず、加ふるに寒暑又は乾濕に依る變形伸縮の度合も比較的の小なるなど、誠に有難き幾多の有益有效なる特徴を具備して居るのである。去れば之等の増産並に品種改良・用途開發等に関し新に具體的研究を實施し、徹底的に竹類の缺點を補ひ利用價値を科學的に一層昂上せしむることは最も緊要の處置と考へる。今日迄竹の缺點として傳へらるゝ事項は耐アルカリ性に乏しきこと、糖分の發散相當に著しくセメントの硬化を妨害すること、水分の吸收大なる爲め變形又は風化腐蝕の憂あること、コンクリートに對する附着力の鮮少なること、鐵鋼などの無機物に比較し變形伸縮等の率大なること、虫害・火災の虞れあること、耐久力に對する懸念等であつて、之等が専ら土木建築用資材としての應用を阻んで居る次第であるが、既に1,000年を経たる竹製樂器が今に保存せられ數百年にも及ぶ弓矢が現に其の用を果して居る。筆者の實驗に依るも名古屋城の壁下木舞竹の抗張強は、300年經過後と雖も尙ほ1,200 kg/cm²以上の強度を保持して居るのである。更に古來竹材から醫藥を抽出した事實もあり又之等の纖維を活用して竹紙・雁皮紙・火繩など迄製作して居たのである。蓋し竹類の強靱なる纖維を化學的に應用する工夫も亦今日の人絹又はスフ以上有効かとも考へる。竹の纖維を搾取してエタニットパイプの原料に供する時代も來るであらう。畢竟竹類は東洋の主産物丈けに科學的に顧みらるゝことが甚だ薄く、恰も現在の亞細亞民族が歐米人から搾取誅求を蒙り奴隷視せらるゝと同様無用の長物らしく遺棄されて居た觀がある。茲に竹類を再認識し之等亞細亞獨特の天與資源啓發を企て其の特徴效益を發揚せしむることは、竹類と其の郷を同じうする我々亞細亞民族の爲すべき當然の責任と思ふ。而も吾人は今國運を賭して興亞鴻業の大成を期し大東亞戰爭に勇戦奮闘の眞最中である。率先茲に竹の調査研究を開始し興竹利竹の徹底を圖るは銃後科學者の重大職責と云ふべく、斯くて亞細亞文明の再建に努力するも亦興亞の一端なるを確信する次第である。

3. 竹の科學的研究

前述の如く竹は其の應用範圍極めて廣汎で東亞民族の生活必需品となつて居るが、東洋の主産物丈けに之等に関する學術的研究の貧弱さは誠に言語道斷と云ふべきである。昭和15年1月發行の建築雜誌第658號に竹に関する參考文獻目錄を掲げて、竹筋コンクリートに関する資料を提供して研究者の至便を計つて居るが、之に依るも其の數は極めて少なく何れも大正以降のもののみで表一の如く寥々たる情勢である。

筆者が名古屋市下水道敷設事務所在勤中側溝用ブロック 其の他輕微の資材に竹筋コンクリー

表-1

発表期	発表雑誌	主 題	著 者
大正1年2月	Eschen und Hichoryholz	竹の弾性及強度に関する研究	Mr.R.Baumann
// 4. 5	工 學 No. 13	竹筋コンクリート試験報告	堀山 淺次郎氏
// 5. 4	演習林報告	臺灣に於ける内地杉及竹の研究	東大農科大學
// 8. 2	工 學 No. 58	竹筋コンクリート橋	工 藤 祐 基氏
// 8. 7	林學會雜誌 No. 1	竹材の收縮試験成績	豊田 常 人氏
昭和4. 8	臺灣山林會報 No. 40	桂竹の竹桿折解に就て	加納 瓦 全氏
// 4. 11	林業試験彙報 No. 28	竹材の乾燥色澤の關係に就て	泉 岩 太氏
// 5. 8	航空研究所彙報 No. 72	竹合材の諸性質	小川 太一 郎氏
// 7. 7	宇都宮高等農林學校學術報告 No. 2	竹 の 研 究	中 所 正 人氏
// 8. 1	臺灣の山林 No. 81	臺灣に於ける竹材利用の概要	宇 野 昌 一氏
// 8. 1	臺灣の山林 No. 81	臺灣の竹類	永山 規矩 雄氏
// 8. 2	シルビア第4卷 No. 1	臺灣竹材の纖維素含有量及二三化學的組成分に就て	佐々木 舜一 氏
// 8. 4	林 學 會 誌(號不明)	竹の強度に関する試験報告	加納 瓦 全氏
// 9. 5	第7回萬國道路會議報告 Concrete and Constructional Eng. Vol. 31 No. 11	中華民國の竹筋コンクリート道路	鈴木 丙 馬氏
// 11. 11	盛岡農林學校同窓會學術彙報 No. 13	竹筋コンクリートに就て	中華民國政府
// 12. 3	セメント界彙報 No. 348	苦竹を構成する細胞膜の厚さが該材の理學的性質に及ぼす影響	Mr K. Datta
// 12. 3	日本林學會誌 No. 19	鐵筋の代りに竹筋を	宇 野 昌 一氏
// 12. 12	セメント界彙報 No. 365	竹材の發熱量及燃料的價値に就て	中 村 猪 市氏
// 13. 8	土木工學7卷 No. 9~10	竹筋コンクリートに関する文獻	重 松 義 則氏
// 14. 3~4	セメント界彙報 No. 372 No. 373	竹筋コンクリート	中 村 猪 市氏
// 14. 4	建築學會論文集 No. 13	竹筋の化學的研究	沼 田 政 矩氏
// 14. 4	同 上	竹筋コンクリート桁の彎曲試験	河 村 協 氏
// 14. 4	プラスチック 第16卷	竹筋及竹ラスの工場見學	島 村 一 氏
// 14. 5	セメント界彙報 No. 374	竹筋コンクリートの現在	興 純 一 氏
// 14. 5	工業國策	竹筋コンクリート試験報告	鈴木 忠五 郎氏
// 14. 7	土木工學1卷 No. 7	竹筋コンクリートに就て	中 村 猪 市氏
// 14. 9	セメント界彙報 No. 378	竹筋コンクリート桁に関する試験報告	河 村 協 氏
// 14. 9	臺灣工事研究所彙報 No. 5	竹筋コンクリート梁の彎曲試験	中 村 猪 市氏
// 14. 10	土木工學8卷 No. 10	竹筋コンクリートの縮切率	伊 藤 南 海 男氏
// 14. 12	セメント界彙報 No. 381	竹筋コンクリートの耐久性に就て	藤 澤 國 太 郎氏
// 15. 1	同 上 No. 382	竹筋コンクリート	今 野 輝 雄氏
// 15. 1	同 上	竹筋コンクリート桁の彎曲試験	河 村 協 氏
// 15. 1	建 築 雜 誌 No. 658	竹筋の理學的性質	桑 本 眞 太 郎氏
// 15. 1	同 上	竹筋の處理法	藤 澤 國 太 郎氏
// 15. 1	同 上	竹筋及竹筋コンクリートの強度に就て	松 島 鐵 也 氏
// 15. 1	同 上	竹筋コンクリート梁の試験報告	島 田 一 氏
// 15. 1	同 上	竹筋コンクリート版に無筋コンクリート版の強度試験	興 純 一 氏
// 15. 1	同 上	竹を挿入したコンクリート桁の試験報告	河 村 協 氏
// 15. 1	同 上	竹筋コンクリート構造の設計	栗 山 寛 氏
// 15. 1	同 上	及施工に就て	安 藤 峻 一 氏
// 15. 1	同 上	竹筋コンクリート構造の實例に就て	中 村 猪 市氏
// 15. 1	同 上	竹筋コンクリートに関する發明考案	中 村 猪 市氏
// 16. 12	水 道 No. 184	代用品パイプ竹管の再認識	酒 井 勉 氏
			蓮 池 勇 氏

トを相當に應用したのであるが、之等構造物の基準を定むる必要上現内務技師水谷鏞君と共に、大正4年2月から竹材及び竹筋コンクリートに関する研究を開始し、更に同5年5月より3箇年繼續事業として本格的實驗に着手したのであつたが、翌6年4月筆者は名古屋市を退き後幾何もなく水谷君も内務省に榮轉した爲め、折角の企ても着手1箇年餘にして中止の止むなきに至り、調査未了の儘遂に發表の機會を失し今日に及んだことは甚だ遺憾であつた。大正12年大震災當時筆者は獨部伯林に滞在中であつたが、某大學教授から日本の建物は **Bambus und Papier** が多いと聞かされ、從て地震には強いが火には弱からうと云ふ様な質問を受けた。流石の筆者も之には驚かされ如何に日本でも竹と紙の家はないと些かムツとしたが、教授は更に言葉を改めて東洋の竹と紙の優秀性を賞讃し、建物に迄之等が充分に應用されて居る巧妙さを稱へられたので始めて奇問の意味が解り竹に關し種々な説明を行ひ質問應答を重ねたこともあつた。又昭和3年と記憶するが米國のワツデル博士から我が土木學會宛に、竹に関する研究資料の蒐集斡旋方を依頼して來たが、遺憾にも當時殆んど之等の資料見當らざる爲め斷つた始末である。大正4年以降筆者が名古屋下水道用資材に竹筋を利用したことは前掲の通りであるが、同9年筆者が内務技師として福岡縣の水害査定に出張した頃には、同地方では已に相當廣範圍に竹筋の應用が行はれて居り、橋梁の高欄又は床版或はコンクリート護岸の中などに割竹の挿入しあるを見受けた。尙ほ當時福岡市の建築屋さんで竹筋コンクリートの特許を得た人があつた様にも覺えて居る。又前表にもある通り同8年には工藤祐基氏が福岡縣某鎮山で實施した竹筋コンクリート橋の工事報告などもある。從て此頃は竹の實用的應用が已に相當範圍に實施されて居たことは察知せらるゝのである。

建築雜誌昭和15年1月號には竹筋コンクリートに関する資料を蒐輯して居るが、其の序言に、竹筋コンクリートに就ては由來一部に提唱者もあつたが餘り顧られし事なく、之が關係方面に於て本格的に研究の對象となつたのは、時局下鐵鋼統制以來極めて最近に屬するものである。從て其の研究の成果は遽に萬全を期し難く、向後の研究途上幾多の困難を豫想せらるゝのであるが、其の一方に於ては小範圍の試験的使用に依て已に實用化の第一歩を踏出した例もあり、此の問題に對する斯界技術者の關心は日を追つて昂まりつゝある。依て今回竹筋コンクリートに係る各方面の實驗並に研究の結果と之に關する資料を總括收載したのである。之に依り竹筋コンクリートの將來性に對して多分の示唆を與ふることゝ信ずる。讀者の參考となり又自得さるゝ處あれば幸であると思ふ。松島鐵也氏の「竹材の理學的性質」外8篇の研究論文を載録し、終りに參考文獻として從來の論文報告等の掲載雜誌名・發表年月等を掲げ參考に供して居る。大半は最近3,4年の研鑽に屬するもので研究者は建築、土木、林業、セメント業關係者など大部分を占むる様であるが、建築學會の此の企ては時節柄非常に結構で當事者の好參考物であると思ふ。

近來はコンクリート用竹筋の形體・補強硬化等に関する種々なる發明又は新案特許、竹筋コンクリート構造に對する特許等も數多く現はれ、半永久構造物の内には鐵材の統制から止むを得ず竹筋を以て代用するものが多くなつて來た。安藝岐一氏の施工した山梨縣釜無川筋に於ける水制工事、農林省白河森林治水試験場氣象觀測舎等を初め小徑間の橋梁、護岸、擁壁、塀欄、管渠、橋脚、床版等の施工に竹筋コンクリート工を配する向きが著しく増加したのである。殊に東京市財務局在勤の藤田章氏の如きは數年前より竹筋に關する研究を續け、竹材の耐アルカリ耐吸水の簡易處理法、竹筋コンクリート管各種の強度、床版欄柵板等に付多數の實驗を遂行し已に其の一部は實用に移して居るのであるが、所定の調査完了し成績發表の曉には相當斯界に貢獻を廣らすものと期待さるゝのである。

4. 筆者の實驗方法

名古屋下水道布設事務所に於ける筆者等の實驗開始は大正4年2月即ち今から恰度30年も前の事であるが、當時筆者は下水道側溝用ブロック、掃除柵の覆蓋其他荷重の小なるものには、鐵筋を省略し竹筋コンクリートを代用したのであつたが、此の爲め竹に關する諸種の實驗を行ひ古竹などに就て其の耐久力を確め、利用價値に付相當の確信を得たので同5年5月より本格的の調査を行ふに決し、3箇年計畫を以て大體次の範圍の實驗に着手したのであつた。

- (1) 竹の持久力を知る爲め成るべく廣く古竹を蒐集し其の強度等を調査すること
- (2) 大氣中、淡水中、コンクリート塊中、壁土中に貯藏せる竹の強度に及ぼす影響を調査すること(3箇年)
- (3) 竹の耐酸、耐アルカリ性等を知る爲め石灰汁、セメント液、鹽酸溶液中に浸漬し其の影響を調査すること(3箇年)
- (4) 防蝕の爲め熱湯煮沸又は蒸氣乾燥を行つた竹の影響を調査すること
- (5) 竹管の水壓試験
- (6) 竹とコンクリートの附着強調査
- (7) 無筋鐵筋竹筋各種コンクリート桁の強度比較

などであつたが遺憾にも前掲の次第で1箇年限り總てを打切つて仕舞つた。古竹の蒐集には主として水谷鏞氏が當られたが隨分骨を折られた様であるが、當時偶然にも名古屋城の修理が行はれ築城一部の古竹が手に入りしことなどは豫想外の幸福であつた。試材に用ひた眞竹は一部は唐傘又は提灯骨に用ふる岐阜縣産の上竹であるが、他は何れも名古屋市郊外に産する4、5年生の普通眞竹であつた。試材は總て根元又は末梢部などを避け中稈良質の處から採取し、特に指定したもの以外は其の表皮又は節に加工せず割り取つた儘を、長さを9寸(約27種)に定め幅は10~20、厚さは實在の儘(約5~10種)にて試験片に作り、引張強さは總てサミュール。

デニソン式 8,000 封度抗張試験機に依り測定したものである。

桁の製作に用ひたコンクリートは配合容積比 1:2:4 でセメントは愛知セメント株式會社の製品、砂及び砂利は木曾川下流の産、鐵筋は名古屋市岡谷商店納めの普通の軟鋼丸鐵、壁土は名古屋附近で建築に常用する普通の壁土粘土を用ひた。

桁の試験は徑間を 75 種と定め集中荷重法に依つたもので、荷重は名古屋高等工業學校備付の 30 噸ジャクトン手動油壓式試験機に依り測定し、撓度も亦同校備付のエクステンソメーターを用ひ水谷氏苦心の測定になつたものである。竹管の水壓試験は名古屋市上水道鐵管試験場で行つたのであるが、普通方法では彎曲を受け破損の虞れありし爲め、特に竹管の兩側に厚 1/2 吋の鐵板を當て徑 3/4 吋ボルト 3 本を以て締め付け水壓を加へたものであつた。

今や我國は未曾有の國難に際會し時局下鐵鋼統制以來竹筋コンクリートに關する本格的の研究漸く擡頭し、斯界技術者の關心は日を追ふて昂まらんとして居ることは建築雜誌子の述ぶる通りである。依て茲に舊稿を辿り實驗成績の一端を摘録し尙ほ前掲新進諸氏の調査研究をも併せ綜合して本文を草したのであるが、筆者の薄識寡聞固より竹に關する調査研究の全般を盡せるにあらず叱正補充の勞は専ら他の研鑽を煩はさんと希ふ次第である。

第2章 竹材の性能

本章に収むる諸氏の實驗成績並に其の所論中、[筆者が入手し得たる建築雑誌及びセメント界業報の一部又は水道等に發表ある分は直接披見したるも、他の多くは不精の筆者には一々其の煩に絶えざる爲め建築雑誌昭和15年1月號所載の松島鐵也氏の論文「竹材の理學的性質」中より、資料を得たるもの多きことを茲に明記して松島氏並に一般の御了承を乞ふ次第である。

1. 竹材の比重

竹材の比重に付從來發表せられたる試驗成績は次の如くである。

(1) 東大農科大學演習林實驗報告(大正5年)

孟宗竹(臺灣産)	1.097	桂竹(臺灣産)	0.855
刺竹(臺灣産)	0.723	孟宗竹(内地産)	1.192
眞竹(内地産)	1.054		

(2) 内地産眞竹に對する宇野昌一氏實驗成績(昭和7年)

試験片採取位置	含水量(%)	氣乾比重	内外平均氣乾比重	絶乾比重	内外平均絶乾比重
内側	15.92	0.5736	0.8008	0.5315	0.7601
外側	15.28	1.0280		0.9886	

(3) 臺灣産竹類に付加納瓦全氏實驗成績(昭和4年)

竹種(臺灣産)	竹齡(年)	肉厚(糶)		胸高直徑(糶)	比重		平均
		地上1米	地上3米		地上1米	地上3米	
桂竹	3	6.5	4.5	5.8	0.860	0.896	0.878
蔴竹	2	10.0	7.0	9.5	0.637	0.598	0.618
刺竹	2	15.0	9.5	9.0	0.608	0.754	0.681
長枝竹	2	7.0	5.5	5.5	0.761	0.700	0.731
孟宗竹	3	13.0	11.0	13.5	0.874	0.924	0.899
綠竹	2	10.0	1.0	4.5	0.770	0.773	0.772
人面竹	3	3.5	2.0	1.8	0.902	0.925	0.914
有成竹	3	5.0	4.2	4.6	0.817	0.833	0.825
鳥葉竹	3	7.5	4.6	4.6	0.739	0.791	0.765
米筋竹	2	4.6	2.5	3.8	0.689	0.745	0.717

備考 桂竹は臺灣眞竹の稱あり内地産眞竹に酷似して居る。

竹種	比重	リグニン含有量
人面竹	0.925	28.963%
孟宗竹	0.924	21.268%
桂竹	0.896	19.425%
有成竹	0.833	16.265%
鳥葉竹	0.791	13.169%
綠竹	0.773	16.287%
刺竹	0.754	17.690%
米筋竹	0.745	17.125%
長枝竹	0.700	14.218%
蔴竹	0.598	15.593%

而して加納氏に依れば竹の比重は其のリグニン含有量に正比例する由で左表の如き報告がある。

(4) 加納氏は又桂竹の竹管全容積に對する比重を測定した。之に依れば一年生竹稈の第1節(根部)の比重は0.38にして上部程夫より漸減し、20節前後に於て最小となり約0.22、夫より再び漸増35節附近に至り第1節と略同様に復し、夫れ以上は急増し45節に於ては0.7餘を示せり。要するに一年生竹稈の容積比重は地上の數節及び稈梢部を除けば其の比重

大體0.2~0.3にして、二、三年生竹稈の夫れは0.25~0.3、四年生竹稈の夫れは0.3~0.45なりと云ふ。而して其の結論に曰く竹の比重は竹齡の増加と共に増加し其の増加割合は初年生に比し二年生比較的大なるも爾後の増加は甚だしく大ならず、又地上高に依る比重の變化は各年生を通じ上位程著しき増加を示す傾向ありと云ふ。即ち

試材採取位置	絶乾比重			
	1年竹	2年竹	3年竹	4年竹
第1節	0.43	0.62	0.68	0.73
第40節	0.78	0.80	0.88	0.89

(5) 宇野氏は又(昭和12年)實驗の結果眞竹の比重は氣乾時で0.833、絶乾時で0.793であつたと報告して居る。

以上の結果を綜合するに竹材の比重は其の産地及び品種に依り、又同一竹材に於ても外皮部と内肉部に依り、地上よりの高さ即ち根部・中部・梢部等に依り、或は竹齡・肉厚の大小など種々の事情に依り相違著しきものあり、結局一定の數値を求め得ざるは遺憾なれども竹の性質上是れ又止むを得ざる次第であるが、然し大體に於て眞竹(桂竹を含む)及び孟宗竹の氣乾時比重は次の値を採用し大過なきものゝ様である。

種別	農大	宇野氏		加納氏	平均	總平均
		第1回	第2回			
眞竹(内地産)	1.054	0.801	0.833		0.896	0.882
桂竹(臺灣産)	0.855			0.878	0.867	
孟宗竹(内地産)	1.192				1.192	1.095
孟宗竹(臺灣産)	1.097			0.899	0.998	

通常鐵筋材に使用する軟鋼の比重は7.8~7.9なるを以て、之に比すれば竹筋は非常に軽く約九分の一である。又普通コンクリートに比するも其の

重さは半分以下ではあるが、竹筋コンクリートの重量算定などには竹筋量にも依るが普通の場

合平コンクリートと同様に採るも大過ないかと考へる。但し重量が軽いだけ施工の際浮上る傾向著しき爲め、竹筋位置の確保には深甚の注意と方策が必要である。

2. 竹材の収縮率と其の吸水量

(1) 宇野昌一氏の實驗(昭和7年)に依れば眞竹の氣乾状態より絶乾状態に至る迄、含水率1%の減少に依る竹の収縮率は長さの方向に0.022%、幅の方向に0.274%、厚さの方向に0.255%であつた。又同氏の昭和12年の再實驗では竹材の収縮率は長さの方向に0.019%、幅の方向に0.278%、厚さの方向に0.273%と報告されて居る。

(2) 豊田常人氏の實驗(大正8年)に依れば竹の収縮率は其の外皮部と内肉部とに依り著しき相違あり、竹種に依り異なるも孟宗竹は地上5米、眞竹は地上6米附近が内外面の収縮最も著しく、爲めに根元の部分よりも上方に達する程氣乾後内方に反れる傾向大なりと云ふ。實驗成績次表の如くである。

竹材の収縮率(%)

種 別 (内地産)	長さの方向		幅の方向		厚さの方向	
	内 側	外 側	内 側	外 側	内 側	外 側
孟 宗 竹	0.0566	0.0309	0.3515	0.7187	0.6141	0.6109
淡 竹	0.0330	0.0293	0.8563	0.8445	2.0822	1.9290
眞 竹	0.0401	0.0400	0.8266	1.0427	1.6647	1.2857
平 均	0.0383		0.7734		1.3644	

大なるもの即ち竹齡の大なる程収縮率も亦大にして、一年生0.362%、二年生0.410%、三年生0.400%、四年生0.420%に相當せしと云ふ。

要するに竹の収縮率は長さの方向に於ては著しからざれども、幅及び厚さの方向に於ては常に相當量に上るものゝ如し。而も其の品種・竹齡に依る影響可なり大なるを以て竹筋コンクリートとして使用する場合、コンクリートに對する附着力を減失する因となるものなれば、収縮率を最小限度に固定せしむる工夫が最も肝要と考へる。配合1:2:4コンクリートの膨脹係数は普通攝氏1度に付0.0000033で、又コンクリートが外氣中で硬化すれば其の容積がいくらか収縮し、水中で硬化すれば膨脹する傾向がある。普通外氣中の硬化に依る収縮率は0.0005で水中の硬化に依る膨脹率は0.0002とせられて居る。然しGoldbech氏の實驗に依れば1:2:4堅練りコンクリートで30日間に0.034%、60日間に0.048%収縮したと云ふ。又供試體を15日間濕潤した布に包んで置いたが初めは多少膨脹したが、其後外氣中に出した處60日間で0.016%から0.25%の収縮を見たとの報告もある。

(3) 加納瓦全氏の桂竹に關する實驗(昭和4年)では長さの方向の収縮率は、竹齡に拘らず何れも0.03%以下、厚さの方向の収縮率は0.362~0.525%總平均0.4%を示し、筒直徑の収縮率は竹齡及び其竹の含水率に依り異り之等の

去れば豊田氏の實驗を誤りなきものとすれば長さの方向丈は左迄心配はない様である。又竹材の含水率は前掲宇野氏の實驗に依れば、内地産眞竹の場合内側15.92%、外側15.27%なりとの報告あり。セメント界報昭和14年9月號安藝校一氏の竹筋コンクリート桁に關する試驗報告には次の如く示されて居る。

種 別	試材 1	" 2	" 3	" 4	" 5	平 均
素 材 の 重 量 (gr)	120	113	110	165	145	
淡水浸漬7日後の重量 "	150	142	141	198	172	
吸収せる水分の重量 "	30	29	31	33	27	
吸 水 率 %	25.0	25.7	28.2	20.2	18.6	23.5

即ち竹材の吸水率は其の品種材質、氣温、環境等に左右せらるゝこと勿論であるが、普通に

は15~25%を常態とするものゝ様に察せらるゝのである。

3. 竹の成分と其の發熱量

重松義則氏の研究(昭和12年)に依れば竹材の組成元素量は大體灰分2%、水素7~8%、炭素48%、酸素42%にして之を一般木材に比べると幾分酸素が少く水素が多い。上記の数値をDulong氏の公式

$$\text{發熱量} = 80.8C + 341.8 \left(H - \frac{O}{8} \right)$$

に代入すれば發熱量は4,648~4,818kg Calorieとなる。而して同氏は測熱試験の實驗成績を次の如く述べて居る。

- (1) 竹材の發熱量は4,600~4,800kg Calorieの範圍である
- (2) 竹種別に於ては女竹の發熱量稍々小であるが、他は大同小異である
- (3) 竹齡と發熱量の關係は大體比例的の様である
- (4) 稈肉を二分した場合外層は内層よりも幾分發熱量大である
- (5) 節部は節間部よりも其の發熱量稍々大である
- (6) 稈の部位に於ては根元より上部に至る程發熱量大である

4. 竹材の壓縮強さ

従來發表の實驗成績を列挙すれば次の如くである。

- (1) R. Baumann氏(大正元年)に依れば長さ30cm直徑3cm厚さ0.45cmの竹管の壓縮強さは、其の實斷面積に對して794~863kg/cm²、中空部分をも含めた總斷面積に對して372~435kg/cm²であり、其の壓縮彈性係数は189,000~199,000kg/cm²であると云ふ。
- (2) 梶山淺次郎氏(大正4年)に依れば竹管の壓縮強さは280kg/cm²であつた。

(3) 鈴木兵馬氏(昭和8年)に依れば竹の壓縮強さは2年乃至8年生の眞竹では754kg/cm²である。

(4) 宇野昌一氏(昭和7年)に依れば竹類の壓縮強さ及び壓縮彈性係数は次表の如き結果を得て居る。

種 別	壓縮強さ(kg/cm ²)				彈性係數平均(kg/cm ²)
	下程部	中程部	上程部	平均	
眞竹	422.96	342.75	835.95	540.55	224.295
淡竹	411.56	458.85	363.43	411.28	243.361
孟宗竹	586.67	648.84	597.19	610.90	239.569
蔴竹	272.02	532.21	266.35	356.86	161.286
石竹	644.94	667.09	1274.85	862.29	552.750
綠竹	532.48	542.18	760.25	611.64	239.859
刺竹	361.26	221.60	441.75	241.54	118.705
平均				519.30	254.261

(5) K. Datta 氏(昭和11年)に依れば、竹稈の壓縮強さは735kg/cm²で、竹管全體では364kg/cm²である。

(6) 支那政府(昭和9年)の調査では竹管全體の壓縮強さは384kg/cm²なりしと云ふ。以上を綜合すれば眞竹々稈の壓縮強さは大體500~800kg/cm²と推せらるゝ様である。配合1:2:4程度のコン

クリートの壓縮強さは160~200kg/cm²なるに比し、竹稈は少くも4倍に近き壓縮強さを維持して居る譯である。

5. 竹材の引張強さ

(1) Baumann 氏の實驗(大正元年)に依れば竹材の引張強さ及び其の彈性係数は次の如くである。

試 驗 片 採取の位置	太竹(外徑8糎)		細竹(外徑3.3糎)	
	引張強さ(kg/cm ²)	引張彈性係數(kg/cm ²)	引張強さ(kg/cm ²)	引張彈性係數(kg/cm ²)
竹稈の外側	3068	250,000	3843	310,000
竹稈の内側	1594	110,000	1353	110,000
竹稈全體	2070	170,000	—	—

(2) 梶山淺次郎氏(大正4年)に依る竹の引張強さは1299kg/cm²であつた。

(3) 鈴木丙馬氏(昭和8年)に依る竹の引張強さは1971kg/cm²である。

(4) 萬國道路會議(昭和8年)に報告したる支那政府の竹の引張強さは1,760kg/cm²である。

(5) K. Datta 氏(昭和11年)に依る竹の引張強さは1,695kg/cm²である。

(6) 巽純一氏(昭和15年)に依る竹の引張強さは右表の通りである。

竹の種類	有 節	無 節
眞竹	1465kg/cm ²	3250~3400kg/cm ²
孟宗竹	988 "	1170 "

尙ほ同氏は竹材の引張強さは其の位置に依り變化あり全長5.8米の眞竹につき調べた結果では、有節無節共に中央部が最も強く根元及び梢部は次第に弱くなつて居る。即ち無節のもので下部は2,300kg/cm²、中央部は3,400kg/cm²、上部は2,100kg/cm²で、其の内3,000kg/cm²以上の強度を有する部分は其の中央約半分であると報告して居る。

(7) 宇野昌一氏(昭和7年)に依れば竹材の引張強さ及び引張彈性係数は表-2の通りである(試験片5個宛の平均)。

表 - 2

種 別	試材採取の位置	引 張 強 さ(kg/cm ²)					引張彈性係數(kg/cm ²)				
		下程部	中程部	上程部	平均	總平均	下程部	中程部	上程部	平均	總平均
眞竹	内側	1876.2	1295.5	2259.3	1810.3	2833.5	219375	170461	282413	224083	373828
	外側	4207.6	3868.5	3494.0	3856.7	—	618765	508897	443056	523578	
淡竹	内側	608.4	2237.6	940.7	1262.2	1821.8	126750	329067	167982	207933	378914
	外側	2363.2	3148.3	1632.4	2381.3	—	590800	605442	453444	549895	
孟宗竹	内側	730.0	1060.5	887.4	892.6	1938.5	24013	115572	116675	85320	211257
	外側	3254.0	3166.4	2532.5	2984.3	—	135583	494750	331250	337194	
蔴竹	内側	506.5	1007.3	1057.9	857.2	1951.2	55054	183145	154397	130865	320956
	外側	2336.0	3635.7	3163.7	3045.1	—	116300	807933	608404	511046	
石竹	内側	639.8	1885.9	1891.0	1472.2	2287.8	26325	235738	429772	230612	329918
	外側	2094.9	4269.4	2946.0	3103.4	—	84452	533675	669544	429224	
綠竹	内側	1621.8	2046.5	2614.6	2094.3	3351.5	224694	292357	344026	287026	482138
	外側	4221.9	4846.6	4757.6	4608.7	—	753911	683139	594700	677250	
刺竹	内側	697.6	2649.6	2377.7	1903.3	2487.6	81789	378514	349662	273322	350722
	外側	3836.0	2957.5	2407.3	3066.9	—	532778	434926	316663	428122	
平均					2381.7					349676	

(8) 宇野氏が氣乾時絶乾時に付比較せる内地産眞竹の引張強さは表-3の如くであつた。

表 - 3

試材採取の位置	含水率(%)	引 張 強 さ (kg/cm ²)			
		氣 乾 時	平 均	絶 乾 時	平 均
内 側	15.92	916.64	1892.19	745.36	1996.63
外 側	15.27	2864.73		3247.89	

(9) 宇野氏は又(昭和12年)眞竹材を構成する細胞膜の厚さを4區分し、眞竹材の收縮率、比

重、壓縮強さ、引張強さの関係を夫々表-4の如く表示して居る。

表-4

細胞膜平均厚(μ)	比 重		收 縮 率 (%)			壓縮強さ (kg/cm ²)	引張強さ(kg/cm ²)	
	氣乾時	絶乾時	長 さ	幅	厚 さ		氣乾時	絶乾時
3~4	0.745	0.719	0.029	0.294	0.290	850.16	1790.83	1793.03
4~5	0.780	0.727	0.022	0.253	0.243	1021.23	1702.83	1837.44
5~6	0.818	0.777	0.021	0.274	0.220	1210.96	1892.59	2109.14
6以上	0.990	0.949	0.005	0.294	0.340	1365.17	2952.11	2794.15
平均	0.833	0.793	0.019	0.278	0.273	1111.88	2084.59	2133.44

(10) 東大農科大學演習林に於て實驗せる節の有無に依る引張強さの影響は表-5の通りであつた(大正5年)。

表-5

竹の種類	比 重	引張強さ(無節)		引張強さ(有節)	
		範圍(kg/cm ²)	平均	範圍(kg/cm ²)	平均
茅 茹 竹(臺灣産)	1.097	1800~2388	2139	1282~1980	1540
桂 竹(臺灣産)	0.856	1978~3160	2671	1565~3183	2400
刺 竹(臺灣産)	0.723	1707~3200	2632	1183~2183	1744
孟 宗 竹(内地産)	1.192	1800~2214	1949	1289~1853	1552
眞 竹(内地産)	1.054	1818~2727	2292	1747~2354	2020
平均			2337		1851

備考 以上は試験片各 20 個宛の平均値である。

(11) 筆者の實驗(大正5年)せる眞竹材の引張強さに對する有節無節の影響、大氣中に乾枯したるもの、淡水中に浸漬したるもの影響は表-6の通りであつた。但し試材中○印を附せるは提灯又は傘製造に用ふる岐阜縣産の上等品なれども、他は總て名古屋市郊外に産する普通の眞竹である。

表-6

大氣中に乾枯したる眞竹の引張強さ (kg/cm ²)												
貯藏期間	無 節										平均	百分比例
○	2371	2102	2023	2537	2024	2141	2288	2634	2259	1851	°2223	
平均											2223	114.0

無 節												
4 週	1982	1603	1506	1720	1907	1646	1345	1265	2068	1590	1663	
8 "	1758	1889	1925	1968	1848	1875	1877	2002	1875	1823	1884	
13 "	1584	1916	1851	2065	1384	1987	2196	2320	1565	2707	1958	
26 "	2060	1859	2376	2165	2198	2245	2164	2320	2533	3034	2295	
39 "	2056	1694	1640	1867	1811	1758	2187	1758	2062	2192	1903	
52 "	2890	1858	1863	2033	2005	1643	1569	1541	2285	2259	1995	
平均											1950	100.0
有 節												
4 週	1652	1597	1871	2847	1837	2446	1518	1457	1809	2833	1987	
8 "	1417	1758	1807	3234	2780	2562	2224	2206	1652	1746	2139	
13 "	2159	2207	1710	2322	1566	1931	1797	2862	3120	2681	2236	
26 "	2069	2109	2339	2205	2661	2291	1728	2411	1953	3360	2313	
39 "	1779	1847	1297	2461	2981	1785	2106	1843	2109	2151	2036	
52 "	2296	1828	3065	2050	3475	3287	2486	1621	1874	2082	2406	
平均											2186	112.1
淡水中に浸漬したる眞竹の引張強さ (kg/cm ²)												
無 節												
4 週	882	1980	1863	1894	1730	1895	1762	2057	1278	1445	1678	
8 "	1806	2011	1840	1655	1758	1775	1779	1667	1849	1154	1729	
13 "	1575	2073	2182	1879	1511	1476	1714	2198	1742	1917	1827	
26 "	1870	1616	2109	2025	1339	1256	2742	2070	2587	2109	1972	
39 "	2117	2123	2046	2359	2269	1901	2548	2173	2078	2057	2167	
52 "	2007	1464	1499	1502	1792	2023	1925	2109	1640	2215	1818	
平均											1865	95.6
有 節												
4 週	1210	1482	1360	1767	1339	1589	1955	1758	2309	1774	1654	
8 "	1588	916	1621	1963	1196	1543	1678	1837	1350	1224	1492	
13 "	1518	2230	2350	2053	1985	2068	2214	2109	2313	2834	2117	
26 "	1752	1575	2212	2477	1750	1788	1705	1683	1692	2130	1876	

39	1680	2043	2063	1948	2510	3266	2485	1767	2394	2049	2221
52	1494	1867	2285	1724	2192	1885	1491	2579	2011	1809	1934
平均										1882	96.5

(12) 農大演習林(大正5年)に於て調査したる竹材及び木材の引張強さに對し鐵鋼材の夫れを比較すれば表-7の如くである。

表-7

竹 材		木 材		鐵 鋼 材	
種 別	平均引張強さ (kg/cm ²)	種 別	引張強さ (kg/cm ²)	種 別	引張強さ (kg/cm ²)
眞竹	2292	杉	231~440	鑄鐵	1250~1570
淡竹	1822	樺	260~600	高級鑄鐵	2200~2800
孟宗竹	1949	松	227~907	軟鋼	3780~4250
茅茹竹	2139	檜	340~850	半軟鋼	4400~5000
桂竹	2671	楡	580~1200	半硬鋼	5200~6000
刺竹	2632	櫻	540~1250	硬鋼	6100~7100

前表に依れば竹材の直張力は頗る強く普通鑄鐵を遙かに凌駕し、高級鑄鐵に略々匹敵し鐵筋材として普通に使用せらるゝ軟鋼又は半軟鋼に對して約半分の強度を保ち、杉・松・樺などの軟木材に對しては少くも4倍、楡・櫻などの硬木材に對してすら2倍以上の強さを保有して居るのである。

6. 竹材の應曲強さ

(1) Baumann氏に依れば外徑2~7 糎、支間約15 糎、長さ17.5 糎の竹管に就ての應曲強さは763~2760kg/cm² なりしと云ふ(大正元年)。

(2) 東大農學部演習林報告(大正5年)に依る竹管の應曲強さは表-8の如しと云ふ(供試體20 個宛の平均値)。

(3) 第7回萬國道路會議に提出したる支那政府の報告では竹の應曲強さは915kg/cm² である(昭和9年)。

(4) 鈴木丙馬氏(昭和7年)に依れ

表-8

種 別	平均比重	平均應曲強さ(kg/cm ²)		
		最大	最小	平均
茅茹竹(臺灣産)	1.097	2250	1972	2102
桂竹(臺灣産)	0.856	2517	1298	2091
刺竹(臺灣産)	0.723	2500	1081	1932
孟宗竹(内地産)	1.192	2146	1682	1927
眞竹(内地産)	1.054	2205	1677	1902

ば眞竹の應曲強さは508kg/cm² であると云ふ。

(5) K. Datta 氏(昭和11年)の實驗では竹の應曲強さは704 kg/cm² で其の剪斷強は31.7 kg/cm² なりと云ふ。而して同氏は安全率を7とし竹材の許容強度を表-9の如く示して居る。

表-9

強 度	引張強さ (kg/cm ²)		壓縮強さ (kg/cm ²)		應曲強さ (kg/cm ²)	剪 斷 強 (kg/cm ²)
	竹 稈	竹 條	竹 稈	竹 條		
破壊強度	1079	1695	343	740	704	31.7
許容強度	154	242	49	106	101	4.5

7. 竹材の彈性係數

竹材の彈性係數に就ては報告甚だ少き爲め明瞭を缺くも前掲の諸實驗を綜合すれば大體次の様な判斷が出来る。

(1) Baumann氏(大正元年)に依れば竹材の壓縮彈性係數は189,000~199,000kg/cm² で、其の引張彈性係數は太竹にて110,000~250,000kg/cm²、細竹にて110,000~310,000kg/cm² なりと云ふ。

(2) 宇野昌一氏(昭和8年)に依れば竹材の彈性係數は竹種に依り相違し、壓縮彈性係數は眞竹は約224,000kg/cm²、淡竹は243,000kg/cm²、孟宗竹は240,000kg/cm² にして、同氏の實驗に使用した7種の總平均は約254,000kg/cm² に相當し、引張彈性係數は眞竹は約374,000kg/cm²、淡竹は約379,000kg/cm²、孟宗竹は約211,000kg/cm² にして7種の總平均は約350,000kg/cm² に當り、引張の方壓縮よりも大體に於て4割方大だと云ふことである。

(3) 筆者は竹材の彈性係數に就ての實驗は行はなかつたが、後掲の桁の試驗で比較的正確に荷重に應ずる撓度を觀測した。之等の成績は表-14に示してあるが之に依て鑄裂荷重即ち桁が破壊した瞬時の撓度よりコンクリート、鐵筋、竹筋に對する大體の彈性率は推測せらるゝと思ふ。桁の實驗に於ける鑄裂發生時の最大撓度は無筋桁平均0.1397 糎、鐵筋桁同1.443 糎、竹筋桁6種平均0.1680 糎で、無筋のものを1とすれば鐵筋は10.33倍、竹筋は1.203倍に相當して居る。

普通配合1:2:4程度のコンクリートの彈性率は其の許容應力の範圍に於ては、壓縮引張共に175,000~250,000kg/cm² であつて、一般計算には140,000~210,000 kg/cm² 位の値を取るのが適當と看做されて居る。又普通鐵筋材に使用する軟鋼の彈性率は壓縮引張共に殆んど大差なく平均2,700,000kg/cm² 位であり、計算上には2,100,000kg/cm² が適當と定められて居る。即ち鐵筋とコンクリートとの彈性率比“n”の値を通常10乃至15として居るのであるが、前記撓度の比較でも鐵筋はコンクリートに對して約10倍に當り、竹筋はコンクリートに對し約2

割方大にして宇野昌一氏の實驗を略々肯定して居る。

(4) 巽純一氏(昭和 15 年)は鐵材の彈性係數は 2,100,000kg/cm² でありコンクリートの彈性係數は 140,000kg/cm² であるから、鐵筋のコンクリートに對する彈性係數比は 15 である。即ち此の比が大なる爲め有效なのである。竹材の彈性係數は 157,000~233,000kg/cm² 平均先づ 210,000kg/cm² 位に取るを至當と思ふ。此の値からコンクリートに對する彈性係數比を求むれば 1.5 となる。即ち鐵筋の如く竹筋はコンクリート中で働けないのである。腐蝕處理と同時に今一層彈性係數を高める様に考究する必要がある。

(5) 中村猪市氏(昭和 15 年)は竹材のヤング係數は鋼材のヤング係數の約 1/15 即ち割合 1:2:4 コンクリートのヤング係數に等しいものと見得る様であるから、竹筋のコンクリートに對するヤング係數比は約 1 である。

(6) 安藝岐一氏(昭和 14 年), 河村協氏(同 15 年)共に其の竹筋コンクリート桁の應力計算に於て“n”の値を 1 即ち竹筋とコンクリートの彈性係數を同一に採つて居る。以上の如く眞竹材の如きは其の彈性係數コンクリートの夫れより、少くも 2,3 割方大なる様ではあるが現在の研究程度では先づ同一と見做すことが安全の様に考へる。

8. 古竹の耐久力

筆者の實驗に依る古竹の引張強さは表—10 の通りであつた。

從來城壘、寺院又は富豪住宅等の壁下木舞用として 使用せられし竹は良質なること勿論なるべきも、100 年 200 年甚だしきは 300 年以上に及ぶも尙ほ 1,200kg/cm² 以上の引張強さを維持する事實に徴し、其の保存方法如何により竹の耐久力に就ては充分信頼し得べしと信ずる。要は如何にして侵蝕腐敗を回避し 收縮其の他の個性を安定せしめ、其の絶大なる固有強度を維持せしむべきかの研究にあるのみと考へる。又 90 年の長きに涉り 屋根裏にありし 煤竹が約 1,400kg/cm² の引張強さを有する事實、使用 1 箇年に及ぶ古箸の引張強さが 3,400kg/cm² を保有して、優良新竹を凌ぐこと 5 割以上に達する事實などは竹材活用上保存上の好参考かと思ふ。尙ほ竹齡 30 年に及ぶ老竹と雖も引張強さ 1,600kg/cm² を保ち、割竹として使用するに於ては寧ろ若竹よりも收縮其の他の物理的變化硬結し、糖分其の他分泌物の關係も總てに敏感を缺く丈け好都合なるにあらざらんか。之等活用の研究も亦無意義ならずと考へらるゝのである。

中村猪市氏(昭和 15 年)の竹筋コンクリート構造實例中に、山口市大殿大路吉田某氏邸は明治 24~26 年の建築であるが、其の門柱に竹筋コンクリートを使用して居り、各柱に徑約 8 寸の丸竹が 4 本づゝ挿入してあるが、已に約 50 年を経過せしに拘らず青味を失ふことなく完全であつたと云ふ。又大正 6~12 年に京都府耕地課で施工した溜池法張工は、孟宗の割竹を 12 種間隔の格子形に組み厚 9 寸のコンクリート版内に挿み法張としたのであるが、昭和 14 年即ち約 20

年經過後溜池擴張の爲め一部を撤却した際立會つたが、竹筋は一部分の腐蝕を示すのみで表皮部には異状なく筋が太絲の如くからみ合ひ容易に切ることが出来なかつたと云ふ。又前掲工藤祐基氏が 大正 8 年に某鑛山で施工した竹筋コンクリート構も 今尙ほ異状なく充分の耐久力を示して居る由である。以上は何れも竹の素材を其の儘使用したものの例であるが、防蝕宜しきを得るに於ては一層の効果が期待さるゝ譯である。

9. 大氣中の乾枯と水中浸漬

竹材を大氣中に乾枯したるもの及び淡水中に浸漬したるものゝ引張強さは前掲表—6 の通りであるが其の平均値を示せば表—11 の如くである。

表—10 古竹の引張強さ

記 號	採取場所及び其の用途	積算 経過 年數	竹 種	試材 平均 員數	引張強さ(kg/cm ²)			摘 要
					最大	最小	平均	
1	名古屋城清洲櫓壁下木舞用	305	眞竹	4	1359	949	1212	慶長16年名古屋城建造の際清洲より移轉せるものと傳ふ
2	大曾根瑞忍寺庫裡壁下木舞用	237	〃	6	2609	1060	1604	延寶7年7月12日建立 良質の眞竹なり
3	名古屋東本願寺別院十六日講會所壁下木舞用	201	〃	3	1616	1161	1386	別院中最古の建物にして 正徳5年落成
4	同上 作事長屋壁下木舞用	120	〃	2	1088	994	1041	寛政時代の建設なりと云ふ
5	大曾根瑞忍寺本堂壁下木舞用	89	〃	16	2399	1349	1742	文政10年再建 良質の眞竹なり
6	新出来町大龍寺五百羅漢堂壁下木舞用	52	〃	7	1291	519	898	文久4年3月再建
7	同上 土塀壁下地	〃	〃	8	1418	487	978	同上 壁厚5寸
8	名古屋郊外百姓家壁下木舞用	75	〃	2	1230	949	1090	
9	同上	55	〃	7	1656	743	1195	
10	同上	42	〃	2	1359	1308	1334	
11	同上	40	〃	4	1192	578	890	
12	同上	30	〃	2	1031	703	892	
13	同上	20	〃	4	1842	1185	1468	
14	同上	15	淡竹	6	2080	1014	1654	
15	同上	11	眞竹	4	1671	1346	1540	
16	名古屋市内住宅 壁下木舞用	10	〃	2	908	870	889	移轉家屋
17	同上	4	〃	10	2168	511	1122	同 上
18	其目寺在農家茅葺屋根裏 に使用せるもの	90	〃	3	1633	1284	1458	煤 竹
19	試験用老竹	0	〃	5	2007	994	1609	竹齡 30 年と稱する老竹
20	某飲食店で使用せる古箸	1	〃	3	3997	3019	3436	1 箇年以上使用せしものと云ふ
21	試験用良質 3 年生眞竹	0	〃	10	2634	1851	2223	大正 4 年 1 月切出、根元より 14 節目より試材採取 比較の爲め表—6 より重出

表-11 竹の引張強さ (kg/cm²)

回 體	節	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	52 週	平均	百分率	同
大 氣 中	無 節	1663	1884	1958	2295	1903	1995	1950		100.0
大 氣 中	有 節	1987	2139	2236	2313	2036	2406	2186		112.1
平 均		1825	2012	2097	2304	1970	2201	2068	100.0	
淡 水 中	無 節	1678	1729	1827	1972	2167	1818	1865		95.6
淡 水 中	有 節	1654	1492	2117	1876	2221	1934	1882		96.5
平 均		1666	1611	1972	1925	2194	1876	1869	90.4	
總 平 均		1746	1811	2035	2104	2082	2038	1971		
百 分 率		88.6	91.9	103.2	106.7	105.6	103.4	100.0		

表-11 に依れば淡水中に浸漬したるものは大氣中に乾枯せしめたるものに比し、大體1割の強度を減じ大氣中の乾枯優良ではあるが、共に4週又は8週間の貯蔵のものより13週以上の貯蔵のもの概して強度増大せり。即ち貯蔵期間の延長、換言すれば枯らす程度の大なる程引張強さの増大する傾向を示せるは注意すべき事柄と思ふ。

10. 竹 と 壁 土

前掲の古竹は殆んど壁土内に保存せられしものであつた。依て壁土が竹材に及ぼす影響を知らんが爲め實驗を行つたのであるが其の成績は表-12 の如くである。但し壁土として使用した粘土は名古屋地方でスカ(洲處又は須賀)或は種土と稱する粘土7分砂約3分の良質のものである。

表-12 壁土内に貯蔵したる竹の引張強さ (kg/cm²)

無		節					有					節	
4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	平 均	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	平 均		
1265	1229	1400	1839	1079		1595	1210	1422	1285	1067			
1550	1424	1219	1947	1763		1675	1000	1713	1711	1758			
1543	1064	1095	1254	1914		1727	1266	1406	1339	1515			
1690	1903	1588	1802	2304		1629	1374	1366	1685	1343			
1828	1178	1278	1609	1617		1834	1175	1523	1652	1907			
1794	1851	1873	2022	1669		1666	1361	1452	1738	1984			

1211	1582	1628	1334	1067		1599	1562	1279	1521	1717		
1602	1968	1683	1972	1059		1566	1019	1347	1205	1736		
1211	1271	1109	1166	1722		1086	1861	1125	1556	1637		
1021	1884	2077	1502	1211		1385	1377	1093	1033	1679		
1336	2295	1707	1017	1149		1997	1389	1324	1671	1434		
1597	1515	1530	1871	1547		1622	1292	1065	1593	1610		
977	1249	1542	1845	1158		1666	1892	1645	1289	1729		
1653	1222	1761	1103	1586		1557	1861	1465	1734	1117		
1674	1557	1439	1224	1182		1476	1104	1565	1936	1770		
平均 1463	1546	1529	1567	1468	1515	平均 1605	1383	1386	1530	1600	1501	
							1463	1546	1529	1567	1468	1515
					平 均	1534	1465	1458	1549	1534	1508	
					百分比例	101.7	97.1	96.7	102.7	101.7	100.0	

壁土内貯蔵のものは大體大氣中乾枯のものに比し2割5分前後の強度を失ふ様ではあるが、4週乃至39週迄の強度殆んど一樣にして變化なきは注目に値すべく、蓋し古來我國に發達せる壁下木舞竹の應用は竹材保存上理想的とも認めらるゝ様である。

11. 節 の 影 響

竹の有節無節が如何なる影響を其の強度に及ぼすべきかに就ては何人も疑念を抱く事柄である。而も之等の影響に関する實驗は甚だ乏しく僅かに前掲農大演習林の實驗報告と筆者竝に巽氏の夫れがあるのみの様である。

表-13 東大農科大學演習林報告(大正5年)

節の有無に依る引張強さの影響 (kg/cm ²)								
竹の種 類	茅 茹 竹 (臺灣産)	桂 竹 (臺灣産)	刺 竹 (臺灣産)	孟 宗 竹 (内地産)	眞 竹 (内地産)	平 均	百 分 率	
無 節	2139	2671	2632	1949	2292	2337	100.0	
有 節	1540	2400	1744	1552	2020	1851	79.2	

農大の實驗では無節の100に對し有節のものは79.2、即ち約2割の強度減を示し、巽氏の實驗では眞竹は同44.1、孟宗竹は同84.4、平均54.6の強度に過ぎずと雖も、筆者の實驗に於ては有節のものは過半節部又は其の附近に於て切斷せるは事實なれども、其の引張強さは淡水中及び壁土中のもの共に節の有無に依り格別の逕庭なく、大氣中に乾枯せるものゝ如きは有節の方寧ろ

表-14 筆者の實驗(大正4~5年)

回 體	節	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	52 週	平均	百分率	總 比
大 氣 中	無 節	1663	1884	1958	2295	1903	1995	1950	100.0	無 節
	有 節	1987	2139	2236	2313	2036	2406	2186	112.1	100.0
淡 水 中	無 節	1678	1729	1827	1972	2167	1818	1865	95.6	有 節
	有 節	1654	1492	2117	1876	2221	1934	1882	96.5	104.5
壁 土 中	無 節	1463	1546	1529	1567	1468	—	1515	77.7	
	有 節	1605	1383	1386	1530	1600	—	1501	77.0	

表-15 異純一氏の實驗(昭和15年)

種 別	真 竹		孟 宗 竹		總 平 均	
	有 節	無 節	有 節	無 節	有 節	無 節
引張強(kg/cm ²)	1465	3325	988	1170	1227	2248
百 分 率	44.1	100.0	84.4	100.0	54.6	100.0

1割以上強度の優良を示してゐる。即ち節の有無の如き竹の引張強さに對して杞憂の要なきものと認め得る様であるが尙ほ一層の研究を切望する。

12. コンクリート塊中の竹

コンクリート塊中に於ける竹材の引張強さの影響を研究する爲め實驗を行つたのであるが、竹材を抱擁したコンクリート塊は配合 1:3:6(容積比)で作つた幅125 耗厚100 耗長350 耗のブロックで、セメントは愛知セメント會社の製品、砂及び砂利は木曾川下流の産である。之等の實驗成績は表-16 に示す通りであつた。

表-16 コンクリート塊中に挿入したる竹の引張強さ (kg/cm²)

記 號	大 氣 中 貯 藏							淡 水 中 貯 藏						
	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	52 週	平均	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	52 週	平均
1	1330	2203	1095	1237	984	1634		823	1114	1091	1031	792	847	
2	1448	1675	1115	707	886	1336		1427	1378	1625	1243	1425	1431	
3	1375	1599	1085	1013	844	1693		1209	816	1447	1371	1590	1002	
4	1399	1582	1795	943	1541	1354		1758	762	1490	1360	945	1497	
5	1594	1378	1446	678	994	1366		895	1478	792	1107	896	1564	
6	1490	1439	860	781	941	2063		903	1195	1476	914	1457	1481	
7	1764	1402	721	944	1295	1501		977	1421	832	1084	992	1414	

8	1758	1687	869	906	963	2294		988	1265	1729	873	957	762		
9	1772	1662	1636	734	948	2278		970	1256	1033	915	1550	815		
10	1339	1800	1435	1055	2002	1406		1517	1965	1010	1344	945	1486		
11	1460	1732	1217	1054	1069	1349		993	1072	945	1239	1469	795		
12	1780	1558	1670	1032	1677	1172		1985	1312	863	1213	914	814		
13	1971	1557	904	1064	1084	1666		852	1448	1306	1172	932	909		
14	1388	1599	767	948	1021	1079		1019	1698	1055	959	850	862		
15	1717	1839	1516	1269	1112	1483		1518	1764	815	907	1336	1003		
平均	1572	1647	1209	958	1157	1578	1354	1189	1330	1167	1116	1137	1112	1175	
									1572	1647	1209	958	1157	1578	1354
								平均	1381	1489	1188	1037	1147	1345	1265
								百分率	109.2	117.7	93.9	82.0	90.7	106.3	100.0

表-16を見るにコンクリート塊中に保存せる竹材は大氣並に水中共に、大氣中乾枯又は水中浸漬の竹材に比し約3割5分内外の強度を失ふが如き結果を生じ、水中のものは大氣中にありしものよりも更に約1割の強度を減少したが、一般に水中の分は其の強度材齡に拘らず平均せるに反し、大氣中の分は區々として一定せざるは注意すべき事柄である。尙ほ異純一氏が建築雜誌昭和15年1月號に發表された同様實驗の成績は右表の通りである。

材 齡(日)	0	57	99	摘 要
引張強(kg/cm ²)	1465	1371	1191	内地産眞竹
百 分 率	100.0	93.6	81.1	

13. セメント溶液中の竹

セメント14%溶液中に浸漬し置きたる竹材の引張強さは表-17の如くであつた。

表-17 セメント溶液中に貯藏せる竹の引張強さ (kg/cm²)

記 號	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	52 週	平 均
1	1819	1102	1625	1230	2128	1692	
2	1482	854	1589	1128	2072	1489	
3	1354	1383	1607	1722	1837	1837	
4	1493	1567	1451	1429	2191	1800	
5	1711	1533	1265	2131	2142	1908	
6	1394	1728	1339	1325	2010	1698	

7	1301	1392	1582	1519	2021	1406	
8	1282	1230	1774	1523	1936	1687	
9	1453	1780	1791	2531	1709	1573	
10	1484	1628	1318	1591	1768	1522	
平 均	1477	1420	1534	1613	1981	1661	1614
百 分 率	91.5	88.0	95.0	100.0	122.5	102.9	100.0

セメント溶液中に在りし竹材は大氣中に乾枯したものに比し、其の引張強さを失ふこと2割に過ぎずコンクリート塊中に在りしものと較べ遙に優良の成績を示し、材齡と共に強度の減失を回復するが如き傾向あるは好ましきことであると考へる。

14. 石灰溶液中の竹

生石灰溶液 25 %中に浸漬し置きたる竹材の引張強さは表—18の通りであつた。

表—18 石灰溶液中に貯蔵せる竹の引張強さ (kg/cm²)

記 號	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	52 週	平 均
1	1097	781	804	1406	742	652	
2	1406	716	703	694	1006	1183	
3	1268	1156	2216	643	1125	942	
4	1471	1107	972	1078	1135	842	
5	1503	980	905	984	997	1735	
6	1279	848	968	854	952	1055	
7	1758	1071	966	1499	1124	743	
8	1252	1586	914	980	1163	844	
9	1675	1603	844	812	1091	1204	
10	1803	950	1875	947	858	801	
平 均	1451	1080	1117	990	1019	1000	1110
百 分 率	79.6	59.2	61.2	54.2	55.8	54.8	60.8

備考 百分率は前記表—6中空中乾枯4週間目の無節平均1663, 同有節平均1987の平均1825 kg/cm²を100として算出したものである。

島田一氏の竹筋の處理法(昭和15年)中に次の記載がある。コンクリート中に竹材を挿入した場合セメントの加水分解に依つて、遊離した水酸化石灰は竹材の主成分たる蛋白質を溶解し、又脂肪質に作用して鹼化する爲め竹材の細胞組織を蝕して短時日の内に風化せしめるのである。

試みに竹材の供試體を石灰の飽和液中に浸漬して其の日數に依り、引張強さを測定して見た著者の實驗では、初め80日間は強度は次第に上昇し80日を過ぎると殆んど同率で降下し初め、大體180日以降になると其の率を減じて徐々に降下を續け410日目の現在に於て元の竹材の強度の約35%に減少して居る。此の實驗は未處理の竹筋がコンクリート中に在つて最悪條件の持續した場合を豫想したのであるから、實際に於ては其の増減率は左程甚だしくないかも知れぬ。コンクリート供試體中に打込んだものは、苦竹節間の引張強さ3,300kg/cm²のものが287日後に2,500kg/cm²となつて76%を示し、節では1,465kg/cm²のものが99日目に1,191kg/cm²となつて81.3%を示した。之は實際に於て飽和石灰液中に置いた程の悪状態は繼續しない事を表して居るが、兎に角竹材を其の儘竹筋に用ふることは危険である。

竹材のアルカリに對して弱いことは周知の事實であるが、筆者の實驗成績も亦然りで一般に半分程度に強度が減殺されて居る。此の缺點は竹筋コンクリート應用の最大難問で竹の耐アルカリ處理に就ては今後一層の研究を要する緊急事項と考へる。

15. 鹽酸溶液中の竹

鹽酸溶液 0.5%, 1%, 2%の3種中に浸漬した竹材の引張強さは表—19の通りであつた。

表—19 鹽酸溶液中に貯蔵したる竹の引張強さ (kg/cm²)

記 號	0.5 % 溶 液							1 % 溶 液							2 % 溶 液						
	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	52 週	平均	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	52 週	平均	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	52 週	平均
1	1222	1125	1201	1749	1936	1779		1627	1355	1286	1469	2005	1402		1571	1336	1268	1625	1682	768	
2	1792	1736	1136	1680	1413	1745		1450	1955	1638	1476	1654	1226		1374	1298	1221	1367	1549	1019	
3	1125	946	1317	1917	1873	2343		1528	1565	1606	1692	1457	948		1380	1439	1250	1483	1722	895	
4	1626	2138	1516	2009	2395	1304		1239	1856	1597	1554	1767	1351		1155	1273	890	1411	1779	937	
5	1781	1898	1516	1680	2048	1663		2200	1945	1828	1786	1893	1265		1486	1346	1272	1639	1872	1125	
6	1430	1651	1541	1440	2235	1161		1427	1391	1652	1540	1823	1603		1251	937	1108	1146	1482	1578	
7	1726	1284	1549	1775	2210	1237		989	1178	1339	1737	1325	1379		1476	1414	1179	1300	1812	1047	
8	1499	1306	1628	1853	2268	1406		1149	2300	1523	1176	973	1520		1419	1060	1533	1342	1367	823	
9	859	1479	1562	1617	2116	2550		1691	1882	1548	1609	1472	978		1418	788	1049	1691	1946	1148	
10	1951	1652	1312	1265	2124	1629		1125	1662	1195	1455	1246	1388		1570	1309	1315	1172	1465	732	
平 均	1501	1522	1428	1699	2062	1682	1649	1443	1709	1521	1549	1562	1306	1515	1410	1220	1209	1418	1668	1007	1322
百 分 率							100.0							91.8							80.1

竹材の耐酸性は比較的強く鹽酸の0.5%溶液中に於ては1箇年後に於ても、大氣中乾枯のものに比し約2割程度の強度を失ふに過ぎず、同1%溶液中に於ては1年後約3割5分の強度減

失、同2%溶液中に於ては1年後約5割の強度を消滅するが如きも、全平均に於ては0.5%溶液中にて約2割、1%溶液中にて約2割5分、2%溶液中にて約3割5分の強度減失に過ぎざる如きは其の耐アルカリ性の微弱さに反し大に意を強うするに足る様に思ふ。

16. 竹の強さと回體の影響

竹材の引張強さに關する前掲筆者の實驗成績を各回體毎に區分して比較すれば表—20に示す如き結果となるのである。

表—20 回體の影響に依る竹材の引張強さ (kg/cm²)

回	體	供試體 平均員數	節	4週	8週	13週	26週	39週	52週	平均	百分率
大	氣	10	無節	1663	1884	1958	2295	1903	1995	2068	100.0
大	氣	10	有節	1987	2139	2236	2313	2036	2406		
淡	水	10	無節	1678	1729	1827	1972	2167	1818	1874	90.6
淡	水	10	有節	1654	1492	2117	1876	2221	1934		
壁	土	15	無節	1463	1546	1529	1567	1468	—	1508	73.0
壁	土	15	有節	1605	1383	1386	1530	1600	—		
	コンクリート塊中 (大氣中硬化)	15	有無混合	1572	1647	1209	958	1157	1578	1354	65.5
	同上(水中浸漬)	15	有無混合	1187	1330	1167	1116	1137	1112	1175	56.8
	セメント溶液中 (14%)	10	有無混合	1477	1420	1534	1613	1981	1661	1614	78.0
	石灰溶液中(25%)	10	有無混合	1451	1080	1117	990	1019	1000	1110	53.2
	鹽酸溶液中(0.5%)	10	有無混合	1501	1522	1428	1699	2062	1682	1649	80.0
	鹽酸溶液中(1%)	10	有無混合	1443	1709	1521	1549	1562	1306	1515	73.3
	鹽酸溶液中(2%)	10	有無混合	1410	1220	1209	1418	1668	1007	1322	63.9
平	均			1545	1546	1557	1607	1691	1591	1562	
百	分	率		98.9	99.0	99.7	102.9	108.3	101.9	100.0	

筆者の實驗は最長52週即ち1箇年に過ぎざる爲め全般を律し得ざるは勿論なれども、大體大氣中乾枯のものを100とするに對し、淡水浸漬のものは引張強さ1割減、壁土内貯藏のものは同2割7分減、コンクリート塊中に保存せるものは大氣中又は水中硬化共大體同様にして3割5分減、セメント溶液中に浸漬せしものは大體2割2分減にしてコンクリート塊中のものより遙に優良、石灰溶液中浸漬のものは同4割7分の減退を示して最悪、鹽酸溶液中に浸漬したるものは其の濃度に依り相違はあるが、大體0.5%液にて2割減、1%液にて2割7分減、2%液にて3割6分の減退に過ぎずして耐酸上には相當の抵抗力を示して居る。蓋し竹の素材がア

ルカリに弱きは事實にしてコンクリート中に在る場合少くも固有強度の3割5分の減失は免れざるものゝ様である。但し最も成績不良なる石灰溶液中浸漬のもの雖も、侵害の甚だしきは4週前後迄にして、爾後52週迄格別の變化なきことは、將來竹材の耐アルカリ處理研究上の好着目點かとも考へらるゝのである。

17. 竹管の耐水壓力

竹管は相當の水壓に耐ふるを以て古來(かけひ)又は埋樋(うづどひ)として貢獻著しきものあり、殊に徳川時代に發達したる上水の各戸引用には殆んど竹管を利用せしもの多く、重要箇所用ふるものは萬年樋と稱へ竹の節を抜き數十本宛織り合せ、藤繩などを用ひて堅く巻き上げ之を地上に架け又は地下に埋めたのであるが、中には連延數十町に及ぶものありしも永く腐蝕する憂なかりしと云ふ。「和漢三才圖會」に篋は竹を以て水を通すなり木を用ふれば視と云ふ。又曰く篋は竹を以て水を通するなり。凡そ居所相離れて水遠く汲用に便ならざれば乃ち大竹を取り其の節を内通し、本末をして相繼がしめ連延不斷、關内平地は固より或は澗谷を架越して水を引いて至る。又能く激して高起せしむること數尺之を池沼及び庖福の間に注ぐ。即ち相當の水壓にも耐えしめたことは明かに認めらるゝのである。

又五稜角水道の工事仕方書に曰く、後宅への給水は内法方8分の木樋又は竹管を各別に分派して、各戸毎に新設せる内徑2尺深さ2尺の井戸に導く其の數47戸分あり、同心長屋への給水は内法方2寸5分の木樋又は竹管を用ひて、内法徑2尺5寸深さ5尺の新設共用井8ヶ所に導き各戸に汲取らしめたり云々。篋は普通堅割れ又は腐蝕の爲め、3、4年の壽命を保つに過ぎざる如きも、萬年樋又は埋樋として地中に深く埋設したる竹管は其の土質にも依るが相當の壽命を保つものゝ様である。大正2、3年頃筆者は名古屋市幅下方下水道布設の際、舊水道引用に供した多數の竹管を掘出したが使用廢止の分は、【原形は其の儘なるも内部は殆んど浮遊土に埋められ腐蝕の程度も甚だしかつたが、使用繼續中の分は數尺に過ぎざる水壓とは云へ、兎も角通水の役を果して居た。而して之等の竹管は幕末又は明治初年に改築した儘のものなれば此の時迄には少くも40年を経過したことは確實なのである。依て筆者は名古屋郊外産の眞竹に付其の耐水壓力を調査したのであるが成績は表—21の如くであつた。

同表を見るに竹管の耐水壓力は相當に強く無節の供試竹管15箇の内、6.57及び7.03kg/cm²にて破壊せるもの2箇を除きたる外は何れも10kg/cm²以上の水壓に耐え、中には300#/sq"即ち21.09kg/cm²に達するも故障なかりしもの2箇を出し、總平均に於て14.15kg/cm²の値を示し將に低壓鑄鐵管の壘を摩さんとして居る程である。されど節の存在は其の耐水壓力を相當に減少するらしく、中間1節を挟むものは無節の100%に對し平均78.7%、2節を挟むものは同74.8%、3節以上を挟むものは同73.2%、即ち約2~3割の強度を失ふものゝ様である。

表-21 竹管の耐水圧力

記號	竹管の平均寸法 (糎)			節の位置	破壊水壓 (kg/cm ²)	應剪強さ (kg/cm ²)	摘 要
	長	内徑	厚				
1	150	40.6	4.60	無 節	15.82	69.8	試材は凡て中幹部より採取(以下同) 破壊に至らず (使用せる水壓試験設備は300kg/cm ² 以上観測不能) 破壊に至らず(同上)
2	"	25.4	2.65	"	21.09 ₊	101.1 ₊	
3	"	43.7	4.00	"	13.36	73.0	
4	"	39.1	4.50	"	15.82	68.7	
5	"	37.5	4.52	"	21.09 ₊	87.5 ₊	
6	"	43.0	3.45	"	13.01	82.5	
7	"	40.6	3.33	"	15.82	96.4	
8	"	37.5	3.28	"	14.76	84.4	
9	"	38.3	3.75	"	6.57	33.6	
10	"	28.1	3.12	"	7.03	31.7	
11	"	35.7	3.33	"	14.06	83.6	
12	"	32.8	3.28	"	10.55	52.8	
13	"	40.6	4.60	"	19.33	85.3	
14	"	25.4	2.65	"	13.36	64.0	
15	"	43.7	4.00	"	10.55	57.6	
平均 百分率					14.15 ₊	71.5 ₊	
					100.0	100.0	
1	150	39.1	4.50	===== 中間に1節	11.95	51.9	試材は凡て中幹部より採取(以下同)
2	"	37.5	4.52	"	17.58	72.9	
3	"	43.7	4.38	"	10.55	52.6	
4	"	43.0	3.45	"	10.55	65.7	
5	"	37.5	3.28	"	16.17	92.7	
6	"	38.3	3.75	"	10.55	53.6	
7	"	"	"	"	7.03	35.9	
8	"	37.5	3.13	"	10.55	63.2	
9	"	40.6	3.27	"	9.84	61.7	
10	"	"	"	"	7.03	43.6	
11	750	62.5	6.25	"	11.95	59.8	
12	"	53.1	4.70	"	12.65	71.5	
13	"	62.5	6.00	"	11.25	58.6	

14	"	56.2	4.70	"	10.19	60.9	
15	"	60.9	5.44	"	9.14	51.1	
平均 百分率					11.13	59.7	
					78.7	83.5	
1	900	52.7	5.48	===== 中間に2節	17.58	84.5	試材は中幹部より採取(以下同)
2	"	67.0	5.68	"	11.25	66.4	
3	"	63.3	5.65	"	9.14	51.1	
4	"	57.8	4.70	"	10.19	62.7	
5	"	66.4	5.25	"	8.44	53.4	
6	"	68.7	6.25	"	12.30	67.9	
7	"	54.1	5.08	"	7.73	41.2	
8	"	58.3	4.52	"	9.84	63.5	
9	"	54.5	4.50	"	11.60	70.2	
10	"	62.5	5.00	"	7.73	48.3	
平均 百分率					10.58	60.9	
					74.8	85.2	
1	900	64.8	7.42	===== 中間に3~5節	8.44	36.9	試材は根元に近き部分より採取(以下同)
2	"	63.9	6.43	"	11.42	56.8	
3	"	64.8	6.25	"	11.25	58.6	
4	"	62.5	7.02	"	9.14	40.7	
5	"	66.4	5.48	"	7.03	42.6	
6	"	65.6	6.25	"	8.44	44.3	
7	"	62.5	5.45	"	9.15	52.5	
8	"	44.5	4.18	"	12.30	65.5	
9	1200	61.7	6.68	===== 中間に3~5節	15.82	73.1	
10	"	6.20	8.15	===== 中間に3~5節	10.55	40.1	
平均 百分率					10.35	51.1	
					73.2	71.5	

雑誌「水道」昭和16年12月號に蓮池勇氏の竹管の水壓に関する実験報告がある。同氏に依れば水管としての竹材は淡竹を最良とし次で眞竹が良好で孟宗竹は太さは大きいが肉厚のみで耐久に乏しい、依て伐出後1箇月以内の淡竹に付き内壓を調査せる結果は表-22の通りとの

報告である。

表-22 淡竹の耐水圧力(蓮池氏の實驗報告)

記號	試材採取の位置	試材の寸法(耗)			節數	重量 kg/m	破壊水壓 kg/cm ²	應剪強さ kg/cm ²	摘 要
		長	内徑	厚					
1	中 及 末	1300	34	3.7	4	0.77	3.0	13.8	24番線3本撚り6本巻 效果少ないこの附記あり
2	"	1000	41	4.5	4	0.80	11.0	50.1	
3	"	1400	36	4.0	5	0.57	12.5	56.3	
4	"	1550	38	4.5	5	0.70	7.5	31.7	
5	"	1500	44	4.5	5	0.80	8.0	39.1	
6	"	2000	42	4.0	6	0.70	8.0	42.0	
7	根 元	1050	52	7.3	6	1.71	18.0	64.1	
8	中 頃	2150	54	5.0	7	0.93	13.0	70.2	
平均			42.6	4.7		0.75	10.0	45.9	

蓮池氏は此の實驗の結果より(1)内壓は肉厚と節間の長短に直接關係する。(2)補強捲線は結び目から伸張し且つ竹の乾濕腐朽よりするも耐壓關係よりするも期待少ない。(3)極端な例を除き竹の破裂強度は平均 10kg/cm² となり平均實用強度は安全率を4とせば 2.5kg/cm² が適當ならんと述べて居る。蓮池氏は眞竹よりも淡竹を竹管としては良好と論ぜられて居るが、筆者の眞竹に依る成績の方遙かに蓮池氏の淡竹よりも耐壓竝に應剪強共に強きは眞竹の割裂抵抗の大なるに依るべく、且つ眞竹の生産は我國に普遍的にして産額も夥しく、從來使用せられし筧又は埋樋の多數は眞竹なりし實蹟に徴するも再考を要する問題の様に思ふ。

18. 竹材の應剪強さ

一般に圓管の内壓に對する應力は次式に依り計算するのが通則である。

$$S = \frac{Pr}{t}$$

式中 S=管材の應張力(kg/cm²)

t=管の厚さ(cm)

r=管の内徑(cm)

P=管の受くる水壓(kg/cm²)

然るに鐵鋼管又はコンクリート管の如く縦横の強度殆んど均等のものに在りては、Sを應張力と考へ大過なしと雖も竹管の如く纖維質のものにして、纖維の方向と其の直角の方向とに依り強度に大差あるものに於ては、Sは寧ろ纖維の方向に働く應張力ではなく、其の直角の方向

に働く割裂に抗する強さ即ち應剪強さと考ふる方が至當の様に思ふ。依て此の意味に於けるSを計算したのが表-21に示せる應剪強さであるが、便宜上茲に其の結果を蓮池氏のと共に再録すれば表-23の如くである。

表-23

實 驗 者	竹 種	供 試 體 平均員數	節 數	應 剪 強 さ (kg/cm ²)			
				最 大	最 小	平 均	百分比例
筆 者	眞 竹	15	無 節	101.1	31.7	71.5	100.0
"	"	15	中 間 1 節	92.7	35.9	59.7	83.5
"	"	10	中 間 2 節	84.5	41.2	60.9	85.2
"	"	10	中 間 3~5 節	73.1	40.1	51.1	71.5
蓮池 勇 氏	淡 竹	8	中 間 4~7 節	70.2	13.8	45.9	64.2

表-23に依れば無節のものに對し有節のものは約 15~35%の強度を失ふものゝ様である。又宇野昌一氏(?)の實驗に依る竹材の應剪強さは表-24の如くである。

又 K. Datta 氏は如何なる方法に依り實驗せられしや不明なれども、竹の剪斷強として 31.7 kg/cm²の數値を示されて居る。

筆者の實驗數値の約半分ではあるが参照とするに足ると考へる。

表-24

竹 種	竹材の應剪強さ (kg/cm ²)			
	上 稈 部	中 稈 部	下 稈 部	平 均
眞 竹	47.6	37.5	30.1	38.4
淡 竹	55.5	34.1	65.4	51.7
孟 宗 竹	40.4	38.4	47.4	42.1

19. 竹材とコンクリートの附着強

筆者は竹材とコンクリートの附着強を知らんが爲め、皮附、皮剝、丸削など各竹材を作り、容積比配合 1:2:4 コンクリート塊中に之等を挿入し其の附着強を測定したのであるが、元來附着強なるものは其の抵抗を二つに分類するのが至當である。一は竹筋のコンクリートより將に脱離せんとする瞬時迄支ふる抵抗力にして、之を附着抵抗力(Adhesive resistance)と云ひ、他は竹筋の脱離を始め後に於て尙ほより以上の滑出に對し、抵抗せんとする力即ち滑脱抵抗力(Running or Sliding resistance)なのである。實驗の成績は表-25の通りであるがコンクリート練合せ用水量は、出來上り容積の 1/7 即ち相當硬練りのもので試材は凡て大氣中に硬化せしめたものである。

表-25に依れば竹節の有無はコンクリートに對する附着強に影響すること頗る多大であつて、無節のものは有節のものに比し大體 4 割に近い強度を失つて居る。又有皮の方が皮を剥ぎ

表 25 竹筋とコンクリートの附着強 (kg/cm²)

附着長 150 耗 コンクリート配合 容量比 1:2:4 用水量 1/7												
竹筋の種別	4 週		8 週		13 週		26 週		平均		百分率	
	附着強	滑脱強	附着強	滑脱強	附着強	滑脱強	附着強	滑脱強	附着強	滑脱強	附着強	滑脱強
皮 附 有 節	8.9	12.6	10.3	12.3	5.3	7.5	3.1	4.3	6.9	9.2	100.0	100.0
〃 無 節	5.1	6.0	6.7	6.7	4.5	5.3	1.1	1.2	4.4	4.8	63.8	52.2
皮 剥 有 節	2.9	5.7	6.7	9.6	4.1	5.6	2.2	3.0	4.0	6.0	58.0	65.2
〃 無 節	7.8	9.1	5.5	8.5	4.1	5.1	1.2	1.2	4.7	6.0	68.1	74.0
丸 削 有 節	6.2	6.6	5.3	12.5	5.1	8.3	3.4	4.2	5.0	7.9	72.5	78.8
平均	6.2	8.0	6.9	9.9	4.6	6.4	2.2	2.8	5.0	6.8		
百分率	100.0		111.3		74.2		35.5		80.6			
附着長 250 耗 コンクリート配合等同上												
皮 附 有 節	8.0	14.8	8.0	9.2	6.6	9.1	4.5	6.1	6.8	9.8	100.0	100.0
〃 無 節	4.3	5.7	5.8	6.9	4.3	4.8	1.3	1.5	3.9	4.7	57.3	48.0
皮 剥 有 節	3.8	8.9	5.3	8.4	4.0	6.3	0.9	2.3	3.5	6.5	51.5	66.3
〃 無 節	4.8	6.0	4.4	5.6	4.0	4.6	2.0	2.2	3.0	4.6	44.1	46.8
丸 削 有 節	4.0	6.8	3.7	4.7	3.1	4.0	1.0	1.6	3.0	4.3	44.1	43.9
平均	5.0	8.4	5.4	7.0	4.4	5.8	1.9	2.7	4.0	6.0		
百分率	100.0		108.0		88.0		38.0		80.0			

取りしもの或は丸削りとしたものよりも附着強は遙かに大で、畢竟竹材表皮の徒らなる加工は寧ろ有害無益であることを明示して居る。唯竹材の覆ふべからざる缺點は時日の経過に伴ふ収縮變形の爲め、其のコンクリートに対する附着強を著しく減失することである。此の實驗成績に徴するも8週のもの4週のものより約1割の強度を増進して居るが、13週に至つては2割前後の強度を失ひ更に26週に達すれば大體6割5分の強度を失つて居る。鐵筋は一般に材齡の増進に伴ひ其のコンクリートに対する附着強を増進する特徴を有するのであつて、筆者は實驗の結果次の如き公式を發表した程である(土木學會誌大正5年12月號「鐵筋と混凝土の附着強に就て」参照)。

$$f^2 = \frac{Aw}{w+B}$$

式中 f = 單位附着強度

w = 週を單位とする混凝土の材齡

A及B=鐵筋の性質に依る係數

而して鐵筋に對する當時の實驗成績の一例は表26の如くであつた。

表 26 鐵筋とコンクリートの附着強 配合 1:2:2 (kg/cm²)

材 齡 (週)	軟鋼鐵線 (B.W.G.)			軟 鋼 丸 棒 鐵			
	No. 1	No. 3	No. 6	徑 1 吋	徑 3/4 吋	徑 3/8 吋	徑 3/8 吋
	4	12.2	10.7	8.6	37.8	28.5	18.3
8	14.2	12.4	10.0	43.8	33.1	22.2	11.6
13	15.3	13.4	10.7	46.8	35.4	23.8	12.3
26	16.3	14.5	11.4	50.0	37.7	25.4	13.1
52	17.0	14.8	11.8	51.8	39.1	26.3	13.6

鐵筋とコンクリートの附着強は其の接觸面積の大小に依るのみではなく、鐵筋の彈性限度並に直徑の大小に依り著しき相違を生ずるものである。従つて直ちに鐵筋と竹筋との附

着強度關係を比較する譯に往かないが、筆者の此の實驗に使用した竹材の試験片は長さは350乃至450耗、幅及び厚は最大18.0×8.4耗、最小17.1×4.2耗、平均17.5×6.0耗前後なるを以て直徑に換算すれば先づ徑 3/8 吋の棒鐵に近いのである。依て下表が得らる。

種 別	寸 法	4 週	8 週	13 週	26 週	平均	百分率
軟 鋼 丸 棒	徑 3/8 吋	18.3	22.2	23.8	25.4	22.4	100.0
竹 筋(皮附有節)	附着長 150 耗	8.9	10.3	5.3	3.1	6.9	30.8
同 上	同 250 耗	8.0	8.0	6.6	4.5	6.8	30.4

即ち鐵筋と比較し材齡8週迄は、大體4割以上の附着強を有するのであるが、竹筋は夫より漸減し26週迄の平均では鐵筋に對し約3割の強度を保つも、内容に至つては13週目は鐵筋の大體2割5分、26週目は1割5分と云ふが如き値を示し一層其の強度を失はんとする傾向のあることは誠に憂ふべき情勢である。

東京市財務局藤田章氏の竹筋とコンクリートの附着強に関する實驗は、昭和15年11月小臺コンクリート工場に於て施行されたのであるが、千葉縣産眞竹を削り全長57 厘の竹條を作り配合1:2:3のコンクリート截頭角堆中に埋め込むこと35 厘、大體6箇月の材齡を経て強度を測定したもので成績は表27の如くであると云ふ。

表27の成績に鑑み藤田氏は無處理の削竹條とコンクリートとの附着力は零と考へる。節部の存在は稍々効果ありと認むるも大したものならずと悲觀して居るが、竹筋と雖も夫れ相應の附着強は所有するも何分にも材齡半年前後は竹材の乾枯收縮の最も甚だしき場合で筆者の實驗でも明かな如く、竹筋は收縮の爲めコンクリート面から離脱する傾向著しきものあり、殊に收縮率の大なる幅及び厚さの方向に於いて此の影響甚だしく無抵抗に抜け出したものと考へる。アスファルト、ペイント、コールタールの如き粘性劑の塗附、又は鐵線の巻立等は附着力

表 - 27 竹筋とコンクリートの附着強 (藤田章氏實驗)

符號	筋の狀態	筋の形狀			コンクリートの品質		材齡 (日)	重量 (kg)	附着強		百分率
		幅 (cm)	厚 (cm)	斷面積 (cm ²)	スランプ (cm)	壓縮強 (kg/cm ²)			全強 (kg)	單位強 (kg/cm ²)	
鐵筋 A	軟鋼鐵線 No. 8 (B.W.G)	徑0.43	47.4	16.0	218	189	5.25	623	13.2		
		0.41	45.1			188	5.30	420	9.3		
		0.425	46.8			176	5.30	457	9.8		
平均							5.28	10.77	100.0		
竹筋 B	無處理 (無節)	1.15	0.51	216.6		194	5.30	0	0	(22.3)	
		1.17	0.53	119.6		182	5.15	290	2.4		
		1.09	0.53	113.6		181	5.25	0	0		
平均						5.22		0.8	7.4		
竹筋 C	無處理 (有節)	1.17	0.48	115.8	15.5	250	193	5.15	360	3.1	(23.8)
		1.29	0.48	125.0			183	5.30	0	0	
		1.10	0.48	111.0			180	5.20	0	0	
平均						5.22		1.0	9.6		
竹筋 D	アスファルトベイト表面塗布	1.14	0.48	113.0	16.5	214	192	5.15	482	4.4	
		1.17	0.46	114.5			184	5.20	433	3.8	
		1.17	0.45	113.8			179	5.25	886	7.8	
平均						5.20		5.32	49.0		
竹筋 E	DをNo. 20番鐵線にて巻くピッチ 4~5種	1.12	0.48	112.5	15.0	204	191		682	6.2	
		1.23	0.48	219.6			185		765	6.4	
		1.08	0.46	107.5			178		1002	9.3	
平均								7.3	68.0		
竹筋 F	コールター表面塗布	1.21	0.56	124.1	14.5	238	190		765	6.2	
		1.12	0.43	108.5			186		746	6.9	
		1.08	0.50	110.5			177		715	6.5	
平均								6.5	60.0		

補強上多少の効果は認めらるゝ様ではあるが、之とて決して眞の附着強の増進ではなく滑脱抵抗の増加が其の大半を占むるのである。

Datta 氏の實驗では竹の附着強は 3.2 kg/cm² なりと云ひ、又中村猪市氏は建築雜誌昭和 15

年 1 月號所載の同氏論文に次の如く述べて居る。竹筋コンクリート體から押出す方法に依つて求めた試驗では、防水塗裝をしない且つ節壁のない、竹の條片とコンクリートとの移動抵抗は 3.5 kg/cm² で、防水塗裝をし且つ節壁を有する竹の條片とコンクリートとの夫れは、著しく大になつて居るから、加工に依り竹筋とコンクリートとの間の附着力も相當に増大せしめ得るものと考へる云々。

20. 竹材の許容強度

竹材の強度は其の種類、生育年數、表皮部又は内内部、稈の上中下各位置、有節無節又は伐出しの時期等に依り著大の相違を生ずるものなれば、鐵鋼材の如く歴然たる一定限度を表示すること至難なれども、前掲各種實驗の結果を綜合し大體次の如き許容強度を選択し得る様に思ふ。竹の種類極めて多いことは前述した通りであるが、竹筋等として構造用に供するものは其の普及其の産額其の強度などより考察するに、先づ内地産では眞竹、孟宗竹、淡竹、臺灣産では桂竹、茅茹竹、蘆竹位の處で、限界も著しく狭めらるゝのであるが、而も淡竹は其の主産地に制限あり(四國・九州・朝鮮又は濃尾地方等)、孟宗竹は太き大なるも節間近く肉厚大にして強度一定せず且つ耐久力乏しいなどの缺點がある。依て茲には最も普遍的にして品質優良なる内地産眞竹及び臺灣産桂竹を標準に取り研究せんとするのであるが、而も眞竹と桂竹とは品質最も克く類似し強度等に關し殆んど同様の取扱を爲し得ることも亦幸と考へる。

(1) 壓縮強さ (kg/cm²)

實 驗 者	發 表 年 次	竹 種	壓縮強さ (kg/cm ²)	
			竹 條(實斷面)	竹 稈(中空部を含む)
Baumann氏	大 正 元 年	不 明	794~863 (平均 829)	372~435 (平均 404)
梶山淺次郎氏	" 4 年	"		280
宇野昌一氏	昭 和 7 年	眞 竹	540	
鈴木兵馬氏	" 8 年	"	745	
支那政府	" 9 年	不 明		384
Datta氏	" 11 年	不 明	735	364
松島鐵也氏	" 15 年	不 明	740	343
平 均			717.8	355.0

即ち眞竹々條(實斷面)の縮壓強さは 700kg/cm²、竹稈(中空部をも計算した總斷面)の壓縮強さは竹條の半分 350kg/cm² に採れば充分安全である。

(2) 引張強さ (kg/cm²)

實 験 者	發 表 又 は 賞 驗 年 次	竹 種	引 張 強 さ (kg/cm ²)	
			無 節	有 節
Baumann氏	大 正 元 年	不 明	2070	
梶山淺次郎氏	" 4 年	"	1299	
筆 者	"	眞 竹(良質)	2223	
同	" 4~5年	" (普通)	1950	2186
宇野昌一氏	昭 和 7 年	"	2834	
同	"	"	1892	
農科大學	大 正 5 年	"	2292	2020
同	"	桂 竹	2671	2400
鈴木兵馬氏	昭 和 8 年	眞 竹	1971	
支那政府	" 9 年	不 明	1760	
Datta氏	" 11 年	"	1695	
宇野昌一氏	" 12 年	眞 竹	2085	
巽 純 一氏	" 15 年	"	3250~3400 (平均 3325)	1465
松島鐵也氏	"	不 明	1750	
平 均			2130	2018

即ち眞竹又は桂竹の引張強さは有節無節に拘らず 2,000kg/cm² に採るを至當と考へる。

(3) 應曲強さ (kg/cm²)

實 験 者	年 次	竹 種	應 曲 強 さ (kg/cm ²)	摘 要
Baumann氏	大 正 元 年	不 明	763~2760 (平均 1762)	試材外徑2~7cm 徑間約 15cm
農科大學	" 5 年	桂 竹	2091	
"	"	眞 竹	1902	
鈴木兵馬氏	昭 和 8 年	"	508	
支那政府	" 9 年	不 明	915	
Datta氏	" 11 年	"	704	
松島鐵也氏	" 15 年	"	690~2485 (平均 1588)	試材直徑0.2~7cm 徑間直徑の約25倍
平 均			1353	

即ち徑間距離不明のものあれども眞竹又は桂竹の應曲強さは大體 1,200kg/cm² と見ることが出来る。

(4) 應剪強さ (kg/cm²)

實 験 者	年 次	竹 種	應 剪 強 さ (kg/cm ²)
筆 者	大 正 4~5年	眞 竹	60.8
宇野昌一氏	昭 和 7 年	"	38.4
"	"	淡 竹	51.7
Datta氏	" 11 年	不 明	31.7
蓮池勇氏	" 16 年	淡 竹	45.9
平 均			45.7

即ち竹材の應剪強さは大體 45 kg/cm² である。

(5) 彈性係數 (kg/cm²)

實 験 者	年 次	竹 種	壓 縮 彈 性 係 數 (kg/cm ²)	引 張 彈 性 係 數 (kg/cm ²)
Baumann氏	大 正 元 年	不 明	189,000~199,000 (平均 194,000)	110,000~310,000 (平均 210,000)
宇野昌一氏	昭 和 8 年	眞 竹	224,000	374,000
筆 者	大 正 4~5年	"		252,000
巽 純 一氏	昭 和 15 年	不 明		157,000~233,000 (平均 210,000)
中村猪市氏	"	"		鋼材の $\frac{1}{3}$ 即ち 180,000
松島鐵也氏	"	"		175,000
平 均			209,00	233,500

即ち眞竹材の彈性係數は壓縮引張共に配合 1:2:4 程度のコンクリートに比し稍々強大の様ではあるが、之等に関する實驗甚だ乏しく信頼するに足らざる爲め當分は暫らくコンクリート同様 140,000 乃至 210,000 kg/cm² の値を採用し彈性率 "n" を 1 とすることが安全と考へる。

(6) 耐水壓力 (kg/cm²)

實 験 者	年 次	竹 種	節 數	竹 管 の 破 壊 水 壓 (kg/cm ²)		
				最 大	最 小	平 均
筆 者	大 正 4~5年	眞 竹	無 節	21.09+	6.57	14.15
"	"	"	中間 1 節	17.58	7.03	11.13
"	"	"	中間 2 節	17.58	7.73	10.58
"	"	"	中間3~5節	15.82	7.03	10.35
蓮池勇氏	昭 和 16 年	淡 竹	中間4~7節	18.00	3.00	10.00
平 均				18.01	6.27	11.24

即ち眞竹々管の破壊水圧は平均 10kg/cm² 以上に達することを認め得るのである。

(7) コンクリートとの附着強 (kg/cm²)

中村猪市氏の實驗でも材齡は不明だが附着強は 3.5 kg/cm² に過ぎぬと云ひ、Datta 氏の實驗でも 3.2 kg/cm² なりと云ふ。兎に角竹の節は附着強を増大する要素であつて無節のものは有節のものより平均 4 割の強度を失つて居る。而も竹筋の最大缺點は材齡と共に收縮變形の度合を増進し、コンクリート面より離脱する傾向著大なる爲め附着強を次第に減失することである。従て鐵筋とは比較にならぬ程微弱にして皮附有節のものでも平均 6.625 kg/cm² に過ぎない。即ち鐵材の約 4 分の 1 である。假令眞の附着強の増大ではなく、單に滑脱抵抗力の増進に過ぎぬとしても離脱防止に就ては相當の研究工夫が必要な譯である (表—28 参照)。

表—28 竹筋とコンクリートの附着強 (kg/cm²)

實驗者	年 次	竹 種	附着長 (m)	皮 附 有 節				皮 附 無 節			
				4 週	8 週	13 週	26 週	4 週	8 週	13 週	26 週
筆 者	大正4~5年	眞 竹	150	8.9	10.3	5.3	3.1	5.1	6.7	4.5	1.1
"	"	"	250	8.0	8.0	6.6	4.5	4.3	5.8	4.3	1.3
藤田章氏	昭和15年	"	350			3.1				2.4	
平 均				8.5	9.2	5.0	3.8	4.7	6.3	3.7	1.2
總平均				6.625 (100)				3.975 (60)			

(8) コンクリート内に於ける竹材の強度

表—29 は表—20 の結果を再録したのであるが、大氣中乾枯の竹材の引張強さに對し淡水中

表—29

回 體	大 氣	淡 水	壁 土	鹽 酸	石灰汁	セメント 溶 液	コンクリ ート塊	平 均
引張強さ(kg/cm ²)	2058	1874	1508	1495	1110	1614	1354	1575
百 分 比 例	100.0	90.6	73.0	72.3	53.2	78.0	65.5	76.2
總 百 分 比 例			耐酸 72.7%		耐アルカリ 65.6%			

浸漬のものは約 1 割減、壁土及び鹽酸溶液中のものは約 2 割 8 分減、石灰汁・セメント溶液又はコンクリート塊中貯蔵のものは約 3 割 5 分の強度を失つて居る。前掲島田一氏の實驗でも石灰溶液中の竹材は 410 日の後原強の 53% に過ぎざりし由の報告がある。即ち竹の素材を其の儘竹筋としてコンクリート内に挿入する場合には、少くも前掲各強度(壓縮強さ、引張強さ、應曲強さ、應剪強さ)の 65% に採らざれば不安心である。

(9) 安 全 率

前掲の數字は總て眞竹材の破壊強度を示したのであるが、計算上採用すべき許容強度即ち安全率を如何に定むべきかと残された問題である。竹材に關する安全率に就ての諸家の意見は大體次の如くである。

- (1) Datta 氏は安全率を總て 7 と定めた
- (2) 中村猪市氏は鐵筋に準じ竹筋の安全率を 4 又は 5 に取るべしと主張して居る
- (3) 河村協氏は「竹筋コンクリート梁試驗報告」中に本試験に用ひた竹筋の許容引張應力は 250~300kg/cm² であると記載して居る
- (4) 島田一氏は安全率を 3 乃至 7 に採るべしと述べて居る
- (5) 蓮池勇氏は安全率を 4 とするを適當と論じて居る

要するに竹材の強度は其の品種、竹齡、伐出しの季節其の他同一材に於ても試材採取の位置等に依り著しき相違あること前掲の如き爲め安全の一途のみを辿り、徒らに安全率を大ならしめ許容強度を最小に採擇する傾向を招來した様であるが、破壊強度を嚴重に酌量する場合の安全率は先づ 5 に採れば充分の様考へる。

(10) 許 容 強 度 (kg/cm²)

前述の理由に依り前掲せる各種破壊強度に基き其の許容強度を求めれば表—30 の如くである。

表—30

強 度 (kg/cm ²)	竹 種	安全率	種 別	コンクリート外使用		コンクリート内使用	
				破壊強度	許容強度	破壊強度	許容強度
壓 縮 強 度	眞竹又は桂竹	5	竹 條	700	140	450	90
"	"	"	竹 稈	350	70	225	45
引 張 強 度	"	"	竹 條	2000	400	1300	260
應 曲 強 度	"	"	"	1200	240	780	156
應 剪 強 度	"	"	"	45	9	30	6
耐 水 壓 力	"	"	竹 稈	10	2		
附 着 強 度	"	"	竹 條			6	1.2

以上の許容強度は内地産眞竹又は臺灣産桂竹に應用すべきものなるを以て、淡竹又は孟宗竹使用の場合は更に少くも 2 割の強度を減じ許容強度と定むることが、前掲各種實驗報告に徴し最も適切なる手段と認めらるゝ様に思ふ。

第3章 竹材の防蝕と其の補強

現在竹の缺點として挙げらるゝ主要の事柄は、其の耐アルカリ性に乏しきこと、風化腐蝕の憂ひ大なること、糖分發散の爲めセメントの硬化を妨害する虞れあること、水分の吸収著しき爲め變形收縮の度合大なること、コンクリートに對する附着強の鮮少なること、鐵鋼と異なり弾性係數大ならざる爲め構造物の断面寸法を縮小し得ざること、蟲害火災の虞れあること、耐久性に對する懸念などであつて、之等が専ら土木建築用資材としての應用を阻み重要構造物への適用を躊躇せしむる主因をなして居る。依て之等の缺陷を刈除することは竹材の利用價值を高むる要素なるを以て、之が防蝕硬化補強等に関する研究工夫は近來著しく發達し、發明又は新案の特許なども夥しい様ではあるが、尙ほ未だ完璧の域には前途遼遠なるものあり五里霧中に彷徨するの觀あるは遺憾の極みと云ふべきである。

1. 竹齡と伐採季節

竹筋材に適合する竹の種類は其の普及、産額、強度などより考察して、先づ眞竹、淡竹、孟宗竹、桂竹など數種に限らるゝこと前述の通りであるが、尙ほ之等の竹齡、伐出しの季節、乾枯の程度、貯藏の方法等は其の強度、防蝕又は耐久性に著しき影響を及ぼすことは周知の事柄である。従來籬屋又は竹細工專業者は竹齡3年乃至6年位のを最良として選び、伐出しの季節は中秋から初冬の候を以て最適として居るのであるが、竹筋コンクリート研究諸氏の意見も亦略々之等と一致する様に見受ける。

- (1) 和漢三才圖會 凡そ竹を伐るは秋を勝れりと爲し冬之に次ぐ、春夏の如きは性脆弱にして蝕つき易し、俗に「木六竹八」と云ふは木を伐るには六月竹を伐るには八月を最良とするの意なり、又曰く饅油を以て竹を炙燻すれば年を経るも蝕つかず云々。
- (2) 中村猪市氏 竹は耐久性を主眼として使用するには5~6年生のものが良く、引張強度を主眼とするには3~8年生が良く、壓縮強度を主眼とするには4~6年生が良く、曲げ強度を主眼とするものは4~5年生が良い、即ち大體的に見れば4~6年生のものを使用するべきである。又竹は其の伐採季節が宜しければ保存上好結果を得るものである、伐採の好季節は竹が水分を吸収しない時で8~10月の3箇月位である、竹材の蠹害に罹るは此の好期を逸して伐採を行ふ爲めで、萬一此の好期以外に伐採する場合は少くも2週間位水中に浸漬し充分乾燥せしめたる後使用することが肝要である。
- (3) 巽純一氏 コンクリートに竹材を打込む直前には充分浸水して豫め膨脹せしめて置く必要がある、此の處理を行はずしてコンクリート中に竹材を打込めばコンクリートの硬化に従

つて竹筋の位置に輕微な龜裂が発生する。

- (4) 蓮池勇氏 竹齡は3年生前後が最も良い、伐採は秋季が最適で殊に11月前後が最も良い、春季3~4月頃の伐採は水氣を多分に含み居る爲め時に蠹害を發生することがある、竹材は青味を濃く持つものよりも自然的に幾分赤褐色を帯びたものが生命がある、前者は所謂日陰に生長せるもので後者は日光を多分に吸収したものである。又密集した竹藪から伐出したものゝ方が薄い竹藪のものより一般に品質が優良である。竹管に使用する場合淡竹を最良とし眞竹が之に次ぎ良好で、孟宗竹は太さは大きいが肉厚のみで耐久力に乏しい、殊に春伐のものは通水1ヶ年内外に及んで内皮が脱剝し腐蝕する爲め悪臭を發散し、飲用不能に陥る虞れがあるが秋季伐採のものには殆んど此の憂ひがない。雨露に直接曝さるゝことが最も竹材の生命を早からしむる所以なれば、露出部分は棕繩繩巻き又は防腐塗料を施す要あり地中に埋設するものは適當の土冠りを保たしめ相當の濕氣を帯びしむる必要がある。井戸吸水管の使用例からすれば悪期節に伐出したものは殆んど1~2年間で割裂又は腐蝕して其の用に堪へぬが、秋季伐出しのものは5ヶ年は確實で稀には15ヶ年も使用し得たものもある。殊に適當の濕氣を保つ土中に埋設せるものは10~15ヶ年は支障を生ぜぬ様である。
- (5) 河村協氏 竹の伐採季節は秋期が最も良い、就中10月が最良である、又生育年は4~6年生のものが最も強い、竹の耐久性と云ふも其の使用箇所、竹の生育年、伐採季節及施工法如何等に依り大差あるべきは當然である。土壁に埋込たるものは相當長年月其の強さを失はない、100年尙ほ生々の氣あるものありとは其の道の古老の言であり、一般も之を認識するのであるが、コンクリートに包覆されたる竹の壽命に就ての確實性は今後相當長期の實驗に俟たねばならぬ。然し適當な竹齡と季節に伐採せるものは素材の儘でも10年20年の耐久力は得らるゝであらう、況んや耐アルカリ處理を施して使用せば50年100年の耐久力は決して困難でないと考へる。
- (6) 藤澤國太郎氏 其の實驗報告中に竹筋には新竹州竹東郡横山庄産の桂竹4~5年生で目通り直徑約10種のを採り、其の中央部を長さ80種丈け切り取り之を約1.8種の幅に割つたものを風乾して用ひたと記載して居る。
- (7) 桑本眞太郎氏 其の實驗報告中に竹筋には竹齡3年以上のものを9~10月に伐採し、太さ24~26種廻りのものから幅1.5~2種の割竹とし適當に自然乾燥し防腐劑浸漬を行ひ、耐アルカリ防水被膜の浸漬塗附を施し充分乾燥の上使用せりと記載がある。
- (8) 安藝岐一氏 其の實驗報告中に竹は山梨縣西八代郡市川大門町産の眞竹で、條片用としては目通20種内外5年生のものを割つて用ひ、丸竹用としては徑1.5種の2年生のものを使用したとある。
- (9) 河村協氏 其の實驗報告中に竹筋には昭和13年10月伐採5年生の眞竹、目通16~18種

節間 16~28 種を使用せし旨記載がある。

- (10) 藤田章氏 東京市で実験に供した竹材は 3 年生以上の眞竹で千葉縣産(抗張強 1,890kg/cm²) 滋賀縣八幡産(抗張強 1,750kg/cm²) の兩種、何れも秋季伐採のものとの記載がある。
- (11) 筆者 前掲の通り名古屋市で筆者が実験に供した竹材は、一は岐阜縣産 3 年生の 12 月伐出しの眞竹、他は名古屋市郊外の普通眞竹で竹齡は 4~5 年何れも秋季伐出しのものであつた。又ヒューム管會社で作つた管用竹筋は千葉縣産の眞竹で、目通 20 種、節間 18~25 種、竹齡 5 年 10~11 月伐出しのものである。
- (12) 加納瓦全氏 竹の比重は竹齡の増加と共に増加し其の増加割合は初年生に比し、2 年生比較的大なるも爾後の増加は甚だしく大ならずと結び、其の桂竹に關する比重を 1 年竹 0.43~0.78, 2 年竹 0.62~0.80, 3 年竹 0.68~0.88, 4 年竹 0.73~0.89 と報告して居る、5 年竹以上の調査を缺くは遺憾なれども一般に桂竹の比重は 0.8~0.9 なるに鑑み、竹齡 3, 4 年に及べば比重も完全に備はり竹の成熟が茲に認めらるゝものゝ様である。

叙上を綜合するに、竹の伐採季は所謂「木六竹八」にして新曆の 9~10 月を最良とし、中秋から初冬即ち 9 月より 1 月位迄を好期とすることに異論はない様である、又強度を主とする場合の竹齡は 4~6 年竹を最適とし、3~8 年竹を限度とすることに諸氏の意見が一致して居るが、筆者の実験では齡ひ 30 年の老眞竹と雖も尙ほ前掲の如く 1,600kg/cm² の引張強さを保持して居る。即ち割竹々筋として使用する如き場合には收縮其の他の變化が硬結し敏感ならざる丈ひ 30 年と云ふが如き老竹は竹林の利用能率其の他から見て不經濟極まるとしても、せめて 15 年位迄の老竹は充分活用の餘地あるにあらずやと考へるのである。

2. 竹材の貯蔵方法

伐採後貯蔵方法の適否如何は又竹の壽命に著しき影響を及ぼすものである。直接雨露に曝すことが最も竹の壽命を縮むるのであるが、之を室内に乾枯し又は水中に浸漬し或は土中に埋め或は壁土内に收むるか、或は萬年笥の如く藪繩又は棕欄繩等にて卷立つるか屋根裏などに保存すれば相當の壽命を延ばすことが出来るのである。

筆者の実験に依れば大氣中乾枯及び淡水中浸漬の眞竹の引張強さは表-31 の如き成績を示して居る(前掲表-6 参照)。

即ち水中に浸漬貯蔵したるものは室内乾枯のものに比し、大體に於て約 1 割に近き強度を失ふと雖も、兩者何れも 4~8 週のものより 13 週以上は著しく強度を増加して居る、所謂相當期間の風化、換言すれば枯るゝ時間を與ふることが最も肝要で、此の実験の成績に徴すれば枯らす期間は室内又は水中共に 13~26 週を適當とするものゝ様である。又一般に水中の分は材齡に拘らず強度平衡を保てるに反し、大氣中の分は區々として變動あるは注意すべき事柄と云

ふべく、要は或る程度の中貯蔵が竹材の素質を均等ならしむる上に相應の貢獻あるものと認め得ると思ふ。

表-31 眞竹の引張強さ(kg/cm²)

種別	節	4 週	8 週	13 週	26 週	39 週	52 週	平均	百分率
大氣中乾枯	無節	1663	1884	1958	2295	1903	1995	1950	100.0
	有節	1987	2139	2236	2313	2036	2406	2186	
	平均	1825	2012	2097	2304	1970	2201	2068	
	百分率	88.2	97.3	101.4	111.4	95.2	106.4	100.0	
淡水中浸漬	無節	1678	1729	1827	1972	2167	1818	1865	90.6
	有節	1654	1492	2117	1876	2221	1934	1882	
	平均	1666	1611	1972	1924	2194	1876	1874	
	百分率	88.9	86.0	105.2	102.7	117.1	100.1	100.0	

壁土内に收容した眞竹に對する筆者の引張強さの実験では表-12 に示す通り、室内乾枯のものに比較し平均 2 割 7 分の強度を減失しては居るが、材齡に拘らず其の強度殆んど一定して變化なきは竹の理想的保存方法と認め得べく、從て表-10 に示す通り古來我國に發達した壁下木舞竹の引張強さが、305 年経過のもので 1,200kg/cm²、237 年経過のもので 1,600kg/cm²、201 年のもので 1,400kg/cm²、89 年のもので 1,700kg/cm² 以上の強度を保有して居ることは不思議でないと思へる。又 90 年間屋根裏にあつた煤竹の引張強さは平均 1,458kg/cm² に及んで居るのである。萬年笥又は埋桶として地中に深く埋設したる竹管は其の環境並に土質にも依るが、相當の壽命を保つものゝ如く蓮池勇氏の説では 10 乃至 15 年は支障なしとのことである。筆者の名古屋市舊水道で目撃した實例に依るも粘土質地中に埋設せる竹管で約 40 年も其の役を果して居たものすらあつたのである。以上列記の實例は竹材貯蔵方法の好資料と考へ特に識者の参照に供する次第である。

3. 煮沸と蒸氣乾燥

屋根屋又は指物師が竹釘を作るに必ず竹を炙燻して強度を高むると同時に防蝕を行つて居る。竹細工を專業とするものは必ず其の原料を煮沸して防蝕を施すのが常識である。鰻串や肴串は脂を付けて火に炙る爲め非常に丈夫であることは周知の事實である。前掲の通り「和漢三才圖會」にも鰻油を以て竹を炙燻すれば年を経るも腐つかずとあるのも經驗が生んだ傳授である。筆者の実験でも 1 ヶ年以上飲食店で使用した竹箸の引張強さは前掲表-10 に示す通り、平均 3,436kg/cm² もあつて優良新竹を凌ぐこと 5 割以上に及んで居る、即ち竹材の炙燻又は煮沸が其の防蝕及び補強上貢獻の著しいことは古來から周知の事柄であつた。然し相當長い竹筋な

どの炙燻は簡単には出来ない。依て筆者は煮沸及び蒸気乾燥を以て之に代へ其の引張強さに関する影響を調査したのであるが、其の成績は表—32 に示す如くであつた（大正4年）。

表—32

記 號	煮沸したるもの、引張強さ(kg/cm ²)				蒸気乾燥したるもの、引張強さ(kg/cm ²)			
	1 時間	3 時間	6 時間	平均	1 時間	3 時間	6 時間	平均
1	1303	893	542		1485	1431	1459	
2	1339	1744	1339		1553	1674	1336	
3	1062	1241	1353		1612	1141	1515	
4	1843	1317	1134		1690	851	1378	
5	998	1690	978		1831	1593	703	
6	1553	1605	1540		724	937	1554	
7	973	737	948		782	551	1299	
8	1518	1305	1710		1418	1613	1256	
9	957	842	1555		1517	988	1435	
10	1582	577	1001		912	508	1534	
平均	1313	1195	1210	1239	1352	1129	1347	1276
百分率	106.0	96.4	97.7	100.0	106.0	88.5	105.6	100.0

備考 煮沸温度大體 100°C, 蒸気乾燥温度大體 105°C.

即ち煮沸、蒸気乾燥共に 1~6 時間の範圍に於ては時間的影響格別の事なく、普通眞竹の引張強さを 2,000kg/cm² とすれば何れも約 4 割に近き強度を失つて居る、然し之等は煮沸又は蒸気乾燥直後の強度減失であつて、相當期間を経過し常態に復したる後は相應の強度に恢復するであらう。之等の強度及び防蝕其の他物理的影響の結果を確め得ざりし事は遺憾至極であつた、蓋し 90 年間も屋根裏にあつて焚火の自然炙燻を受けたる煤竹が尙ほ 1,400kg/cm² 以上の引張強さを保有すること又は鰻串、竹釘、竹細工物などの實例に鑑みても、竹材の炙燻、煮沸又は蒸気乾燥が其の防蝕に強度保全上相當の効果を齎すべきものなるは推察出来ると思ふのである。

4. 防蝕塗附劑

(1) 樹脂 古來木竹類の防蝕に使用された樹脂塗料の中で最も優秀の成績を示すものは漆である。充分に乾燥せしめた木竹材に漆液の塗附數回に及べば著しき乾燥性を與へ 防水防蝕の効偉大である。漆塗を施した簞・箆・笛・尺八の如き 1000 年に及ぶも其の效を失はず、漆塗の弓矢・釣竿・花立・茶器など數百年後尙ほ其の用を果すは皆此の爲めである。現在でも久留米名産藍體漆器など此の好例で唯漆液は何分にも高價なる爲め經濟上一般土木建築用竹筋

に應用し得ざることは遺憾であるが、ワニス、桐油、亞麻仁油、松脂、木蠟、柿澁などの乾燥性樹脂塗附も亦相當の効果を齎すべきかと考へる。

(2) 魚油 和漢三才圖會に鰻油を以て竹を炙燻すれば年を経るも蝕つかずとある如く、古來釣竿・籠篋其の他の竹製品に魚油を塗り炙燻して防水し 保存上偉效を収めて居たことは明かな事實である。

(3) 白ペンキ及白鉛 安藝較一氏の「竹筋コンクリート桁に関する試験報告」(昭和 14 年)中に次の記載がある。竹がコンクリートに包まれると生コンクリートから水分を吸収して膨脹し、其の部材が乾くに從つて竹は乾燥して収縮する性質がある。夫れ故竹を豫め防水塗装して其の水分吸収率を減じ斯かる性質を防止せんが爲め白ペンキを塗つて見た。此の塗料はボイル油 1 立に白ペンキ 2 kg をよく溶かして作つた。今此の塗料を用ひた竹筋と普通の儘の竹筋との水分吸収率の實驗結果を示せば表—33 の通りである。

表—33

記 號	白ペンキ塗附材				素 材			
	浸水前重量	浸水7日後の重量	重量差	吸水率	浸水前重量	浸水7日後の重量	重量差	吸水率
1	142 gr	150 gr	8 gr	5.6 %	120 gr	150 gr	30 gr	25.0 %
2	195	205	10	5.1	113	142	29	25.7
3	202	212	10	5.0	110	141	31	28.2
4	180	187	7	3.9	165	198	33	20.2
5	168	174	6	3.6	145	172	27	18.6
平均				4.6				23.5

表に依れば素材の儘の竹筋は 1 週間後には白ペンキ塗料を施した竹筋の 5.1 倍の水分を吸収した譯である。但し桁の實驗では白ペンキを塗つて水の吸収を防いだものも、強度には殆んど影響はない、從て此の場合竹筋の附着力増加は考へられない。

又河村協氏は「竹筋コンクリート梁試験報告」中に竹筋に白鉛塗料 3 回塗を試みたが、試験期間短かき爲め未だ充分の效果を知る事が出来ないと記載して居る。

(4) アスファルトペイント 東京市藤田章氏の實驗(昭和 15 年)であるが、塗料の割合はプロンアスファルト(針入度 10~20) 62%, 揮發油 28%, 燈油 25%, ソフベントナフサ 13% で之を竹筋に刷毛で塗附け乾燥せしめたのであるが、同氏の結論としてアスファルトペイントの塗附は竹筋の耐アルカリ性を増進し、竹筋コンクリート製品の強度を稍々大ならしむる如き傾向を認むるも、實驗の如き刷毛引の薄膜にては其の效少なく數回の塗附により被覆を厚くする必要がある。又離脱實驗を試みしに竹筋に塗附せるアスファルトペイントは竹筋よ

り離れ、コンクリート側に附着し竹筋に残存せざるものが多く、殊に竹の表皮部に於て此の傾向が著しかつた。即ちアスファルトペイントの附着力は竹筋よりもコンクリートの方が遙に大なる様に見受けた。又前掲の如くアスファルトペイント塗附竹筋のコンクリートに対する附着強は、素材即ち無処理の竹筋と比較し數倍の強度を増進し更に其の周囲を20番鐵線にて巻立てたものは一層附着強が増大して居る。

- (5) **コーラター** 同じく藤田章氏の實驗であるが、附着強の増進よりすればアスファルトペイントよりも効果が一層著大の様である。

5. 耐アルカリ処理法

竹の耐アルカリ性に乏しきことは周知のことである、従て竹筋コンクリートの耐久力を確實ならしむる爲めには耐アルカリ処理を施し、コンクリートのアルカリ性分による侵害を削除する必要がある。前掲の白ペンキ又はアスファルトペイント塗附の如きも亦耐アルカリ処理の一方法ではあるが、更に近來は幾多の處理方法の發明があり特許なども相當數に達して居る様である。

- (1) **ブーバー竹筋** 堺市役所島田一氏の考案になる特許品であるが其の説明に曰く、伐採した青竹を水洗して先づ竹程に外形的加工を施し之を壓力罐に收容して真空状態に於て第1藥液を壓入し之を取出して一定時間乾燥せしめた上再びボイラーに入れて第2藥液を壓入、更に同じ工程に依つて第3藥液を注入し最後に第4藥液を表面に吹付けて仕上げとするものであるが、1~4の藥液は次の通り。

第1藥液 カルシウム、ナトリウムを主要成分とし、他に5種類の媒介薬を調合せる揮發性半溶液

第2藥液 マグネシウム、ホーシヤを主要成分とし、他に3種類の媒介薬を調合せる半揮發性溶液

第3藥液 マグネシウム、シユーサンを主要成分とし他に2種類の媒介薬を調合せる溶液

第4藥液 アルコール、シユーサン、樹脂を主要成分とし、他に7種類の媒介薬を調合せる揮發性溶液

以上の藥液を竹材組織中に滲透せしめて腐蝕の因となるべき瓦斯成分と換置し細胞保護物質を組織の空隙中に生ぜしめ、コンクリート中の遊離石灰との化合に依り一層の硬度と水密性を増進せしめ、氣體及び液体の浸入を防止して細胞組織の耐久性を増大せしむるものである、云々。

- (2) **硬化竹筋** 和歌山市日本竹筋工業所の專賣特許品(第135165號)であるが、特殊の防腐殺菌、耐アルカリ性の浸透液剤を以て完全に處理し竹材の可溶性分を膠固せしめ、更に生コ

ンクリートのアルカリ性分を迎え化合安定せしむる特長あるを以て、耐久性を増進し強度を高め附着力を大ならしむること顯著なりとの説明である。

- (3) **更竹** 高知縣野村技師の研究であるが、竹材に特殊合成樹脂液を浸透し強壓加熱することにより無機化せんとするものでも亦特許品である。
- (4) **竹製ラス「パンゼン」** 高知縣越智管轄技師の研究になるもので、特色はコンクリート、モルタル、プラスター等による被覆容易、耐久耐火耐震耐風、捲込折疊隨意とのことである。
- (5) **鹽化カルシウム溶液注入** 東京市藤田章氏の現に行つて居る方法で、鹽化カルシウム又は鹽化マグネシウムの溶液中に竹材を浸漬し110°Cの熱度を標準として煮沸すること2時間餘、之を取出し、同一冷溶液中に於て急冷浸漬すること數日にして乾燥せしめたものは十分に溶液を吸収し竹材の水分及び可溶性物質を排除する爲め、耐アルカリ性を増進し同時に竹材中の糖分、脂肪分などを除去する効果顯著なりとのことである。

6. 外形的加工

竹材のコンクリートに対する附着強の大ならざることは非常な缺點である。コンクリート中に挿入された竹材は初めは水分を吸収して膨脹するが、材齡と共に乾燥して次第に其の水分を失ひ變形收縮を來す爲め竹筋とコンクリート間に罅隙を生じ其の附着強を減少するのである。節の存在は附着強を保持する一大要素ではあるが之れだけでは充分を期し得ない。前掲の防蝕剤の塗附又は藥品の注入、針金の巻立なども附着強を高むる上に多少の効果はあるが尙ほ不充分を免れないのである。依て竹材に外形的特殊の加工を行ひ節と節との間に切込みを作り又は凹凸・折曲げ・捻りなどの障害を設けて、恰も異形鐵筋の如く滑脱抵抗を増大し竹筋の離脱を防止せんとする工夫が行はれ來つたのである。無論加工に依り竹筋の有効斷面積は約半減するが夫れ丈け大なるものを使用すれば差支を生じない譯である。竹材の外形的加工には種々な方法が行はれて居り特許丈けでも次の如く多數に及ぶのである(酒井勉氏報告に據る昭和14年10月迄に公告済みのもの)。

- (1) **コンクリート用補強劑** (考案者 岩佐甚藏氏 昭和9年實用新案第1060號)

土木又は建築用コンクリート中に埋裝すべき補強材の考案で、長い丸竹の中節を除き其の中空部分にコンクリートを填充したものでコンクリート柱又は梁などに數本宛まどめて挿入し補強するのである。

- (2) **竹材コンクリート柱** (考案者 黒岩眞重氏 昭和13年實用新案第16576號)

丸竹又は割竹數本を適宜の間隔を以て金網狀支持金物にて連成し周囲をコンクリートにて被覆したものである。

- (3) **コンクリート板** (考案者 中田幸一郎氏 昭和13年實用新案第16933號)

剥竹條を稀アルカリ溶液にて處理し次にマグネシウム鹽類或はアルミニウム鹽類の水溶液に浸せる後珪酸曹達を混じたモルタル中に投じ、よく攪拌し全體を亂麻狀板に壓展して之を芯に周圍をコンクリートにて被覆したものでタイル、スレートの代用品である。

- (4) 屋根瓦板 (考案者 森本利吉氏 昭和 13 年實用新案第 18928 號)
小竹筋を利用したセメント瓦である。
- (5) 竹筋コンクリート製建築材 (考案者 花輪三郎氏 昭和 14 年實用新案第 944 號)
割竹を輻射狀に配置し鐵線を以て嵌合せコンクリートを以て被覆するもので、丸形角形の兩種あり共に建築用柱又は梁材である。
- (6) 竹網ラス (考案者 雪本福一氏 昭和 14 年實用新案第 8113 號)
- (7) 同上 (考案者 大木吉太郎氏 昭和 14 年實用新案第 9287 號)
- (8) 竹木舞 (考案者 奥村重兵衛氏 昭和 14 年實用新案第 11895 號)
- (9) 混泥土用竹筋 (考案者 宮下正吾氏 昭和 14 年實用新案第 9025 號及び第 9490 號)
割竹の適宜箇所針金を數回捲付けて結束し又は鐵線を緊密に嵌設し其の末端を若干長く残り附着力を増大するものなりと云ふ。
- (10) 混泥土用竹筋 (考案者 細田貫一氏 昭和 14 年實用新案第 9491 號)
割竹に金屬線を螺旋狀に左右より緊密に捲付け其の兩端に U 字形鉤形金屬線を取付け附着力を良好ならしむるものと云ふ。
- (11) 混泥土補強用竹材 (考案者 巽純一氏 昭和 14 年實用新案第 10456 號)
割竹の節間に 1 對の矩形又は三角形切欠部を設け附着力を強大するものなりと云ふ。
- (12) 網壁下地 (考案者 田中伊太郎氏 昭和 14 年實用新案第 11281 號)
竹材を適當幅に縦に割裂し之を捻轉して網形に組み合せ壁下地又はコンクリート及びモルタル下地に應用するものと云ふ。

7. 施工の要領

我國を初め東亞諸國は優秀竹材の特産地であることは誠に結構であるが、之等の科學的研究尙ほ未だ充分ならざる爲め竹筋コンクリート構造物の一般的應用に就ては、疑念を抱き使用を躊躇するもの多きことは遺憾に堪えぬ次第と思ふ。依て茲に竹筋コンクリート工施工上に關する研究諸氏の意見大要を紹介して一般の参照に供せんとするのである。

- (1) 島田一氏 著者の今日迄の研究に依れば竹材は化學的處理と外形的加工を施すに於ては、竹筋として充分其の用を果し得るのみならず彈性係數の増大を期し得た際には、鐵筋コンクリート同様の強度を持たしめ得ると思ふ。處理竹材は各細胞組織の深部に薬品を完全滲透せしむることが肝要であるが、其の耐火力は不明である。依てコンクリート被覆厚は出來

得る限り充分に取り度いと思ふ。兎に角根本材料たる竹を充分理解して使用することが必要である。

- (2) 巽純一氏 竹筋コンクリート用の竹材は丸竹割竹共外形的に特殊の加工を施し、附着應力を充分發揮し得る様考案の必要がある。又竹材はセメントのアルカリ分に依つて腐蝕作用を生ずる故、特殊の薬液注入の處理を完全に行つたものでなければ耐久性乏しく本來の目的に反する。竹筋コンクリート工施工前竹材は充分浸水して豫め膨脹せしめ置く必要がある。又竹は比重が軽く施工中浮き上る傾向がある故竹筋の位置移動を防止する工夫と、コンクリートの搗固めを完全に行ひ加工箇所への填充を充實し附着應力の増加を期する必要がある。古來我國に行はれた小舞竹の使用法と竹筋コンクリート構造物としての竹材の使用法とは、根本的に異つて居るのであるから竹でさへあれば何でも竹筋コンクリート構造物に用ふる事が出来ると思ふ考へ方は、此の際是非取捨して、新しく竹筋コンクリート専用の竹材を用ひて、合理的な施工法で工事に當る様特に切望する次第である。
- (3) 河村協氏 強度上より鐵筋コンクリート代用としての竹筋コンクリートの實用性を要約すれば、竹筋とコンクリートとの彈性係數の比は小なれども竹筋は安價なるのみならず、竹筋の強度は鐵筋の $\frac{1}{4}$ は許される。充分な處理法を構すれば $\frac{1}{2}$ 位迄も許されるを以て經濟的である。勿論此の外に耐久性と云ふ重大問題はありますが現今の如く鐵筋コンクリート濫用時代に於ては安全なる處理を施した竹筋を使用し施工を誤らざる限り、濫造鐵筋コンクリート構造物に優る相應の強度と耐久力を有する竹筋コンクリート構造物が出来ると思ふものである。
- (4) 栗山寛氏 竹はコンクリートとの附着力弱く丸竹の備用ひる場合は特に甚だしい、割竹の方が幾分良好である、何れにせよ加工するなり薬品の塗附等に依つて附着力増加を考ふべきである。竹材は材齡及伐採時期或は乾燥程度によつて大いに強度に影響し且耐久力も異なる様である。要するに竹筋コンクリートは無筋コンクリートよりは確かに丈夫である。竹材の耐久性が確保されコンクリートとの附着力増進に對する研究が完成せざる限り、現在の域では鐵筋コンクリートの相手代用品ではなく、主眼は無筋コンクリートに置き之を補強する程度のもではなからうか。
- (5) 安藝岐一氏 要するに竹筋は鐵筋と異なり皸裂荷重は著しく低いが、其の破壊荷重は無筋筋よりも相當持ちこたへるものである。竹の吸水を如何にして防ぐかも問題である、之は又實施に容易な方法でなくてはならない。今後更に充分な検討を経ない限り重要な場所には使用出来ぬであらう。筆者の施工した竹筋コンクリートの水制は断面の大なる柱であり、之に加はる力に對しては充分餘裕があると考へらるゝもので、施工に當つては成るべく緻密なコンクリートを必要とする爲め振動搗に依つた。
- (6) 中村猪市氏 竹の強度は種類に依り産地に依り竹齡に依り又其の乾燥度により異なるが、

青竹其の儘でも竹筋コンクリート工としての使用実例から見て相当年限は腐朽しないし、又素材の儘でもセメントとの間に化学作用のあることを認められないと云ふ點から、軽微な構造物には何等の塗料も施さずに其の儘使用せらるゝものが多い。重要構造物と云ふ程度の判断は六ヶ敷いことであるが大抵は50年か100年位の壽命のものである。軍需品工場などでも鐵材の配給は充分でも差支なき部分には竹筋使用の方策を講じ、鐵材の節約に努むべきが國策に順應する處理かと思はれる。殊に近來は竹筋に耐アルカリ性、耐久性を具備せしむる研究が著しく發達して居る。鐵鋼材配給統制の爲め鐵筋使用困難なる場合に於て建築物又は構造物の築設には處理を施したる竹筋を使用すべきである。尙ほ建築工事のモルタル壁下地などには將來鐵鋼統制が解かれた後でも、經濟的關係から耐久性を附與した竹筋ラス等が使用せらるるものと思ふ。農業方面では時局に關係なく遙か以前から竹筋を使用した實例に見ても益々普及するものと思料せられる。公園の諸施設も竹筋コンクリート施工のものが少くない様であるが之も將來迄繼續するであらう。土木方面の護岸工や擁壁工などはコンクリート丈けでも施工可能のものであるが、尙ほ多少の安全を期して竹筋を挿入するものが多い様である。建築工事、橋梁工事等の竹筋コンクリート施工は試験的假施設のものが多い、從て假令其の成績の良好を認めても統制が解かれ鐵鋼の價格が平常に復せし後には、之等に竹筋工を採用するか否かは疑問である。平時に於て鐵筋工の經濟的で且つ安全なることは首肯されることである。

(7) 松島鐵也氏 竹は軽く工作容易にして強度大なるものである、即ち其の平均張力は 1750 kg/cm², 平均壓縮強度は 735kg/cm², 應曲強さは 690~2,485kg/cm² である。是等の高強度を有するに拘らず火災・天候・虫害等に對する防護をしなければ重要構造物に使用することは出来ない。

(8) 藤田章氏 竹筋コンクリート管を單に強度の點のみより見る時は鐵筋コンクリート管に比し甚しく劣らず、從て適正なる竹筋量を用ひ耐アルカリ性、耐蝕性、糖分滲出に對する處置、其の他必要なる化學的物理的處理を適法により與へたる竹筋を用ひて製造せる竹筋コンクリート管は鐵筋管代用として使用し得べしと考へる。

(9) 藤澤國太郎氏 加工竹筋は水中養生に於ても空氣中養生に於ても成績甚だ良好である。之は防水加工に依つて膨脹收縮を防ぎ且つ竹の纖維を良く保護し耐久性にも好影響があるものと思はれる。即ち竹筋も加工することにより相當利用の途が開け簡易な構造物には廣く使用されるものと思はれる。

(10) 桑木眞太郎氏 慎重考慮も亦無理でないと思ふが、さりとて何時迄も考へてばかり居たのでは益々發達が遅れ代用品として時局の間に合はぬ事になる。無筋コンクリートより竹筋を入れた方が幾分でも良い事位は、誰しも同感であらう。されば最初は構造輕微なものから研究しつゝ相當な構造物に至るまで使用範圍を擴大すべきだと考へる。

第 4 章 實 驗 其 の 一 (桁 及 版)

1. 桁に關する筆者の實験

名古屋市下水道布設事務所に於て施工した本實験は大正5年から同6年に涉るもので、使用材料、供試體の形狀、試驗の方法等は大體次の通りであつた。

(1) 材 料

セメント 愛知セメント株式
會社製造オートランドセ
メントにして農商務省告示セ
メント試驗法に據り試験せ
しに右の如き成績を示して
居る。

粉末の程度 (900孔篩殘滓) (%)	凝結時間		膨脹試験 浸水乾燥 沸煮共	耐伸強 (kg/cm ²)	
	硬 始	硬 終		1 週	4 週
1.2	2 39	6 19	異狀なし	23.9	27.3

洗砂 木曾川下流の産、大き
1.5 耗内外、之を標準砂と
同一大きに篩別したるもの
(A)及自然の儘のもの(B)
に區分し標準砂使用のモル
タルと其の耐伸強を比較せ
しに右の如き結果を示して
居る。

砂の種別	配 合 (重量比)	耐伸強 (kg/cm ²)				
		1 週	4 週	8 週	13 週	26 週
標 準 砂	1 : 2	33.6	41.8	42.5	46.3	49.2
木曾川砂A	"	28.3	33.0	36.2	37.7	44.5
木曾川砂B	"	28.8	31.1	35.2	40.3	42.2
標 準 砂	1 : 3	22.3	28.7	34.3	31.4	37.9
木曾川砂A	"	16.2	19.0	23.5	28.8	29.4
木曾川砂B	"	22.4	24.2	28.4	32.1	33.0

洗砂利 木曾川下流の産、大
き6~15 耗に篩別使用。此
の内6~10 耗以下のものを
選り 1:2:4 コンクリート
を作り耐伸強を試験せしに
右の成績を示して居る。

配 合 (重量比)	砂及砂利 の 品 質		耐伸強 (kg/cm ²)				
	砂	砂 利	1 週	4 週	8 週	13 週	26 週
1 : 2 : 4	標準砂	木曾川 砂 利	16.6	20.6	27.2	26.5	26.6
"	木曾川 砂 B	"	14.1	18.9	21.7	25.8	26.9

鐵筋 名古屋市岡谷商店納品米國製軟鋼棒鐵徑 5/16 吋, 破壊耐伸強 4,608kg/cm², 耐伸度 23.2%。

竹筋 名古屋市郊外産眞竹, 竹齡 4~5 年秋季伐採の普通品, 試材は中程良質の部分より採取。

混和用水 名古屋市上水道の供給水。

(2) 供試体の製作と試験の方法

供試体は前記の材料に據る配合容積比 1:2:4 のコンクリート桁にして、其の寸法は長 90 種、幅 12.5 種、厚 15 種に相當し、比較研究の爲め無筋鐵筋及び竹筋數種を各 3 個づつ製作し、鐵筋竹筋共に肋筋は其の形狀及び位置を保全せしむる程度に簡略し、コンクリートの練合用水量は砂利容積の 1/7 とせる硬練にして、2 乃至 3 日後に型枠を撤去し約 7 日間其の儘製造臺上に凝結せしめ、其の後一定置場に搬出し約 1 ヶ月間は藁を覆ひ時々撒水して急燥を防いだもので其の種別寸法等は圖-1 の如くであつた。

桁の試験は徑間を 75 種と定め集中荷重法に依つたもので、荷重は名古屋高等工業學校備付の 30 噸ジャクトン手働式油壓試験機に依り測定し、撓度も亦同校備付のエキステンソメーターを用ひ測定したものである。

(3) 試験の成績

前記の方法に基き載荷の結果表-34の成績を得た。

表-34

種 別	材 齡 (日)	最大撓 度(耗)	荷 重(kg)		同 上(%)		單 位 強 度 (kg/cm ²)		
			罅 裂	破 壊	罅 裂	破 壊	コンクリート 應 壓 強	鐵筋又は竹筋 應 張 強	
無 筋 桁	156 157 163	0.1016 不明 0.1778	508 782 610				88.0 140.8 110.4	8.8 14.1 11.0	
平 均		0.1397	630		100.0	100.0	114.5	11.5	
鐵 筋 桁	154 157 163	1.397 " 1.534	2133 2032 2133	2489 2438 2540			138.3 131.8 138.3	13.8 13.2 13.8	3665 3493 3665
平 均		1.443	2100	2489	333.9	395.1	136.1	13.6	3609
竹 筋 桁 A の(1)	163 " "	0.1422 0.1016 0.1524	691 610 701	1320 1198 1259			76.3 67.6 77.4	7.6 6.8 7.7	288.4 255.5 292.6
平 均		0.1321	667	1259	106.5	200.0	73.7	7.4	278.6
竹 筋 桁 A の(2)	158 " "	0.1524 0.2540 0.1524	711 1016 619	1107 1422 944			78.4 111.4 68.8	7.8 11.1 6.9	296.4 421.1 260.0
平 均		0.1863	782	1158	124.2	183.9	86.1	8.6	325.5
竹 筋 桁 B の(1)	158 " 164	0.2032 0.1190 0.1422	508 711 914	1280 1077 914			40.3 56.0 71.6	4.0 5.6 7.2	129.7 180.3 230.6
平 均		0.1548	711	1090	112.9	172.6	56.0	5.6	180.3

竹 筋 桁 B の(2)	160 " "	0.2311 0.1524 0.2286	1016 1097 1046	1503 1829 2153			79.4 85.6 81.7	7.9 8.6 8.2	255.7 275.6 263.1
平 均		0.2040	1053	1829	166.7	290.3	82.2	8.2	264.7
竹 筋 桁 C の(1)	163 " "	0.1549 0.1016 0.1270	732 610 508	1717 2083 1565			65.7 55.0 46.1	6.6 5.5 4.6	- 11.8 - 9.9 - 8.3
平 均		0.1278	617	1788	98.3	285.9	55.6	5.6	- 10.0
竹 筋 桁 C の(2)	160 " "	0.2286 0.2540 0.1270	813 650 873	1219 945 873			72.8 58.5 78.1	7.3 5.9 7.8	- 13.1 - 10.5 - 14.0
平 均		0.2032	779	1012	123.7	161.3	69.8	7.0	- 12.6
竹筋桁のみ の總平均			768	1356	122.1	215.3	70.6	7.1	- 11.3
全 平 均							84.3	8.4	

圖-1. コンクリート桁の形状

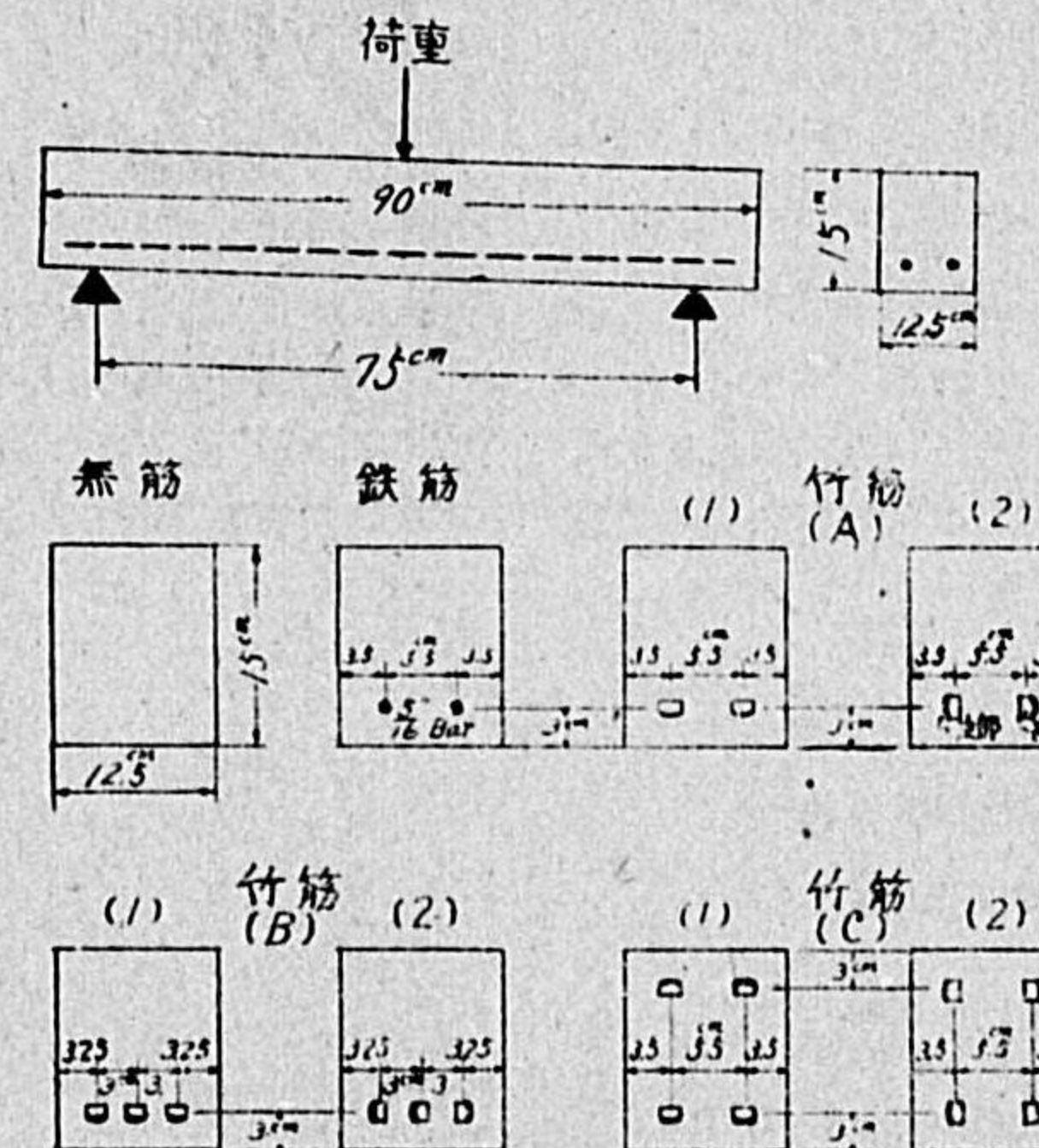


表-34の罅裂荷重を見るに、無筋桁の 100に對し鐵筋桁は333.9即ち3倍以上の強度を示し、竹筋桁Aの(1), Bの(1), Cの(1)何れも竹筋表皮部を水平に挿入したるものは、106.5, 112.9, 98.3平均 105.9即ち無筋桁と大差なきも、竹筋桁Aの(2), Bの(2), Cの(2)何れも竹筋表皮部を縦に挿入したるものは、124.2, 166.7, 123.7平均 138.2にして無筋桁に對し相應の強度増進を示せるは注意すべき事柄にして、竹筋は皮部を水平に挿入するよりも縦に挿入する方其の附着強並に固有強度を發揮せしむる上に遙かに有效なのである。又Cの如く應壓側に竹筋を挿入することは斯かる小桁にては、何等の效なく寧ろ作業の自由を妨げ有害と察知せらるゝ様である。破壊荷重に於ては無筋桁の 100 に對し鐵筋桁は約 4 倍の抵抗力を示し、竹筋桁は 161.3~290.3 平均 215.3 即ち 2 倍以上の抵抗力を保てることが構造物の安全性を増加せしむる顯著な貢獻である。

2. 應 力 の 計 算

鐵筋コンクリート工の應力計算に於てはコンクリートの應張力を無視するのが、普通である

が、應張力の無視は中軸線以下のコンクリートを全然除外するが如き結果を生じ、假令其の強さは應壓力と比較し非常に微弱なりとは云ひ、實驗上の數値に基き斷案を得んとする基礎的研究の場合に於て、應張力無視は計算の精密を缺く虞れあるのみならず無筋桁との比較計算上に支障を生ずるを以て、茲には筆者独自の算式(拙著:下水學大意參照)を用ひ總てを計算することとした次第である。

(1) 曲げモーメント

今 P = 桁の中央に加へた集中荷重即ち罅裂荷重 (kg)

l = 桁の徑間 = 75cm
b = 桁の幅員 = 12.5cm
h = 桁の厚さ = 15cm

w = 桁の單位重量 = 0.0024 × 12.5 × 15 = 0.45kg/cm

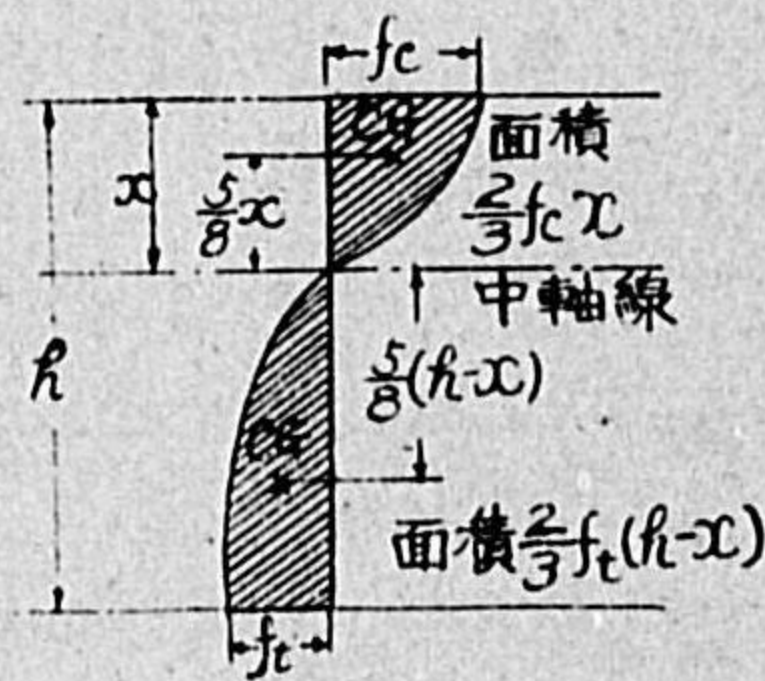
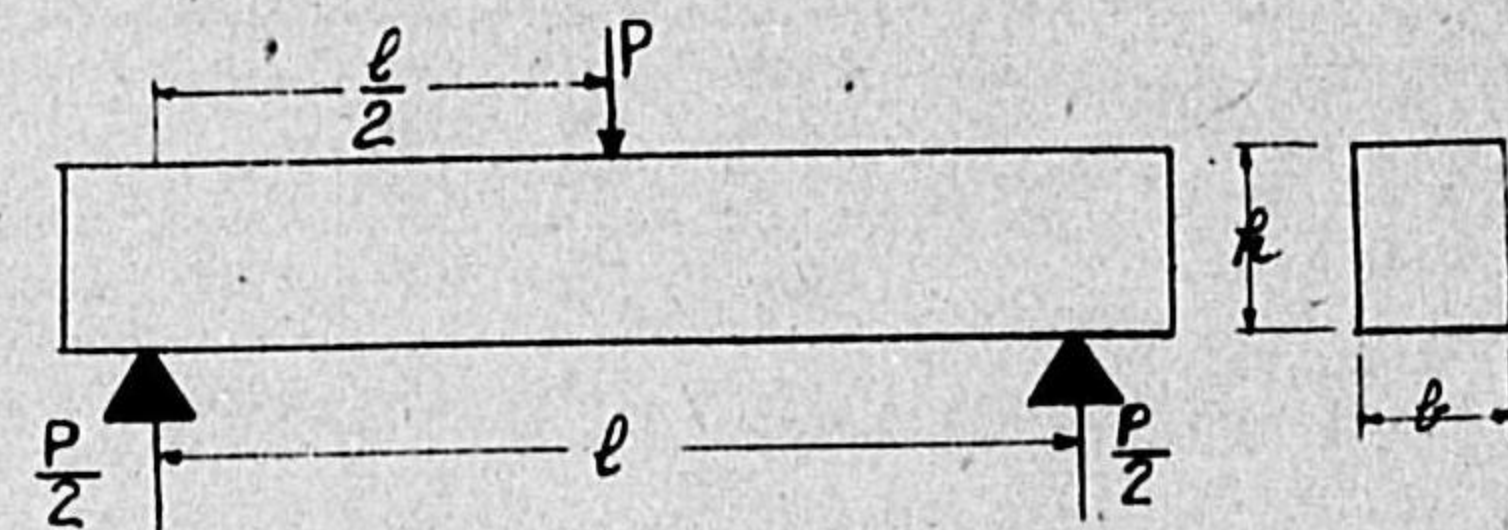
とすれば

(A) 荷重に依る曲げモーメント

$$M = \frac{1}{4} Pl = 18.75P$$

(B) 自重に依る曲げモーメント

$$M = \frac{1}{8} wl^2 = 316kg/cm$$



(2) 應 力

(a) 無筋の場合

今 f_c = コンクリートの受くる單位縁維應壓力 (kg/cm²)

f_t = コンクリートの受くる單位縁維應張力 (kg/cm²)

E_c = コンクリートの壓縮彈性係數

E_t = コンクリートの引張彈性係數

b = 桁の幅員 (cm)

とすれば此の斷面中に起る應力の總和は零なるを以て

$$\frac{2}{3} f_c bx - \frac{2}{3} f_t b (h-x) = 0$$

即ち $f_c x = f_t (h-x)$

又此の斷面中に働く總ての力の中軸線に對する曲げモーメントは零なるを以て

$$M = \frac{5}{12} f_c bx^2 + \frac{5}{12} f_t b (h-x)^2$$

然るにコンクリートの彈性係數は其の彈性限度を超過せざる範圍の應力に對しては、應壓應張共に同一値と見做すも大差なく $\frac{E_c}{E_t} = 1$ である。

依て $\frac{f_t}{f_c} = \beta$ とすれば $x = \beta (h-x)$ 即ち $x = \frac{\beta}{1+\beta} h$

茲に中軸線の位置定まる故に

$$f_c = \frac{M}{\frac{5}{12} b [x^2 + \beta (h-x)^2]} \dots \dots \dots (1)$$

今 $\beta = \frac{1}{10}$ ならば $x = \frac{1}{11} h$, 依て (1) 式より $f_c = 26.4 \frac{M+M_0}{bh^2} = 0.0094(M+M_0)$

$$f_t = \frac{1}{10} f_c$$

種別	P (kg)	M (kg.cm)	M ₀ (kg.cm)	M+M ₀ (kg/cm ²)	f _c (kg/cm ²)	f _t (kg/cm ²)
無筋	508	9525	316	9841	88.0	8.8
"	782	14663	"	14979	140.8	14.1
"	610	11438	"	11754	110.4	11.0
平均	630	11869	316	12185	114.5	11.5

(b) 鐵筋の場合

今 f = 鐵筋の受くる單位應張力 (kg/cm²)

E_s = 鐵筋の彈性係數

A = 鐵筋の總斷面積 (cm²)

n = 鐵筋とコンクリート

の彈性比率 = $\frac{E_s}{E_c}$

とすれば

$$\frac{2}{3} f_c bx - \frac{2}{3} f_t b (h-x) - f_s A = 0$$

$$\text{又 } M = \frac{5}{12} f_c bx^2 + \frac{5}{12} f_t b (h-x)^2 + f_s A (d-x)$$

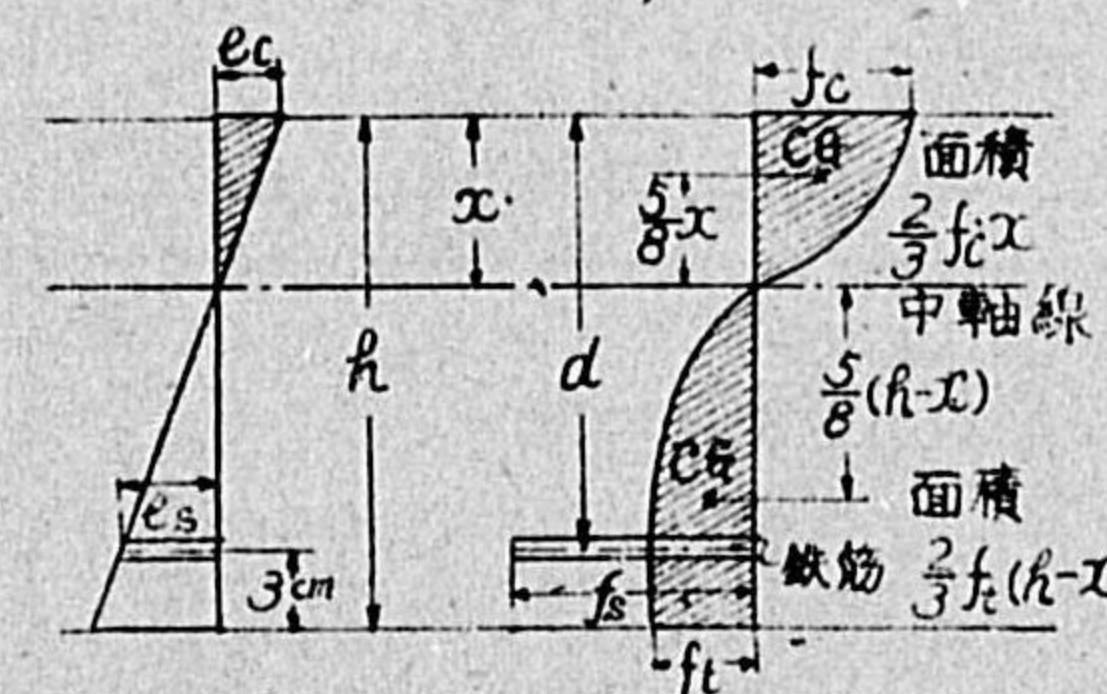
然るに $\frac{e_c}{e_s} = \frac{x}{d-x}$, $E_c = \frac{f_c}{e_c}$, $E_s = \frac{f_s}{e_s}$

なるを以て $f_s = \frac{f_c E_c (d-x)}{E_s x} = \frac{n f_c (d-x)}{x}$

今 n = 15, $\beta = \frac{1}{10}$ とすれば, 前式より $\frac{2}{3} bx - \frac{2}{3} \beta b (h-x) - \frac{nA(d-x)}{x} = 0$

故に

$$x = \frac{2\beta bh - 3nA}{4b(1+\beta)} + \sqrt{\left\{ \frac{2\beta bh - 3nA}{4b(1+\beta)} \right\}^2 + \frac{3nAd}{2b(1+\beta)}}$$



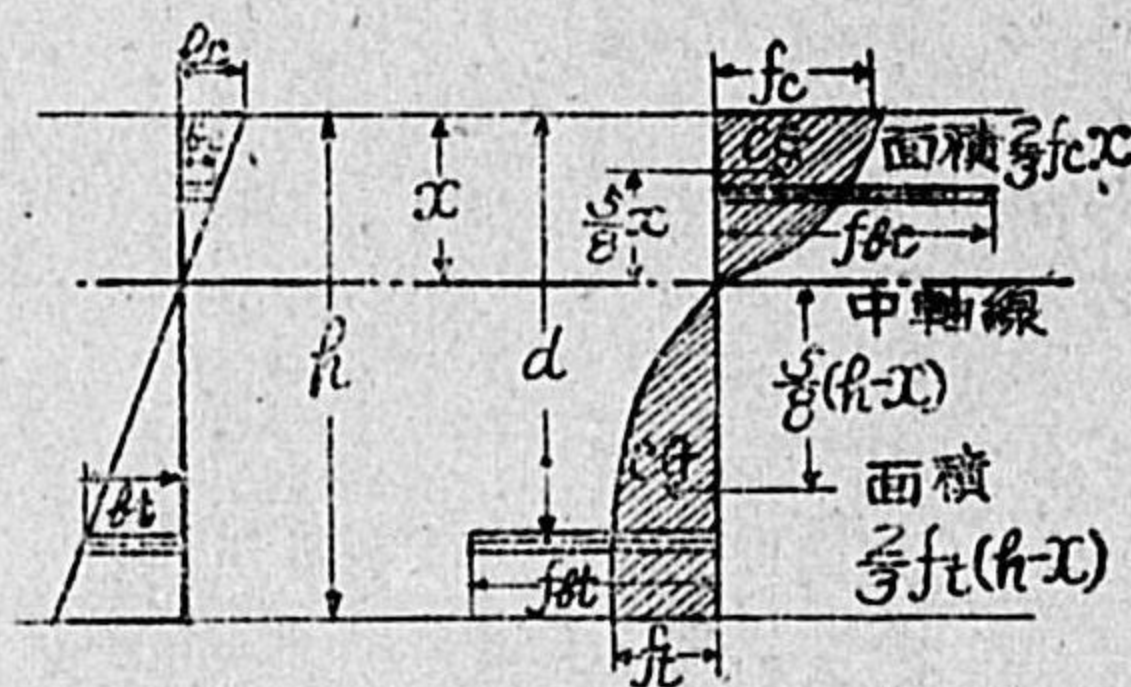
$$\left. \begin{aligned} \text{又 } f_c &= \frac{5}{12} bx^2 + \frac{5}{12} \beta b(h-x)^2 + \frac{nA(d-x)^2}{x} \\ f_t &= \beta f_c \\ f_s &= \frac{n(d-x)}{x} f_c \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

然るに $A = 2 \times \frac{5''}{16} \text{ bar} = 0.987 \text{ cm}^2$ なるを以て
 $x = 4.34 \text{ cm}, f_c = 0.0019(M + M_0)$

種 別	P (kg)	M (kg.cm)	M ₀ (kg.cm)	M+M ₀ (kg.cm)	f _c (kg/cm ²)	f _t (kg/cm ²)	f _s (kg/cm ²)
鉄 筋	2133	40,000	316	40316	138.3	13.8	3665
"	2032	38,100	"	38416	131.8	13.2	3493
"	2133	40,000	"	40316	138.3	13.8	3665
平 均	2100	39,375	316	39691	136.1	13.6	3609

(c) 竹筋の場合 (単筋Aの(1)及(2))

- 今 f_m = 竹筋の受くる単位應張力 (kg/cm²)
- E_b = 竹筋の弾性係数
- A = 竹筋の総断面積 (cm²) = 2.8cm² (単筋)
- n = 竹筋とコンクリートの弾性比率 = $\frac{E_b}{E_c} = 1$



とし $\beta = \frac{1}{10}$ とすれば (2) 式より $x = 2.51 \text{ cm}, f_c = 0.00575 (M + M_0)$

(d) 竹筋の場合 (単筋Bの(1)及(2))

此の場合

$A = 3 \times 1.4 = 4.2 \text{ cm}^2$ なり。故に $x = 2.84 \text{ cm}, f_c = 0.00412 (M + M_0)$

(e) 竹筋の場合 (複筋Cの(1)及(2))

- 今 f_m = 竹筋の受くる単位應張力 (kg/cm²)
 - f_m = 竹筋の受くる単位應張力 (kg/cm²)
 - A = 應張又は應張竹筋の各断面積 = 2.8cm²
- とすれば

種 別	P (kg)	M (kg.cm)	M ₀ (kg.cm)	M+M ₀ (kg.cm)	f _c (kg/cm ²)	f _t (kg/cm ²)	f _{bs} (kg/cm ²)	f _{bc} (kg/cm ²)
竹筋Aの(1)	691	12956	316	13272	76.3	7.6		288.4
	610	11438	"	11754	67.6	6.8		255.5
	701	13144	"	13460	77.4	7.7		292.6
平 均	667	12506	316	12822	73.7	7.4		278.6
竹筋Aの(2)	711	13313	316	13629	78.4	7.8		296.4
	1016	19050	"	19366	111.4	11.1		421.1
	619	11666	"	11962	68.8	6.9		260.0
平 均	782	14663	316	14979	86.1	8.6		325.5
總 平 均	725				79.9	8.0		302.1
種 別	P (kg)	M (kg.cm)	M ₀ (kg.cm)	M+M ₀ (kg.cm)	f _c (kg/cm ²)	f _t (kg/cm ²)	f _{bs} (kg/cm ²)	f _{bc} (kg/cm ²)
竹筋Bの(1)	508	9525	316	9841	40.3	4.0		129.7
	711	13331	"	13647	56.0	5.6		180.3
	914	17137	"	17453	71.6	7.2		230.6
平 均	711	13331	316	13647	56.0	5.6		180.3
竹筋Bの(2)	1016	19050	316	19366	79.4	7.9		255.7
	1097	20569	"	20885	85.6	8.6		275.6
	1046	19612	"	19928	81.7	8.2		263.1
平 均	1053	19744	316	20060	82.2	8.2		264.7
總 平 均	882				69.1	6.9		222.5
種 別	P (kg)	M (kg.cm)	M ₀ (kg.cm)	M+M ₀ (kg.cm)	f _c (kg/cm ²)	f _t (kg/cm ²)	f _{bs} (kg/cm ²)	f _{bc} (kg/cm ²)
竹筋Cの(1)	732	1325	316	14041	65.7	6.6	-11.8	244.4
	610	11438	"	11754	55.0	5.5	-9.9	204.6
	508	9525	"	9841	46.1	4.6	-8.3	171.5
平 均	617	11569	316	11885	55.6	5.6	-10.0	206.8
竹筋Cの(2)	813	15244	316	15560	72.8	7.3	-13.1	270.8
	650	12188	"	12504	58.5	5.9	-10.5	217.6
	873	16369	"	16695	78.1	7.8	-14.0	290.5
平 均	779	14606	316	14922	69.8	7.0	-12.6	260.4
總 平 均	698				62.7	6.3	-11.3	233.6

$$\frac{2}{3} f_c b x + f_{bc} A - \frac{2}{3} f_t b (h-x) - f_M A = 0$$

然るに $\frac{e_c}{b_c} = \frac{x}{x-e}$, $\frac{e_t}{b_t} = \frac{x}{d-x}$,

$$E_c = \frac{f_c}{e_c}, E_b = \frac{f_{bc}}{b_c} = \frac{f_M}{b_t}$$

依て $n = \frac{E_b}{E_c}$ ならば $f_{bc} = n f_c \frac{(x-e)}{x}$, $f_M = n f_c \frac{(d-x)}{x}$

故に $\frac{2}{3} f_c b x - \frac{2}{3} \beta f_c b (h-x) + n f_c A \frac{(2x-e-d)}{x} = 0$

$$2b(1+\beta)x^2 - 2(\beta bh - 3nA)x - 3nhA = 0$$

依て $x = \frac{\beta bh - 3nA}{2b(1+\beta)} + \sqrt{\left\{ \frac{\beta bh - 3nA}{2b(1+\beta)} \right\}^2 + \frac{3nhA}{2b(1+\beta)}}$

又 $M = \frac{5}{12} f_c b x^3 + f_{bc} A (x-e) + \frac{5}{12} f_t b (h-x)^3 + f_M A (d-x)$

依て $\beta = \frac{1}{10}$, $n=1$ とすれば $x=2.54\text{cm}$ $f_c = 0.00468(M+M_0)$

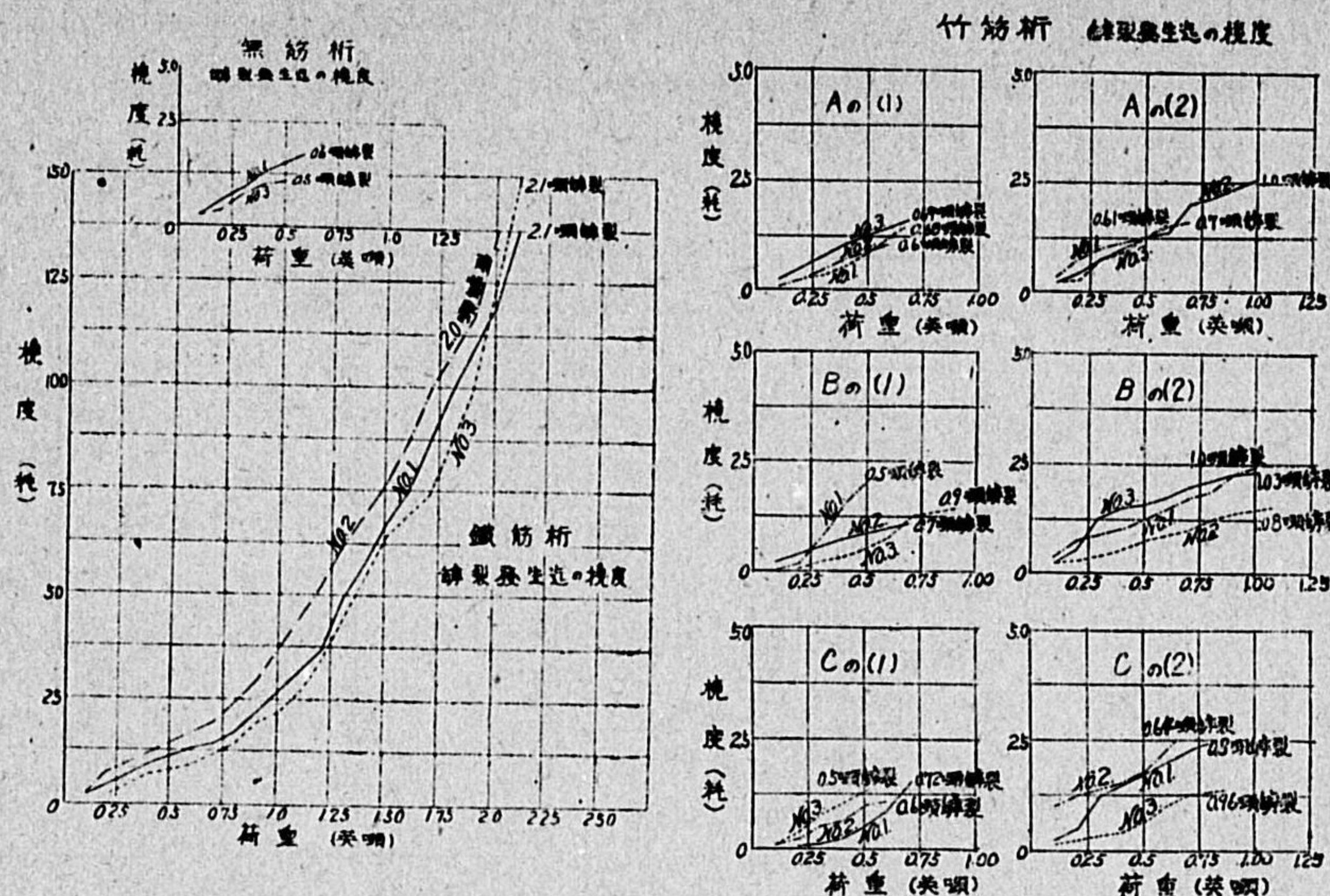
$$f_t = \frac{1}{10} f_c, f_{bc} = -0.18 f_c, f_M = 3.72 f_c$$

以上を総合して考察するに斯かる小桁の場合は複竹筋を用ゆるも、 $n=1$ なる爲め應力出現せず却て應張力が働いて格別の効果を示さないのである。又コンクリートの應圧強は40.3~140.8平均84.3kg/cm²、同應張強は4.0~14.1平均8.4kg/cm²、鐵筋の應張強は3,493~3,665平均3,609kg/cm²、竹筋の應壓強は働かず、同應張強は129.7~421.1平均252.7kg/cm²に過ぎない状態である。即ち鐵筋の場合コンクリートの應壓強は平均136.1kg/cm²、無筋の場合と雖も同114.5kg/cm²を發揮するに拘らず、竹筋の場合40.3~111.4平均70.6kg/cm²にして罅裂の發生即ち桁の破壊を見るが如きは、畢竟竹筋とコンクリートの間の附着強及び彈性係數比率の完からざるに因すべく、之等の缺陷は將來大に研究を要する問題と認めざるを得ないのである。

(3) 撓度

圖-2は各供試體に付罅裂發生迄の荷重對撓度を圖示したのであるが、鐵筋桁の整調なるに反し無筋桁及び竹筋桁は概して不規律を極めて居る。而して竹筋桁A,B,C何れも(1)よりも(2)の方、即ち竹條の皮部を水平にせしものよりも縦にせしもの、方撓度に於ても其の形稍々整調を呈するは一考に價すと考へる。

圖-2



3. 桁に関する河村協氏の實驗

セメント界彙報昭和14年4月號所載河村協氏の「竹筋コンクリート梁試驗報告」に依れば次の如くである。

(1) 材 料

セメント 昭和セメント株式會社製品

砂及砂利 滋賀縣姉川産

竹 筋 眞竹5年生、昭和13年10月伐採

コンクリート 配合 容積比 1:2:4、材齡28日の壓縮強平均 173kg/cm²

(2) 供 試 體

竹筋コンクリート梁、長120種、厚18種、幅16,20,24種の3種

竹筋には厚0.56種幅1.8種のもの4本、此の斷面積4cm²使用

材齡28日、符號1,2,3は素材の竹筋、同a,b,cは竹筋に白鉛塗料(3回塗)を施したもの

(3) 試驗の方法及應力計算

徑間を100種となし梁の中央に集中荷重を加へたもので其の成績は表-35の通りであるが、應力計算に於て河村氏は $n=1$ とし鐵筋コンクリート普通の計算法に準じコンクリートの應力

變形を直線となし且つ其の應張力を無視したのであるが、筆者の計算法は即ちコンクリートの應力變形を拋物線となし其の應張力を認むる時はコンクリート及び竹筋の應力は表-35末項の如く變化して来る。尙ほ竹筋に白鉛を塗附せしもの成績一般に素竹材筋よりも不良なるは注意すべきことと思ふ。

表-35

符 號	梁の幅員(寸)	荷 重 (kg)		彎 曲 率 (kg.cm)			河村氏(kg/cm ²) 算 式		筆者算式(kg/cm ²)			
		綽 裂	破 壊	M	M ₀	M+M ₀	f _c	f _{bt}	f _c	f _t	f _{bt}	
素竹	1	24	1300	4700	32500	1296	33796			63.5	6.4	292
	2	"	1100	3400	27500	"	28796			54.1	5.4	249
	3	"	1400	3500	35000	"	36296			68.2	6.8	314
平 均			1267	3867	31675	1296	32961	93	575	62.0	6.2	285
白鉛塗竹	a	24	1200	1500	30000	1296	31296			58.8	5.9	270
	b	"	"	1800	"	"	"			"	"	"
	c	"	1300	2200	32500	"	33796			63.5	6.4	292
平 均			1233	2167	30825	1296	32121	90	561	60.4	6.0	278
素竹	1	20	1100	4100	27500	1080	28580			61.2	6.1	263
	2	"	"	4000	"	"	"			"	"	"
	3	"	1000	4500	25000	"	26080			55.8	5.6	240
平 均			1067	4200	26675	1080	27755	87	487	59.4	5.9	255
白鉛塗竹	a	20	1050	2150	26250	1080	27330			58.5	5.9	252
	b	"	1000	2200	25000	"	26080			55.8	5.6	240
	c	"	"	1600	"	"	"			"	"	"
平 均			1017	1983	25425	1080	26505	83	465	56.7	5.7	244
素竹	1	16	900	2000	22500	864	23364			58.4	5.8	234
	2	"	1000	2500	25000	"	25864			64.7	6.5	259
平 均			950	2250	23750	864	24614	86	435	61.5	6.2	246
白鉛塗竹	a	16	750	1900	18750	864	19614			49.0	4.9	196
	b	"	"	1800	"	"	"			"	"	"
平 均			750	1850	18750	864	19614	69	347	49.0	4.9	196
總平均			1047	2720				84.7	478.3	58.2	5.8	250.7

4. 桁に関する安藝一氏の實驗

セメント界報昭和 14 年 9 月號所載安藝一・伊藤南海男兩氏の竹筋 コンクリート桁に関する試驗報告に依れば、

セメント 日本製鐵所高爐セメント

砂及砂利 山梨縣中巨摩郡藤田村地先釜無川産

コンクリート 配合 (1:2.5:5) 材齡28日の抗壓強 (67~90 平均 80.6kg/cm²) 煉合用水對セメント比 75~80% にてスランプ (0.7~1.2 平均 0.96cm)

竹 筋 山梨縣西八代郡市川大門町産の眞竹、條竹用のものは目通 20cm 内外の 5 年生、丸竹用のものは徑 1.5cm の 2 年生。

供 試 體 長 150cm 幅 15cm 厚 15cm の角形。A 類より N 類迄 14 種各種 3 個宛。竹筋

量は 1.8, 2.0, 2.9, 3.1% の 4 種類、條片の幅は 2.0, 2.2, 2.5 及 4.0cm に區分、釜無川水制施工の參考としての實驗故總て複筋使用。竹筋の兩端を曲げたもの、外皮を剥いたもの、中間に繼手を設けたもの、丸竹の儘のもの、竹筋に 20 番線を巻き付けたもの防腐劑として白ペンキを塗附せるものなど各種がある。

試驗方法 供試體は材齡 28 日後に山梨高工實驗室に於て 130cm 徑間とし集中荷重により試驗を行つた。試驗機は東京衡機製造所の彎曲試驗機、コンクリートの抗壓強はアムスラー 100 噸耐壓試驗機に依つたものであるが、無筋桁に限り試驗徑間を 50 cm に縮めた由斷り書きがある。

安藝氏は其の實驗の結果に基きコンクリートの壓縮強度及び鐵筋又は竹筋の引張強度を、 $n=1$ に採り普通公式を用ひて算出したと報告されて居るが、前者と比較の爲め筆者の計算方式に依り算出した強度をも附記することとした。尙ほ安藝氏は報告の要約に於て、大體に於て竹筋を挿入したコンクリートは相當曲げ應力に抗し得らるゝと思ふ、問題は長期に亘つて竹の強度に變化がないか、又他に障礙を來さない適當な塗料を見出して竹の吸水を防ぎ、乾燥による收縮を防止するにあると考へると結んで居るが誠に至當の言と考へる、安藝氏の實驗成績は表-36の如くである。

表-36

符號	桁の構造種別	供試體平均員數(本)	荷 重 (kg)		安藝氏計算 (kg/cm ²)		筆者の計算 (kg/cm ²)			
			綽 裂	破 壊	f _c	f _{bt}	f _c	f _t	f _{bc}	f _{bt}
A	竹筋 竹筋量 1.8%(4 本割竹)	6	277	868	74	1248	46.4	4.6	16.2	204
B	" " 2.0%(4 本丸竹) 中間に繼手を設く	3	267	800	68	1031	43.6	4.4	13.1	183
C	" " 1.8%(4 本割竹)	3	250	390	69	594	42.3	4.2	14.6	186
D	" " 2.9%(8 本割竹)	3	297	927	63	839	43.2	4.3	8.0	162
E	無筋 (徑間 50cm)	3		493			56.9	5.7		
F	竹筋 竹筋量(Aに同じ)表皮除去	3	260	563	70	873	43.8	4.4	15.2	193
G	" " (竹筋の兩端5cm曲ぐ)	3	270	723	73	1061	45.3	4.5	15.7	199
H	" " Bに同じ 竹筋量 2.9% (4 本割竹)	3	273	727	69	940	44.5	4.5	13.4	187
I	" " 2.9% (4 本割竹) 20番線巻き白ペンキ塗り	3	407	1400	84	1225	57.5	5.8	10.7	216
J	" " 2.9%(8 本割竹)	3	377	1347	78	1206	53.6	5.4	10.0	202
K	" " (竹筋の兩端5cm曲ぐ) 20番線巻き白ペンキ塗り	3	387	1370	80	1227	54.9	5.5	10.2	206
L	" " 3.1% (8 本割竹) 兩端曲ぐ白ペンキ塗り	3	467	1633	91	1386	68.0	6.8	3.8	220
M	" " 3.1% (8 本割竹) 丸鋼徑 9mm	3	443	1473	86	1191	64.7	6.5	3.6	209
N	鐵筋 鐵筋量 1.1%(4 本)	3	967	1723	87	4407	70.0	7.0	287	200.2
平均	(無筋及鐵筋を除く)		311	1018	75.4	1068	50.7	5.1	11.2	197.3

5. 桁に関する異純一氏の實驗

建築雜誌昭和15年1月號所載異純一氏の「竹筋及び竹筋コンクリートの強度に就て」に依れば梁の幅20cm 長100cm 厚25,20,15cm 各種, 單竹筋矩形梁をスパン90cm にて支承し中

表-37

符 號	種 別	材 齡 (日)	竹筋數 (本)	梁の寸法 幅×厚×長 (cm)	荷重 (kg)		筆者の算式に依る應力 (kg/cm ²)		
					破 裂	破 壊	f_c	f_t	f_u
1	無 筋	不 明		20×25×100	2260		109.8	11.0	
2	竹筋(眞竹)	不 明	3	20×25×100	2950	4500	75.7	7.6	401.2
3	"	49	3	"	2200	3300	56.8	5.7	301.0
4	"	"	3	20×20×100	1100	3000	44.9	4.5	211.0
5	"	"	3	20×15×100	750	1860	54.3	5.4	217.2
平均					1750	3165	57.9	5.8	282.6
6	竹 筋 (孟宗竹)	49	3	20×25×100	1700	4400	44.2	4.4	234.3
7	"	"	3	20×20×100	1140	3500	45.5	4.7	218.5
8	"	"	3	20×15×100	740	2210	53.6	5.4	214.4
平均					1193	3370	48.1	4.8	222.4
總平均							71.9	7.2	252.5

備考 竹筋の斷面積不明に付凡て4cm²に採り(k-d)を3cmとて計算せり。

次に集中荷重を加へた實驗成績は表-37の如く示し、尙ほ竹筋コンクリート梁は無筋コンクリート梁に比して龜裂荷重は少しではあるが高くなる。無筋梁は龜裂が入ると同時に破壊するが竹筋梁は約2倍の荷重迄抵抗して破壊する。故に竹筋を以て補強する事は有効であつて彎曲を受くる桁材としての竹筋コンクリート梁は今後の研究に依つて廣く應用し得るものと考へられると結んで居る。

前掲各氏の實驗成績に依るコンクリート及び鐵筋又は竹筋の應力を、綜合的に表示すれば大體表-38に示す如くコンクリートの應壓強は無筋桁に於て平均93.7kg/cm²、鐵筋桁に於て同103kg/cm²、竹筋桁に於て同58.4kg/cm²、而してコンクリートの應張強は假定の通り總て之等の10分の1、鐵筋の應張強は平均2,805.5kg/cm²、竹筋の應張強は同238.5kg/cm²、安藝氏複鐵筋桁に於ける鐵筋の應壓強は287kg/cm²、筆者及び安藝氏複竹筋桁に於ては竹筋に應壓力

は働かず何れも應張力のみにして平均11.4kg/cm²を示して居るのである。即ちコンクリート及び竹筋の彈性係數が同一なる限り斯かる小桁に複筋を使用することは、無益らしく施工の爲めなどには寧ろ有害なるを認めねばならぬ様である。

表-38

實 驗 者	供試體寸法 (cm)	コンクリート配合 (容積比)	竹筋の類	竹筋又は鐵筋の斷面積 (cm ²)	材齡 (日)	供試體平均 員數	コンクリート (kg/cm ²)		鐵筋又は竹筋 (kg/cm ²)		摘 要
							應壓力	應張力	應壓力	應張力	
筆 者	12.5×15×75	1:2:4			156~163	3	114.5	11.5			無筋
安藝氏	15×15×50	1:2.5:5			28	"	56.9	5.7			"
異 氏	20×25×90	不 明			49	不明	109.8	11.0			"
平均							93.7	9.4			
筆 者	1.25×15×75	1:2:4	徑 $\frac{5}{8}$ 棒鐵	1.0	154~163	3	136.1	13.6	3609		鐵筋
安藝氏	15×15×130	1:2.5:5	徑9mm丸鋼	2.5	28	"	70.0	7.0	287	2002	(單筋)
平均							103.0	10.3	287	2805.5	(複筋)
筆 者	12.5×15×75	1:2:4	割眞竹	2.8	163	3	73.7	7.4		278.6	竹筋A-1
"	"	"	"	"	158	"	86.1	8.6		325.5	" A-2
"	"	"	"	4.2	158~164	"	56.0	5.6		180.3	" B-1
"	"	"	"	"	160	"	82.2	8.2		264.7	" B-2
"	"	"	"	5.6	163	"	55.6	5.6	-10.0	206.8	" C-1
"	"	"	"	"	160	"	69.8	7.0	-12.6	260.4	" C-2
平均							70.6	7.1	-11.3	252.7	
河村氏	24×18×100	1:2:4	割眞竹	4.0	28	3	62.0	6.2		285	竹筋素竹
"	"	"	"	"	"	"	60.4	6.0		278	" 白鉛塗
"	20×18×100	"	"	"	"	"	59.4	5.9		255	" 素竹
"	"	"	"	"	"	"	56.7	5.7		244	" 白鉛塗
"	16×18×100	"	"	"	"	2	61.5	6.2		246	" 素竹
"	"	"	"	"	"	"	49.0	4.9		196	" 白鉛塗
平均							58.2	5.8		250.7	
安藝氏	15×15×130	1:2.5:5	割眞竹	4.0	28	15	44.5	4.5	-15.4	195.5	竹筋(4本)
"	"	"	丸眞竹	4.5	"	6	44.1	4.4	-13.3	185.0	" (8本)
"	"	"	割眞竹	6.5	"	12	52.3	5.2	-13.3	196.5	" (8本)
"	"	"	"	7.0	"	6	66.4	6.6	-3.7	214.5	" "
平均							51.8	5.2	-11.4	197.9	
異 氏	20×90	不 明	眞竹	推定	49	12	57.9	5.8		282.6	竹筋(丸)
"	厚 25,20,15	"	孟宗竹	"	"	9	48.1	4.8		222.4	" (平)
平均							53.0	5.3		252.5	
竹筋の 總平均							58.4	5.9	-11.4	238.5	

備考 竹筋の應壓力の項(-)とあるは應壓力にあらず應張力が働くの意なり。

6. 版に関する藤田章氏の實驗

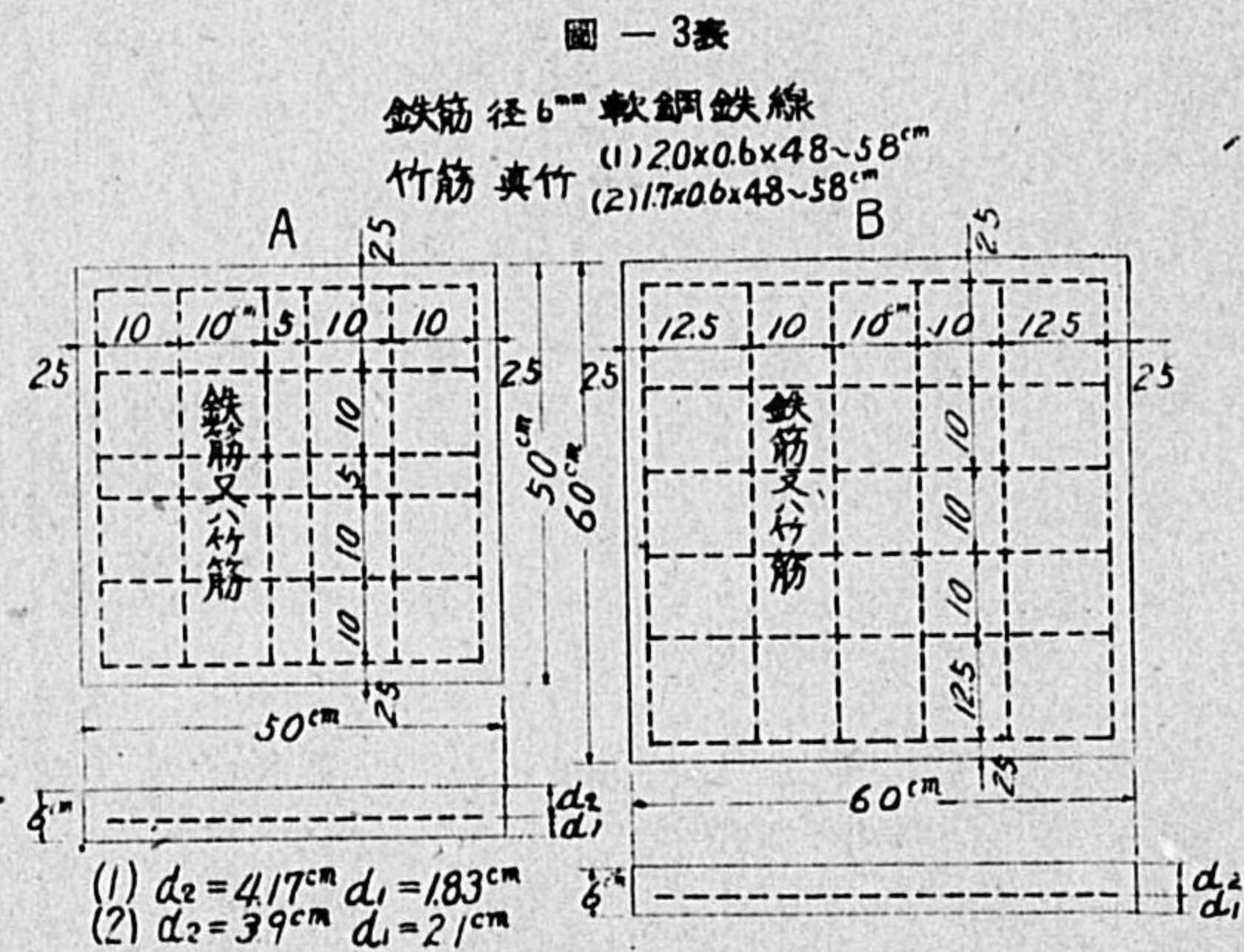
昭和16年9月付竹筋コンクリート製品試驗報告書中に、藤田章氏の行った竹筋コンクリート小版壓縮試驗成績に付次の如く記載して居る。

(1) 使用材料

- セメント 秩父ポルトランドセメント
- 砂 荒川産 粗粒率 2.58
- 砂 利 多摩川産 粗粒率 6.46
- 割 竹 近江八幡産3年生眞竹秋季伐採, 抗張強 1,870kg/cm²
- コンクリート 配合 1:2:2, スランプ 16種, 4週抗壓強度平均 301 kg/cm²

(2) 供試體の形狀及製作

供試體は長50種, 幅50種, 厚6種及び長60種, 幅60種, 厚6種の正方形版兩種にして, 比較の爲め鐵筋及び竹筋の兩者を作り配筋其の他の寸法は圖-3の如くである。



木板を置き其の上に集中荷重を加へたのである。

(4) 試驗の成績

表-39の通り但し藤田氏の應力計算はコンクリートの應張力を零とし鐵筋に對しては n を 15 に竹筋には同 1 に取つたものである。

以上の成績に徴すれば竹筋版は大體鐵筋版の 6割程度の強度を維持し, 破壊に至る迄には少くも夫れより 2倍以上の安全度を保有すること明かである。而して藤田氏は最後の考察として次の意見を述べて居る。

供試體製作はコンクリート填充後 24 時間にして脱型し水中に浸漬すること 14 日爾後材齡當初より 28 日即ち試驗當日迄大氣中に放置硬化せしめたのである。

(3) 試驗の方法

供試體 A は徑間 45cm, 同 B は徑間 55cm の 4 邊支承となし中央に幅 20cm 長 24cm の角形加壓

表-39

種別	符號	筋の斷面積 (cm ²)	供試體重量 (kg)	荷 重 (kg)			應 力 (kg/cm ²)		
				綽裂 P ₁	破壊 P ₂	P ₂ /P ₁	P ₁ に對する百分比例	コンクリート應張力	鐵筋又は竹筋の應張力
鐵筋	Aの(2)	1.7	36.1	1533	4400	2.87		66	1500
	Bの(2)	"	53.0	1600	3500	2.19		76	1890
平均				1567	3950	2.53	100.0	71	1695
竹筋	Aの(1)	7.2	34.9	1000	2867	2.87		60	200
	Aの(2)	6.15	34.6	1100	2467	2.24		80	285
	Bの(1)	7.2	50.7	903	1933	2.14		65	267
平均				1001	2422	2.42	64.0	68	251

(1) 構成竹筋は重量軽くコンクリート填充の際容易に上面に浮上るを以て, 之が適當位置を保全せしむる爲めには充分の注意と方策が必要である。

(2) 竹筋は荷重の遞進に伴ひ滑脱しコンクリートと一體に動かざる虞れあるを以て, 竹筋の兩端を折曲ぐるか又は適當のスリップ止めを講ずる必要がある。

7. 版に関する栗山寛氏の實驗

建築雜誌昭和15年1月號所載栗山寛氏の「竹筋コンクリート版竝に無筋コンクリート版の強度試驗」に依るもので, 實驗は警視廳建築課材料検査所に於て昭和14年9月から12月迄に行つたものゝ由である。

(1) 使用材料

- セメント 秩父ポルトランドセメント
- 砂 多摩川産
- 砂 利 相模川産
- 鐵筋 徑9耗の丸鋼及 B.W.G. 8 番線 (製作所不明)
- 竹筋 丸竹 (徑約1種的女竹), 割竹 (徑約3種の眞竹を四つ割とす)
- コンクリート 配合容積比 1:2:4 東京市上水道水を用ひ, 水セメント比は 65% 手練法に據る。

(2) 供試體の種類及形狀

供試コンクリート版は無筋, 鐵筋, 鐵線及び竹筋の 4 種にして, 甲乙に區分し, 甲は中央に徑 45 種のマンホール孔を有するもの, 乙は無孔のものよりなり, 供試版の寸法は甲の(1)は

長140 幅100 厚12 種。甲の(2)は長140 幅100 厚15 種, 甲の(3)は長135 幅105 厚10 種, 乙の(1)は長140 幅100 厚15 種, 乙の(2)は長140 幅55 厚15 種の長方形で, 同一のもの各2個宛を作り試験に供したのである。

(3) 供試体の製作及養生

供試体は總て當該寸法の木型を作りコンクリートを填充し充分搗固めたもので, コンクリート打終り後室内に養生せしめ適當の期間を置き型枠を撤去し, 菘をかけ養生期間中は毎日適宜撒水し材齢4週に達して試験に供したものである。鐵筋の配置は9 耗丸鐵を大體縱20 種横20 種のピッチとし, 竹筋及鐵線は縱10 種横7.5 種のピッチに配置し各筋を30 番鐵線にて結束し, 筋の版底面よりの中心高は4 種としたものである。

(4) 試験の方法

供試体の材齢は凡て4週, 徑間120 種の對邊支持支點楔狀コンクリート臺となし, 中央集中荷重法に依つたもので實際は荷重を安定せしむる爲め中央10 種の帶狀幅に載荷したものである。

(5) 試験の成績

表-40の如く報告されて居る。

表-40

種別	供試体寸法 (cm)			孔の有無	筋の種類	材 齢 (日)	供試体平均員数	平均荷重 (kg)			摘 要
	長	幅	厚					綽裂	破壊	綽裂と破壊荷重の比	
無筋	140	100	12	有		28~29	2	1398	1405	100.5	
"	135	105	10	"		28	1	1488	1488	100.0	
平均								1443	1447	100.3	
鐵筋	140	100	12	有	9 耗丸鋼	30	2	2455	3300+	134.4	3300kgにて破壊に至らず試験中止
鐵線	"	"	"	"	8 番鐵線	28~30	2	1508	1693	112.3	鐵筋量過少なる爲め効少なし
平均								1982	2497+	126.0	
竹筋	140	100	12	有	丸竹 徑1 種女竹	28~30	3	1377	2000+	145.2	2000kg迄にて試験中止
"	135	105	10	"	"	28	1	1400	2160	154.3	
平均								1389	2080+	150.0	
竹筋	140	100	12	有	割竹 眞竹四ツ割	28~30	3	1502	2000+	133.2	2000kg迄にて試験中止
"	135	105	10	"	"	28	1	1728	2688+	155.6	2688kg迄にて試験中止
平均								1615	2344+	145.1	
無筋	140	100	15	有		28~29	2	2118	2118	100.0	
竹筋	"	"	"	"	丸竹 徑1 種女竹	28~30	3	2033	2587	127.2	
"	"	"	"	"	割竹 眞竹四ツ割	"	3	1913	2500+	130.6	2500kg迄にて試験中止

種別	長	幅	厚	筋の種類	材 齢 (日)	供試体平均員数	平均荷重 (kg)	綽裂と破壊荷重の比	安全度	
無筋	140	55	15	無		30	2	2005	2005	100.0
"	"	100	"	"		28	2	4000+		4000kgにて異状7.5し試験中止
無筋	(安全度							100.0	100.0	安全度 0
鐵筋	"							100.0	134.4+	" 34.4+
鐵線	"							"	112.3+	" 12.3
竹筋	"							"	141.2+	" 40.2+

本實驗の供試体は水洗便所淨化槽の覆蓋なるを以て其の中央に口徑45 種の大孔を有する版なり。斯かる版を4 周支承とせず桁として荷重せし爲め成績は概して不良の様である。又破壊に至る最後迄載荷せず中止せしもの多きは版の安全度を認識する上に甚だ遺憾ではあつたが, 今試みに最も計算の簡單なる無筋版(乙)に付筆者の算式に依り應力を求むれば大體表-41の結果となる様である。

表-41

種 別	供試体寸法 (cm)	材 齢 (日)	綽裂荷重 (kg)	コンクリートの壓縮強 (kg/cm ²)	コンクリートの引張強 (kg/cm ²)
無筋版乙種	140×100×15	28	4000+	148.4+	14.8+
同 上	140×55×15	30	1700	116.7	11.7
同 上	同 上	30	2310	155.4	15.5
平 均				140.2	14.0

即ち容積比1:2:4配合の現場打コンクリートとしては優良の強度と云ふべく材料施工共に完全なるを認め得る様である。而して栗山氏は此の實驗の結果に對し次の如き考察を述べて居る。

- (1) 無筋コンクリートは龜裂發生と同時に破壊する。
- (2) 竹筋コンクリートは無筋コンクリートの龜裂荷重と殆んど同様であるが, 龜裂發生後破壊迄には相當外力に對する抵抗を保有して居る。但し一旦龜裂が入れば竹の腐蝕を早めることゝならう。
- (3) 竹はコンクリートとの附着力弱く丸竹の儘用ふる場合は特に甚だしい。割竹の方が幾分良好である。何れにせよ加工又は藥劑塗附等に依る附着力増加を考ふべきである。
- (4) 竹材は材齢及伐採時期或は乾燥程度に依つて大いに強度に影響し且つ耐久力も異なる様である。
- (5) 要するに竹筋コンクリートは竹材の耐久性の確保とコンクリートとの附着力の増加に對する考慮が完成されて初めて, 鐵筋コンクリートの代用として認め得らるゝのであつて, 現在の域では主眼を無筋コンクリートの強補に置く程度のもものではなからうか。

第5章 実験其の二 (管)

1. 日本ヒューム管會社の実験

日本ヒューム管株式會社川崎市西ノ谷工場に於て行つた實驗は特に筆者の依頼を容れ好意的に施行されたもので、内徑 60 糎管長 60 糎の無筋管 12 本、竹筋管 24 本、計 36 本を昭和 16 年 11 月中に製作し、4 週、8 週、13 週、26 週の 4 回に分ち外壓試驗を施したのであるが、之に同社の已製品鐵筋管數本を加へ比較研究を試みたものである。

(1) 材 料

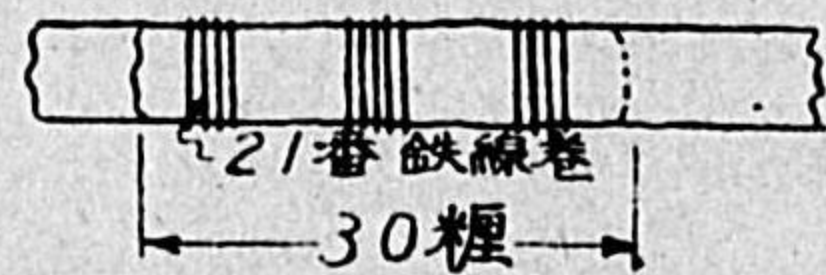
セメント 淺野セメント會社川崎工場製ポルトランドセメント、神奈川縣立工業試驗場に於て日本標準規格に依る試驗の結果は 28 日後の抗壓強 $317\text{kg}/\text{cm}^2$ 、同抗張強 $27.4\text{kg}/\text{cm}^2$ であつた。

砂及砂利 共に多摩川産にして東京府下是政ヒューム管會社砂利採取場より採掘のもの、砂利の大き 10 乃至 20 糎、砂は荒目にして粗粒率 2.7 内外。

コンクリート 配合(容積比) 1:2:2

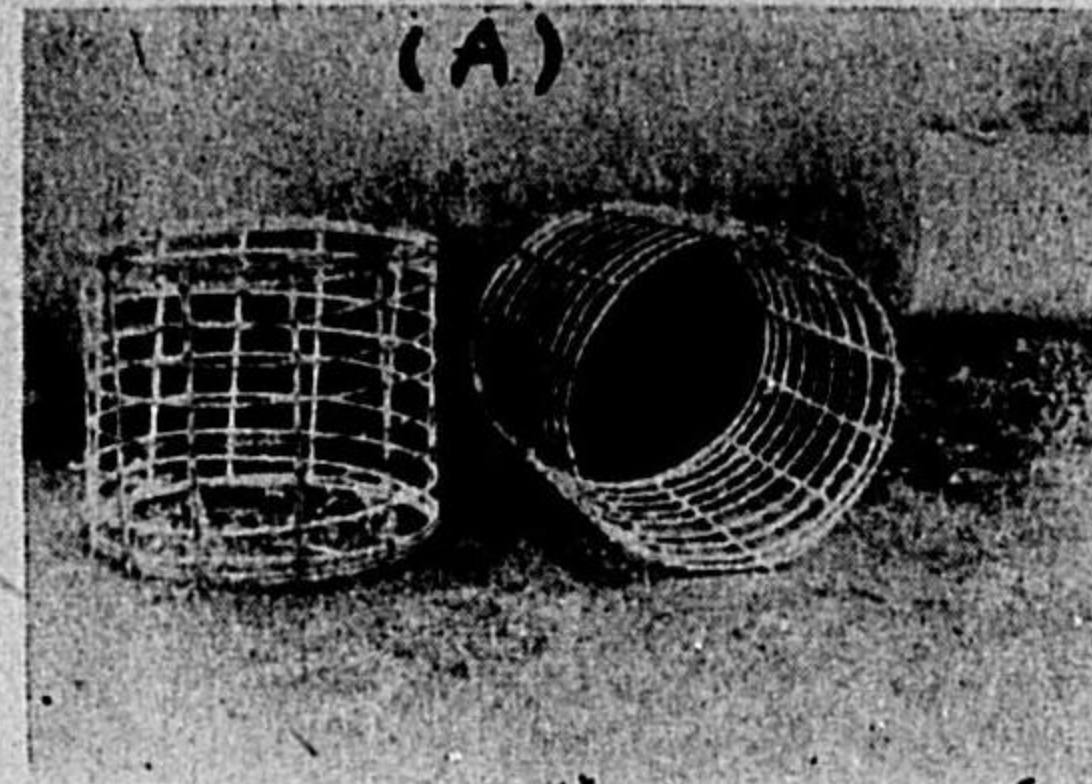
竹 材 千葉縣産眞竹、竹齡 5 年、目通り約 20 糎の竹を 12 割りにした、10~11 月伐出しの素材、竹筋は幅 10~13 糎厚 4~5 糎有效長 6 米に仕上げ、繼目は下圖の如

竹 條 の 繼 手

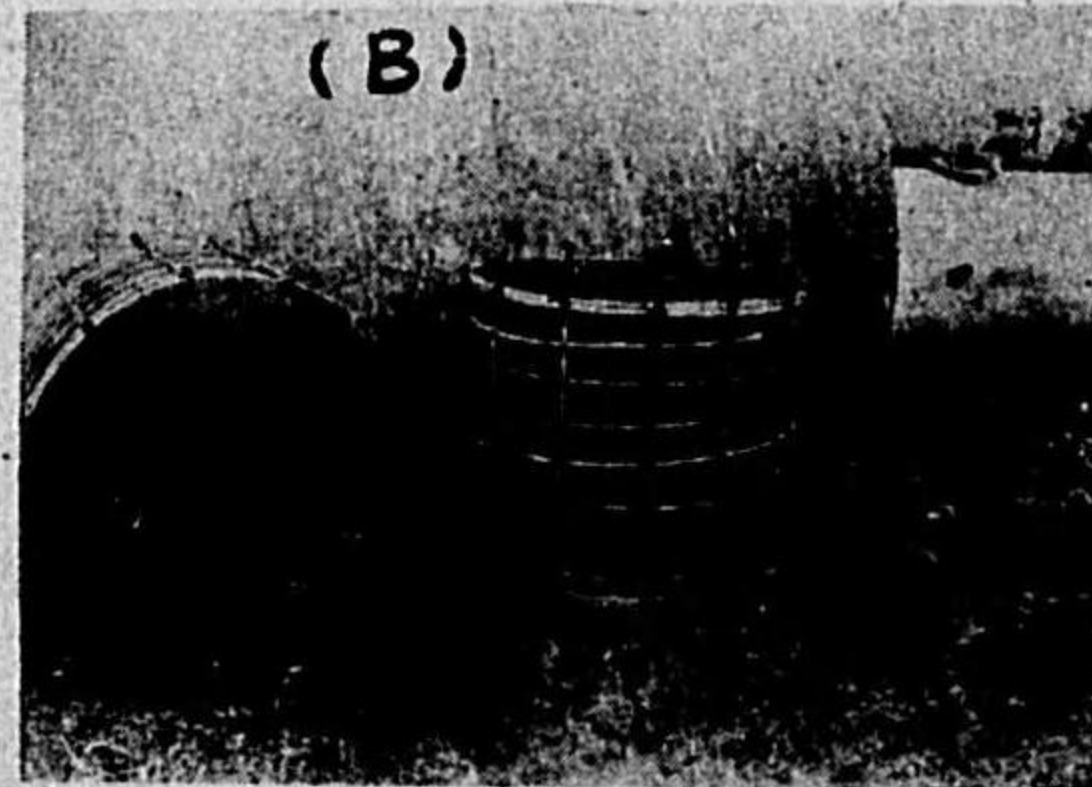


くとなし、横筋はピッチ 75 糎の螺旋狀に組立て縦筋も總て竹材にして總數 12 本を用ひ、21番鐵線を以て横筋と結束し、籠の歪みを矯正する爲め 17 番線を以て斜めに緊結した。竹筋籠は竹の表皮を外側に向けたもの (A) 及び内側に向けたもの (B) の 2 種を作り比較に備へた。其の形狀は寫眞に示す通りであるが (B) は製作に相應の手數を要したとのことであり、強度も概して (A) に比較し劣等な様である。

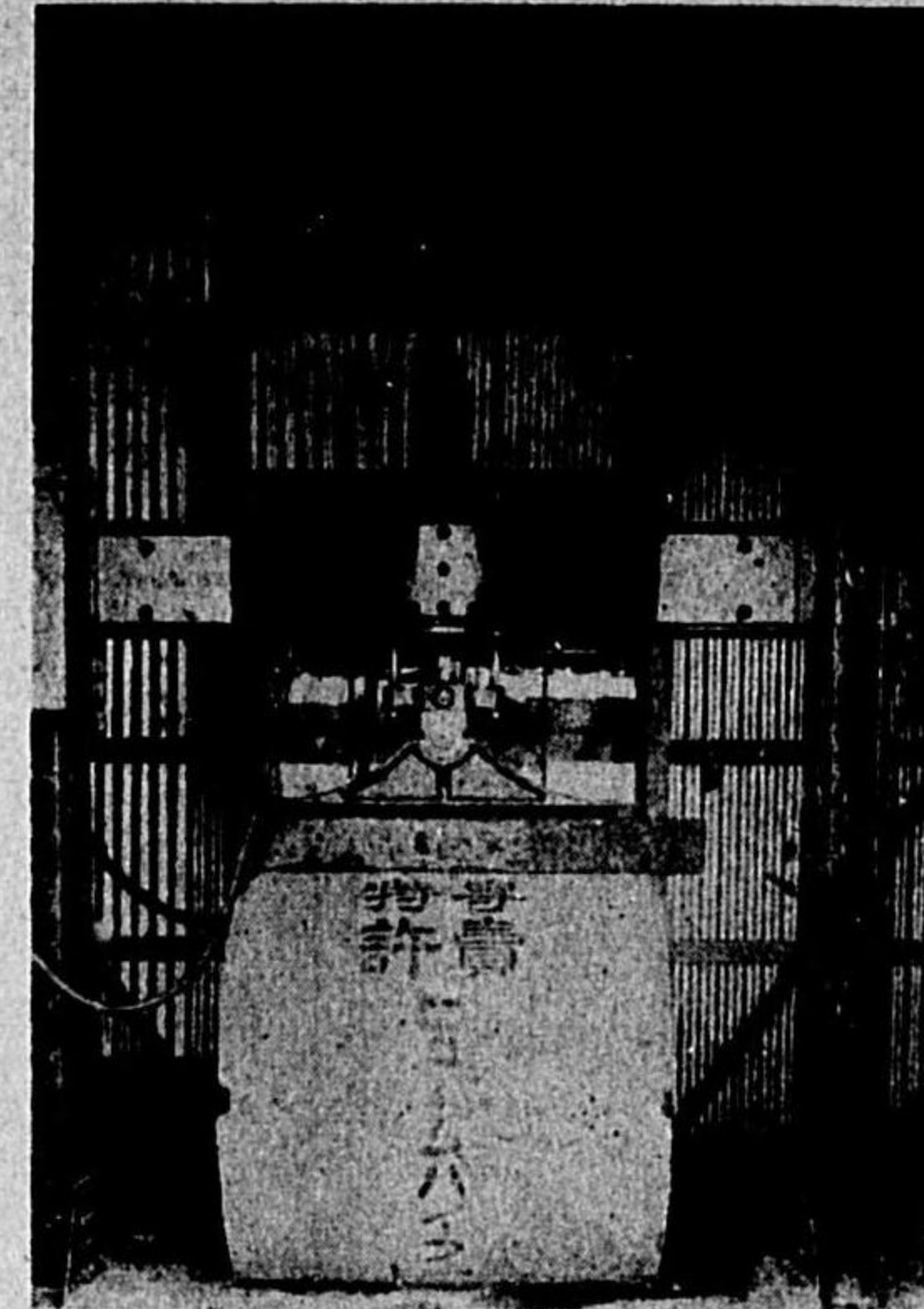
表皮外側



表皮内側



外壓試驗實況



(2) 供試管の製作と試験方法

供試管は總て内徑 60 糎管長 60 糎管厚 5 糎の圓形管で日本ヒューム管會社川崎西ノ谷工場で獨特の遠心力應用に依り製作したるものなれば、コンクリート配合の優秀と共に製法養生法等完璧に近いものであつて、所定の材齡經過後同社備附の油壓式試驗機に依り荷重し強度を測定したものである。載荷方法は集中荷重法に依り管底にて支へ管頂に於て全管長に等布する如くしたものである。

(3) 試験の成績

前記の方法に據る載荷の結果は表-42 の成績を示して居る。

表-42 の成績を見るに無筋管は皸裂發生と同時に崩壊して其の間全く安全性を缺くも、鐵筋管は皸裂發生後崩壊迄に少くも 2 倍以上の載荷に耐え充分なる安全性を示し、竹筋管は AB 共是れ又皸裂發生するも尙ほ相當の荷重に耐え安全性を具備すれども、其の程度遙かに鐵筋管に及ばざるは附着強の劣る爲めである。又皸裂荷重に就て考察するに材齡 4 週に於ける無筋管

表-42の(i)

種別	供試管規定寸法(cm)			同質測寸法(cm)		コンクリート配合(容積比)	材齢(日)	試験成績(kg/m)			試験年月日(昭和)
	管径	管長	管厚	管長	管厚			壊裂荷重	破壊荷重	向上比率	
無筋管	60	60	5	60.7	4.8	1:2:2	28	2278	2278	1.00	16.12.11
"	"	"	"	59.0	4.9	"	"	1680	1680	"	"
"	"	"	"	59.5	4.8	"	"	1649	1649	"	"
平均				59.7	4.8		28	1869	1869	1.00	
無筋管	60	60	5	61.5	5.2	1:2:2	56	1660	1725	1.04	17. 1.13
"	"	"	"	61.6	5.2	"	"	3029	3094	1.02	"
"	"	"	"	59.8	4.8	"	"	2450	2582	1.05	"
平均				60.9	5.1		56	2380	2467	1.04	
無筋管	60	60	5	61.0	4.7	1:2:2	91	1872	1872	1.00	17. 2.18
"	"	"	"	61.5	4.8	"	"	1725	1792	1.04	"
"	"	"	"	60.1	4.8	"	"	1898	1967	1.04	"
平均				60.9	4.8		91	1832	1877	1.03	
無筋管	60	60	5	59.0	4.9	1:2:2	182	2685	2685	1.00	17. 5.23
"	"	"	"	61.3	4.9	"	"	2846	2846	"	"
"	"	"	"	60.0	4.8	"	"	1970	1970	"	"
平均				60.1	4.9		182	2500	2500	1.00	
總平均								2145	2178	1.02	
竹筋管の(A)	60	60	5	59.0	5.2	1:2:2	22	4161	4802	1.15	16.12.11
"	"	"	"	61.5	5.2	"	27	2576	3796	1.47	"
"	"	"	"	61.2	5.0	"	26	2840	4390	1.55	"
平均				60.6	5.2		25	3192	4329	1.39	
竹筋管の(A)	60	60	5	61.3	4.9	1:2:2	56	2191	3930	1.79	17. 1.13
"	"	"	"	61.2	4.9	"	"	2588	4787	1.85	"
"	"	"	"	60.0	5.1	"	"	2573	4768	1.85	"
平均				60.8	5.0		56	2451	4495	1.83	
竹筋管の(A)	60	60	5	62.0	5.6	1:2:2	91	2166	3463	1.60	17. 2.18
"	"	"	"	61.0	5.2	"	"	2531	3388	1.34	"
"	"	"	"	59.7	5.2	"	"	2116	2923	1.38	"
平均				60.9	5.3		91	2271	3258	1.44	
竹筋管の(A)	60	60	5	60.5	4.9	1:2:2	182	2752	6542	2.37	17. 5.23
"	"	"	"	59.0	5.4	"	"	2958	6241	2.11	"
"	"	"	"	61.0	5.1	"	"	3520	6320	1.77	"
平均				60.2	5.1			3077	6338	2.03	
總平均								2748	4605	1.69	

表-42の(2)

種別	供試管規定寸法(cm)			同質測寸法(cm)		コンクリート配合(容積比)	材齢(日)	試験成績(kg)			試験年月日(昭和)
	管径	管長	管厚	管長	管厚			壊裂荷重	破壊荷重	向上比率	
竹筋管の(B)	60	60	5	59.8	4.9	1:2:2	29	2784	4010	1.44	16.12.11
"	"	"	"	60.0	4.9	"	"	2640	4440	1.68	"
"	"	"	"	60.1	5.1	"	27	2774	4527	1.63	"
平均				60.0	5.0		28	2733	4326	1.58	
竹筋管の(B)	60	60	5	59.1	5.3	1:2:2	56	3497	4645	1.33	17. 1.13
"	"	"	"	61.0	5.0	"	"	2333	3832	1.64	"
"	"	"	"	60.0	5.2	"	"	2305	2903	1.26	"
平均				60.0	5.2		56	2712	3793	1.41	
竹筋管の(B)	60	60	5	60.8	5.2	1:2:2	91	1944	2340	1.20	17. 2.18
"	"	"	"	59.6	5.0	"	"	2309	3119	1.35	"
"	"	"	"	59.3	5.2	"	"	2265	2792	1.23	"
平均				59.9	5.1		91	2173	2750	1.27	
竹筋管の(B)	60	60	5	60.7	5.3	1:2:2	182	2875	4425	1.54	17. 5.23
"	"	"	"	60.7	5.0	"	"	2875	4743	1.65	"
"	"	"	"	60.0	5.0	"	"	2640	4884	1.85	"
平均				60.5	5.1			2797	4684	1.68	
總平均								2604	3888	1.49	
鉄筋管	60	60	5	不明	不明	1:2:2	32	2147	7377	3.44	16. 5.17
"	"	"	"	"	"	"	31	2600	7200	2.77	12. 4. 2
"	"	"	"	"	"	"	29	3300	6100	1.85	12. 2.12
"	"	"	"	"	"	"	33	3300	6100	1.85	12. 2.16
平均							31	2837	6694	2.36	
鉄筋管	60	60	5	不明	不明	1:2:2	63	4476	9620	2.15	12. 1.20
總平均								3657	8157	2.23	

備考 鉄筋管の試験成績は従前施行せるものを参照の爲め掲出することをした。

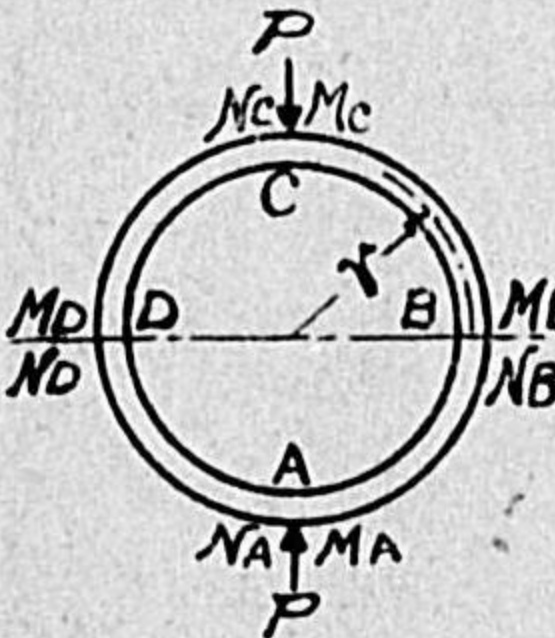
總括表

種別	材齢	無筋管			鉄筋管			竹筋管の(A)			竹筋管の(B)		
		壊裂	破壊	向上比	壊裂	破壊	向上比	壊裂	破壊	向上比	壊裂	破壊	向上比
	4週	1869	1869	1.00	2837	6694	2.36	3192	4329	1.39	2733	4326	1.58
	8週	2380	2467	1.04	4476	9620	2.15	2451	4495	1.83	2712	3793	1.41
	13週	1832	1877	1.03	—	—	—	2271	3258	1.44	2173	2750	1.27
	26週	2500	2500	1.00	—	—	—	3077	6338	2.08	2797	4684	1.68
平均		2145	2178	1.02	3657	8157	2.23	2748	4605	1.69	2604	3888	1.49
百分率		100.0	101.5	101.5	170.5	374.5	218.6	128.1	211.4	166.0	121.4	178.5	146.0

は平均 1,869kg にして、鉄筋管は同 2,837kg 即ち 5 割以上の強度増を示し、竹筋管は A は同 3,192kg, B は同 2,733kg 平均 2,963kg にして鉄筋管を遙かに凌ぐが如きも、8 週目のものは無筋管の 2,380kg に對して鉄筋管は 4,476kg 即ち 8 割 8 分の強度増を示すが、竹筋管は A は 2,451kg, B は 2,712kg 平均 2,582kg にして漸く無筋管に近づかんとし、更に 13 週に至つては鉄筋管には資料を缺くも無筋管の平均 1,832kg なるに對し、竹筋管 A は同 2,271kg, B は同 2,173kg 平均 2,222kg にして約 2 割の強度増となり、26 週のものは無筋管の平均 2,500kg に對し、竹筋管 A は同 3,077kg, B は同 2,797kg 平均 2,937kg にして約 1 割 7 歩強の強度増に過ぎない。即ち爆裂荷重の總平均では無筋管の 2,145kg に對し鉄筋管 (材齡 8 週以下) は 3,657kg にして 70.5% 増、竹筋管 A は 2,748kg にして無筋管の 28.1% 増、B は 2,604kg にして無筋管の 21.4% 増、A, B 平均 24.8% 増に相當し、鉄筋管に及ばざること速きも無筋管に比すれば 2 割 5 分の強度増進となるのである。又破壊荷重に就て見るに總平均無筋管の 2,178kg に對し鉄筋管は 8,157kg ならば安全度は 3.7 倍以上に上るのであるが、竹筋管 A は 4,605kg, B は 3,888kg, AB 平均 4,247kg なるを以て安全度は無筋管の大凡 2 倍に過ぎない。之等は畢竟竹筋は鉄筋と異なりコンクリートに對する附着強さに弾性率の微弱なる爲めではあるが、一面ヒューム管はコンクリートの配合並に製法完備の爲め、爆裂強度の大なる結果破壊強度に對する比率の鮮少に陥ることも亦見逃し得ない事柄と考へる。

2. 應力の計算

(1) 最大曲げモーメント

供試管の荷重方法は圖に示すが如く管底に於て支へ管頂に集中荷重を加へたるものなれば、

 今 r を管の平均半径とし、 P を荷重、 P_0 を管の自重とすれば、管の破壊は P 及び P_0 に依り管底 A に起る曲げモーメントか或は管側 B に起る曲げモーメント及び軸應力の和の何れかに基因するものなれども、十分に荷重せる後に在りては P_0 は P に比し其の値甚だ小なるのみならず斯かる荷重を受くる場合は、 M を曲げモーメントとし N を軸應力とすれば

$$M_A = 0.318Pr + 0.327P_0r \quad N_A = 0$$

$$M_B = 0.182Pr + 0.102P_0r = M_D \quad N_B = 0.5P + 0.25P_0 = N_D$$

$$M_C = 0.318Pr \quad N_C = 0$$

にして最大曲げモーメントは常に管底 A に起り最大軸應力は常に管側 B 又は D に生ずるものなれども、軸應力に依る影響は甚だ微弱なるを以て管の破壊は管底 A に起る曲げモーメントの爲めなること明かである (拙著: 下水學大意参照) 即ち供試管の破壊の因となる最大曲げモーメントは

$$M = 0.318Pr + 0.327P_0r$$

に相當するのである。

(2) 應力強度

(a) 無筋の場合

第 4 章第 2 項により $\beta = \frac{1}{10}$ とすれば $x = \frac{1}{11}h$ なるを以て

$$f_c = 26.4 \frac{M}{bh^2} \quad f_t = \beta \cdot f_c$$

(b) 鐵筋又は竹筋の場合

是れ又第 4 章第 2 項により

$$x = \frac{2\beta bh - 3nA}{4b(1+\beta)} + \sqrt{\left\{ \frac{2\beta bh - 3nA}{4b(1+\beta)} \right\}^2 + \frac{3nAd}{2b(1+\beta)}}$$

$$f_c = \frac{M}{\frac{5}{12}bx^2 + \frac{5}{12}\beta b(h-x)^2 + \frac{nA(d-x)^2}{x}}$$

$$f_t = \beta \cdot f_c$$

$$f_n = f_u = \frac{n(d-x)}{x} \cdot f_c$$

但し n の値は鐵筋なれば 15、竹筋なれば 1 にして β は $\frac{1}{10}$ なるを以て、

鐵筋の場合には

$$x = \frac{bh - 225A}{22b} + \sqrt{\left\{ \frac{bh - 225A}{22b} \right\}^2 + \frac{225Ad}{11b}}$$

$$f_c = \frac{M}{\frac{5}{12}bx^2 + \frac{5}{120}b(h-x)^2 + \frac{15A(d-x)^2}{x}}$$

竹筋の場合には

$$x = \frac{bh - 15A}{22b} + \sqrt{\left\{ \frac{bh - 15A}{22b} \right\}^2 + \frac{15Ad}{11b}}$$

$$f_c = \frac{M}{\frac{5}{12}bx^2 + \frac{5}{120}b(h-x)^2 + \frac{A(d-x)^2}{x}}$$

となる。但し此の際には b は管長、 h は管厚、 A は鐵筋又は竹筋の總斷面積、 d はコンクリ

表 - 43 の (2) 内径 60 ㎜ 管外圧試験成績

種 別	供試管 内径 (cm)	コンクリ ート配合 (容積比)	筋の断 面積 (cm ²)	材齢 (日)	繰り荷重 (kg/m)	最大曲げモーメント (kg-cm/m)			應力 (kg/cm ²)		
						M	M ₀	M+M ₀	f ₀	f _i	f ₀ 又は f ₀₁
無筋管	60	1:2:2		28	2278	23543	2604	26147	276.1	27.6	
"	"	"		"	1680	17363	"	19967	210.9	21.1	
"	"	"		"	1649	17042	"	19646	207.5	20.8	
平均					1869				231.5	23.2	
無筋管	60	1:2:2		56	1660	17156	2604	19760	208.7	20.9	
"	"	"		"	3029	31305	"	33909	358.1	35.8	
"	"	"		"	2450	25321	"	27925	294.9	29.5	
平均					2380				287.2	28.7	
無筋管	60	1:2:2		91	1872	19347	2604	21951	231.8	23.2	
"	"	"		"	1725	17828	"	20432	215.8	21.6	
"	"	"		"	1898	19616	"	22220	234.6	23.5	
平均					1832				227.4	22.7	
無筋管	60	1:2:2		182	2685	27749	2604	30353	320.5	32.1	
"	"	"		"	2846	29413	"	32017	338.1	33.8	
"	"	"		"	1970	20360	"	22964	242.5	24.3	
平均					2500				300.4	30.1	
総平均					2145				261.6	26.2	
竹筋管の(A)	60	1:2:2	5.2	22	4161	43004	2604	45608	332.9	33.3	1098.7
"	"	"	"	27	2576	26623	"	29227	213.4	21.3	704.2
"	"	"	"	26	2840	29351	"	31955	233.3	23.3	769.9
平均					3192				259.9	26.0	857.6
竹筋管の(A)	60	1:2:2	5.2	56	2191	22644	2604	25248	184.3	18.4	608.2
"	"	"	"	"	2588	26747	"	29351	214.3	21.4	707.2
"	"	"	"	"	2573	26592	"	29196	213.1	21.3	703.2
平均					2451				203.9	20.4	672.9
竹筋管の(A)	60	1:2:2	5.2	91	2166	22386	2604	24990	182.4	18.2	601.9
"	"	"	"	"	2531	26158	"	28762	210.0	21.0	693.0
"	"	"	"	"	2116	21867	"	24473	178.7	17.9	589.7
平均					2271				190.4	19.0	628.2
竹筋管の(A)	60	1:2:2	5.2	182	2752	28442	2604	31046	226.6	22.7	748.7
"	"	"	"	"	2958	30571	"	33175	242.2	24.2	799.3
"	"	"	"	"	3520	36379	"	38983	284.6	28.5	939.2
平均					3077				251.1	25.1	829.1
総平均					2748				226.3	22.6	747.0

表 - 43 の (2)

種 別	供試管 内径 (cm)	コンクリ ート配合 (容積比)	筋の断 面積 (cm ²)	材齢 (日)	繰り荷重 (kg/m)	最大曲げモーメント (kg-cm/m)			應力 (kg/cm ²)		
						M	M ₀	M+M ₀	f ₀	f _i	f ₀ 又は f ₀₁
竹筋管の(B)	60	1:2:2	5.2	29	2784	28773	2604	31377	229.1	22.9	756.0
"	"	"	"	"	2640	27284	"	29888	218.1	21.8	719.7
"	"	"	"	27	2774	28669	"	31273	228.3	22.8	753.4
平均					2733				225.2	22.5	743.0
竹筋管の(B)	60	1:2:2	5.2	56	3497	36141	2604	38745	282.8	28.3	933.2
"	"	"	"	"	2333	24112	"	26716	195.0	19.5	643.5
"	"	"	"	"	2305	23822	"	26426	192.9	19.3	636.6
平均					2712				223.6	22.4	737.8
竹筋管の(B)	60	1:2:2	5.2	91	1944	20091	2604	22695	165.7	16.6	546.8
"	"	"	"	"	2309	23863	"	26467	193.2	19.3	637.6
"	"	"	"	"	2265	23409	"	26013	189.9	19.0	626.7
平均					2173				182.9	18.3	603.7
竹筋管の(B)	60	1:2:2	5.2	182	2875	29713	2604	32317	235.9	23.6	778.5
"	"	"	"	"	"	"	"	"	235.9	23.6	778.5
"	"	"	"	"	2640	27284	"	29888	218.1	21.8	919.7
平均					2797				230.0	23.0	758.9
總平均					3604				215.4	21.6	710.9
鉄筋管	60	1:2:2	2.2	32	2147	22189	2604	24793	173.6	17.4	2187.4
"	"	"	"	31	2600	26871	"	29475	206.3	20.6	2599.4
"	"	"	"	29	3300	34106	"	36710	257.0	25.7	3238.2
"	"	"	"	33	"	"	"	"	257.0	25.7	3238.2
平均					31	2837			223.5	22.4	2815.8
鉄筋管	60	1:2:2	2.2	63	4476	46259	2604	49863	349.0	34.9	4397.4
總平均					3657				286.3	28.7	3606.6

總 括 表

材 齢 (週)	f ₀ の値 (kg/cm ²)					f ₀₁ 又は f ₀₂ の値 (kg/cm ²)		
	無 筋	鉄 筋	竹筋(A)	竹筋(B)	平 均	無 筋	竹筋(A)	竹筋(B)
4	231.5	223.5	259.9	225.2	235.0	2815.8	857.6	743.0
8	287.2	349.0	203.9	223.6	265.9	4397.4	672.9	737.8
13	227.4	—	190.4	182.9	200.2	—	628.2	603.7
26	300.4	—	251.1	230.0	260.5	—	829.1	758.9
平均	261.6	286.3	226.3	215.4	240.4	3606.6	747.0	710.9
百分率	115.1	119.1	94.1	89.6	100.0		平均	729.0

ートの縁維より鉄筋又は竹筋中心迄の距離を示すのである。

供試竹筋管に使用せる竹筋は前述の如く幅 10~13 耗即ち平均 11.5 耗、厚さは 4~5 耗即ち平均 4.5 耗なるを以て 1 條の断面積は約 0.52cm² に當る。而して末端巻き合せ共 10 條使ひなるを以て A=5.2cm² であり、又竹筋挿入の位置は管厚の中央より稍々内方にありしを以て竹筋管の計算には凡て d=3cm に取つた。又鉄筋管に使用せる鉄筋は主筋として B.W.G. 10 番線を用ひ巻き返し共管 1 本に付 24 本使ひなるを以て、A=0.091×24=2.2cm² に當り其の位置は管厚の中央に挿入せるものなれば d=2.5cm とし計算を行つたのである。即ちコンクリート容積に對する竹筋量は 1.73%、鉄筋量は 0.73% に相當して居る。以上に依り計算したる結果は表—43 の如くである。

ヒューム管は容積比 1:2:2 の如き富貴なる配合のコンクリートを使用するのみならず、遠心力應用の特殊製法を用ふるを以て充分緊壓せられ強度の優秀なるは周知の事實である。表—43 の結果より見るもコンクリートの壓縮強さは 165.7~358.1kg/cm² 總平均 240.4kg/cm² を示して居り、同引張強さは假定に従て之等の 1 割に相當し、鉄筋の引張強さの如きもコンクリートの強勢に伴ひ半硬鋼鐵線の最大強度に近き 4,400kg/cm² に及べるものあり、竹筋も亦同様に其の引張強さ 546.8~1,098.7kg/cm² 總平均 729kg/cm² に達し、其の特徴を充分に發揮し得たることは全くコンクリート壓縮強さの強大に因する賜と云ふべく、是れ皆ヒューム管製法の優越を示すものにして手詰法などでは如何に努力するも斯かる良果は期待出来ぬのである。而して竹筋の表皮部を内側に向けたる B 管は外側に向けし A 管と比較するに、施工容易ならざるのみならず強度も概して劣る様である。即ち竹筋は A の如く普通の施工方法に依るを便利と考へる。

3. 東京都藤田章氏の實驗

東京市財務局用品課小臺コンクリート工場に於て行はれし藤田章氏の實驗は、第 1 回として昭和 15 年 3~9 月鉄筋コンクリート管及び主筋を鋼とし助筋を竹としたるコンクリート管、内徑 45, 60, 90 種の 3 種合計 26 本に付施行し、第 2 回は同 16 年 4~9 月同内徑 45, 60, 90 種の 3 種を選び、竹筋、無筋竝に竹と鋼とを混交主筋としたるコンクリート管合計 33 本を作り、之等の強度及び材齡の影響等の比較研究を試みたものである。

(1) 第 1 回 實驗

(a) 材 料

セメント 秩父社珪酸質混合セメント

砂 江戸川産、砂 利 荒川産

竹 筋 千葉縣産 3 年生秋伐眞竹の割材、抗張強 1,890 kg/cm²、素材及アスファルトベ

イント塗布の兩種

鐵 筋 軟鋼鐵線普通市場販賣品、強度 表—44 の如し。

表—44

種 別	直 徑 (cm)	引張強(kg/cm ²)	伸張率(%)
B.W.G. No. 8	0.399	6180	—
" No. 6	0.501	6900	—
" No. 4	0.591	4850	28.5

コンクリート 配合 1:2:4 (容積比)

(b) 供試管の製作

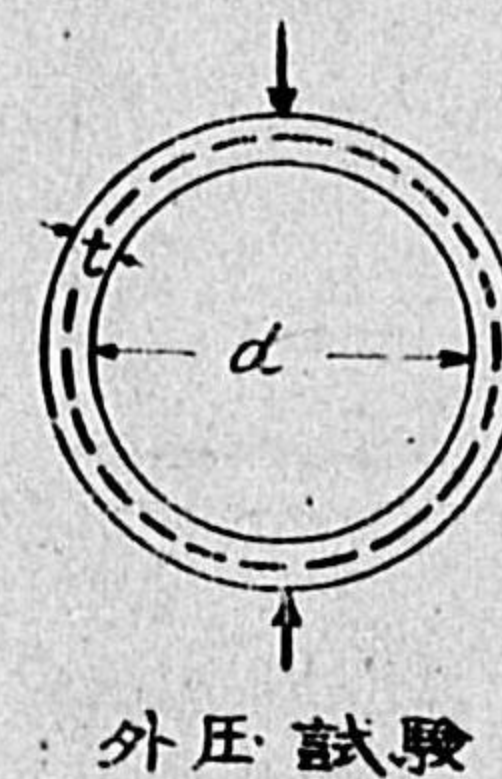
製作の翌日脱型、爾後 10 日間菰掛け撒水養生を施し爾來材齡 6 ヶ月試驗當日迄野天に放置せしものにして、其の寸法、筋の配置等は 表—45 に示す通りである。

表—45

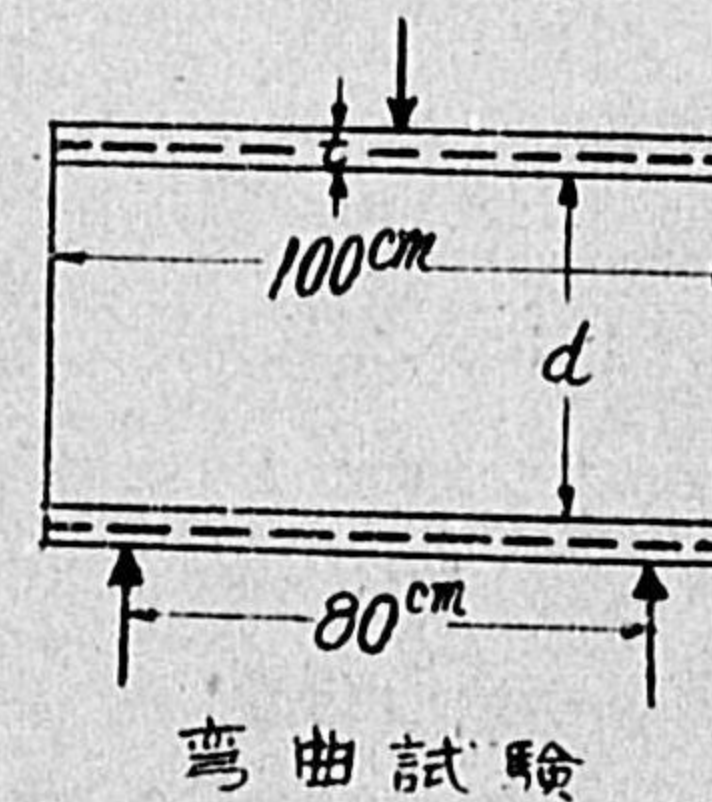
種 別	供試管寸法(cm)			供試管員數(本)	主筋(横)軟鋼鐵線			助筋(縦)鐵線又は竹材		
	内徑	管長	管厚		品種	本數	重量(kg)	品種	本數	重量(kg)
鐵 筋 管	45	100	4.5	2	8番線	11	1.8	8 番線	7	1.3
竹鐵混合筋管(A)	"	"	"	4	"	"	"	割竹	"	0.8
" (B)	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0.7
鐵 筋 管	60	100	6.0	2	8番線	14	3.0	8 番線	10	1.6
竹鐵混合筋管(A)	"	"	"	3	"	"	"	割竹	"	1.1
" (B)	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1.0
鐵 筋 管	90	110	8.5	2	4番線	11	8.2	6 番線	14	2.4
竹鐵混合筋管(A)	"	"	"	3	"	"	"	割竹	"	1.6
" (B)	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1.5

備考 (A) は素材の竹筋、(B) はアスファルトベイント塗布の竹筋使用のものとする。

(c) 試驗の成績



前掲各供試體に付ケーネン式 30 吨油壓試驗機により外壓試驗及び彎曲試驗を行つたもので、外壓試驗の荷重方法は全管長に沿ふて集中荷重を加へ彎曲試驗は徑間を 80 種に取り 16 耗丸鋼を以て支へ中央に集中荷重を加へたものであるが其の成績は表—46 の如くである。



本實驗の成果に對し藤田氏は次の如く

表 - 46

種 別	供 試 管			外 壓 試 験				彎 曲 試 験			
	内径 (cm)	材 齢 (日)	重 量 (kg)	罅裂荷重(kg)		破壊荷重(kg)	罅裂荷重の百分率	罅裂荷重(kg)		破壊荷重(kg)	罅裂荷重の百分率
				上下	左右			上下	左右		
鉄 筋 管	45	180	173	1800	1800	3600		1800	1800	2500	
平 均				1800	1800	3600	100.0	1800	1800	2500	100.0
竹鉄混合筋管の(A)	45	180	162	1600	1600	3000		2000	2000	3200	
"	"	"	173	2100	2100	4600		1600	1600	2600	
平 均				1850	1850	3800	102.8	1800	1800	2900	100.0
竹鉄混合筋管の(B)	45	180	163	1700	1700	3400		2000	2000	3000	
"	"	"	161	1900	1900	3400		1900	1900	3200	
平 均				1800	1800	3400	100.0	1950	1950	3100	108.3
總 平 均				1817	1817	3600		1833	1833	2833	
鉄 筋 管	60	180	307	2500	2900	5800		3000	3000	5500	
平 均				2500	2900	5800	100.0	3000	3000	5500	100.0
竹鉄混合均管の(A)	60	180	304	2600	2600	6000					
"	"	"	307	2600	2700	5000		3600	3600	5200	
平 均				2600	2650	5500	104.0	3600	3600	5200	120.0
竹鉄混合筋管の(B)	60	180	303	2500	2800	7000					
"	"	"	309	2700	2700	7600		3000	3000	5600	
平 均				2600	2750	7300	104.0	3000	3000	5600	100.0
總 平 均				2567	2767	6200		3200	3200	5433	
鉄 筋 管	90	180	644	1700	2600	6400		2800	3400	5800	
平 均				1700	2600	6400	100.0	2800	3400	5800	100.0
竹鉄混合筋管の(A)	90	180	631	2300	2600	7200		2400	2600	5600	
"	"	"	637	1900	2600	8200					
平 均				2100	2600	7700	123.5	2400	2600	5600	85.7
竹鉄混合筋管の(B)	90	180	638	2200	2800	5800		2700	2700	6400	
"	"	"	639	2200	2600	6700					
平 均				2200	2700	6250	129.4	2700	2700	6400	96.4
總 平 均				2000	2633	6783		2633	2900	5933	

述べて居る

(1) 管の外圧強度に於ては竹鉄混合筋管は鉄筋管に比し概ね遜色なし、蓋し主筋を鉄線を以てしたる當然の歸結と考へらる。

(2) 管の彎曲強度に於ては稍々劣る様である。但し本供試體の如く長 1 米にして其の支點間隔 80 程度にては罅裂發生は外壓試験の場合と同様、供試管の上下左右に發生して通常の彎曲試験に於て見らるゝ如く、供試管の下部支點間隔の中央附近には發生せず、彎曲試験の效少く而も應力の大部分は主筋たる鉄線に掛るものと考へらるゝを以て、助筋に竹材を使用するも管の強度には格別の影響なきものと如し。

(3) 一般にアスファルトペイント塗布の竹筋は素材よりも耐アルカリ性能、耐侵蝕性能等に於て優秀なるに非ずやと認めらるゝも具體的の判斷は困難なり。唯竹筋の乾濕に依るコンクリートの罅割れなどの現象は塗布材の方稍々良好なる感あり、數回の塗布を重ね被覆を厚くすれば一層の効果を奏するものと認むる。

要するに本實驗の如く管の主筋即ち横筋には全部鉄筋を用ひ、單に助筋即ち縦筋として竹筋を應用するものにありては、其の外壓強度に於て鉄筋管と格別の逕庭を生ぜざるべきは當然と云ふべく、唯彎曲強度に於ては縦筋が主たる役目を負ふ關係から見て、多少の影響あるは必然なるが如きも、本實驗の供試體の様に内徑に比し長さの短小なるものに在りては、藤田氏の説の如く應力の大部分は縦筋よりも横筋に負荷されし結果と判斷せらるるのである。必竟下水管渠は完全な基礎を備ふること普通なれば桁として働く如き場合は皆無なのである。従つて下水管の助筋即ち縦筋の如きは防蝕さへ保證出來れば竹材で充分である。鉄筋コンクリート下水管の縦筋重量は普通鉄筋總重量の 2~4 割を占めて居る(表-47 参照)。即ち之を竹筋で代用すれば大體 3 割程度の鉄筋材料が節約され、工費に於ても相當の節減が出来るのである。現に高松市下水道では昨年以來 600~900 耗徑の下水管の縦筋に鉄線節約の爲め竹筋を使用して居るが何等の支障がない。同様の事が小徑間の桁梁又は床版などの配筋にも應用出來ると思ふのである。

表 - 47 東京都下高田町下水道設計書に據る

鉄 筋 の 種 別	用 途	鉄筋コンクリート直管内径(尺), 管長 3 尺(封度)						
		1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	平均
B.W.G. No. 4~No. 6	横筋用	4.06	4.64	5.17	7.97	8.70	9.51	6.68
" No. 8	縦筋用	2.61	2.61	2.61	3.48	3.48	3.48	3.05
" No. 20	結束用	0.35	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.38
合 計		7.02	7.60	8.13	11.85	12.58	13.39	10.11
縦筋量と總量の比(%)		37.2	34.3	32.1	29.4	27.7	26.0	30.2

(2) 第 2 回 實 験

(a) 材 料

セメント 秩父ポルトランドセメント

砂 荒川産
 砂 利 多摩川青梅上流の産
 竹 筋 近江八幡産秋伐 3 年生真竹の削材, 抗張強 1,750kg/cm²
 何等處理を施さず素材の儘使用
 コンクリート 配合 1:2:4 (容積比)

壓縮強さ (kg/cm ²)			
材齡(日)	45種管用	60種管用	90種管用
28	128.3	178.1	158.5
140	173.9	256.5	246.8

(b) 供試管の製作

製管は昭和 16 年 4 月 28 日全部完了,
 コンクリート填充後 24 時間を経て脱型し
 直に管全體を藁にて覆ひ, 撒水養生 10 日
 間の後試験當日迄野天に放置せしものにし

て, 其の寸法配筋等は 表-48 に示す如くである。

表 - 48

種別	符號	供試管寸法 (cm)			供試管員數 (本)	主筋(横) 竹材又は鐵線			助筋(縦) 竹材			筋の總斷面積 (cm ²)	コンクリート斷面に對する竹筋斷面比	
		内徑	管長	筋厚		種類	寸法(cm)	員數	種類	寸法 (cm)	員數			
無筋管	PC	45	100	4.5	3									
竹筋管	BH	"	"	"	"	割竹籠狀	幅0.5×厚0.3の割竹3本を籠狀に編む	13	割竹	幅1.0×厚0.5×長93	7	6.0	0.027	
"	BS	"	"	"	"	割竹螺旋狀	1.2×0.5 の割竹を螺旋狀に捲く	13	"	"	"	7.8	0.035	
竹鐵筋管混合	BI	"	"	"	"	割竹籠狀	籠狀竹(寸法同上)	7	"	"	"	3.0	0.014	
						鐵線	B.W.G. 8 番線	6	"	"	"	0.7	0.003	
無筋管	PC	60	100	6.0	3									
竹筋管	BH	"	"	"	"	割竹籠狀	1.0×0.4の割竹を3本づつ籠狀に編む	16	割竹	幅1.0×厚0.5×長93	10	19.2	0.064	
"	BS	"	"	"	"	割竹螺旋狀	1.2×0.5 の割竹を螺旋狀に捲く	16	"	"	"	9.6	0.032	
竹鐵筋管混合	BI	"	"	"	"	割竹籠狀	籠狀竹(寸法同上)	8	"	"	"	9.6	0.032	
						鐵線	B.W.G. 8 番線	8	"	"	"	0.9	0.003	
無筋管	PC	90	100	8.5	3									
竹筋管	BH	"	"	"	"	割竹籠狀	1.5×0.4の割竹3本を籠狀に編む	15	割竹	幅1.5×厚0.5×長93	10	27.0	0.064	
竹鐵筋管混合	BI	"	"	"	"	割竹籠狀	籠狀竹(寸法同上)	8	"	"	"	15.0	0.035	
						鐵線	B.W.G. 6 番線	7	"	"	"	1.5	0.003	

(符合 BH. により示されたものは藤田氏に於て目下實用新案の出願中なり)

表 - 49

種別と符號	供試管内徑 (cm)	外壓試験 材齡 28 日						外壓試験 材齡 140 日					
		重量 (kg)	破壊荷重(kg)		破壊荷重 (kg)	破壊荷重 (%)	破壊荷重 (%)	重量 (kg)	破壊荷重(kg)		破壊荷重 (kg)	破壊荷重 (%)	破壊荷重 (%)
			上下	左右					上下	左右			
無筋管 P.C.	45	162	1000		1000		154	1400		1400			
"	"	155	1100		1100								
平均		159	1050		1050	100.0	154	1400		1400	100.0	100.0	
竹筋管 B.H.	45	162	800	800	1800		159	1500	1500	2100			
"	"	165	880	880	2700								
平均		164	840	840	2250	80.0	214.3	159	1500	1500	2100	107.1	150.0
竹筋管 B.S.	45	159	800	800	1800		154	1600	1600	2200			
"	"	162	900	900	2200								
平均		161	850	850	2000	81.0	190.5	154	1600	1600	2200	114.3	157.1
竹鐵混合管 B.I.	45	162	1100	1100	2300		159	1500	1500	2700			
"	"	162	1000	1000	2400								
平均		162	1050	1050	2350	100.0	223.6	159	1500	1500	2700	107.1	192.8
總平均			947.5	913.3	1912.5			1500.0	1533.3	2100.0			
無筋管 P.C.	60	317	1900		1900		308	2500		2500			
"	"	315	1600		1600								
平均		316	1750		1750	100.0	308	2500		2500	100.0	100.0	
竹筋管 B.H.	60	304	1800	1800	5200		305	2200	2500	5500			
"	"	307	2100	2100	6000								
平均		306	1950	1950	5600	111.4	320.0	305	2200	2500	5500	88.0	220.0
竹筋管 S.B.	60	308	1500	1500	4400		308	2500	2800	7200			
"	"	308	1500	1500	5000								
平均		308	1500	1500	4700	85.7	268.6	308	2500	2800	7200	100.0	288.0
竹鐵混合管 B.I.	60	309	2100	2100	5300		315	2600	3100	7100			
"	"	307	1900	1900	5300								
平均		308	2000	2000	5300	114.3	302.9	315	2600	3100	7100	104.0	284.0
總平均			1800.0	1816.7	4339.5			2450.0	2800.0	5575.0			
無筋管 P.C.	90	—	1800		1800		—	3000		3000			
"	"	—	1700		1700								
平均		—	1750		1750	100.0	100.0	3000		3000	100.0	100.0	
竹筋管 B.H.	90	—	2200	2200	6500		—	3000	3150	8000			
"	"	—	2100	2200	6200								
平均		—	2150	2200	6350	122.9	362.9	3000	3150	8000	100.0	266.7	
竹鐵混合管 B.I.	90	—	2000	2300	6800		—	3000	3400	8200			
"	"	—	1800	1800	7200								
平均			1900	2050	7000	108.5	400.0	3000	3400	8200	100.0	273.3	
總平均			1933.3	2125.0	5033.3			3000.0	3275.0	6400.0			

(c) 試験の成績

前回と同一方法に依り材齢を 28 日及び 140 日の両者に区分し外圧試験を行ったもので、載荷方法は全管長に沿ふ集中荷重で其の成績は表—49 の通りである。

(3) 應力計算

表上の成績に基き筆者の算式に依り計算したる應力は表—50 の如き數値に相當するのである。

表—50 の (1) 第 1 回外圧試験

種 別	供試管 内徑 (cm)	材 齢 (日)	試 験 成 績 (kg)			應 力 (kg/cm ²)		
			罅 裂 荷 重		破 壊 荷 重	f _c	f _i	f _{st}
			上	下				
鐵 筋 管	45	180	1800	1800	3600	76.7	7.7	2301.0
竹鐵混合管の(A)	"	"	1850	1850	3800	78.7	7.9	2361.0
" (B)	"	"	1800	1800	3400	76.7	7.7	2301.0
平 均			1817	1817	3600	77.4	7.8	2321.0
鐵 筋 管	60	180	2500	2900	5800	94.1	9.4	2192.5
竹鐵混合管の(A)	"	"	2600	2650	5500	97.4	9.7	2269.4
" (B)	"	"	2600	2750	7300	97.4	9.7	2269.4
平 均			2567	2767	6200	96.3	9.6	2243.8
鐵 筋 管	90	180	1700	2600	6400	64.0	6.4	863.6
竹鐵混合管の(A)	"	"	2100	2600	7700	74.9	7.5	1022.4
" (B)	"	"	2200	2700	6250	77.6	7.8	1059.2
平 均			2000	2633	6783	72.2	7.2	981.7
總 平 均			2126	2406	5528	82.0	8.2	1848.8

表—50 の (2) 第 2 回外圧試験

種別と符號	供試管 内徑 (cm)	應力(kg/cm ²) 材 齢 28 日				應力(kg/cm ²) 材 齢 140 日				
		罅 裂 荷 重 (kg)	f _c	f _i	f _{st}	罅 裂 荷 重 (kg)	f _c	f _i	f _{st}	
無 筋 管 P.C.	45	1050	112.7	11.3		1400	145.4	14.5		
竹 筋 管 B.H.	"	840	57.4	5.7	189.4	1500	89.7	9.0	296.0	
" B.S.	"	850	58.0	5.8	191.4	1600	100.9	10.1	333.0	
竹鐵混合管 B.I.	"	1050	53.6	5.4	125.8	1887.0	1500	73.4	7.3	171.0
平 均		948	70.4	7.1	168.9	1887.0	1500	102.4	10.2	266.7
無 筋 管 P.C.	60	1750	144.5	14.5		2500	197.0	20.0		
竹 筋 管 B.H.	"	1950	69.2	6.9	207.6	2200	76.8	7.7	230.4	
" B.S.	"	1500	73.5	7.4	220.5	2500	113.9	11.4	341.7	
竹鐵混合管 B.I.	"	2000	88.4	8.8	159.1	2386.5	2600	111.3	11.1	200.3
平 均		1800	93.9	9.4	195.7	2386.5	2450	124.8	12.5	257.5

無 筋 管 P.C.	90	1750	125.7	12.6			3000	190.9	19.1		
竹 筋 管 B.H.	"	2150	80.3	8.0	174.3		3000	104.6	10.5	227.0	
竹鐵混合管 B.I.	"	1900	73.1	7.3	158.6	2379.0	3000	104.4	10.4	226.5	3397.5
平 均		1933	93.0	9.3	166.5	2379.0	3000	133.3	13.3	227.0	3397.5
總 平 均		1560	85.8	8.6	177.0	2217.5	2317	120.2	12.0	250.4	2989.0

表—50 より考察して大體次の判断が下し得ると思ふ。

- (1) 無筋管の成績概して良好なるは材料及び施工養生の完全を表明するものである。
- (2) 鐵筋管の成績充分ならざるは鐵筋量の過少に基因するを考へる、即ち 45 種管の鐵筋は 8 番線 11 巻き、60 種管は同 14 巻き、90 種管は 4 番線 11 巻きなるを以てコンクリート容積に對する鐵筋量の比率は 0.0033 乃至 0.0036 に過ぎない様である。時局柄鐵筋量を極度に節約せんとする爲めと思ふが一考を煩はし度いと考へる。
- (3) 主筋を鋼とし助筋を竹とせられしことは鐵筋節約の爲めには最も賢明の處置と考へる。外圧試験は云ふ迄もなく相當助筋の働きを期待する、彎曲試験に於てすら、鐵筋管と比較し何等甲乙なきは意を強ふするに足るべく將來一層の應用を切望する次第である。
- (4) アスファルトベント塗附の竹筋は素材のものよりも耐久力に於て相當效果的と思ふが、斯かる短期の實驗では格別の相違を發見し得ないことを遺憾とする。
- (5) 竹筋管は罅裂荷重に於ては無筋管と比較し多大の強度を期待し得ない様であるが、破壊に對する安全性に於ては少くも 2 倍以上の抵抗を保有するのであつて其の貢獻は充分認め得ると思ふ。將來一層の研鑽を遂げ附着強の増加と彈性係數の進増を計り度いと考へる。
- (6) 主筋に鐵筋と竹筋を混合することは非常に面白い思ひ付きである、此の實驗では鐵筋量が餘りに少ない爲め充分な成果を擧げ得なかつた様ではあるが、無筋管などよりも遙かに安全率も高く而も鐵筋量の節約は 6 割以上にも達するので最も効果的かと考へる、將來此の種研究の一層進展せんことを希ふ次第である。

4. 竹筋と無筋及鐵筋との比較

前掲せる諸氏の實驗はコンクリートの品質、配合、材齢、鐵筋量又は竹筋量及び配筋方法等を異にするを以て、直に之等の成績のみに依り批判すること固より不可能なれども、之等を綜合して概括的な比較を試みれば大體次の如き結論が得らるゝ様である。

(1) 桁に關する成績

試みに諸氏の實驗成績を統括して、表示すれば表—51 の如くなる。

表-51の(1) 各種コンクリート桁の罅裂及破壊荷重 (kg)

実験者	コンクリート配合(容積比)	材 齢 (日)	無筋桁		鉄筋桁			竹筋桁		
			罅裂及破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比
筆者	1:2:4	154~164	630	1.00	2100	2489	1.19	768	1356	1.77
河村氏	"	28						1047	2720	2.60
安藝氏	1:2.5:5	"	190	1.00	967	1723	1.78	311	1018	3.27
巽氏	不明	49	2260	1.00				1472	3268	2.22
平均			1026	1.00	1533	2106	1.37	900	2091	2.32
百分率			100.0		149.4			87.7		

表-51の(2) 各種コンクリート桁の應力 (kg/cm²)

実験者	コンクリート配合(容積比)	材 齢 (日)	無筋桁		鉄筋桁				竹筋桁			
			f_c	f_t	f_c	f_t	f_{sc}	f_{st}	f_c	f_t	f_{bc}	f_{bt}
筆者	1:2:4	154~164	114.5	11.5	136.1	13.6		3609	70.6	7.1	-11.3	252.7
河村氏	"	28							58.2	5.8		250.7
安藝氏	1:2.5:5	"	56.9	5.7	70.0	7.0	287	2002	51.8	5.2	-11.4	197.9
巽氏	不明	49	109.8	11.0					53.0	5.3		252.5
平均			93.7	9.4	103.4	10.3	287	2806	58.4	5.8	-11.4	238.5
百分率			100.0		110.3				62.3			

表-51 に依れば無筋桁の罅裂荷重 100 に對し鐵筋桁は同 149.4、竹筋桁は同 87.7 に當り、罅裂荷重と破壊荷重の比は無筋桁は 1 ながらも、鐵筋桁は 1.37、竹筋桁は 2.32 にして破壊現象に對しては十分な安全性を示して居る。又應力に在りては無筋桁のコンクリート壓縮強さ 100 に對して鐵筋桁は同 110.3、竹筋桁は同 62.3 を示し、鐵筋の引張強さは平均 286kg/cm²、竹筋は 238.5kg/cm² に達し罅裂して居る。而して無筋鐵筋竹筋の各種桁を同一條件で同時に實驗せる筆者の成績に依れば、無筋桁の罅裂荷重 630kg に對し鐵筋桁は同 2,100kg 即ち 3.33 倍、竹筋桁は同 768kg 即ち 1.22 倍に當り、罅裂荷重と破壊荷重の比は無筋桁は 1 ながらも、鐵筋桁は 1.19、竹筋桁は 1.77 を示し、竹筋桁は鐵筋桁に及ばざること遠きも無筋桁に比すれば強度も優り破壊に對して相當の安全度を具備することは明かである。又安藝氏一氏の成績に依れば無筋桁の罅裂荷重 190kg (徑間 1.30

実験者	桁の罅裂荷重 百分比			罅裂荷重と破壊荷重の比		
	無筋	鐵筋	竹筋	無筋	鐵筋	竹筋
筆者	100	383	122	1.00	1.19	1.77
安藝氏	100	509	164	1.00	1.78	3.27
平均	100	421	143	1.00	1.49	2.52

米に換算せる數字) に對し、鐵筋桁は同 967kg 即ち 5.09 倍、竹筋桁は同 311kg 即ち 1.64 倍に

當り、罅裂荷重と破壊荷重の比は無筋桁は 1 ながらも、鐵筋桁は 1.78、竹筋桁は 3.27 を示し是れ又竹筋桁が無筋桁に對し著しき優越性を表示して居る。

(2) 管に関する成績

前掲のヒューム管會社及び東京市藤田章氏の實驗成績を統括して表示すれば表-52, 53, 54 を得らる。

表-52の(1) 各種コンクリート管の外壓試驗成績(ヒューム管會社施行) (kg/m)

種 別	無筋管			鐵筋管			竹筋管(A)			竹筋管(B)		
	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比
材 齡 4 週	1869	1869	1.00	2837	6694	2.36	3192	4329	1.39	2733	4326	1.58
" 8 "	2380	2467	1.04	4476	9620	2.15	2451	4495	1.83	2712	3793	1.41
" 13 "	1832	1877	1.03	—	—	—	2271	3258	1.44	2173	2750	1.27
" 26 "	2500	2500	1.00	—	—	—	3077	6338	2.08	2797	4684	1.68
平均	2145	2173	1.02	3657	8157	2.23	2748	4605	1.69	2604	3888	1.49
百分率	100.0	101.5	101.5	170.5	374.5	218.6	128.1	211.4	166.0	121.4	178.5	146.0

表-52の(2) 同上 應力 (kg/cm²)

供試管内徑 (cm)	材 齡 (週)	無筋管		鐵筋管			竹筋管(A)			竹筋管(B)		
		f_c	f_t	f_c	f_t	f_{st}	f_c	f_t	f_{bt}	f_c	f_t	f_{bt}
60	4	231.5	23.2	223.5	22.4	2815.8	259.9	26.0	857.6	225.2	22.5	743.0
"	8	287.2	28.7	349.0	34.9	4397.4	203.9	20.4	672.9	223.6	22.4	737.8
"	13	227.4	22.7	—	—	—	190.4	19.0	628.2	182.9	18.3	603.7
"	26	300.4	30.1	—	—	—	251.1	25.1	829.1	230.0	23.0	758.9
平均		261.6	26.2	286.3	28.7	3606.6	226.3	22.6	747.0	215.4	21.6	710.9
百分率		100.0		109.4			86.5			82.3		

表-53の(1) 東京都藤田章氏の實驗成績 (其の一) (kg/m)

種 別	鐵筋管			同(縱筋に素竹材使用のもの)			同(縱筋に防蝕劑塗附竹材使用のもの)		
	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比
内徑 45 種	1800	3600	2.00	1850	3800	2.05	1817	3600	1.98
" 60 "	2500	5800	2.32	2600	5500	2.12	2567	6200	2.42
" 90 "	1700	6400	3.77	2100	7700	3.67	2200	6250	2.84
平均	2000	5267	2.63	2183	5667	2.60	2195	5350	2.44
百分率	100.0	100.0	100.0	109.2	107.6	98.7	109.8	101.6	92.8

表-53の(2) 同上 応力 (kg/cm²)

種 別	鐵 筋 管			同(縱筋に素竹材使用のもの)			同(縱筋に防蝕劑塗附竹材使用のもの)		
	<i>f_c</i>	<i>f_i</i>	<i>f_u</i>	<i>f_c</i>	<i>f_i</i>	<i>f_u</i>	<i>f_c</i>	<i>f_i</i>	<i>f_u</i>
内徑 45 糶	76.7	7.7	2301.0	78.7	7.9	2361.0	76.7	7.7	2301.0
“ 60 “	94.1	9.4	2192.5	97.4	9.7	2269.4	97.4	9.7	2269.4
“ 90 “	64.0	6.4	863.6	74.9	7.5	1022.4	77.6	7.8	1059.2
平 均	78.3	7.8	1785.7	83.7	8.4	1884.3	83.9	8.4	1876.5
百 分 率	100.0			107.0			107.2		

表-54の(1) 東京都藤田章氏の實驗成績 (其の二) (kg)

種 別	材 齡 (日)	無 筋 管		竹 筋 管			竹鐵混(橫筋に竹鐵半量純合筋管(縱筋に竹材使用))		
		罅裂及破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比
内徑 45 糶	28	1050	1.00	845	2125	2.51	1050	2350	2.24
“ 60 “	“	1750	“	1725	5150	3.00	2000	5300	2.65
“ 90 “	“	1750	“	2150	6350	2.95	1900	7000	3.70
平 均		1517	1.00	1573	4542	2.89	1650	4883	2.96
内徑 45 糶	140	1400	1.00	1550	2150	1.39	1500	2700	1.80
“ 60 “	“	2500	“	2350	6350	2.70	2600	7100	2.73
“ 90 “	“	3000	“	3000	8000	2.67	3000	8200	2.73
平 均		2300	1.00	2300	5500	2.40	2367	6000	2.54
總 平 均		1909	1.00	1937	5021	2.65	2007	5442	2.75
百 分 率		100.0	100.0	101.4	263.2	265.0	105.1	285.1	275.0

表-54の(2) 同上 応力 (kg/cm²)

種 別	材 齡 (日)	無 筋 管		竹 筋 管			竹鐵混合筋管			
		<i>f_c</i>	<i>f_i</i>	<i>f_c</i>	<i>f_i</i>	<i>f_u</i>	<i>f_c</i>	<i>f_i</i>	<i>f_u</i>	<i>f_u</i>
内徑 45 糶	28	112.7	11.3	57.7	5.8	190.4	53.6	5.4	1887.0	125.8
“ 60 “	“	144.5	14.5	95.3	9.5	315.0	88.4	8.8	2386.5	159.1
“ 90 “	“	125.7	12.6	80.3	8.0	174.3	73.1	7.3	2379.0	158.6
平 均		127.6	12.8	77.8	7.9	222.6	71.7	7.2	2217.5	147.8
内徑 45 糶	140	145.4	14.5	71.4	7.2	214.0	73.4	7.3	2565.0	171.0
“ 60 “	“	197.0	19.7	95.4	9.5	286.0	111.3	11.1	3004.5	200.3
“ 90 “	“	190.9	19.1	104.6	10.5	227.0	104.4	10.4	3397.5	226.5
平 均		177.8	17.8	90.5	9.1	242.3	96.4	9.6	2789.0	199.3
總 平 均		152.7	15.3	84.2	8.5	232.5	84.0	8.4	2503.3	173.4
百 分 率		100.0		55.0			55.0			

表-52を見るに無筋管は罅裂発生と殆んど同時に崩壊し安全度は零であるが、鐵筋管は材齡 8 週未滿の平均ですら罅裂荷重に於て 70% 以上を増加し、崩壊迄には罅裂後尙ほ 2.23 倍の載荷に耐え充分の安全度を示し、竹筋管は罅裂荷重に於て A は 28.1%, B は同 21.4% AB 平均では 24.8% の増となり、崩壊迄には罅裂後尙ほ AB 平均 1.59 倍の載荷に耐え鐵筋管には及ばざるも、無筋管と比較すれば強度に對する相當の貢獻と安全度を保持するのである。而して應力計算表に於ける *f_c* の値を見るに無筋管の 100 に對し、鐵筋管は 109.4 なるも、竹筋管 A は 86.5, B は 82.3, AB 平均 84.4 に過ぎないことは、畢竟コンクリートに對する竹筋の附着力小なる爲めの缺陷で此の差を最小ならしむることが、構造物の効率を發揮せしむる肝要な問題なのである。

又表-53 に依れば主筋を鐵とし縱筋を竹とせしものは材齡 6 ヶ月に及ぶも、鐵筋管に對し強度並に應力共殆んど甲乙なく寧ろ多少の強さを増した傾向すらある。即ち竹材の或る程度迄の耐久性に保證が出來れば、斯かる範圍の竹材應用は最も賢明の策であつて之が爲め鐵筋量の約 3 割が節約せらるゝこととなる。

表-54 は無筋管、竹筋管及び主筋に竹と鐵を交互に挿入し縱筋を竹とした管三者の比較成績であるが、是れ又三者間の罅裂荷重には殆んど甲乙がないのである、而も無筋管は罅裂発生と同時に崩壊して安全性は少しもないが、竹筋管及び竹鐵混合筋管は罅裂と破壊との間に相當の開きがあつて危険を防止することが出来る。即ち此の開きはヒューム管よりも手詰管の方遙かに優秀で、手詰め竹筋管は其の罅裂荷重に對して平均 2.65 倍、同竹鐵混合筋管は同 2.75 倍にも及んで居る。畢竟之等の現象はヒューム管の罅裂荷重の強大に因する逆作用なのである。

竹筋管を直ちに採用することに懸念があれば藤田氏の竹鐵混合筋管を場所柄に應じては使用するべきである。此の場合少くも鐵筋量の 6 割は節約せられ時局に即する所置とも考へらるゝのである。

兎に角表-55 に示す通りヒューム會社の實驗では、無筋管の罅裂荷重を 100 とするに對し鐵筋管は同 170.5, 竹筋管は AB 平均同 124.8 と云ふ風に、相互間に相當の開きがあり鐵筋管の

表-55の(1) ヒューム會社の實驗 (kg/m)

材 齡 (週)	無 筋 管			鐵 筋 管			竹筋管 AB 平均		
	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比
4	1869	1869	1.00	2837	6694	2.36	2963	4328	1.46
8	2380	2467	1.04	4476	9620	2.15	2582	4144	1.60
13	1832	1877	1.03	—	—	—	2222	3004	1.35
26	2500	2500	1.00	—	—	—	2937	5511	1.88
平 均	2145	2178	1.02	3657	8157	2.23	2676	4247	1.57
百 分 率	100.0	101.5	101.5	170.5	374.5	218.6	124.8	195.0	154.0

表—55の(2) 東京都の試験 (kg/m)

材 齢 (週)	無筋管			鉄 筋 管			竹 筋 管			主筋 鋼 混合筋管			主筋 鋼 及 竹 混交筋管			
	罅裂及 破壊	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比	罅裂	破壊	同上比
4	1517				1573	4542	2.89				1650	4883	2.96			
20	2300				2300	5500	2.40				2367	6000	2.54			
26		2000	5267	2.63				2189	5509	2.52						
平 均	1909	2000	5267	2.63	1937	5021	2.65	2189	5509	2.52	2009	5442	2.75			
百分率	100.0	104.8	276.0	263.0	101.4	263.0	265.0	114.6	288.0	252.0	105.2	285.1	275.0			

優越は明かであるが、竹筋管と雖も尚は無筋管と比較し2割5分前後の強度を増進し尚ほ崩壊迄に相應の安全性を備ふるのである。藤田氏の試験では無筋管も鉄筋管も竹筋管も竹鉄混合筋管何れも、罅裂荷重には殆んど大差なく略々一致して居るのは不思議に思はるゝ位であるが、畢竟之等は同一強度を標準に供試管を製作されし結果かと考へる。

即ち東京都の試験では無筋管の罅裂荷重を100とするに對し、鉄筋管は同104.8、主筋を鋼としたる混合筋管は同114.6、主筋に竹鋼混交のものは同105.2、竹筋管は101.4に相當し殆んど大差がないが、破壊荷重も無筋管の100に對して263.0~288.0で何れも略々一致し、罅裂荷重對破壊荷重の比も無筋管の1に對し2.52~2.75で是れ又大差なき結果を來して居るのである。要は東京都の試験に依る竹筋管の効果は罅裂荷重は僅かに1.4%の増に過ぎず殆んど同一であるが、安全度が著しく増進し略々無筋管の2倍半以上に上ることである。

依て試みに桁及び管の成績を綜合して無筋鉄筋竹筋を比較すれば表—56の如き結果が生ずる。

表—56

實 験 者	種 別	罅裂荷重百分率			罅裂荷重と破壊荷重の比		
		無 筋	鉄 筋	竹 筋	無 筋	鉄 筋	竹 筋
筆 者 安 藤 氏	桁	100	333	122	1.00	1.19	1.97
	〃	100	509	164	1.00	1.78	3.27
	平 均	100	421	143	1.00	1.49	2.52
筆 者 藤 田 氏	管	100	171	125	1.00	2.23	1.57
	〃	100	105	102	1.00	2.63	2.65
	平 均	100	138	114	1.00	2.43	2.11
總 平 均		100	280	129	1.00	1.96	2.32

第 6 章 む す び

資料乏しき叙上の成績のみに信を措くは固より早計の嫌ひなきにあらざれども、総合的結論としては大體次の如き事實を認め得らるゝ様に思ふ。

1. 性能の改善

(1) 竹の比重は其の種類、産地、竹齡、採取位置などに依り著しい相違はあるが、概して非常に軽く充分に乾燥した眞竹は淡水よりも重さ少なく比重は通常0.9以下である、従てコンクリート施工の際には浮き上る傾向著しき爲め、竹筋位置の確保に深甚の注意と方策が必要である。

(2) 竹の収縮率は長さ、幅、厚さの方向に依り著しく相違し、長さの方向では左程大ではないが幅及び厚さの方向では常に相當量に上り、而も其の種類、竹齡等に依る影響も可なり大なるを以て、コンクリートに對する附着力を減失する因となること多大なれば、之等を最小限度に固定せしむる工夫が最も肝要である。

(3) 竹の吸水量は其の種類、竹齡、材質、季節、環境等に左右せらるゝこと勿論であるが、生物丈けに比較的多量で、眞竹では15乃至25%を常態とする様である。吸水の多量は腐蝕を早め収縮變形率を高むる動機をなすものなれば、豫め充分に乾枯せしむると同時に適當なる防水處理を行ふ必要がある。

(4) 竹の壓縮強さは割合に強く眞竹々管で大體350kg/cm²、同じ割竹で700kg/cm²位は確かにあり、普通配合(容積比1:2:4程度)のコンクリートに比し3倍以上の強さを保持して居る。

(5) 竹の引張強さは極めて強く、眞竹の竹條即ち割竹では節の有無に拘らず2,000kg/cm²は確實で、普通に使用せらるゝ鉄筋鋼材の半分に近き強度を所持するのである。

(6) 竹の應曲強さは大體1,200kg/cm²位であり、其の應剪強さは先づ45kg/cm²位と考へれば大過はない。

(7) 竹材の彈性係数は壓縮引張共に軟鋼材の夫れに比すれば10分の1以下ではあるが、配合1:2:4程度のコンクリートの夫れよりも幾分大なることは明かである。然し研究の乏しい現在の情勢ではコンクリートと同様に見るのが先づ常識で、コンクリートと竹筋の彈性係數比“n”を1に採るのが當分の處少くも穩當の様考へる。

而も此の彈性係數比の大ならざることが竹材應用上に非常な不利益を招いて居る。竹材の彈性係數を一層高め得る様工夫工作することが今後に残る重要研究問題の一つである。

(8) 竹節は多少腐蝕を早め其の内壓力又は應剪力に相當影響を及ぼす様ではあるが、竹筋

コンクリートの如く引張強さを主とする構造物に対しては、防蝕処理を怠らざる限り格別の支障はないと信ずる。

(9) 竹とコンクリートの附着強は甚だ弱く鉄材の約3分の1に過ぎない、而も竹材は材齢に伴ふ収縮變形著しき爲め時と共に漸減の傾向が夥しいのである。附着強増大の研究は竹材利用上の緊急問題と云ふべく、蓋し竹筋外面の加工又は鐵線類の巻立或は乾質粘着劑の塗附等以外に、鐵釘又は竹釘の表面打附なども亦相當効果的かと考へる。

(10) 竹管の内壓力は案外に強く眞竹の如きは有節の長尺物でも、先づ平均 10kg/cm² 即ち静水頭 100 米の水壓には耐え得るのである。唯問題は如何にして耐久力を維持せしむかに係る譯であり、舊來の萬年篋の如く蕨繩棕綱繩等の巻附け又はコールター其の他乾質粘着劑の塗附なども多少の効果は認められて居るが、更に一層効果的な發明があれば竹管の直接利用も大いに擴大する譯である。

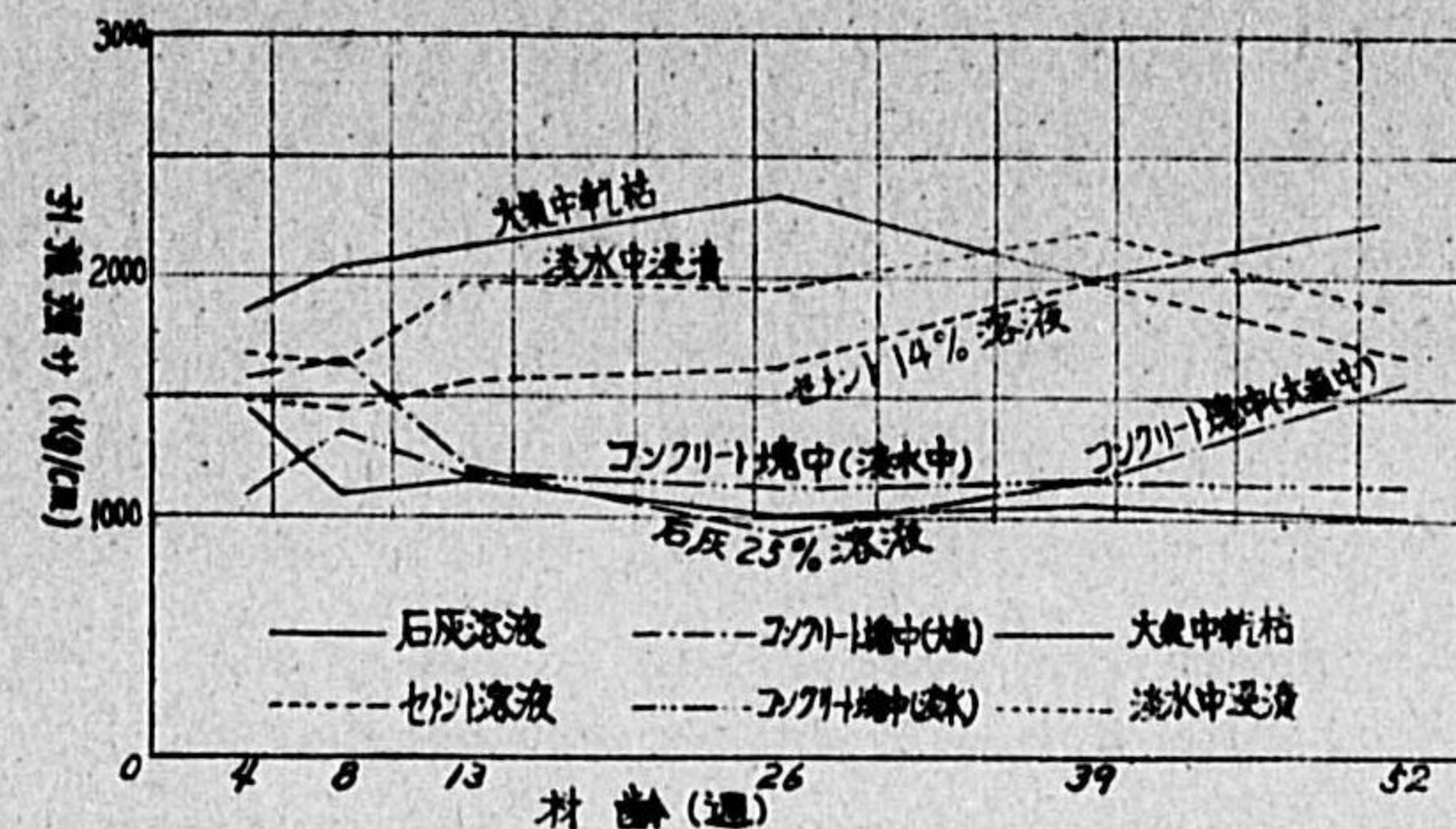
(11) 竹材を淡水中に浸漬したものは屋内に乾枯したものに較べ、1ヶ年後平均 1 割の強度を失つて居るが、共に短期の分より 3ヶ月以上経過のもの程概して強度が増進して居る。之等は畢竟伐採直後の生竹よりも相當期間貯蔵し充分枯らす方が有益なることを指示するのである。

(12) 従來我國で發達した壁下木舞用の眞竹は 300 年経過の後と雖も尙ほ 1,200kg/cm² の引張強さを維持して居る、又 90 年の久しきに涉り屋根裏にあつた煤竹が 1,400kg/cm² の引張強さを保有することが明かとなつた。即ち竹の耐久力は其の保存の方法次第で充分信頼し得らるゝのである。

(13) 壁土内に貯蔵した竹の引張強さは屋内乾枯のものに較べ大體 2 割 5 分内外の強度を失ふ様ではあるが、4 週から 39 週迄強度殆んど一定して變化を見ない。蓋し古來行はれた壁下木舞竹の應用などは竹材の保存活用の上から見て、理想的手段方法の一つと認め得る様である。

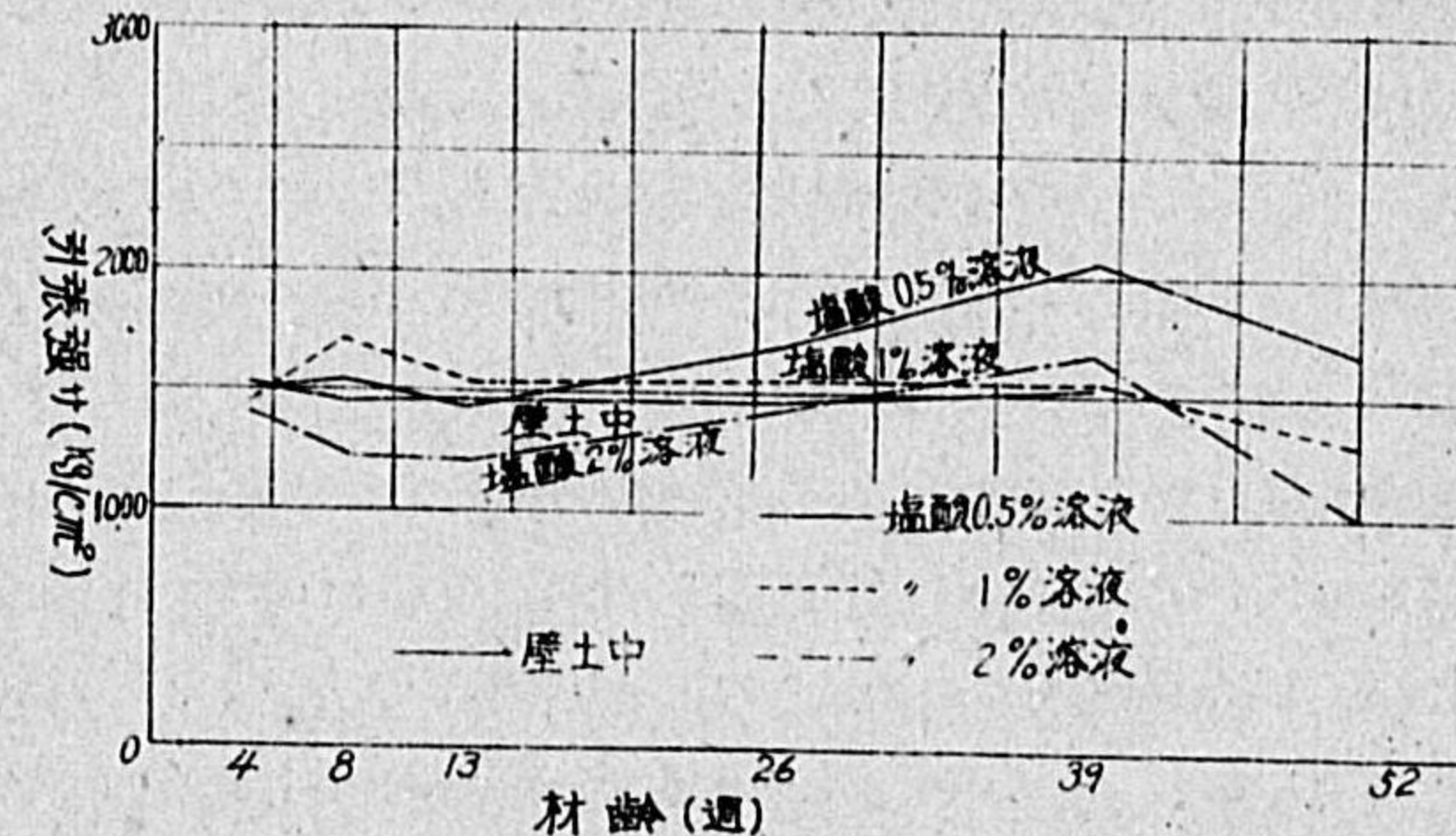
(14) 1ヶ年間配合 1:3:6 コンクリート塊中に保存せる竹材は大氣竝に水中共、屋内乾枯又は水中浸漬のものに比し大體平均3分の1の強度を失つて居る。又セメント 14%溶液中に浸漬して置いた竹材は同 2 割の強度減退に過ぎないが、生石灰 25%溶液中に浸漬した竹材は同 4 割の強度を失ふのである。之等は畢竟竹のアルカリに對する抵抗力の貧弱さを表明するのであつて、竹材に耐アルカリ處理の絶對必要を教へて居るのではあるが、而も此の浸蝕現象は圖-4 に示すが如く 13 週迄は相當に著しいが、爾後は 52 週に及ぶも格別の大變動を現はして居ないのである、即ち竹材のアルカリ侵蝕作用と雖も或る程度に達すれば頓挫し、其の後は大いに緩和するものゝ様にも察せらるゝのであるが、之等の判断は相當長期に涉る精密なる實驗に俟たねばならぬこと勿論である。

圖-4 竹材の耐アルカリ性



(15) 竹の耐酸抵抗は比較的良好で1ヶ年の平均値では屋内乾枯のものに較べ、0.5%溶液中のもので1割5分減、1%溶液中のもので2割5分減、2%溶液中のもので3割5分の強度減に過ぎないのである。即ち竹の耐アルカリ性の微弱さ

圖-5 竹材の耐酸性



に反し耐酸性に就ては意を強ふするに足るのであるが、而も之等は 39 週迄は順當だが 52 週即ち 1ヶ年後には急落して居る。去れど斯かる濃酸性溶液中に半年以上も放置するが如きことは、實際あり得べからざるにより

先づ安全と認めて差支ないかと思ふ。圖-5 は之等の経跡を圖示したものである。

(16) 前掲の結果を綜合して竹材の許容強度を表-57の如く定め度いと思ふ。但し之等は眞竹又は臺灣産桂竹を標準とせしものなれば、淡竹又は孟宗竹使用の場合は更に 2 割程度を減す

表-57

強 度 (kg/cm ²)	竹 種	安全率	種 別	コンクリート外使用		コンクリート内使用	
				破壊強度	許容強度	破壊強度	許容強度
壓縮強さ	眞竹又は桂竹	5	割竹	700	140	450	90
同	同	"	竹管	350	70	225	45
引張強さ	同	"	割竹	2000	400	1300	260
應曲強さ	同	"	"	1200	240	780	156
應剪強さ	同	"	"	45	9	30	6
耐水壓力	同	"	竹管	10	2		
附着強	同	"	割竹			6	1.2

備考 之等は總て素材に對する強度である。

る要がある。又コンクリート内即ち竹筋コンクリートに應用する場合は、アルカリの侵蝕率として35%を減じ、コンクリート外使用の總ての強度に對し約0.65を乗するを至當と考へる。

2. 防蝕と補強

(1) 古來「木六竹八」の傳説ある竹を伐るには8月を最良とすと云ふ。茲に8月とあるは舊曆のこと故新曆では9月末から10月を意味し秋季伐採を最適として居る譯である。即ち竹の伐採は其の生育の停止期なる中秋から初冬の候を最良とするので、9月末から翌年1月迄に行はざれば蝕つき易く故障百出し壽命が短かいと云ふのである。

(2) 竹齡に就ては4~6年を最良とする意見多く、竹筋の如く強度を主眼とするものには3~8年が限度と考へられて居る様である。然し齡ひ30年の老竹でも尙ほ相當の強度を保有する事實に鑑みて、割竹として竹筋に使用する場合などは却て物理的變化の硬結し盡した老竹(せめて15年位迄)も亦寧ろ効果的かと思はれる。

(3) 伐採後竹材を直接雨露に曝すことが最も其の壽命を縮むるのであつて、之等を屋内に乾枯せしめ又は水中に浸漬し或は土中に埋め壁内に收容するか、或は萬年算の如く炭繩又は棕欄繩にて巻附るか屋根裏などに保存すれば相當の壽命を延ばし得るのである。筆者の實驗では屋内乾枯のもの淡水中浸漬のもの共に短期よりも、寧ろ3ヶ月以上經過せるもの、方概して強度の増進を示して居る。貯藏期間の延長、換言すれば枯らす程度の大なるだけ有益なるは明かな様で、要は伐採直後の生竹を使用するよりも3~6ヶ月位は屋内乾枯又は水中貯藏をなし、然る後に使用する方が枯れが充分に廻り物理的變化が安定するだけ得策なのである。

(4) 竹の炙燻又は煮沸が其の防蝕並に補強上効果の著しきは古來周知の事實である。煮沸又は蒸氣乾燥直後の強度こそ一旦は減失するが、臆て常態に復せる曉には防蝕並に強度保全上効果的なることは、煤竹、鰻串、竹釘、竹細工品などの實例に徴するも明かである。

(5) 竹の防蝕防水塗附劑として古來使用された樹脂塗料の中で最も優秀なるは漆で、塗附數回に及べば著しき乾燥性を與へ防水防蝕の效殆んど永久的である。唯漆液は何分にも高價な爲め經濟上一般竹筋材に應用し得ざるは遺憾であるが、ワニス、桐油、亞麻仁油、松脂、木臘、柿澁などの乾燥性樹脂塗附も亦相當有效なりと考へる。

(6) 和漢三才圖會に鰻油を以て竹を炙燻すれば年を経るも蝕つかずとある如く、古來釣竿籠籠其の他の竹製品に魚油を塗り炙燻して防水し保存上偉效を収めて居たことは明かな事實である。

(7) 白ペンキ、アスファルトペイント、コールター、クレオソートなどの塗附も亦竹材の、防水防蝕又は強度保存上或は耐アルカリ處理の一助として、相當効果的なることは諸般の實驗成績により明かである。

(8) カルシウム、ナトリウム、マグネシウム、鹽化カルシウム、鹽化マグネシウムなどの溶液注入は竹材の耐アルカリ處理上有效な様である。従てフーパー竹筋、硬化竹筋、更竹などの特許品は耐アルカリ竹筋として今日販賣せられて居る。

(9) 竹材がコンクリートに對する附着強の大ならざることば非常な缺點である。竹節の存在は附着強を保持する一大要素ではあるがそれだけでは充分でない、前掲の防蝕劑の塗附又は藥液の注入或は針金の巻立なども、附着強を高むる上に多少の効果はあるが尙ほ不充分を免れないのである。依て竹材に外形的特殊の加工を行ひ節と節との間に切込み又は凸凹、折曲げ、捻りなどの障害を設けて、滑脱抵抗を増大し竹筋の離脱を防止せんとする工夫が行はれ來つたのである。眞の附着力増進にあらざる限り理想的とは云へないが、之ですら相當竹筋の離脱を支へ効果的なることは確かに認められて居る様である。

(10) 竹材の防蝕硬化補強等に關する研究工夫は近來著しく發達し、發明又は新案の特許なども夥だしい様ではあるが尙ほ未だ完備の域には前途遠遠であり、五里霧中に彷徨するの觀あるは遺憾の極みと云ふべきである。

3. 應用の範圍

叙上の如く竹材には耐アルカリ性の微弱なること、風化腐蝕の憂ひ大なること、水分の吸收著しき爲め變形收縮の度甚だしきこと、コンクリートに對する附着強の鮮少なること、彈性係數の大ならざること、蟲害火災の虞れあること、従て之等の缺陷を刈除して耐久力に關する懸念を一掃する迄には、尙ほ幾多の研究と改善練磨の方策が残されて居る譯で、之には油斷なき今後の努力奮勵に俟たねばならぬこと勿論である。

惟ふに、竹は東亞の特産物にして到る處に繁殖し成長の速かなること、強度の極めて大なること、纖維の強靱なること、重き軽く伐採運搬に至便なること、増産の容易なることなど比類なき多分の特徴を備ふるのである。去れば研究さへ充實すれば廣汎なる既往の應用以外に、竹筋コンクリートとしての活用は云ふ迄もなく、化學方面への進出も亦決して不可能ならずと信ずる。

現在の研究程度では竹筋コンクリートの無筋に優るは疑ひなきことなれども、去りて俄かに鐵筋の域を摩し永久的主要構造物への適用には、尙ほ少なからぬ不安が残つて居ると思ふ。従て竹筋工應用の範圍は自ら制限を受け直ちに重要施設に對する代用の如きは殆んど覺束ない。去れば當分は輕微なもの、荷重の少なきもの、半永久構造物などに應用し、暫く之等の實績と爾後の經驗發達を檢察して徐ろに漸進策を講ずるより外致し方はないと考へる。恰も之が好例は鐵筋コンクリート工の初期にもあつたことで、我國に鐵筋工の初めて傳來したのは明治35,6年の頃であるが、當時鐵筋が錆びるとか、構造物が孱弱になるとか、永久的でないなどの杞憂論が仲々盛んで、斯界の大家先達程之等の活用を回避せんとする傾向が著しく容易に實現に至

らなかつたのである。幸に當時の青年技術者中（今は皆60歳以上の老人だが）に直木倫太郎、井上秀二、眞島健三郎、佐野利器、太田圓三、後藤佐彦及び筆者などの好學熱情の輩があり、萬障を排して輕微のもの、やり易きものなどから實地に之を應用し、偉大なる實績を如實に示したのが今日の隆盛を來す素因をなしたのである。竹筋工に就ても現在同様の感なきにしもあらずと思ふ。之れから大いに實績を示し効果を宣傳する研究工夫が緊要なのである。

今日迄の處、竹筋コンクリート工の適用は輕微な試験的構造物に殆んど限られて居る。安藝一氏の施工した山梨縣釜無川筋水制工事、農林省白河治水試験所氣象觀測舎などを主とし、其の他は下水管、小桁梁、床版、小徑間橋梁、橋脚、覆蓋類、各種の柱又は橋臺、護岸、擁壁、塀柵、小規模の建築、壁下ラス、井戸側、水槽、家畜小屋などに過ぎないのであるが、之等と雖も相當の年限を経過すれば實績調査には相當役立つと思ふ。要は輕微なもので構結故成るべく多數の實現を企圖し研究資料を提供すると同時に、竹の特性を助長し其の缺陷を補足する爲め科學的研鑽を充實することであつて、徐ろに小より大に輕より重に應用範圍を漸進的に擴大することが、最も至當の處置であり穩當の方策と考へらるゝのである。

目下に於て竹筋コンクリート工應用上最も容易で効果的なものは先づ管類版類柱類などであらうか。管の主筋は輪狀をなす爲め單輪を組合はする場合も亦は螺旋狀に編む場合でも共に末端は緊結されて仕舞ふ。從て附着強小なるも全體として竹筋の離脱する傾向を充分防止することが出来る、之が専らコンクリートと竹筋の一貫作業を援け、其の強度を他種構造物よりも一層發揮せしめ得る主因となるのである。版類も亦竹筋末端の緊結折曲げ等自在なので受臺の重ね合せに相當の餘裕を置けば管同様の理由が成立つのであり、柱類は壓縮強さを主眼とするものなれば相當の範圍迄の適用は格別至難でないのである。

尙ほ時局柄鐵鋼節約第一主義から云へば慢然として不安下に無筋又は竹筋の構造物を選ぶよりは、寧ろ竹鐵混合筋即ち鋼と竹とを適當に組み合わせ補強したるコンクリート構造物の採用を薦めたいと思ふ。好例として下水管を擧ぐれば次の如き結論が見出さるゝのである。

- (1) 無筋管は皸裂發生と同時に崩壊するを以て安全率は零である。
- (2) 竹筋管は無筋管と比較し工費幾何も増加せずして其の皸裂強度 14% を増進することが出来る。而も竹筋管は皸裂後崩壊迄に尙ほ 2.11 倍の荷重に耐ふるを以て充分な安全性を期待することが出来、耐久に關する懸念さへ解消すれば非常な貢獻を廣らすのである。
- (3) 竹筋管を鐵筋管と比較するに工費は相當減額するが其の皸裂荷重は 24% も弱く、且つ崩壊に至る迄の安全度も幾分劣等なるは免れないのみならず耐久に對する不安がある。從て重荷の通る交通頻繁な主要街路などに竹筋管使用は避くべきである。
- (4) 主筋（横）を鋼とし助筋（縦）を竹としたコンクリート管は、鐵筋管と比較し外壓に對する影響など殆んど甲乙がない、而も斯くすることに依り鐵筋量 3 割の節約は可能である。

コンクリート中の竹材と雖も相當處理すれば數十年の壽命は確かと思ふ。通常の下水道用、灌漑又は排水用の暗渠などには完全に應用が出来るのである。

(5) 主筋に鋼と竹を交互に組合せ助筋を竹とするコンクリート管も亦鐵鋼節約の爲めには結構な思ひ付きである。強度は竹筋管よりも稍々強く安全觀も信頼が出来る様に思ふのが人情である。而も之に依り鐵筋量の約 6 割が節減さるゝので、場末の下水道管又は耕地整理の用悪水管などには充分代用し得ると考へる。

今日の場合筆者の所見は大體叙上の如くであるが、少くも管に對する此の考へは版床にも柱にも桁梁にも小橋梁などにも直ちに適用出来ると思ふ。依て茲に研究心強き活力ある若い好學の人、信念のある人、裁斷力に富む人達に萬腔の信頼を捧げ、大東亞文明啓發の爲め竹材研究の大成を切望して本文を一先づ擱筆する次第である。

昭和十八年十二月十五日印刷
昭和十八年十二月二十日發行 (1000部)

出文協承認
あ 370245 號



竹 の 研 究

(日本標準規格B列5號)

④定價	¥ 3.00	合計	¥ 3.26
特別行爲 稅相當額	¥ .26		

送料 { 内地 .35
 外地 .60

著 作 者 茂 庭 忠 次 郎
 東京都中野區新井町三二三

發 行 兼
印 刷 者 木 下 武 之 助
 東京都神田區旅籠町三ノ六
 土木技術社代表者

印 刷 所 合名 不 二 印 刷 社
 (東京 2476 番)
 東京都京橋區八丁堀四丁目五

東京都神田區旅籠町三ノ六
發 行 所 土 木 技 術 社
 電話下谷(83) 8008・8009 振替東京170593番
 日本出版會々員番號 120012號

東京都神田區淡路町二ノ九
配 給 元 日 本 出 版 配 給 株 式 會 社

略 歷

明治三七年七月	東京帝國大學工科大学土木科卒業
大正八年七月	工學博士
現 在	内務技師, 復興局技師, 日本大學 工學部長, 名古屋市技師, 各都市 水道顧問, 都市計畫地方委員等

980
6

511.49-Mo33ウ



1200500744903

終