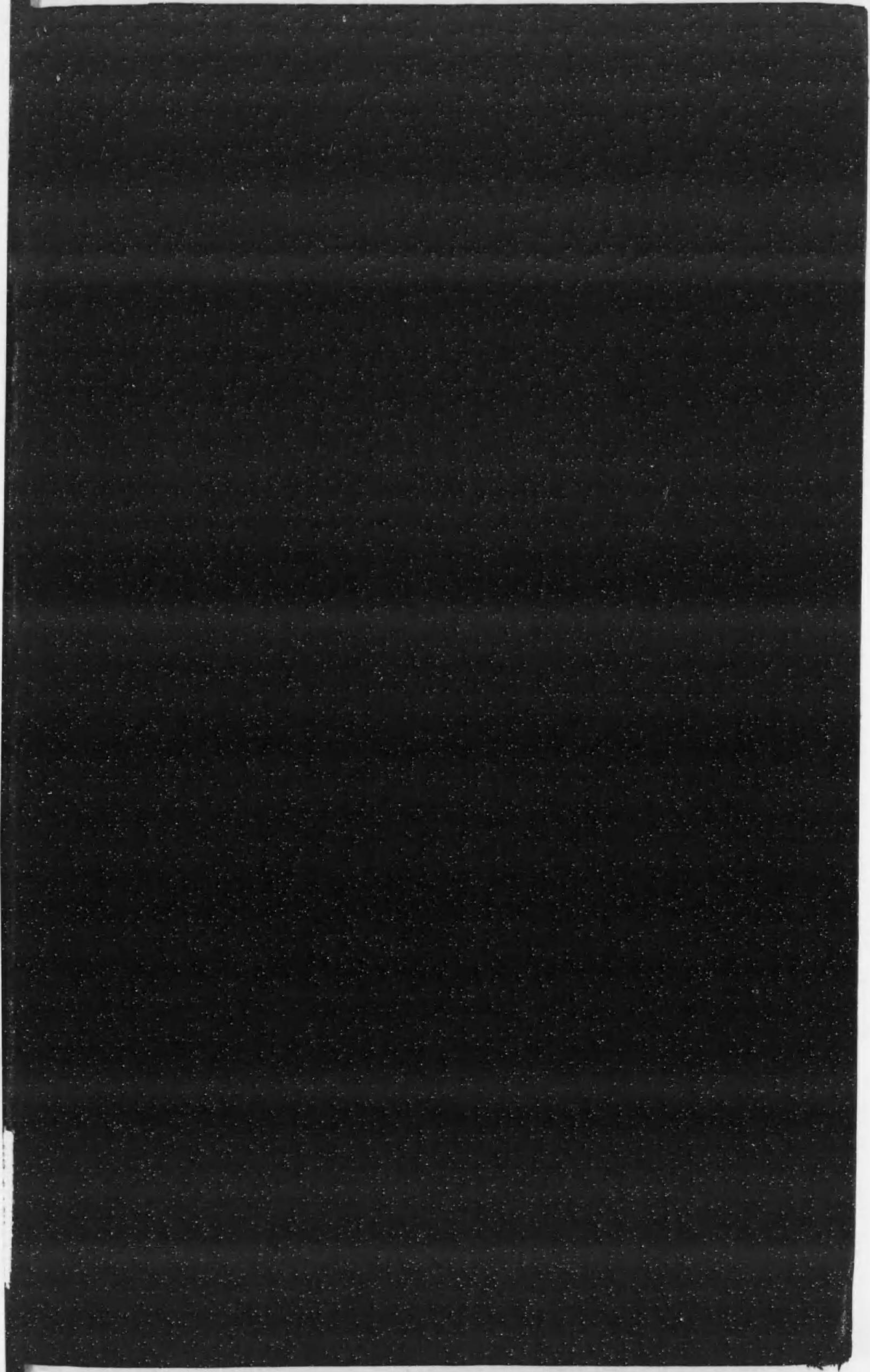


始

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10^{cm} 1 2 3 4 5



520
17

鐵塔之設計

工學士 岡 義 明 共著
大元政一郎

才一ム社叢書第三卷

1925

大正
14. 3. 19
寄贈

社
寄贈本

本書の著述に就て

鐵塔の送電線路は、關東方面では、既に十數年の以前から、至る處に長蛇の如く横たはつて居りますが、關西地方で鐵塔送電線路が衆人の目につき出したのは、實に一昨年からの事であります。私は此事實を以て、關西地方が關東地方に比し電氣事業に於て劣つて居るからであるとは決して思つて居りません。關西は關東に比し石炭價は比較的安價で、且つ琵琶湖と言ふ理想的の貯水池が大都市の附近に位置を占めて居る關係があり、その上電柱用の木材が、是れ亦關西では、關東よりも多少安價にて求め得らるゝと言ふ理由があつたので、斯くの如く關東至る處で認め得る鐵塔送電線路が、關西では前年まで、わずかに川越か或は鐵道越しの處で散見する位の有様であつたのであると、私は信ずるのであります。然るに昨年來斯くの如き事情の下にある關西方面ですら、鐵塔の送電線路が驚くばかりの有様で至る處に現はれ、今や攝河泉の平野の如きは、鐵塔の林立と言ふても過言ではない程、建設さるゝに至つたと言ふ事實は、鐵塔は今や全国的に必要となつたと言ふ事を語るものではないかと思ひます。即ち木柱は今後の特別高壓送電線路用電柱としては、數年ならずして全然影を没す可く、次いで普通高壓線路の木柱も、漸次に鐵塔或は鐵柱の爲めに驅逐せられ、遂には電柱なる意味は、特別の注意がなければ、一般に鐵塔の事か、或は鐵柱の事であると解釋さるゝ様になる時代は、決して遠き未來ではなからうと思ひます。然る時には、鐵塔の設計と言ふ事は、電氣技術者の仕事として頗る重要なる位置を占むる事となる。

處が鐵塔の設計と言ふ事は、發電機や變壓器の設計と餘程趣きを異にして居る關係上、一般電氣技術者の内には、その設計の出来ない人が余程多い様に見受けられます。

鐵塔の比較的少なかつた今日までならば、鐵塔設計の出來得る電氣技術者は澤山なくつてもよかつた。時たま川越か鐵道越に、鐵塔建設が必要となつても、臨時に土木技術者に設計を依頼してもそれで事は足りて居つた。然しながら上述の通り、鐵塔で送電線路を建設する事が、當り前の話になる時代になつて見れば、そう言ふ譯には行かぬ。我が事は我れ自ら處置して行かぬばならぬが故に、今後は鐵塔設計の出來ない者は、電氣技術者也と大きな顔は出來ない事になる。以上の推論からと、それから私自身が只今鐵塔送電線路建設工事に従事して居ると言ふ事と、それから執筆著述をすると言ふ事は、私は飯を食ふよりも好きであると言ふ事の三つの理由に依り、私は本書の著述を一昨年中頃に思ひ立つたのであります。

然し、私は其時には……實は今でもですが、二三のやりかゝつた著述を本職の鐵塔建設工事のあいまいにやつて居つて、約束をした處から、催促を受けづめに受けて居るが、思ふ様に筆が進まぬので困つて居る時であるので直ぐに鐵塔設計法の著述に取りかゝる譯にいかぬ、と言ふて鐵塔に關する著述をするなら今である、同じやるなら、出来るだけ澤山の人の爲めに間に合せ度い、それには今であると、私は固く信じて居る。さればとて今やりつゝある著述を中止するのも何だか都合がわるいので、茲に軽い一種の煩悶の様なものを感じて居りました。處が同僚、即ち私と同一會社の技師で、且つ又私と共に同じ鐵塔送電線路建設工事に従事して居る大元政一郎君が、私と同一意見をもつて居る事を發見したので、私は同君に

勤めて、二人共力して本書を著述する事にしたのであります。但し私は上記の通りの状態にあるので、本書の内容は二人共力でありましたが、執筆の勞は、全然大元君に依りて拂はれたのであります。而して著者自身が内容を賞讃するのは可笑しいが、若し本書が私が信ずる通り、世の中でも立派な著述であると認めて下さるならば、私は私の名が、本書の名譽ある著者として大元君と肩を並べて記名せらるゝ事は、大元君に對し氣の毒な様な氣がします。如何となれば、本書は右述の通り、内容は共力であるが、勞力の九割九分までは、大元君が負擔したからで、而して私は大元君と同様に著者として名を連ねる事は、大元君の名譽の二分之一だけ、横取りする様な氣がするからであります。それで本書の草稿が完成された時に、大元君に單獨著述の名義にする可く勧めましたが、同君は謙遜して承知しない。而して餘りにそれを無理に勧めると、私が責任を廻避したがつて居る様に取りられるので、遂に初めの豫定通り 人共著としたのであります。

大正十四年二月

岡 義 明

鐵塔と其設計

目次

第一章 鐵塔の防錆

1 防錆方法の種類.....	1
2 ペーティング.....	2
3 ホットガルバナイジング.....	4
4 コールドガルバナイジング.....	7
5 ドライガルバナイジング.....	8

第二章 安全係數

6 安全係數の要.....	10
7 安全係數の値.....	13
8 試験安全係數.....	15

第三章 電線及架空地線の種類

9 銅線.....	16
10 アルミナム線.....	19
11 鐵線及鋼線.....	21
12 銅被鋼線.....	25
13 合金線.....	25
14 鋼心アルミナム線.....	26
15 撚線と單一線.....	36

第四章 弛度の計算

16 弛度の根本方式.....	41
17 電線の長さ.....	43
18 電線に引ける切線の方向.....	43
19 兩支持點に高低差ある場合の弛度.....	44
20 注 意.....	49
21 弛度及張力と溫度との關係.....	50
22 電線自身の重量のみを支持するものとして或る安全係數を與へて最低溫度に於ける弛度を定めたる場合同一溫度にて氷雪及風壓の爲め電線に荷重加はりたる場合の弛度及張力.....	57
23 電線の太さと荷重の影響.....	61

第五章 鐵塔用材片の強度

24 鐵塔用材料.....	64
25 抗張材の強度.....	78
26 抗壓材の強度.....	79
27 ボールト又はリベットの強度.....	81
28 ボールト又はリベットの支持力.....	82
29 彎曲に對する強度.....	83

第六章 鐵塔に加はる荷重

30 鐵塔に加はる荷重の分類.....	85
31 垂直荷重.....	85
32 水平横荷重.....	87
33 水平縦荷重.....	97
34 總合荷重.....	103

第七章 徑間距離

35 經濟的徑間距離.....	113
36 徑間距離の選定.....	114

第八章 鐵塔の型

37 鐵塔の種類.....	116
38 鐵塔の型.....	122
39 鐵塔の型に關係ある事項.....	129
40 鐵塔の型の選定.....	141

第九章 應力圖

41 應力圖.....	145
-------------	-----

第十章 鐵塔各部の構造

42 細長比.....	166
43 用材の厚.....	170
44 ボールト及リベット.....	170
45 鐵塔各部の構造.....	173

第十一章 鐵塔の基礎

46 基礎の強度.....	184
47 基礎構造.....	189

第十二章 鐵塔設計の例

48 設計條件.....	193
49 固定鐵塔設計.....	194
50 可撓鐵塔設計.....	211

第十三章 鐵塔強度の試験

51 鐵塔強度試験の必要.....	220
52 鐵塔強度の試験方法.....	220
附 表.....	223

—(以上)—



第一章 鐵塔の防錆

【Protective Coating for Tower】

1 防錆方法の種類 鋼材は大氣中に於て錆を生じ、漸次強度を失ふは勿論のこと、煤煙や海風等の當る場合は特に速に腐蝕される。故に此の錆や腐蝕を防がないと鐵塔の壽命が非常に短くなる。それで鐵塔は其の構成鋼材の表面に必ず防錆物を施すのであるが、此の防錆方法に二種類ある。一つはペーンチングであつて他はガルバナイジングである。ペーンチングは鐵塔構成材の表面にペントを塗るのであつて、ガルバナイジングは構成材の表面に亞鉛の層を作らしむるのである。ペーンチングは塗施物の層によりて鐵材を機械的に保護するのみである故、若し塗施物の層に肉眼で認められない程度位でも切れ目があれば、鐵材は其處で大氣に露出されて錆を生ずる故、非常に注意して塗工せねばならぬ。之れに反してガルバナイジングは亞鉛層に依つて機械的に鐵材を保護するばかりでなく、僅かばかりの亞鉛層の切れ目が出来て、鐵材が直接大氣に露出する事があつても、この部分に隣接せる亞鉛層の亞鉛が自然に此處に沈澱され

て、露出した部分の鐵材の表面を亜鉛層で覆ひ保護する。何となれば亜鉛は鐵に比し電氣的陽性度が高い爲めに、この亜鉛と露出した部分の鐵とが大氣中の水分の助けによつて電解槽を形成し、亜鉛は anode となり鐵は cathode となるに依り、鐵面の上に亜鉛が沈澱して層を作る。それ故ガルバナイジングは、ペーティングよりも遙に信頼が出来る。又ガルバナイジングはペーティングの如く剝落する憂もない。ペーティングは時々塗換へる煩もある。送電線路の鐵塔は山間避地に散在して設けらるゝを以てペーティングの塗換への場合經費を多く要し、尙鐵塔 (wide base tower) は職人が前後左右に位置を換へて塗らねば全部を塗り得ない不便もある。故に送電線路の鐵塔の防錆には、普くガルバナイジングが行はれている。然し鐵塔の附近に煙突がある場合や、悪瓦斯を發生する工場がある場合や、瓦斯を發生する土質の地方を送電線路が通過する場合には、ガルバナイジングは充分なる保護をなし得なくて、反つて、ペーティングが有効な場合も無いではない。又交通不便でない所に設けられたる鐵柱の如きは、ペーティングの塗換費安くなるを以て必ずしもガルバナイジングに依らなくともよい。ガルバナイジングにはホット ガルバナイジングと、コールド ガルバナイジングと、ドライ ガルバナイジングとの三種ある。

2 ペーティング (Painting) ペーティングは一回の工場塗 (shop coat) と一回の現場塗 (field coat) と合計二回で足りる。安全の爲めに現場塗を二回とし工場塗と合計三回行へば尙結構である。けれども工場塗一回現場塗一回とし他の一回は兩三年後へ延ばしても差支なく、反つて經濟的であるとも云はれる。

工場塗は鐵塔製造者の工場内に於て行ふもので、材片の表面を清潔にし

錆等を十分に除きたる上にペーティングせねばならぬ。又ペーティングしたる材片は相當の日時を経て乾きたる後でないといふに曝してはならぬ。工場塗としてペーティングの代りにリンシード油 (linseed oil) を用ふる事がある。然しこれを用ゆると現場塗のペーティングに泡が出来或は片剝出來易き等の不成績を來たす故に避くるがよい。又工場塗として光明丹を用ゆる事は宜敷い。光明丹は錆止めの効力が非常に強いからである。

現場塗の場合には最初の工場塗のペーティングの表面の泥芥等を掃除し工場塗に泡がある等の欠點あらば、之れをスクレープして清潔にし、然る後にペーティングせねばならぬ。而して現場塗は必ず鐵塔の建設を終り電線の架線も終り工事が完成したる後に行はねばペーティングを損する恐がある。

一般にペーティングを行ふに當りては、清潔にされた面に施すべきは勿論でブラツシの損料を考へず力を入れて強く塗らねばならぬ。

ペーティングは普通 1 罐 28 封度入である。塗工に用ゆるには之れにボイル油 2 升乃至 3 升とテレフィン油 2 合乃至 3 合とを加へて攪拌すればよい。

光明丹は 28 封度に對しボイル油約 4 升を混すればよい。そしてすべてのペーティングは使用する度毎に使用に先だちて必ず十分に攪拌しなければならぬ。餘程氣を付けて居ても桶の底の方のペーティングは濃くなり勝である故によく注意すべきである。ペーティングは乾き易き故蓋を開きたる容器は必ず相當の覆をして乾燥を防ぐと同時に、塵芥や水等も入らない様に保護せねばならぬ。鐵塔保守當時のペーティングは最も注意を要するもので、巡視人が注意してペーティングが甚敷損ぜられない内に塗換するならば、ガルバナイジングにも劣らぬ好成績を得るものである。又保守の際ペーティン

グ塗換を行ふ場合には汚塵等を除くは勿論、先のペイントの下に錆が生じている場合には必ず其部のペイントを除き錆をも掃除してペーンチングしないと錆の進行を防ぎ得ない。

ペーンチングの成績はペイントの品質に依ることは勿論であるが、塗工の場合の注意が最も關係する故に慎重に注意して施工せねばならぬ。次の第1表はペーンチングを施した鐵塔の成績報告を集めたものである。

第1表 ペーンチングされた鐵塔の成績報告表 (1915年)

鐵塔數	建設年度	基礎	報告當時の状態
697	1909	コンクリート	再度のペーンチングを施さざれども好成績
127	1911	ガルバナイズド	甚良好(但掃除不行届の汚點に微に錆あり)
78	1912	コンクリート	腐蝕微にあり
364	1912	"	腐蝕あり。工場塗のみにて建設せし故1914年再度の塗の頃已に錆生ぜり
262	1913		極輕微の腐蝕あり
158	1913	ガルバナイズド	腐蝕無し

3. ホットガルバナイジング【Hot galvanizing】

ホットガルバナイジングは熔解せる亜鉛中に鐵材を浸すことに依りて、鐵の表面に亜鉛層を作らしむる方法であつて、俗にテンプラ亜鉛鍍と云ふ。ホットガルバナイジングは次の三要件を具へたるものでなくてはならぬ。

- (A) 粘り強く且適當な厚さの一樣な亜鉛層が切目なく材片を覆ふこと。
- (B) 亜鉛層に泡等が生ぜざること。
- (C) 亜鉛層が鐵材に堅く附着すること。

純粹の亜鉛を用ゆれば粘り強き層を得且堅く附着し易し。又ピツクリング(Pickling)を行へば泡を無くし得。之れピツクリングに依り鐵材の表面の

汚物を去り得る故である。【ピツクリングとは酸類の液中に鐵材を浸し清むることを云ふ】

次にホットガルバナイジングに依り良成績を得る爲めのガルバナイジングの方法を述ぶ。

先づ稀硫酸の液中に鐵材を浸し其表面を清む。このピツクリングの後には水で洗ふても洗はなくてもよい。面をよく檢視して汚點あらば除かねばならぬ。次に鹽酸槽中に浸し爐又は熔解亜鉛槽の上方にて熱を加へる。次に熔けたる亜鉛中にガルバナイジングさるべき鐵材を入れ、適當の時間を經て之れから取り出す。取り出す場合には鐵材が全部亜鉛内を離れる迄に餘分の亜鉛を垂れさす、然らざれば亜鉛のつらゝが出来る。

亜鉛槽の大きさは如何様にも出来るけれ共普通巾3呎、深3呎、長25呎位である。故に長いものにガルバナイジングを施すには其一端を浸し次に他端を浸さねばならぬ。其爲めに中央ではガルバナイジングが二層になることゝなる。然しこれは必ずしも悪成績の結果を生ずるものでない。只薄い板等は兩端を浸す爲めの作業中に曲る憂があるのは欠點である。ガルバナイジングに用ゆる亜鉛は良質のものでないと良成績は得難い。次の成分のものは良質のものである。即鉛0.07%、鐵0.03%、カドミウム0.05%以上を含まず、そして鉛鐵及カドミウムを合計しても0.1%以上を含まず、且つアルミニウムを絶対に含まぬものが上等のものである。

ガルバナイジングの成績を試験するには次の如くすればよい。

ガルバナイジングの試験方法

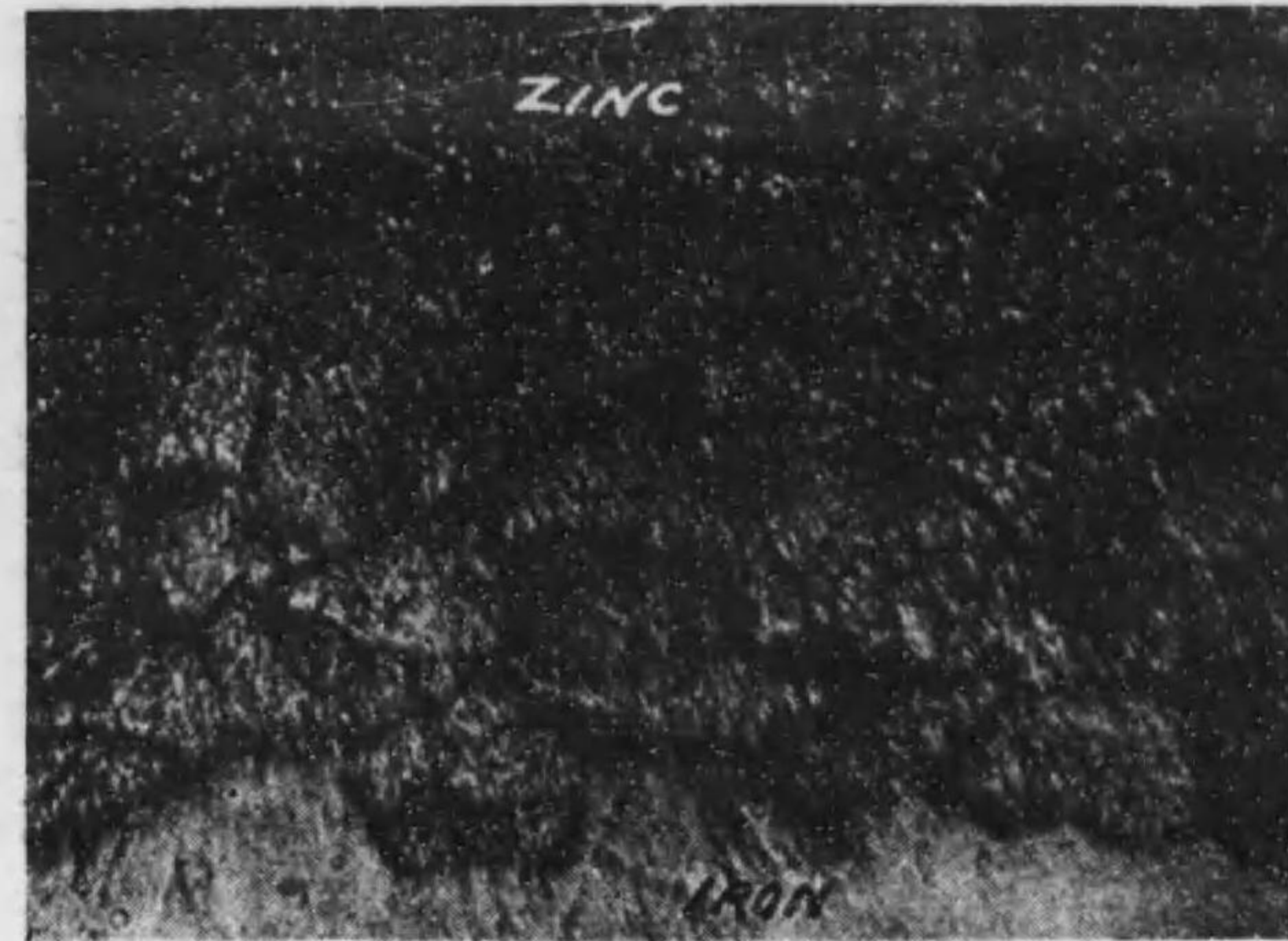
華氏62度乃至68度の温度に保たれたる硫酸銅の溶液(重量にて結晶硫酸銅36水100の割合)中に供試材を浸し之れを同温度の清水にて洗ひ繼續に

て拭ひ、同じことを前後四回繰返し最後に於ても供試材の表面に銅の沈澱が出来なければ良い。鐵線の如く彎曲作業を受け或は撚扭作業を受ける物に對してはガルバナイジングの試験には彎曲試験、撚扭試験をも行ふ事を要す。

次の第2表はホットガルバナイジングされた鐵塔の成績實例である。

第2表 ガルバナイジングを施した鐵塔の成績表

鐵塔數	建設年度	基礎	1915年報告當時の状態
184	1906	土地	良好
160	全	全	全
111	1909	全	腐蝕なし
244	全	全	全
913	全	ベーンテド	鹽水のしぶきの當る部分に幾分の腐蝕あり
220	1911	土地	ボールドの外特に錆と云ふべき徴候なし
242	全	全	腐蝕なし
82	全	コンクリート	全く満足の状態
387	全	全	良好
748	全	全	全
593	1912	土地	腐蝕の徴候なし
1041	全	コンクリート	全
324	全	ベーンテド	良好
1852	全	土地	全
1079	1913	全	全
33	全	コンクリート	腐蝕なし
851	全	全	全
64	全	全	全
150	全	土地	ボールドの外特に錆と云ふべき徴候なし

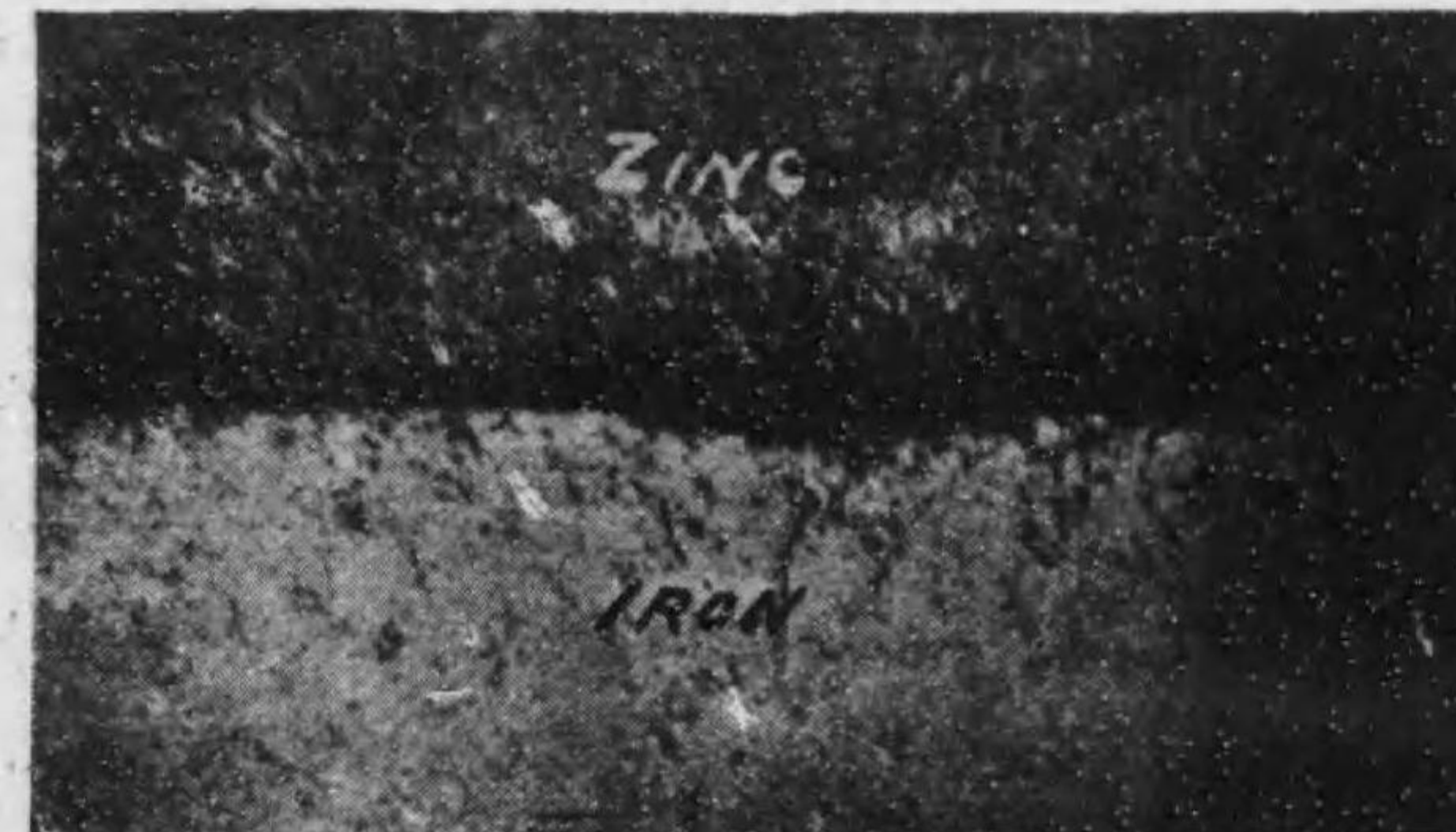


第1圖 ホットガルバナイジング断面構層寫眞(約350倍擴大)

第1圖はホットガルバナイジングの亜鉛層の切斷面を擴大した寫眞で、亜鉛層の鐵に接する部分は鐵と亜鉛の合金とからなつてゐる。

4. コールドガルバナイジング【Cold Galvanizing】

これは電解槽により鐵材の表面に亜鉛鍍金を施すもので、鐵材の表面に付く亜鉛は純粹のものである。ホットガルバナイジングでは純粹の亜鉛



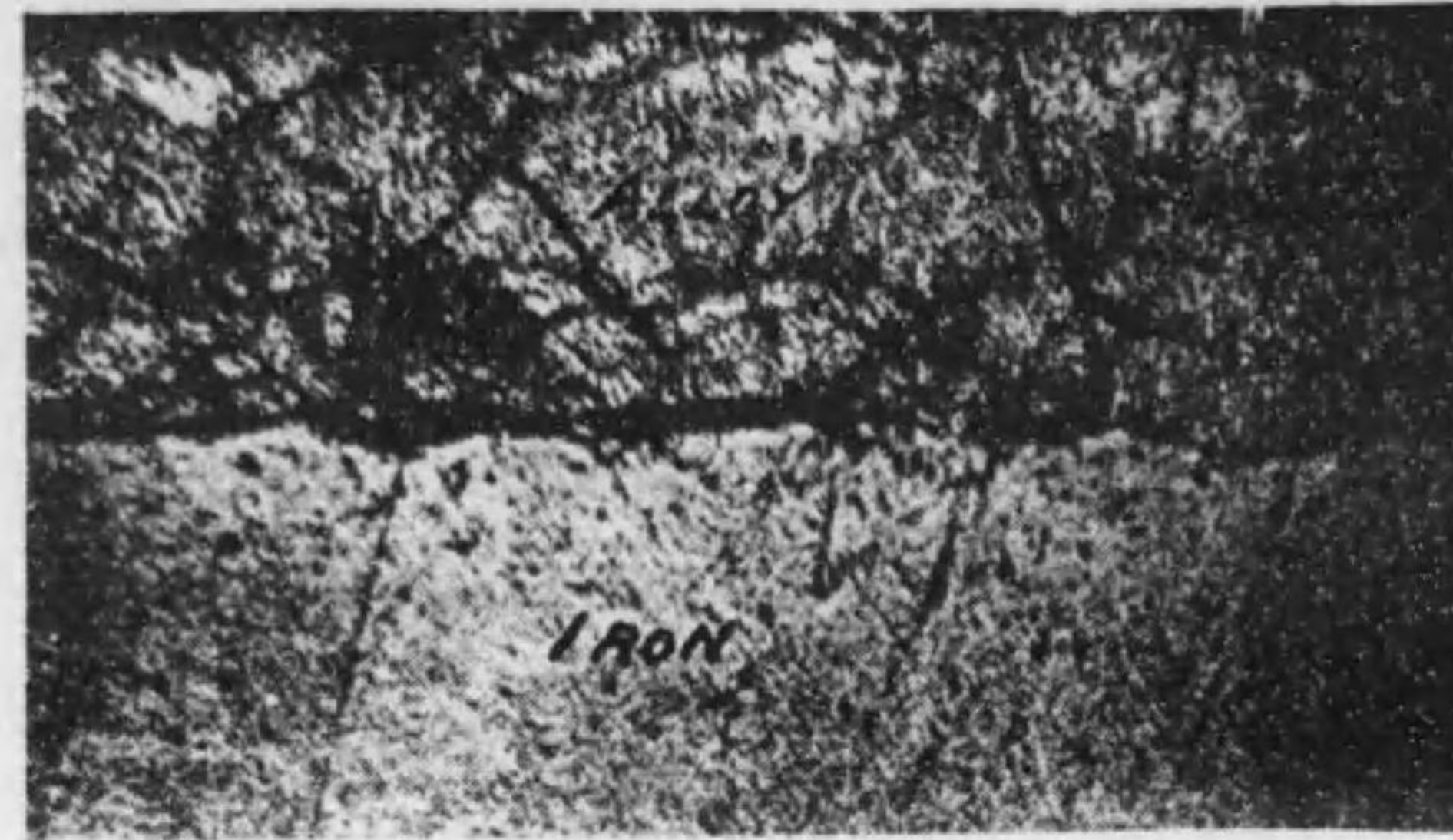
第2圖 コールドガルバナイジング断面寫眞(約350倍擴大)

が出来ず、全体の亜鉛層の内95%乃至96%が亜鉛で2%乃至4%が鐵で其他は錫及錫等の少量である。そしてホットガルバナイジングの場合鐵は亜鉛と合金となつて居れば純粹の亜鉛層よりも結着力非常に大きく従つて剥落の憂無く防錆作用も大きく且信頼出来る事となる。コールドガルバナイジングはホットガルバナイジングに比し亜鉛層が剥落し易く且費用も多く要する故鐵塔等の防錆には殆ど用ひられない。第2圖はコールドガルバナイジングの切斷面を擴大した寫眞である。

5. ドライガルバナイジング [Dry Galvanizing]

この法は Sherardizing と云ひ鐵材の表面に亜鉛の vapour を作用せしめ鐵と亜鉛との合金にて鐵材の表面を被はしめるのである。之を行ふには drum 内に亜鉛製出の時の副産物なる zinc dust を入れ尙之れにシェラーダイジングさるべき鐵をも入れ、華氏溫度 500度乃至 600度に保ち、緩く drum を回轉しつつ數時間經過すればよい。drum に納める爲めにあまり大きな品物はシェラーダイジングには困難である。ホットガルバナイジングをボルトの如き捻子を切つた品物に施すと、ボルトとナツトとが合はなくなる。シェラーダイジングには斯の如き缺點がない故、ボルトやナツトの防錆には都合がよい。シェラーダイジングを施した品物の表面はホットガルバナイジングを施した如く亜鉛の光澤がないのみならず、長き日數を経んでも時として錆を見受ける。而しこの錆は必ずしも内部の鐵の錆でなく鐵と亜鉛との合金から鐵が分離して錆を生じたものが多い故心配するに及ばない。シェラーダイジングを施したる面は粗である故、此上にペーティングを施すには都合がよい。鐵塔等の防錆にはボルト類にシ

ェラーダイジングを施し、他の材片にはホットガルバナイジングを施すことが普通に行はれている。そして斯くするが良いと思はれる。第3圖の寫眞



第3圖 シェラーダイジング斷面構層寫眞(約35°倍擴大)

はシェラーダイジングを施した場合の切斷面の構層擴大をしたものである。

第二章 安全係數 [Factor of Safety]

6. 安全係數の要 安全係數は誤に對して見込むべき餘裕である故に、少しも誤差の生ずる憂がない場合の設計には、安全係數を取る必要がない。安全係數なる言葉は、寧ろ無知識係數 (factor of ignorance) と云ふが適切であるとも云はれている。然し吾人は誤差の全く生じない條件のみに依りて設計し得る場合殆ど皆無である故に、鐵塔に限らず何物を設計するにも見込むべき餘裕を種々なる方面から考へ、其等の餘裕の合計を以て安全係數とせねばならぬ。そしてこの安全係數は次のものよりなると考へることが出来る。

- (a) 超過荷重に對する餘裕
- (b) 材料の強度の不安に對する餘裕
- (c) 製作並に建設の誤差に對する餘裕
- (d) 傷に對する餘裕
- (e) 材料強度低下に對する餘裕

【a】 超過荷重に對する餘裕

鐵塔の設計に當り之に加はる荷重の取り方に依つて、鐵塔は軽くも重くも出来ることは明である。設計の場合想定したより以上の荷重が加はると、鐵塔は倒れる憂がある故に、荷重の想定は甚だ大切である。其筋の取締規則や測候所の記録や從來の實例等に依り荷重を定めるが普通であるけれど、之とても安心は出来ない。測候所の記録の如きは測候設備を置いてある地點の觀測である故他の地點に對しては正確でない。大阪測候所は先年築港へ移轉したのであるが、移轉前市内にありたる時と比較して暴風の

回數の記録が非常に増加した。これは市内よりも築港の方が風速大なるが爲めである。斯くの如く風・雪・温度等は各地點によつて大差を生ずる。故に取締規則や測候所記録等に依つて荷重を想定して設計する場合でも、尙之以上の荷重が何時起らんとも測られぬ故、荷重が想定以上に超過するの對して餘裕を見込んで設計せねばならぬ。即これが安全係數の一部分である。

(b) 材料強度の不安に對する餘裕

材料の強度に關しては種々なる實驗の結果が澤山發表されて居るけれど、實際に於ては絶對の信頼は出来ない。例へば鐵塔用の鋼材にしても種類千差萬別で、且同じ種類の鋼材でも十個の材片が皆同一の強度を有していることは殆ど無い。それ故鐵塔設計に當り用材を定めたならば、それに相當する強さを計算する場合、材片を充分試験して強度を求めたとしても、多數の材料中には強度不足のものが無いとも限らない。故に之れに對しても餘裕を見込まねばならぬ。これ亦安全係數の一部分となる。

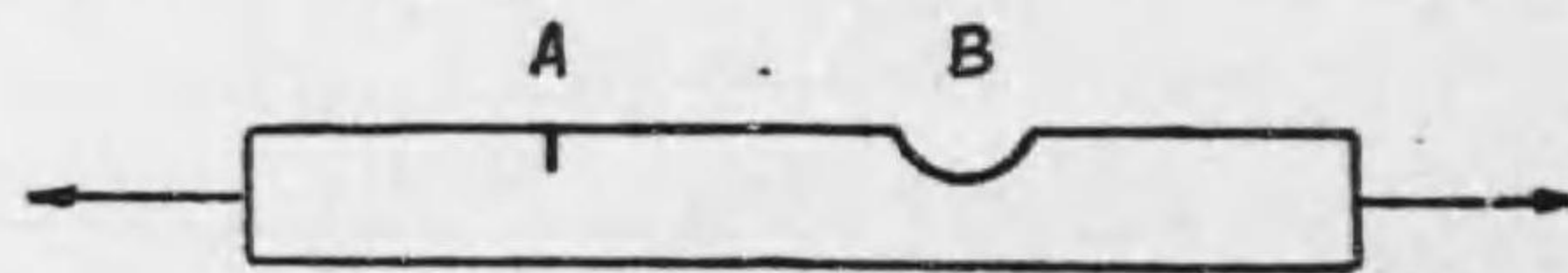
(c) 製作並に建設の誤差に對する餘裕

工場に於て製作せられたる鐵塔の各材片に對する加工が、絶對に設計の寸法通りに出来上る事は殆不可能で、多少の誤差は免れぬのみならず、其の誤差を見込んで建設の場合の困難を除く爲め、各ボルトの穴をボルトの直徑よりも大きい直徑で穿つことを餘儀なくされる(普通 $\frac{1}{32}$ 乃至 $\frac{1}{16}$ 吋の餘裕を與へる。第十章44を参照) 此の爲め鐵塔に荷重が加はつた場合、各材片に生ずる應力は設計の節計算された値に比し、相當變化を來たす故に之れに對しても相當強度の餘裕を與へねばならぬ。又鐵塔を建設する場合設計圖面通り工事が出来ればよいけれど、嚴密に云へば設計圖面と

少しも違はずに工事が出来ることは殆ど不可能である。只其誤差が許し得る程度である場合圖面通り出来たと云つて居る。設計圖面と少しでも差があると鐵塔を構成する各材片に生ずる應力が、設計の場合計算した値に比し差を生ずる故に、建設の誤差によつて生ずる應力の増加に對しても、相當の餘裕を見込まなければならぬ。之れ等亦安全係數の一部分となる。(例へば電線架設の場合弛度の誤差は最も生じ易く従つて之に因つて受くる鐵塔の影響等は特に考ふべきもの一である)

(d) 傷に對する餘裕

材料運搬中や建設中等に材料が傷を受ける。餘程注意しても幾分かの傷は免れない。傷は小さい場合でも安心出来ない。目に見へぬ程の傷でも鋭い傷は鈍角の大きな傷よりも危険であることは、一枚の紙に第4圖Aの如く鋭き傷とBの如く鈍角の傷とを與へて紙の兩端を引くと、AとBの傷の深さが同一ならば紙は必ずAの個所で切れるのによつても明かである。



第 4 圖

(硬引電線の表面の傷は特に強度を減ずる。) 斯の如く傷に對しても餘裕を見込まねばならぬ。之亦安全係數の一部分となる。

(e) 材料強度の低下に對する餘裕

鐵塔は風雨に曝される故錆を生じ材片が瘦せる。これを防ぐ爲めにガルバナイズングやペーンチングを施すけれど絶対に錆を防ぎ得ない。ペーンチングは殊に然りである。材片が瘦せると其れに従つて強度が減ずる故之れに對しても餘裕を見込まねばならぬ。之亦安全係數の一部分とな

る。

安全係數は上記の如き部分よりなり其の値は設計の場合の種々なる要求や條件に依つて適當に定めねばならぬ。尙又上記の外將來送電電力量の増加に依り電線を他の大きな電線と架換する場合或は電壓を高める爲め、アームに變化を生ずる場合等が豫期されるか否か、又は其事業の性質が一時的であるか永続的であるかをも考へて、安全係數を加減せねばならぬ。

7. 安全係數の値 安全係數は材料の強度と應力との比である。即ち

$$\text{安全係數} = \frac{\text{強度}}{\text{應力}}$$

普通の場合強度は破壊強度 (ultimate strength) を用ひるのであるが、弾性極限に於ける強度を用ひることもある。それ故安全係數を表示するには何れの強度に對してあるかを明にせねばならぬ。今例へば破壊強度に對して 1.5 なる安全係數を以て鐵塔が設計されたとすれば、この鐵塔は強度に於て 50% の餘裕が見込まれることとなる故、安全な様であるけれど鋼材の弾性極限は破壊強度の約 $\frac{1}{2}$ である故、破壊強度に對し 1.5 の安全係數とすれば鐵塔構成材の受くる應力は、弾性極限を遙に超過することとなるを以て此の鐵塔は危険である。それ故安全係數は如何なる設計に於ても破壊強度に對して必ず二以上とし、以て應力が如何なる場合でも弾性極限を超過しない様に定めねばならぬ。本書に於ては安全係數は特に明記しない場合は破壊強度に對するものとす。

其の筋の取締規則を按ずるに木柱を使用する場合の電線路に對しては、逓信省電氣工作物規程で安全係數其他を規定されてあるけれども、鐵塔を使用した場合に關しては具體的規程がない。それで木柱の場合に關して定

められたのを其儘準用しても差支のない部分に對しては、可成之れを準用するがよいと思はれるけれど、鐵塔には適用し難い場合が多い。

今鐵塔の場合を考ふるに鐵塔自身の強度の安全係數は到底木柱の規定を適用し得ない。之れに對して種々の説がある様であるけれど著者の考へとしては次の如き安全係數が適當の様に思はれる。

電線路の種類	鐵塔の安全係數の値
主要送電線路	3
主要配電線路	2.5
普通配電線路	2.2

而して鐵塔の基礎の強度の安全係數は鐵塔自身と同様とすべきものである。

電線の安全係數に關しては木柱の場合に對し、逡信省電氣工作物規程本則第四十七條及第四十八條の規程がある。之れを鐵塔の場合にも準用するも差支はない。そして經間距離が長くなつて弛度増大する場合には電線は最低溫度に於て最大荷重を受けた場合に、安全係數を2とするか又は特種な電線を使用した場合には安全係數を其の彈性極限に對し1として弛度を減じて電線の強度に心配はない。斯くすれば電線は如何なる状態に於ても其張力が電線の彈性極限を超過しない故である(但し普通の電線の彈性極限は破壊強度の50%以上である)。著者の考へとしては普通の電線の安全係數の適當なる値は次の如きものである。

電線の種類	安全係數の値
單一線	2.2—3
撚線	2—2.5

尙弱電流電線横斷等の場合には安全係數は鐵塔及其基礎に對して3とし電線に對して2.5とすれば甚安全である。

8. 試驗安全係數【Test Factor of Safety】

試驗安全係數とは、出來上りたる品物に對し實際に荷重を加へて試驗し、破壊する迄には設計に想定せし荷重の幾倍に堪へ得るかを示すものである。出來上りたる鐵塔に、實際の荷重を加へることは最も安心出来る方法であるけれど、力學上の理論の進める現今では、設計せし場合の計算上の強度と、出來上りたる結果と殆ど差なき事を得るを以て試驗安全係數は考慮せんでもよい。但し鐵塔の構造が理論的に強度を計算し得ない様な場合には試驗安全係數を考へねばならぬ。實際に試驗するを以て試驗安全係數の値は設計の場合の安全係數よりも相當少なくて差支がない。

第三章 電線及架空地線の種類

9 銅線 銅は他の一般の材料に比し抵抗甚だ小さく且空中に放置しても腐蝕されない故に、電線として最も廣く用ひらる。硬引銅線と軟引銅線とに依り抵抗や扯斷力を異にしている。架空電線としては硬銅線が専ら用ひらる。硬銅線は導電率マツシーセン標準に比し98%位にして扯斷力は1平方吋に付き 50 000 封度乃至 650 000 封度位であつて1平方吋に付き 63 000 封度位は無理せずを得られる。(逓信省電氣工作物規程では 50 000 封度を標準として居る。この値は燃線に対しても適用し得る様小さい値を取つてあると思はる。)そして其の彈性極限は扯斷力の少くとも50%以上で、彈性率は1平方吋に付き 16 000 000 乃至 19 000 000 封度位である。

次の第3表は電線々番號比較表で、第4表中に銅線の性質が示されてある。第5表は銅線表である。

第3表 線號比較表

線番號	直 徑 (mil)		
	面 積		
	S. W. G.	B. W. G.	B. S.
0000	400	454	460.0
000	372	425	409.8
00	348	380	364.8
0	324	340	324.9
1	300	300	289.3
2	276	284	257.6
3	252	259	229.4
4	232	238	204.2
5	212	220	181.9
6	192	203	162.0
7	176	180	144.3
8	160	165	128.5
9	144	148	114.4
10	128	134	101.9
11	116	120	90.6
12	104	109	80.8
13	92	95	71.9
14	80	83	64.1

第4表 諸種電線の性質表

kind of materials	比重	扯斷力 lbs/□"	彈性極限 lbs/□"	彈性率 lbs/□"	膨脹係數 C°	specific conductivity per-inch cube
soft copper	8.9	30 000-40 000	15 000-20 000	14.3 × 10 ⁶	1.68 × 10 ⁻⁵	1.48 × 10 ⁶
medium copper	8.95	40 000-50 000	20 000-35 000	18 × 10 ⁶	1.68 × 10 ⁻⁵	1.46 × 10 ⁶
hardcopper	8.96	50 000-65 000	30 000-50 000	19 × 10 ⁶	1.68 × 10 ⁻⁵	1.46 × 10 ⁶
aluminum	2.7	23,000-29 000	13 000-21 000	7.7 × 10 ⁶	2.3 × 10 ⁻⁵	0.88 × 10 ⁶
bronze	8.92	71 000	45 000	10.5 × 10 ⁶	1.8 × 10 ⁻⁵	1.3 × 10 ⁶
"	8.8	100 000	64 000	17 × 10 ⁶	1.8 × 10 ⁻⁵	0.9 × 10 ⁶
steel	7.95	100 000	71 000	27 × 10 ⁶	1.2 × 10 ⁻⁵	0.16 × 10 ⁶
cast steel		130 000	100 000	30 × 10 ⁶		0.145 × 10 ⁶
highgrade cast steel		180 000-	150 000-	30.7 × 10 ⁶		0.125 × 10 ⁶
cast steel		200 000	190 000			
copper clad steel	8.45	83 000	60 000	27 × 10 ⁶	1.2 × 10 ⁻⁵	0.74 × 10 ⁶
"		128 000	100 000	30 × 10 ⁶		0.54 × 10 ⁶

第5表 其の一 銅線表 (B. S.)

番號 B. S.	直 徑 ミル	面 積		千呎の重量 封度	千呎の抵抗 オーム
		サーキュ ラーミル	平方ミル		
0000	640.000	211 600.0	166 190.2	640.73	.04904
000	409.640	167 805.0	131 793.7	508.12	.06184
00	364.800	133 079.0	104 520.0	402.97	.07797
0	324.950	105 592.0	82 932.2	319.74	.09827
1	289.300	83 694.5	65 733.5	253.43	.12398
2	257.630	66 373.2	52 129.4	200.98	.15633
3	229.420	52 633.5	41 388.3	159.38	.19714
4	204.310	41 742.6	32 784.5	126.40	.24858
5	181.940	33 102.2	25 998.4	100.23	.31346
6	162.020	26 250.5	20 617.1	79.49	.39528
7	144.280	20 816.7	16 349.4	63.03	.49845
8	128.490	16 509.7	12 966.7	49.99	.62849
9	114.430	13 094.2	10 284.2	39.65	.79242
10	101.890	10 381.6	8 153.67	31.44	.99948
11	90.742	8 231.11	6 467.06	24.93	1.2602
12	80.608	6 529.94	5 128.60	19.77	1.5890
13	71.961	5 178.39	4 067.09	15.68	2.0037
14	64.084	4 106.76	3 225.44	12.44	2.5266
15	57.068	3 256.76	2 557.85	9.86	3.1880
16	50.820	2 582.67	2 028.43	7.82	4.0176

17	45.257	2 048.20	1 608.65	6.20	5.0660
18	40.303	1 624.33	1 275.75	4.92	6.3880
19	35.890	1 288.09	1 011.66	3.90	8.0555
20	31.931	1 021.44	802.24	3.09	10.1884
21	28.492	810.99	636.24	2.45	12.8088
22	25.347	642.47	504.60	1.95	16.1504
23	22.571	509.45	400.12	1.54	20.3674
24	20.100	404.01	317.31	1.22	25.6850
25	17.900	320.41	251.65	.97	32.3833
26	15.940	254.08	199.56	.77	40.8377
27	14.195	201.50	158.26	.61	51.4952
28	12.641	159.80	125.50	.48	64.9344
29	11.257	126.72	99.526	.38	81.8927
30	10.025	100.50	78.933	.30	103.245

第5表 其の二 撚線表(銅)

撚線數及素線の大小 B. S.	一千呎の抵抗 (オーム)	一千呎の重量 (封度)	撚線の直徑 (ミル)	撚線の切斷面積 (サーキユラミル)	近似線番號 B. S.
7/18	0.944	34.349	120	11 200	#10+
7/17	0.7462	43.347	135	14 175	9+
7/16	0.5809	55.612	153	18 207	8+
7/15	0.4650	69.519	171	22 743	7+
7/14	0.3688	87.783	192	28 672	6+
7/13	0.2914	110.956	216	36 288	5+
7/12	0.2291	140.396	243	45 927	4+
7/11	0.1814	177.200	273	57 967	3+
7/10	0.1445	222.725	306	72 828	2+
7/9	0.1157	278.337	342	90 972	1+
7/8	0.09175	350.856	384	114 688	0+
19/18	0.3483	93.336	200	30 400	5-
19/17	0.2752	117.784	225	38 475	4-
19/16	0.2142	151.113	255	49 419	3-
19/15	0.1715	188.901	285	61 731	2-
19/14	0.1360	238.529	320	77 824	1-
19/13	0.1075	300.535	360	98 496	0-
19/12	0.08449	281.292	405	124 659	00-
19/11	0.06692	481.498	455	157 339	000-
19/10	0.05330	605.202	510	197 676	000+
19/9	0.04266	756.315	560	246 924	0000+
19/8	0.03384	953.366	640	311 296	

第5表 其の二(續き)

撚線數及素線の大小 B. S.	一千呎の抵抗 (オーム)	一千呎の重量 (封度)	撚線の直徑 (ミル)	撚線の切斷面積 (サーキユラミル)	近似線番號 B. S.
37/18	0.1789	181.815	280	59 200	#2-
37/17	0.1414	232.811	315	74 925	1-
37/16	0.1100	294.364	357	96 237	0-
37/15	0.08809	367.974	399	120 213	00-
37/14	0.06938	464.648	448	151 552	000-
37/13	0.05522	587.306	504	191 808	0000-
37/12	0.04340	743.137	567	242 757	
37/11	0.03438	937.944	637	306 397	
37/10	0.02738	1 178.917	714	384 948	
37/9	0.02191	1 473.282	798	480 852	
37/8	0.01738	1 857.131	896	606 208	0-
61/18	0.1085	299.788	360	97 600	00-
61/17	0.08576	378.816	405	123 525	000-
61/16	0.06676	485.365	459	158 661	0000-
61/15	0.05344	606.737	513	198 189	0000+
61/14	0.04239	766.139	576	249 856	
61/13	0.03350	968.385	649	316 224	
61/12	0.02633	1 225.328	729	400 221	
61/11	0.02085	1 546.538	819	505 141	
61/10	0.01661	1 943.869	919	634 644	
61/9	0.01329	2 429.234	1 026	792 756	
61/8	0.01054	3 062.147	1 152	999 424	

10 アルミナム線 アルミナムは架空電線としては殆ど全部撚線として用ひらる。アルミナムの導電率は銅の 60%位である故に、銅と同一の抵抗を得るには銅の 1.67 倍の切斷面積を要す。この爲めに直徑大となり、従つて電線の受風面積が増加して、電線及鐵塔の受くる風壓に依る荷重大となる。アルミナムは軽く比重は 2.705 位である。銅は比重 8.9 位である故に、銅に比し比重 0.32 倍となる。そして導電率 60%である故同じ抵抗を得る爲めにはアルミナムは銅に比し

$$1.67 \times 0.32 = 0.5334$$

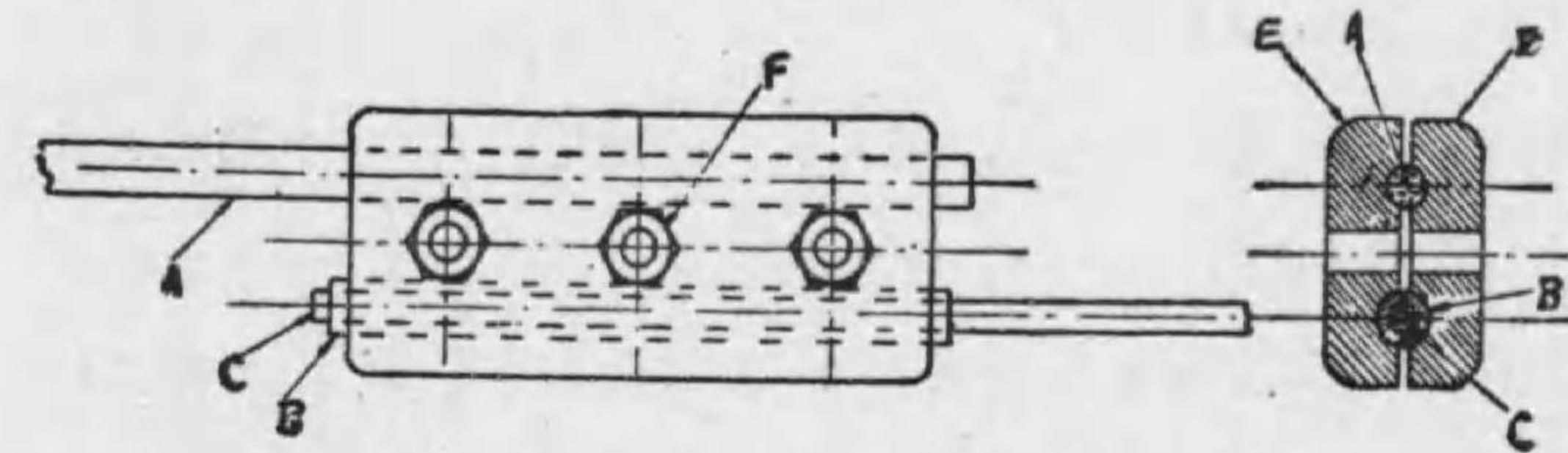
即約50%の重量で足る。斯の如く輕き故に建設にも便で又鐵塔に對し垂直荷重を與ふる事も小さい。而し輕い爲め風に依つて動搖し易く、従つて電線が混觸する憂がある故、電線の線間距離を大にする必要がある。建設の場合傷を受け易いのも缺點である。アルミナムは温度に依る膨脹係數が大きく銅に比し約1.37倍である。(膨脹係數は銅約 1.68×10^{-5} アルミナム 2.3×10^{-5})それでアルミナム線は温度が昇ると弛度が甚だ増大し、反對に冬になつて温度が下ると弛度が銅線等に比し甚敷減ず。即温度に依り弛度と張力とが甚敷變化する事となる。アルミナム線の強さは導電率に關係す。マツシーセンス標準 (Mattheesen's Standard) に比し60%の導電率を有せしめるには普通の強さと撓さとを保ち得るけれど、此以上の導電率を得るには強さを失ふ。銅線と同様硬引線と軟引線とがある。硬引線は強いけれども導電率が小さい。アルミナム線の彈性極限は扯斷力の50%乃至65%である。そして扯斷力は一平方吋につき20000封度乃至29000封度である。(逓信省電氣工作物規程には23000封度を標準としてある)アルミナムは錆なくてよいけれ共、鹽素を含む化合物に侵され易く、又酸類にも侵され易い故に海岸や化學工業の工場や煙突の附近にはアルミナム線は不適である。

アルミナム線は純粹なものを要す。それはアルミナムの含む不純物はソヂウムが多く、ソヂウムは濕氣を含んだ大氣によつてアルミナムを侵す故である。又アルミナムは他の金屬に比し電氣的陽性度高き故、異種の金屬の電線との接續には電解作用を起さない様に注意せねばならぬ。第5圖は其の一例で銅線とアルミナム線とを接續する場合の一方法である。

前の第4表中にアルミナム線の性質をも示してある。第6表はアルミナ

ム線の表である。

11 鐵線及鋼線 [iron wire and steel wire] 鐵線も銅線も架空地線として普く用ひられて居るけれど、電線としてはあまり廣く用ひられない。鐵線は又電柱の支線 (stay) 等にもよく用ひられてゐる。導電率が銅に比し16%位の鐵線は比重7.8で扯斷力1平方吋につき約50000封度以上である。鋼線には非常に多くの種類がある。扯斷力1平方吋につき60000封度位のものから20000封度或は之以上の強さのものに至る迄



第5圖 parallel groove clamp

- A = アルミナム線
- B = 錫鍍金を施したる brass bushing
- C = 銅線
- D = parallel groove を有するアルミナムクランプの主體の半分(アルミナム製)
- E = 同上他の半分
- F = D及Eを締付けるボルト(亜鉛鍍鋼)

色々のものが得られる。彈性極限は扯斷力の50%乃至90%或は之以上に達し扯斷力大なるにつれて彈性極限の%も増加す。普通の steel は扯斷力1平方吋につき60000封度乃至120000封度である。之以上の扯斷力はクルーシブル・キャスト・スチールによりて得らる。普通の steel の導電率は銅の約 $\frac{1}{10}$ である。そして導電率と扯斷力とは相容れない故に強き扯斷力を得るには導電率を犠牲にするを餘儀なくされる。故に鋼線は銅と同じ抵抗

第6表 アルミナム線表

撚 數	直 徑		切斷面積 (平方吋)	一哩の抵抗 (オーム)	一哩の重量 (封度)	相當鋼線の 切斷面積 (平方吋)
	素 線 (吋)	撚 線 (吋)				
7	.104	.312	.05845	1.231	375.3	0351
7	.116	.348	.07270	.9886	467.0	0436
7	.128	.384	.08853	.8126	568.4	0531
7	.144	.432	.1121	.6419	719.6	0672
7	.160	.480	.1383	.5201	888.2	0830
7	.176	.528	.1674	.4298	1 075	1004
7	.192	.576	.1992	.3612	1 279	1195
7	.212	.636	.2429	.2963	1 559	1457
19	.128	.640	.2392	.2999	1 545	1439
19	.144	.720	.3036	.2370	1 956	1822
19	.160	.800	.3748	.1920	2 415	2249
19	.176	.880	.4534	.1587	2 922	2720
19	.192	.960	.5396	.1333	3 477	3238
19	.212	1.060	.6579	.1093	4 239	3948
37	.144	1.008	.5909	.1217	3 813	3546
37	.160	1.120	.7295	.09863	4 705	4377
37	.176	1.232	.8826	.08151	5 693	5297
37	.192	1.344	1.051	.06848	6 775	6304
37	.212	1.484	1.280	.05618	8 258	7685
61	.160	1.440	1.202	.05984	7 759	7214
61	.176	1.584	1.455	.04945	9 389	8730
61	.192	1.728	1.731	.04156	11 170	1 039
61	.212	1.908	2.111	.03409	13 620	1 267
91	.192	2.112	2.583	.02786	16 660	1 550
91	.212	2.332	3.148	.02282	20 320	1 839

を得るには大なる電線となる爲めに鐵塔に加はる荷重が増加する損がある。然し扯斷力大なる爲め川越其他長きスパンの箇處に用ひ、弛度を減ぜしめ鐵塔の高さを低くする場合には甚有利である。鋼線は電磁誘導作用大きく従つて線路のリアクタンスを増加し、尙耐久力に於ても鋼線に比し甚劣る等の爲め特種の場合の他には用ひられない。又鋼線は固くて使用に困難である故、大きな線は必ず撚線とする。鋼は錆びる故ガルバナイジングを施さねばならぬが、ガルバナイジングを施しても充分に腐蝕を防ぎ得な

い憂がある故、其の大きさは所要の大きさよりも幾分餘裕を取つて置くがよい。そして如何程小さい場合でも鋼線の直徑は（撚線の素線に於ても） $\frac{1}{10}$ 以下のものは避くるがよい。第4表中に鋼の性質をも示してある。第7表時は鋼線の表である。

架空電線又は架空地線として鋼線を用ひる場合には亜鉛鍍を注意せねばならぬ。充分に防錆が出来ないと鋼線が腐蝕されて切斷するに至る。地線は雷に對する電線路の保護のみならず、鐵塔を頂上に於て連結して倒壊するのを防ぐ爲めに設くるものであるが、若し切斷すると反つて餘分な事故を鐵塔に與へる故に、充分なる耐久力を有せしむる様に注意せねばならぬ。

鐵線或は鋼線を送電線路の架空地線として用ひた實例を調べて見ると、何れの會社でも主要なる鐵塔送電線路には、殆必ず一條又は二條の亜鉛鍍鋼線を架空地線として用ひて居る。そして其の太さは何れの會社でも殆常に直徑 0.104 吋のもの7本撚又は直徑 0.125 吋のもの7本撚又は直徑 0.146 吋のもの7本撚の何れかを用ひて居る。即元猪苗代水電會社、宇治川電氣會社は直徑 0.125 吋のもの7本撚亜鉛鍍鋼線を用ひ、日本電力會社では直徑 0.125 吋のもの7本撚、及直徑 0.146 吋のもの7本撚の二種の亜鉛鍍鋼線を用ひ、大同電力會社にては直徑 0.146 吋のもの7本撚亜鉛鍍鋼線を用ひて居る等、其の主なる代表的のものである。

第7表 其の1 {燃線としての ultimate strength 180 000 lbs/□"}
鋼燃線表 {elastic limit 85% のもの}

燃 數	素線の大小		燃線の大小		燃線の 扯斷力 封度	燃線の 彈性極 限封度	伸長度 %	1000呎 の重量 封度
	BWG	徑ミル	徑吋(±)	斷面積□"				
7	#15	72	1/4	.0285	5 130	4 360	2.5-4	115
7	12	109	5/16	.065	11 700	10 000	"	210
7	11	120	3/8	.0791	14 200	12 070	"	300
7	10	134	7/16	.0987	17 800	15 120	"	370
7	8	165	1/2	.15	27 000	22 950	"	510
7	6	203	5/8	.227	41 000	34 850	1.5-3	700

第7表 其の2 {燃線としての ultimate strength 120 000 lbs/□"}
鋼燃線表 {elastic limit 67% のもの}

燃 數	素線の大小		燃線の大小		燃線の 扯斷力 封度	燃線の 彈性極 限封度	伸長度 %	1000呎 の重量 封度
	BWG	徑ミル	徑吋(±)	斷面積□"				
7	#15	72	1/4	.0285	3 420	2 290	3-5	115
7	12	109	5/16	.065	7 800	5 225	"	210
7	11	120	3/8	.0791	9 500	6 360	"	300
7	10	134	7/16	.0987	11 850	7 950	"	370
7	8	165	1/2	.15	18 000	12 050	"	510
7	6	203	5/8	.227	27 200	18 200	2-4	700

第7表 其の3 {燃線としての ultimate strength 750 000 lbs/□"}
鋼燃線表 {elastic limit 60% のもの}

燃 數	素線の大小		燃線の大小		燃線の 扯斷力 封度	燃線の 彈性極 限封度	伸長度 %	1000呎 の重量 封度
	BWG	徑ミル	徑吋(±)	斷面積□"				
7	#15	72	1/4	.0285	2 140	1 280	6-9	115
"	12	109	5/16	.065	4 880	2 920	"	210
"	11	120	3/8	.0791	5 930	3 560	5-8	300
"	10	134	7/16	.0987	7 400	4 450	"	370
"	8	165	1/2	.15	11 250	6 750	"	510
"	6	203	5/8	.227	17 000	10 200	4-6	700

12 銅被鋼線 [copper clad steel wire] 鋼線の表面を

銅で被ふたもので、熔接的に固く密着したる銅にて包まれたる鋼塊を引いて線にしたものである。良好なる銅被鋼線は銅と鋼とが一部分合金となつて居るので銅被に龜裂生じ難きは勿論銅と鋼との中間の合金層が兩者の膨脹收縮を調和する故銅被が温度の變化に依り剥落する憂が殆無い。而し若し不良の箇所等ありて銅被に龜裂等が出來ると電解作用に依り鋼が急速に腐蝕されるので銅被鋼線には不安がある。引線作業の場合銅被の層の厚さは種々に加減出來るのであるが普通の銅被鋼線は銅と鋼との合成導電率が銅線に比し 30% 乃至 40% の間に作られて居る。30%の方は 40%の方よりも強度が 5%大きい。銅被鋼線は鋼の強度に銅の導電率を附したものである故電線として大變有利なものであるけれど銅被の龜裂或は剥落等の爲め耐久力が甚敷く短くなる不安がある故に現在ではあまり用ひられて居ない。第4表中に此の線の性質も示されてある。

13 合金線 [alloy wire] 種々の合金が電線として用ひられる

けれど、送電線の架空電力線としては bronze が用ひられる。これは銅と錫との合金で硅素等をも混入し、種々なる配合に依り色々の強度と導電率との電線が出來る。扯斷力は1平方吋につき 70 000 封度乃至 100 000 封度位で、導電率は銅の 80% 乃至 20% 位の間にある。扯斷力を強くすれば導電率減じ導電率を高めんとすれば扯斷力を犠牲にしなければならぬ。硬銅線と同じ導電率を得ん爲めには如何なる合金線でも硬銅線より弱くなる。導電率を犠牲にすれば大なる扯斷力を得る故、送電線路の河川横斷其他の長徑間の箇所に於て弛度を減ずる目的にて合金線が度々用ひられる。第4表中に合金線の性質が示されてある。

14 鋼心アルミナム線 アルミナム線は扯斷力に於て銅線に劣るけれど、重量に於て扯斷力の劣る割合以上に輕き故、アルミナム線を用ゆれば架空電線の弛度を減じ得る利點がある。而しアルミナム線は扯斷力が大ならざる爲めに思ふ様に弛度を減じ得ない故に、例へば電線路が大きな河を横斷する場合等に於て、電線の弛度を減じ、鐵塔の高さを出来る限り低く設計せんとする場合には、アルミナム線に扯斷力の特に大なる鋼線を心として加へ、電線の強度を増加せしめ以て其の目的を達す。鋼心線は單一線とする場合もあれば撚線とする場合もある。そして鋼心線の素線の大きさはアルミナム線の素線と同一の大きさもあれば異なる大きさも出来る。(第8表は鋼心アルミナム線の表である)

第8表 A 鋼心アルミナム線表

size C. M. and B.S.G.	usual stranding		weight (lbs)			% of Alu- mi.	% of steel	elas- tic limit of cable lbs	扯斷力 (全線) lbs	直徑 (吋)	equiv- alent copper B.S.G.
	alumi- num	steel	per 1000 ft	per mile alu- mi.	per mile steel						
605 000	54 x .1059	7 x .1059	780	2 999	1 119	72.8	27.2	14 677	21 270	.953	380 500
500 000	30 x .1291	19 x .0775	777	2 477	1 625	60.4	39.6	17 140	23 750	.904	314 500
336 400	30 x .1059	7 x .1059	528	1 669	1 119	59.8	40.2	11 716	16 202	.741	No. 4/0
266 800	6 x .2120	7 x .0705	347	1 336	496	73	27	6 513	9 452	.635	" 3/0
No. 4/0	6 x .1880	1 x .1880	295	1 052	504	67.6	32.4	5 941	8 437	.561	" 2/0
No. 3/0	6 x .1670	1 x .1670	232.5	830	397	67.6	32.4	4 690	6 658	.501	" 1/0
" 2/0	6 x .1490	1 x .1490	185	660	317	67.6	32.4	3 732	5 298	.447	" 1
" 0	6 x .1327	1 x .1320	147	525	251	67.6	32.4	2 958	4 200	.398	" 2
" 1	6 x .1182	1 x .1182	117	417	200	67.6	32.4	2 353	3 341	.355	" 3
" 2	6 x .1052	1 x .1052	92.4	330	158	67.6	32.4	1 860	2 660	.316	" 4
" 3	6 x .0938	1 x .0938	73.4	262	125	67.6	32.4	1 479	2 100	.281	" 5
" 4	6 x .0834	1 x .0834	58	207	99	67.6	32.4	1 169	1 665	.250	" 6
" 5	6 x .0743	1 x .0743	46	164	79	67.6	32.4	928	1 317	.223	" 7
" 6	6 x .0661	1 x .0661	36.4	130	62	67.6	32.4	735	1 043	.198	" 8
" 7	6 x .0586	1 x .0586	28.5	102	49	67.6	32.4	577	819	.176	" 9
" 8	6 x .0525	1 x .0525	23	82	39	67.6	32.4	463	659	.158	" 10

弛度計算の場合、鋼心アルミナム線のケーブルとしての強度は幾何に取り得るかが重要な問題となる。勿論鋼心アルミナム線の強さは鋼心線の單獨の強度とアルミナム線の部分の單獨の強度との和であるべきは明かであるけれど、其の兩部分に物理的性質の差ある爲め、必ずしも鋼心とアルミナムとが常に同時に強度の全能力を發揮して働き得ないかも知れない不安がある。それ故安全を期して鋼心アルミナム線の張力は全部鋼心のみに依りて支持されるものとして弛度を計算する場合もある。而し斯の如くすれば鋼心の切斷面積がアルミナムの切斷面積に比して甚小なる場合には、折角弛度を減ずる爲めに鋼心アルミナム線を用ひながら、反つて鋼線よりも弛度の増加を來すこともあり得べく、鋼心アルミナム線の使用目的に反する事となる。然るに British Electrical and Allied Industries Research Association が實際に鋼心アルミナム線の張力試験をなしたる結果は、第8表Bの通りで composite cable としての強度は鋼心線の強度とアルミナム線の強度との和に比し 93% 乃至 95% の成績である。そして尙其の報告書中に鋼心アルミナム線の強度は鋼心線の強度の 89% とアルミナム部分の強度の 90% との和とすれば一般の鋼心アルミナム線に對して適用し得べき値であると書いてある。此等の點より総合すると、鋼心アルミナム線の強度は鋼心の強度とアルミナム部分の強度との和の 90% 位に取れば不安は無いと思はれる。實際に於ても多くの会社は鋼心の強度とアルミナム部分の強度との和を以て、鋼心アルミナム線全體の強度として設計してある様である。そして材料としては普通には鋼心としては毎平方吋の扯斷力十六萬封度以上の high grade steel が用ひられて居る。

鋼心アルミナム線を使用して居る送電線路の實例を挙げれば米國

Knoxville Power 會社が 150 000 ヴォルトの送電線路に於て、5 010 呎の徑間に於て谷越をなす場合直徑 0.097 吋の鋼線 61 本を心とし其外側に直徑 0.15 吋のアルミナム線 21 本を撚合せたる全體の直徑 1.175 吋の鋼心アルミナム線を使用し、電線の張力は全部鋼心にのみ加はるものとし、華氏 80 度に於て弛度 237 呎を與へてある（但し此の兩支持點に高低差があるを以て、此の弛度の値は低き方の支持點より測りたるものとす）。そして此の箇所の電線の水平間隔は 20 呎としてある。又米國 Kansas Gas and Electric 會社では互長 110 哩電壓 132 000 ヴォルトの送電線路に於て、全線路に 266 800 サークユラーミルの鋼心アルミナム線（直徑 0.0705 吋のもの七本を以て鋼心とし直徑 0.2108 吋のアルミナム線六本を其の外に撚合せたるものならん）此の線路では標準徑間距離を 850 呎とし華氏零度の溫度に於て電線の周圍に $\frac{1}{2}$ 吋の氷雪附着したる上に向電線の垂直投影面積 1 平方呎に付き 8 封度の風壓が加はつた場合の電線の張力（即最大張力）を 6 470 封度にとつて設計されてある。此の設計に依ると鋼心アルミナム線の最大使用張力は鋼心線の每平方吋の扯斷力を 200 000 封度としても鋼心全體の扯斷力を超過する故に、鋼心の強度とアルミナムの強度との合計を以て、鋼心アルミナム線の強度として設計されたのは明かで、今鋼心の扯斷力を每平方吋に付、200 000 封度としアルミナム線の扯斷力を每平方吋に付き 24 000 封度としケーブルの扯斷力を此の兩部分の扯斷力の和の 90 % としケーブルの彈性極限を扯斷力の 69 % とすれば

鋼心部分扯斷力	$200\,000 \times 0.0273 = 5\,460$	lbs
アルミナム部分扯斷力	$24\,000 \times 0.209 = 5\,000$	lbs
此の兩部分の扯斷力の和	$= 10\,460$	lbs

ケーブルの扯斷力	$90\% \text{ of } 10\,460 = 9\,400$	lbs
ケーブルの彈性極限	$69\% \text{ of } 9\,400 = 6\,500$	lbs

となりて米國アルミナム會社のカタログ中の表と一致する結果となる。（第 8 表 A 参照）それ故 Kansas Gas and Electric 會社にては鋼心と、アルミナム線との合成のケーブルとしての強度の彈性極限を以て、電線の最大荷重の場合に於ける張力たらしめる様設計されてあるものと解せらる。而して同會社にては電線の水平間隔を 22 呎とし垂直間隔を 13 呎とし二回線を一つの鐵塔に乗せてある。

次に大阪某電氣會社で淀川越の長徑間に於て素線の直徑 0.108 吋のもの 7 本撚りなる鋼心の周りに同一直徑のアルミナム線 30 本を撚合せたる鋼心アルミナム線を使用してある。同所にては最低溫度に於て最大風壓（1 平方呎に付き 20 封度）が加つた場合の電線の張力即最大張力を 7 000 封度にとつてある。此の鋼心の每平方吋の扯斷力は 180 000 封度とし、アルミナムの每平方吋の扯斷力は 24 000 封度とし、ケーブルの扯斷力は鋼心の扯斷力とアルミナムの扯斷力との和の 90 % とし、ケーブルの彈性極限は扯斷力の 65 % とし設計されあるを以て、其の強度を計算すれば

鋼心部分の扯斷力	$180\,000 \times 0.0639 = 11\,502$	lbs
アルミナム部分の扯斷力	$24\,000 \times 0.267 = 6\,408$	lbs
此の兩部分の扯斷力の和	$11\,502 + 6\,408 = 17\,910$	lbs
ケーブルの扯斷力	$90\% \text{ of } 17\,910 \text{ lbs} = 16\,119$	Lbs
ケーブルの彈性極限	$65\% \text{ of } 16\,119 \text{ lbs} = 10\,477$	Lbs

となる。然るに此のケーブルを實際試験せしに其の結果ケーブルの扯斷力 17 000 封度 彈性極限 11 500 封度で設計の數字以上の成績である。故に

此の試験の成績に依れば最大荷重状態に於ても電線の張力は其の弾性極限に對し 1.64 の安全係数を有する事となる。而して此の箇所では徑間距離 2200 呎で電線の線間距離は水平距離に於て 25 呎垂直距離に於て 12 呎として設計されてある。

次に大阪某電力會社にては淀川横斷の徑間 1684 呎の箇所に於て鋼心切斷面積 93 000 サークユラーミル, アルミナム 切斷面積 4 000 サークユラーミルの鋼心アルミナム線を使用して居る。(但し鋼心共に 37 本燃)。而して其の最大荷重時に於ける電線の張力は 6 500 封度として設計されてあるとの事である。

次に米國 Southern California Edison 會社では Big Creek から Los Angels に至る 240 哩の送電線路全部に直徑 0.1059 吋のアルミナム線 54 本と同一直徑の鋼線 7 本とよりなる鋼心アルミナム線を使用して居る。此の送電線路は電壓が 150 000 ヴォルトであつたのを, 送電容量倍加の爲め 1922 年に 220 000 ヴォルトに変更されたものである(変更の爲めの線路一部改造の際には懸垂碍子の直列に連らなる數を増加し, 又鐵塔の高さの不足のものを足繼して高くしたのみで, 電線も取り換へず電線の線間距離も其の儘としたのである)。此の鋼心アルミナム線の性質は次の如きものである。

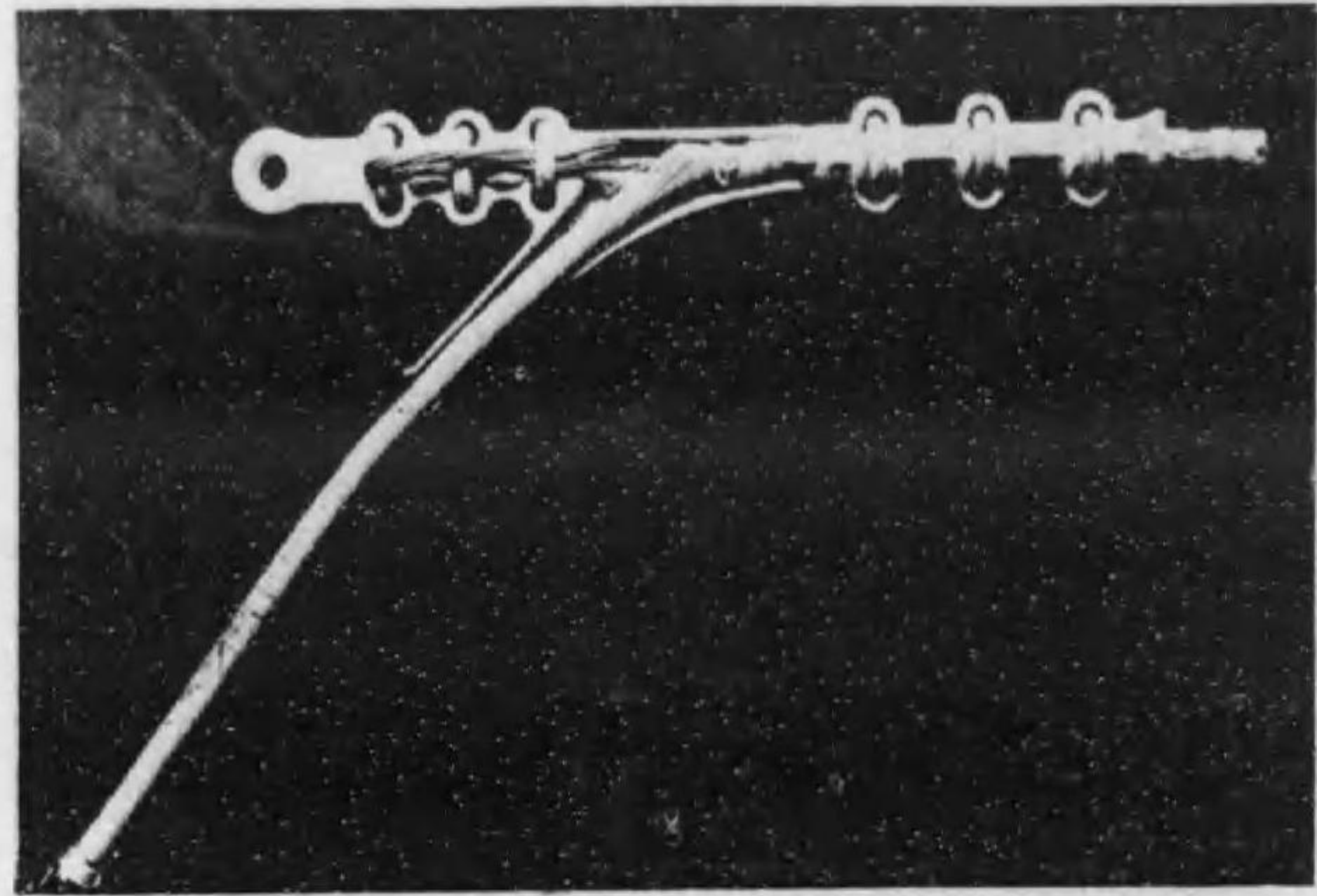
- 鋼心アルミナム線..... 直徑 0.953 吋
- アルミナム部分..... 直徑 0.1059 吋 のもの 54 本
- 鋼心部分..... 直徑 0.1059 吋 のもの 7 本
- 鋼心アルミナム線としての扯斷力..... 21 270 封度
- 鋼心アルミナム線としての弾性極限..... 14 675 封度

而して此の送電線路では此の鋼心アルミナム線を最低溫度 (0°C) に於て最大荷重 (1/2 inch of ice with 6 pounds wind) が加はつた場合其の張力が 8000 封度を超過しない様に架線してある。即其の安全係数は扯斷力に對して 2.71 となり, 弾性極限に對して 1.834 となつて居る。尙此の送電線路の線間水平距離は 17 呎 3 吋で標準徑間距離は氷雪附着ある地方では 660 呎とし氷雪附着なき地方では, 550 呎としてある。そして最大徑間距離は 2 871 呎である。

第 8 表 B 鋼心アルミナム線試験成績表

		diameter in inch	tensile strength		elonga- tion %	strand effi- ciency %
			lbs	lbs/ft ²		
cable (A)	steel core	0.147	1 985	117 400		
	aluminum part		2 672	26 630		
	sum of strength of steel part and aluminum part		4 657	39 600		
	composite cable	0.438	4 325	36 800		93
cable (B)	steel core	0.143	3 000	186 500	6.5 (on 2')	
	aluminum part		2 470	25 100	5.2 (on 2')	
	sum of strength of steel part and aluminum part		5 470	47 500		
	composite cable	0.434	5 110	44 300	2.3 (on 8')	93.5
cable (C)	steel core	0.143	2 960	184 000	6.0 (on 2')	
	aluminum part		2 430	24 610	5.4 (on 2')	
	sum of strength of steel part and aluminum part		5 390	46 800		
	composite cable	0.434	5 110	44 300	2.0 (on 8')	94.6

第6圖は鋼心アルミナム線を引き留むるストレークランプの一實例の寫眞である。先づケーブル全體を締付け次に鋼心とアルミナム線とを別にし、鋼心は更に引き留めの作用を有效ならしむる様堅固にクランプし、アルミナムはジャンパー線として電氣的に他の部分と接続せしめる様にしてある。勿論此のストレークランプは可鍛鋼製である。



第6圖 鋼心アルミナム線引止用クランプ圖

第4章に於て述ぶるが如く、電線の弛度の計算には電線の弾性率及溫度膨張係數が必要であるが、然らば鋼心アルミナム線の弾性率及膨張係數は鋼心のみを採用すべきか、アルミナムのみを採用すべきか、又は兩者の平均を採用すべきかに迷ふ。今之れを求むる方法を記すべし。

一例として7本撚鋼心アルミナム線を取る。7本撚の内心線1本は鋼線、他の6本はアルミナム線とし、鋼線もアルミナム線も同一直径の素線とす。第7圖の如くこの鋼心アルミナム線の一端を固定し、他端をWなる力にて引く場合を考ふ。(この時鋼心とアルミナム線とは各單獨に伸長收縮

しない様に鋼心アルミナム線の兩端は一緒に固く縛し置くものとす)



第7圖

- 今 A = 各素線一本の切斷面積 (平方吋)
- W = 荷重 (封度)
- W_s = 鋼心に加はる荷重 (封度)
- W_a = アルミナムに加はる荷重 (封度)
- e = 伸長 (呎)
- L = 鋼心アルミナム線の長さ (呎)
- M = 鋼心アルミナム線の弾性率
- 30×10^6 = 鋼心の弾性率
- 9×10^6 = アルミナム線の弾性率

とすれば

$$e = \frac{W_s L}{A \times 30 \times 10^6} \dots \dots \dots (1)$$

$$e = \frac{W_a L}{6A \times 9 \times 10^6} \dots \dots \dots (2)$$

鋼心アルミナム線の兩端に於て、鋼心とアルミナム線とは互に獨立的に伸長しない様に固く結ばれてある故、(1)なる式に示す鋼心の伸長と(2)式に示すアルミナム線の伸長と同一である。故に

$$\left. \begin{aligned} W_s &= \frac{5}{9} W_a \\ \therefore W_a &= \frac{9}{14} W \\ W_s &= \frac{5}{14} W \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

即アルミナムは全體の荷重の $\frac{9}{14}$ を負ひ鋼心は $\frac{5}{14}$ を負ふ。アルミナムは6本あるを以て1本のアルミナム線は鋼心の $\frac{1}{3.5}$ の荷重を負ふこととなる。又全體の撚線としての伸長を考ふれば

$$e = \frac{WL}{7AM}$$

$$\therefore \frac{WL}{7AM} = \frac{W_a L}{6A \times 9 \times 10^6}$$

(3) 式の W_a の値を之れに入れると

$$\frac{WL}{7AM} = \frac{\frac{9}{14}WL}{6A \times 9 \times 10^6}$$

$$\therefore M = 12 \times 10^6 \dots\dots\dots (4)$$

之れは七本撚の場合であるが他の撚数の場合の弾性率も同様の方法にて求めらる。British Electrical and Allied Industries Research Association が直径 145 ミルのアルミナム線 6 本と同一直径の鋼心線 1 本とよりなる鋼心アルミナム線を實際試験せし報告書中のダイアグラムに依れば、鋼心アルミナム線の切斷面積一平方吋につき約 17 000 封度の荷重増加に依り、長さ 100 ヤードのケーブルが 5 吋伸長したとのことである故、この實際の試験に依りて得る弾性率は約 $[12 \times 10^6]$ となりて上記の計算と一致する。次に温度に依る膨張係数を求めんに架空電線と同様に固定せる二點にて支持され張架せられたる 7 本撚鋼心アルミナム線を考ふれば

$L =$ 架線當時の鋼心アルミナム線の長さ (呎)

$9800 =$ 架線當時の鋼心アルミナム線の張力 (1 平方吋につき封度)

とすれば鋼心アルミナム線の全張力は

$$9800 \times 7A = 68600 A \text{ lbs}$$

この内

$$W_a = \frac{9}{14} \times 68600 A = 44100 A \text{ lbs}$$

$$W_s = \frac{4}{15} \times 68600 A = 24500 A \text{ lbs}$$

故に鋼心は 1 平方吋につき 24 500 封度、アルミナム線は 1 平方吋につき 7 350 封度の應力を生ず。今この状態より温度華氏 100 度上昇せる場合を

考ふるに (温度上れば線の長さ増し張力減す張力減すれば線の長さ減す)

$L_1 = 100^\circ F$ 温度上昇の場合の線の長さ (呎)

$S_a =$ 同上の場合のアルミナム 1 平方吋の應力 (1 平方吋につき封度)

$S_s =$ 同上鋼心 (1 平方吋につき封度)

$S =$ 同上撚線全體として (")

$\alpha =$ 撚線全體としての温度膨張係數

$13 \times 10^{-6} =$ アルミナム線の温度膨張係數

$6.4 \times 10^{-6} =$ 鋼心の " " "

とすれば

$$L_1 = L + 13.0 \times 10^{-6} \times 100 L - \frac{(7350 - S_a)}{9 \times 10^6} L \dots\dots\dots (5)$$

$$L_1 = L + 6.4 \times 10^{-6} \times 100 L - \frac{(24500 - S_s)}{30 \times 10^6} L \dots\dots\dots (6)$$

$$L_1 = L + \alpha \times 100 L - \frac{(9800 - S)}{12 \times 10^6} L \dots\dots\dots (7)$$

兩支持點にて鋼心とアルミナム線とは固く結ばれてある故、(5) 式にて示さるゝアルミナム線の長さ (6) 式にて示さるゝ鋼心の長さ (7) 式にて示さるゝ撚線全體としての長さは同一なるべきである。故に (5) 及 (6) 式より

$$3S_s - 10S_a = 59400 \dots\dots\dots (8)$$

(5) 及 (7) 式より

$$4S_a - 3S = 36 \times 10^6 \alpha - 46800 \dots\dots\dots (9)$$

又 $6AS_a + AS_s = 7AS$

$$\therefore 6S_s + S_a = 7S \dots\dots\dots (10)$$

(8) 式と (10) 式とより

$$S_s = 12720 + 2.5S \dots\dots\dots (11)$$

(11)式の S_s の値を (8) 式に入れる時は

$$7.5 S - 10 S_a = 21\,240 \dots\dots\dots (12)$$

(9) 式と (12) 式とに依り

$$\alpha = \frac{95\,760}{90 \times 10^8} = 10.64 \times 10^{-6} \dots\dots\dots (13)$$

(13) は求むる鋼心アルミナム線の 温度膨張係数である。(但し温度は華氏とす) これは 7 本撚の場合であるが他の撚数の場合も同様の方法にて計算することが出来る。

次に鋼心アルミナム線の弾性率及膨張係数を求むる他の公式を記す

$$M = M_a A_a + M_s A_s \dots\dots\dots (14)$$

$$\alpha = \frac{M_s A_s}{M} \alpha_s + \frac{M_a A_a}{M} \alpha_a \dots\dots\dots (15)$$

但し

M = modulus of elasticity of composite cable.

M_a = " aluminum part.

M_s = " steel part.

A_a = porportion of area of aluminum section to total section.

A_s = " steel "

α = coefficient of thermal expansion of composite cable.

α_a = " aluminum part.

α_s = " steel part.

鋼心アルミナム線を使用する場合の電線の弛度張力等は (4) 式又は (14) 式にて求めた弾性率 (13) 式又は (15) 式にて求めた膨張係数を用ひて他の電線の場合と同様に計算すればよい。

15 撚線と単一線 架空電線には小さな線は単一線 (solid wire) で用ひ大きな線は撚線 (stranded cable) として用ゆ。単一線の太いのは

取扱に不便のみならず、疵其他材料の一箇所の缺點が線の切断を來す等、強度に信頼が出来ぬ憂がある。撚線は撓かで取扱に便利な上に素線の 1 本に強度上の缺點があつても、他の多くの素線が同一箇所に於て強度の弱點が無いならば、電線として強く張られてあつても、切断する憂は殆ど起らない。而し撚線であつても、架空電線として用ゆるには、其の素線があまり小さくては、強度の信頼出来ぬ故安全を期する場合や長徑間の場合には B. S. 12 番線 7 本撚以上のものを用ゆるがよい。

単一線の毎平方吋の扯斷力は直徑の小なる場合大きく、直徑の大なる場合小さい。これは線の表面は内部に比し強度が大であつて、そして直徑の小さい線は切斷面積に比し表面積が大きいからである。(硬引銅線では表面部分の 1 平方吋の強度は内部の 1 平方吋の強度の約二倍に達すると云ふ。) 一例として英國電氣協會が硬銅線の 扯斷力を 實際試験した成績を擧げて見れば

硬銅線の直徑(吋)	毎平方吋の扯斷力
0.104	63 500 封度
0.136	62 300
0.144	62 000
0.166	59 800
0.185	59 800
0.215	57 200

それ故線の表面の疵は其の扯斷力を著しく減ずることとなるに依り、架線の引延ばし作業等の電線取扱に際しては疵を與へぬ様注意せねばなら

ぬ。單一線の場合には特に注意を要する。何となれば撚線に於ける一素線の疵は全體に比し數分の一に對する疵であるけれど、單一線の場合の疵は全部に對する疵であるからである。

撚線の扯斷力は實際試験して見ると素線各自の扯斷力の總和よりも小さい。これは撚線に張力を加へた場合に各素線に一樣に荷重が分布されない爲や、各素線が互に接觸した面を壓して強度を損する等の爲めである。撚線の扯斷力と素線各自の扯斷力の總和との比を撚線能率 (strand efficiency) と云ふ。即ち

$$\text{strand efficiency} = \frac{\text{(撚線の扯斷力)}}{\text{(素線の扯斷力の總和)}} \times 100$$

strand efficiency の値は 90 % 乃至 98 或は 99 % 位の間であつて、撚數が増すに連れて能率が減する。それ故 37 本撚或は 61 本撚線等は strand efficiency を 90 % 位に取るが安全である。普通用ひられて居る撚數は 7 本撚乃至 61 本撚の間である。

撚線の扯斷力を試験する場合撚線に損傷を與へず其の兩端を固定するは甚困難である故、其の面倒を避ける爲め或は撚線試験に對して充分な設備がなき爲め、撚線を解きて其の素線を取り、素線の扯斷力を試験し之れに strand efficiency を乗じて撚線の強度を計算する事があるが、此の場合素線は撚線作業を受け尙撚戻される故、何の作業をも受けない新しい素線より多少弱められて居る故に、撚戻された素線の扯斷力を以て直ちに素線の扯斷としては實際の撚線の扯斷力が得られない。撚線作業及撚戻の爲め素線の扯斷力は 1% 乃至 4% 減殺される故に上記の試験には之れを計算に入れねばならぬ。

撚線の彈性率は單一線の場合より小さい。即ち每平方吋に對し同じ荷重を

受けた場合撚線は單一線に比し伸縮の割合が大きい。製造した儘の撚線は單一線に比し彈性率が 60 % 乃至 80 % 位であるが、張力を掛ける毎に撚線は彈性率を増加し、數回張力を繰返し加へると撚線と單一線と彈性率の差殆無きに至る。尙試験に際し撚線の供試材が短い場合と長い場合と、同一の撚線でも彈性率が異なる數字を示す。これは短い場合には stress が各素線に一樣に分布され難い故であつて、架空電線としての撚線は長い徑間に張られる故、長い撚線に對して求めた結果を採用せねばならぬ。架空電線に對しては次の値を撚線の彈性率として適當なるものと考へらる。

3本撚線.....	素線彈性率の 95% 乃至 100%
7本撚線.....	" " "
19本撚線.....	" 93% 乃至 98%
37本撚線.....	" 90% 乃至 95%
61本撚線.....	" " "

撚線のピッチ、即一本の素線が一回撚られて撚線の圍りを一周した時の、撚線の中心線の方向に於ける歩みは、其のピッチダイアメーターの 10 倍乃至 40 倍であつて、英國では 20 倍を標準として居る。(ピッチダイアメーターとは撚線の外周の素線の中心を連ねる圓の直徑である)。撚線の單位の長さの重量は其のピッチに依つて變化するは勿論で如何なる撚線でも同一の長さの素線の重量に撚數を乗じた値より大きい。普通撚線の重量は其素線の眞直な同一の長さの重量に撚數を乗じた値よりも 1% 乃至 2% 大きい。撚線の抵抗も同様であつて、眞直な素線の同一の長さの抵抗を撚數で除した値よりも、約 0.5 % 乃至 2 % 大きい。第 9 表はピッチを

ヒツチダイアメーターの 20 倍とした場合の撚線と素線との重量，並に抵抗の關係を示し且撚線と素線との直徑關係をも示してある。尙銅撚線表は第 5 表に示してある。

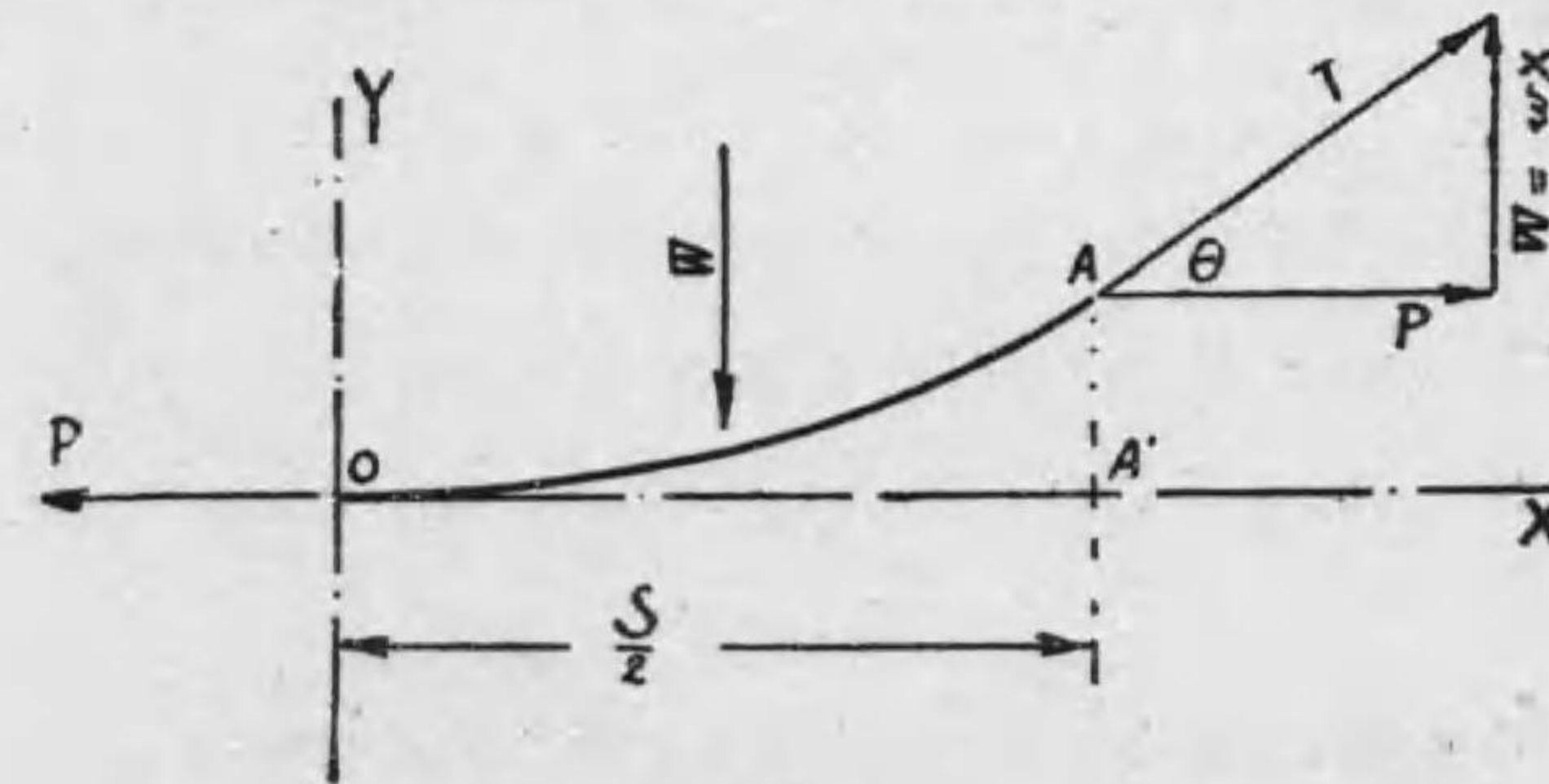
第 9 表 撚線表 (一般)

撚 數	撚線ノ抵抗	撚線ノ重量	撚線ノ直徑
	一素線ノ抵抗ニ次ノ數ヲ乗ズベシ	一素線ノ重量ニ次ノ數ヲ乗ズベシ	一素線ノ直徑ニ次ノ數ヲ乗ズベシ
3	.337 42	3.036 78	2.155
4	.253 065	4.049 04	2.414
7	.144 355 7	7.073 56	3.000
12	.084 355	12.147 1	4.155
19	.053 242 4	19.220 7	5.000
57	.027 349 3	37.441 4	7.000
61	.016 591 1	61.735 6	9.000
91	.011 122 2	92.103 4	11.000

第四章 弛度の計算

16 弛度の根本公式 二點間に架張せられた糸は糸の性質及架張の條件に依りて異なる形をなす。完全なる可撓性の糸が二點間に架張せられた場合には糸の成す形は懸鏈曲線 (catenary curve) である。今若し此の糸の重量が兩支持點間の水平距離に對して一様に配布されて居る場合には糸の成す形は拋物線 (parabola.) となる。架空電線路の電柱間に架張せらるゝ電線は、徑間距離に比し弛度が甚小さい故、電線の重量が水平距離に對して一様に配布されて居ると見て差支ない (實際は電線に沿ひて測りたる長さに對して一様に配布されて居るけれど)。而して懸鏈曲線の式は甚複雑であるのに反し、拋物線の式は簡單である故に架空電線の弛度の計算には拋物線公式が一般に用ひられて居る (實用上拋物線とした爲めの誤差は何等差支がない)。本書に於ても弛度の計算には拋物線の公式を用ふ。第 8 圖に於て架張せられた電線の一部分 OA を考ふるに、OA なる部分には三つの力が働いて居る。即 O 點にて水平張力 P が働き、A 點にて張力 T が電線の方に働き AO の中間にて W が垂直に働いて居る。

二點間に架張せられた糸は糸の性質及架張の條件に依りて異なる形をなす。完全なる可撓性の糸が二點間に架張せられた場合には糸の成す形は懸鏈曲線 (catenary curve) である。今若し此の糸の重量が兩支持點間の水平距離に對して一様に配布されて居る場合には糸の成す形は拋物線 (parabola.) となる。架空電線路の電柱間に架張せらるゝ電線は、徑間距離に比し弛度が甚小さい故、電線の重量が水平距離に對して一様に配布されて居ると見て差支ない (實際は電線に沿ひて測りたる長さに對して一様に配布されて居るけれど)。而して懸鏈曲線の式は甚複雑であるのに反し、拋物線の式は簡單である故に架空電線の弛度の計算には拋物線公式が一般に用ひられて居る (實用上拋物線とした爲めの誤差は何等差支がない)。本書に於ても弛度の計算には拋物線の公式を用ふ。第 8 圖に於て架張せられた電線の一部分 OA を考ふるに、OA なる部分には三つの力が働いて居る。即 O 點にて水平張力 P が働き、A 點にて張力 T が電線の方に働き AO の中間にて W が垂直に働いて居る。



第 8 圖

(W は OA なる電線の重量であるが、電線の重量は水平距離に対して一様に配布されて居るものと考ふる故、w を電線一呎の重量とし OA' = X とすれば W = wX となる。そして W は AO' の二等分點に働く) 此等の三力は平衡状態にあるを以て第 8 圖中右上方に描ける如き力の三角形を得。

此の三力の水平方向に於ける場合は

$$-P + T \frac{dx}{dz} = 0$$

又垂直方向に於ける場合は

$$-wx + T \frac{dy}{dz} = 0$$

此の兩式より dz を消去すれば

$$\frac{dy}{dx} = \frac{wx}{P}$$

X=0 の時 Y=0 として上式を積分すれば

$$y = \frac{wx^2}{2P}$$

$$\therefore x^2 = \frac{2P}{w} y$$

これが拋物線の公式である。

今 $x = \frac{S}{2}$ $y = d$ とすれば上式は

$$\left(\frac{S}{2}\right)^2 = \frac{2P}{w} d$$

$$\therefore P = \frac{wS^2}{8d} \dots\dots\dots(1)$$

(1) 式は水平なる二點間に架張せられたる電線の弛度及張力を研究する場合普く用ひらるゝ式である。(1) 式に於て

- S = 徑間距離 (呎)
- w = 電線の長さ一呎の重量 (封度)
- d = 徑間の中央に於ける電線の弛度 (呎)
- P = 徑間の中央に於ける電線の張力 (封度)

而して電線の支持點に於ける電線の張力を求むれば

$$T = \sqrt{P^2 + (wx)^2} = \sqrt{\left(\frac{wS^2}{8d}\right)^2 + \left(w \frac{S^2}{2}\right)^2} = \sqrt{\frac{w^2S^4 + 16w^2S^2d^2}{64d^2}}$$

$$= \frac{wS}{8d} \sqrt{S^2 + 16d^2}$$

然るに $\sqrt{a^2 + b^2}$ なる式に於て b が a に比し非常に小なる時は $\sqrt{a^2 + b^2}$ を $a + \frac{b^2}{2a}$ として差支へない故

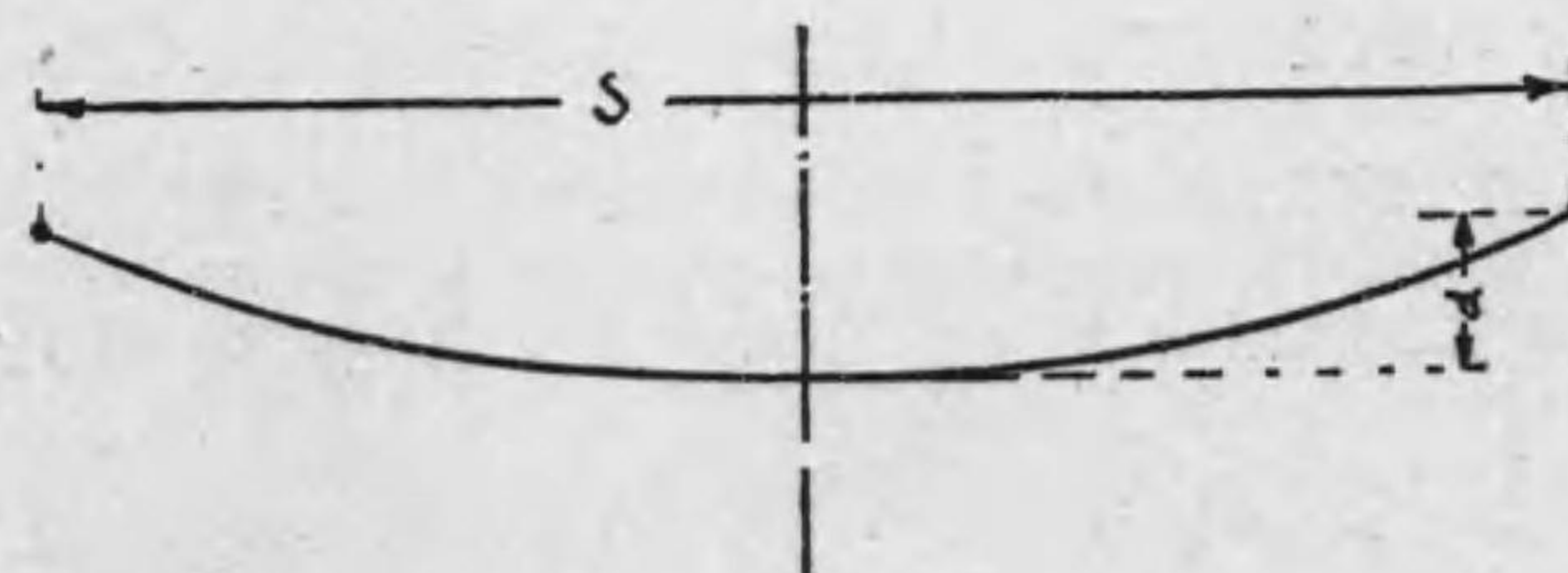
$$T = \frac{wS}{8d} \left(S + \frac{16d^2}{2S}\right) = \frac{wS^2}{8d} + wd \dots\dots\dots(2)$$

即電線の張力は支持點に於ける値が最大であつて、従つて電線の強度に關する計算は此の張力を用ひねばならぬけれど wd の値は實際の場合に於ては電線の張力に比し非常に小さい故 (1) 式に依つて計算せらるる張力を以て電線の強度を研究しても何等差支がない。それ故一般に (1) 式が用ひられて居る。

17 電線の長さ 第 9 圖の如く兩支持點が水平なる場合 S なる徑

間距離に於て、d なる弛度にて張られたる電線の實長 L は、次の式にて求められる。

$$L = S + \frac{8d^2}{3S} \dots\dots\dots(3)$$



第 9 圖

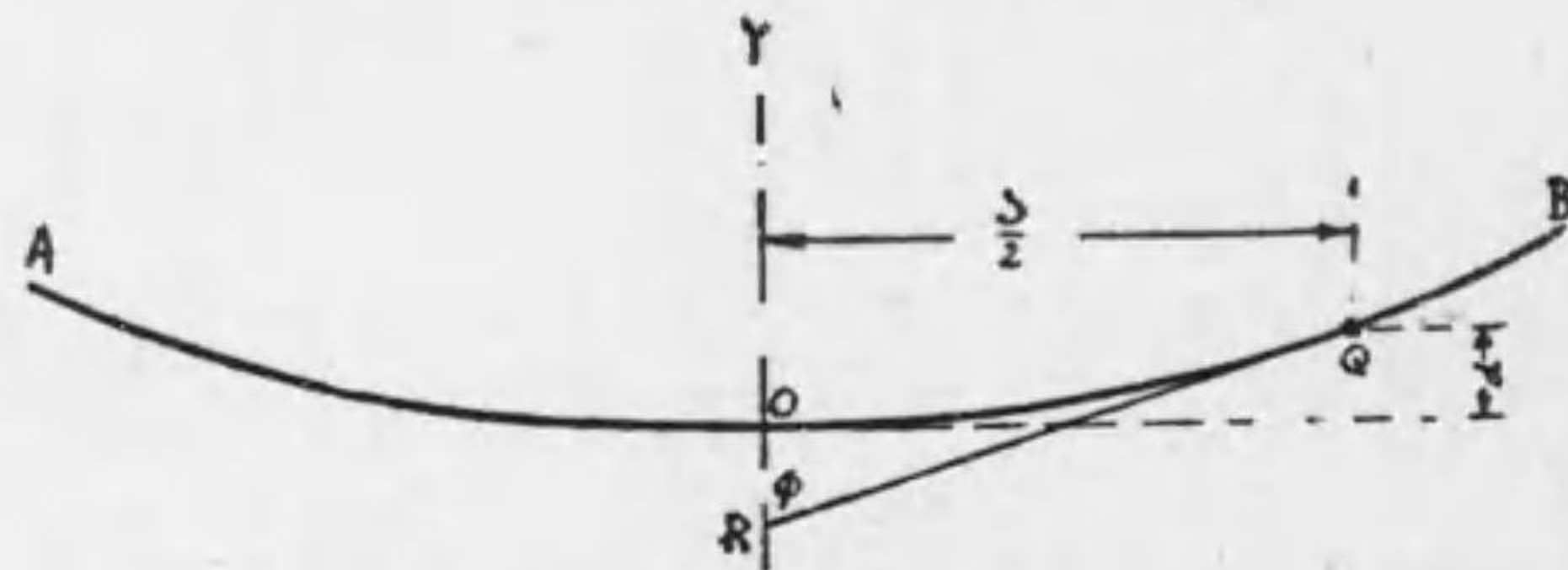
18 電線に引ける切線の方 電線支持點其他に於て電線

の傾斜の方向を知る必要が起る場合がある。第 10 圖に於て電線の形成する

曲線（拋物線）を AB とし、任意の一點 Q に於て曲線に切線を引く切線と Y 軸との交点を R とし、Q 點より測りたる最大弛度を d とし、Q 點と Y 軸との距離を $\frac{S}{2}$ とし、切線と垂直線と成す角を ϕ とすれば、OR の長さは常に d と等しい。故に

$$\tan \phi = \frac{\frac{S}{2}}{d+(OR)} = \frac{\frac{S}{2}}{d+d} = \frac{S}{4d}$$

之れに依りて架空電線上の任意の一點の電線の方角を知り得。



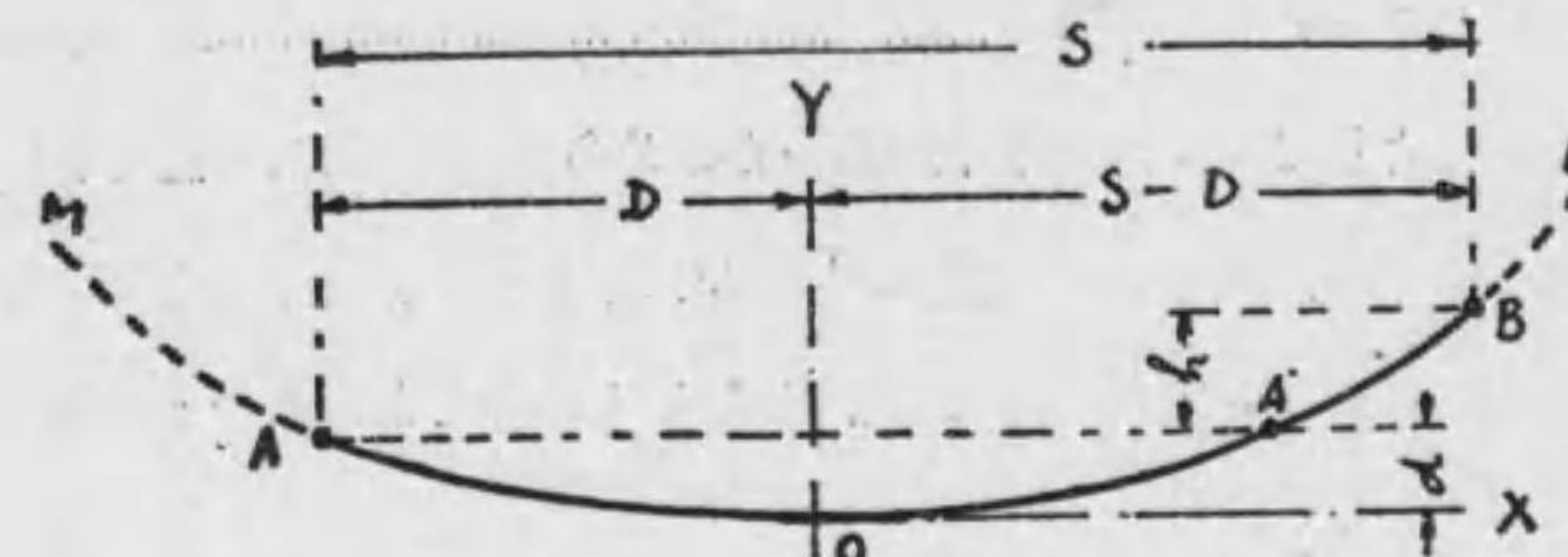
第 10 圖

19 兩支持點に高低差ある場合の弛度 架張せられたる

電線の形成する曲線は電線の張力に変化なく左右兩方に任意に伸ばして任意の二點にて支持するものとして考へ得。此の任意の二點が水平な場合もあれば、又高低差ある場合も生じ得。即水平なると否とに拘らず兩支持點間の電線は左右兩方に無限に伸ばされたる曲線（拋物線）の一部分を形成するものと考へ得。第 11 圖に於て

$$X^2 = Ky$$

なる式にて表はされる拋物線を描き之れを左右に伸ばした曲線を MN とし任意の A 及 B 兩點を支持點とす。



第 11 圖

- 今 h = 兩支持點間の高低差（呎）
- S = 水平に測りたる徑間距離（呎）
- D = A 點と最大弛度の點との水平距離（呎）
- d = A 點より測りたる最大弛度（呎）
- P = O 點に於ける電線の張力（封度）
- w = 電線一呎の重量（封度）

とすれば

$$K = \frac{2p}{w}$$

又拋物線の式に依り

$$D^2 = Kd$$

$$\therefore d = \frac{D^2}{K}$$

尙又

$$(S-D)^2 = K(d+h)$$

$$\therefore S^2 - 2SD + D^2 = Kd + Kh$$

而して $D^2 = Kd$

なるに依り

$$S^2 - 2SD = Kh$$

$$\therefore D = \frac{S^2 - Kh}{2S} \dots\dots\dots(4)$$

即(4)式によりて OA 間の水平距離 D が求められる。故に曲線の内 AOA' なる部分を考へ、水平なる二點 AA' の間に關し(1)式を適用して弛度 d を求め得。B 點より測りたる弛度は d と h との和である故 d が求まれば容易に計算し得。

(4) 式を見るに

$$Kh = S^2 \quad \text{なる時は} \quad D = 0$$

となりて電線の最低點と A 點とが一致する

$$\text{又} \quad Kh > S^2 \quad \text{なる時は} \quad D < 0$$

となりて電線の最低點たるべき點は AB なる兩支持點間の外となる爲めに、A 點の電線支持物は上方に引上げられることとなる。斯の如き場合には雨が電線を傳つて碍子を経て鐵塔へ通ふ等其他面白くない結果を來す。

兩支持點間に高低差ある場合イクイバレントチツプを計算して、然る後に其弛度を求むることも出来る。イクイバレントチツプとは同一の電線を同一の張力にて同一の徑間距離に於て、水平なる二支持點間に架張した場合の弛度である。

$$\text{今} \quad d_0 = \text{equivalent dip in ft.}$$

$$S = \text{span in ft.}$$

とすれば拋物線の公式に依り

$$\left(\frac{S}{2}\right)^2 = Kd_0$$

$$\therefore K = \frac{S^2}{4d_0}$$

この K の値を(4)式に入れると

$$D = \frac{S^2 - Kh}{2S}$$

$$= \frac{S^2 - \frac{S^2}{4d_0} h}{2S} \dots\dots\dots(5)$$

又は

$$S - D = \frac{S}{2} \left(1 + \frac{h}{4d_0}\right)$$

又

$$K = \frac{S^2}{4d_0}$$

を

$$d = \frac{D^2}{K} \quad \text{の式に入れると}$$

$$d = \frac{D^2}{\frac{S^2}{4d_0}} = \frac{\left[\frac{S}{2} \left(1 - \frac{h}{4d_0}\right)\right]^2}{\frac{S^2}{4d_0}} \\ = d_0 \left(1 - \frac{h}{4d_0}\right)^2 \dots\dots\dots(6)$$

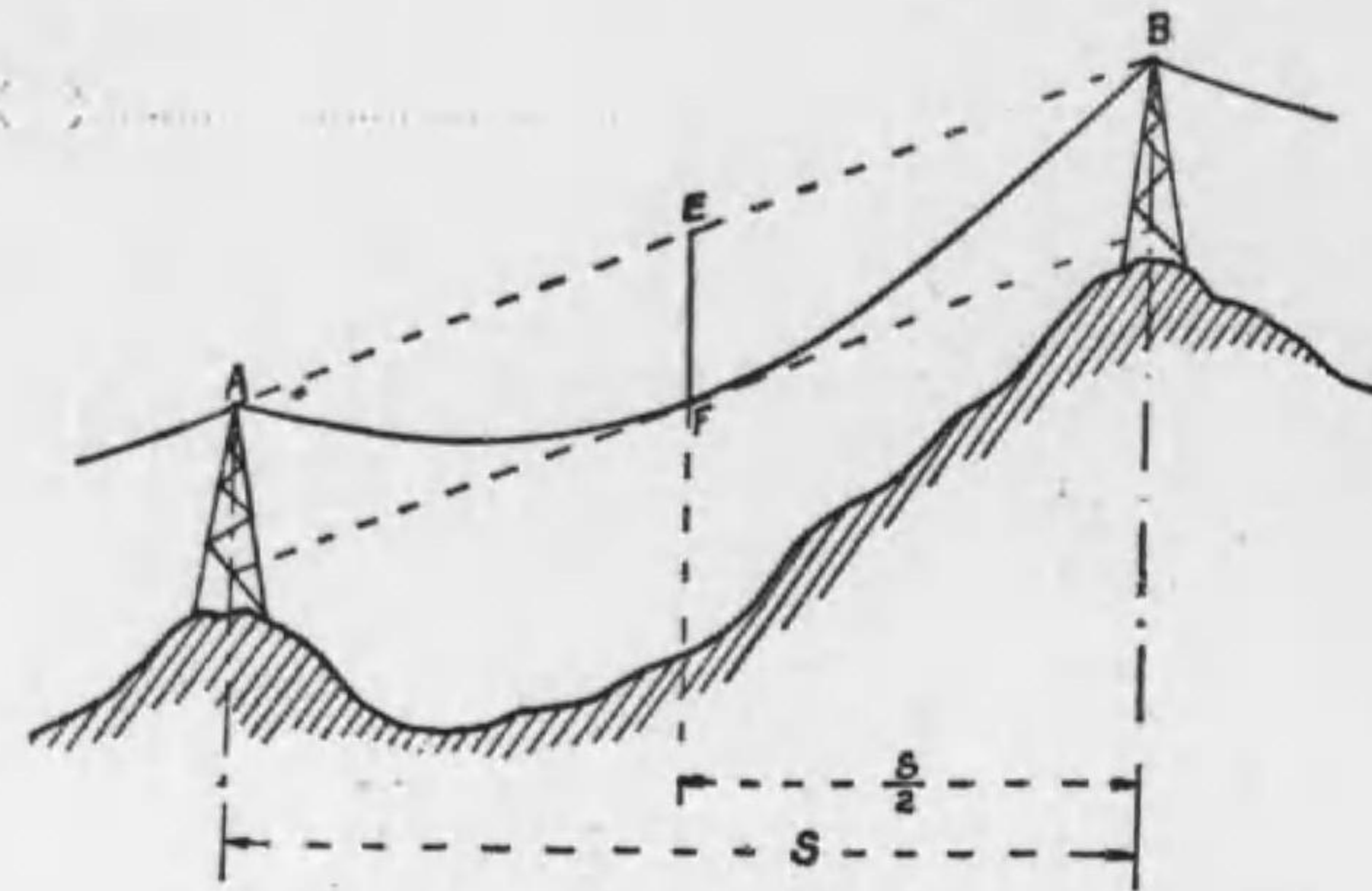
$$\text{又} \quad K = \frac{S^2}{4d_0} \quad \text{の値を} \quad h + d = \frac{(S-D)^2}{K}$$

の式に入れると

$$d + h = \frac{\left[\frac{S}{2} \left(1 + \frac{h}{4d_0}\right)\right]^2}{\frac{S^2}{4d_0}} \\ = d_0 \left(1 + \frac{h}{4d_0}\right)^2 \dots\dots\dots(7)$$

即イクイバレントチツプに依つて最大弛度の點と A 點との水平距離を求め〔(5)式に依り〕更に進んで A 點より測りたる最大弛度及 B 點より測りたる最大弛度の何れをも(6)式又は(7)式に依りて求め得。

上記の如くして最大弛度の値は求められるけれど、實際送電線路の架線に際し電線の弛度を定めるに當つて高低差のある場合、上記の最大弛度よりも第 12 圖中に示せる (EF) の長さを知るが便利な場合が多い。次の説明にて明かなる如く (EF) の長さは高低差のある場合と同一の徑間距離にて、兩支持點が水平な場合の最大弛度と等しい。



第 12 圖 の 1

第12圖其の2に於て A及B點を高低差ある兩支持點とし、其の水平距離を Sとす。又同一の水平距離で兩支持點が水平なる場合の兩支持點を G及Kとし、其の場合の弛度を dとす。パラボラに於て y の値は x の自乗に正比例するを以て一般に次の式を得

$$y = \frac{4d}{S^2} x^2$$

$$\begin{cases} y_B = \frac{4d}{S^2} (x_F + \frac{S}{2})^2 \\ y_F = \frac{4d}{S^2} x_F^2 \\ y_A = \frac{4d}{S^2} (-\frac{S}{2} + x_F)^2 \end{cases}$$

而して

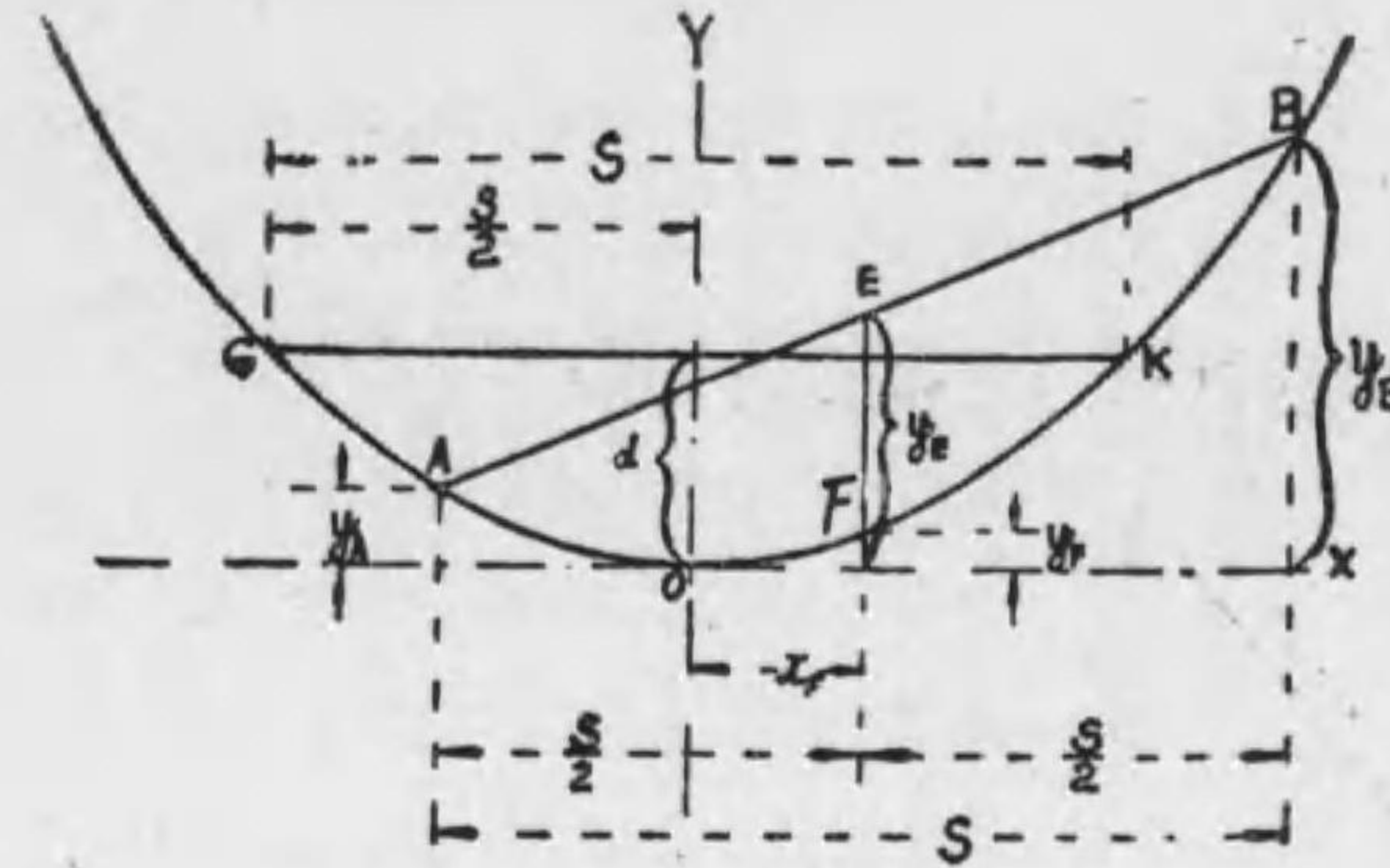
$$y_E = \frac{y_A + y_B}{2}$$

$$= \frac{4d}{2S^2} \left[\left(-\frac{S}{2} + x_F\right)^2 + \left(x_F + \frac{S}{2}\right)^2 \right]$$

$$= \frac{4d}{2S^2} \left(\frac{S^2}{4} + x_F^2 \right) \times 2 = d + \frac{4d}{S^2} x_F^2$$

∴ $y_E = d + y_F$

∴ $\overline{EF} = d$



第 12 圖 の 2

20 注意 上記の(1)乃至(7)の式に於て、電線の長1呎の重量は實際の送電線の弛度及張力を計算する場合には、電線自身の重量の外に電線に加はる荷重をも考へねばならぬ。電線に加はる荷重としては、電線の周囲に附着する氷雪の重量及之に加はる風壓がある。

- 今
- $w_0 =$ 電線自身の長さ1呎の重量 (封度)
 - $w_1 =$ 電線の長さ1呎に附着する氷雪の重量 (封度)
 - $w_w =$ 電線の長さ1呎に加はる風壓 (封度)
 - $w =$ 上記三者の合成力 (封度)

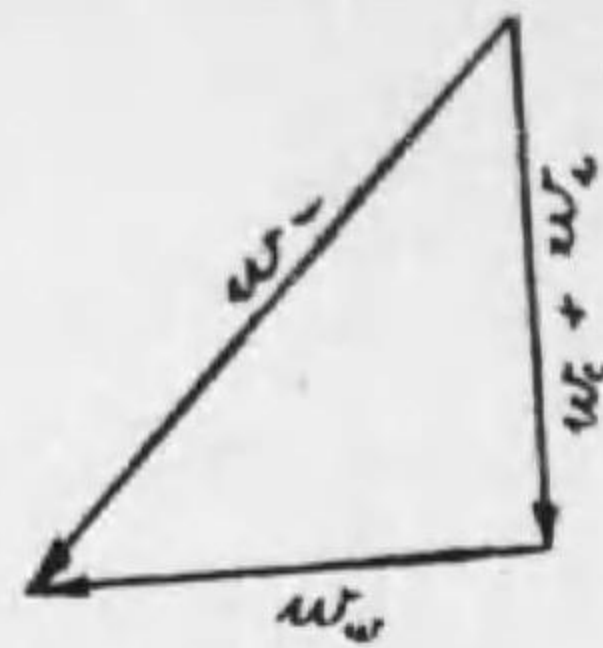
とすれば第13圖に示す如く

$$w = \sqrt{(w_0 + w_1)^2 + w_w^2} \dots\dots\dots(8)$$

そして(8)式で求めたる w を(1)乃至(7)式の計算に用ふべきである。氷雪の附着なき場合には $w_1 = 0$ とし風壓及氷雪の何れをも考へざる場合には $w = w_0$ とし計算すればよいことは勿論である。而して弛度計算の場合の安全係数の値は最低温度に於て w_0 のみを考へたる場合

は 3.5 乃至 5 (木柱の場合は逓信省電氣工作物規程本則第四十七條同第四十八條に依るを要す) とし w を考へたる場合には 2 乃至 3 として計算すればよいと思はれる (第二章 7 を参照)

21 弛度及張力と温度との關係 電線は温度の變化に依り



第 13 圖

り長さを變化し、又彈性體なるを以て張力の變化に依りても其の長さを變化す。今或る温度に於て或る弛度を以て張られたる電線があつて、温度が上昇したとすれば電線は線膨張係數に應じて長さを増し、弛度増加するにより張力を減じ、張力減少すれば電線の長さは彈性係數に應じて縮まる故温度

に依る膨張の爲めの弛度の増加は之れによりて減ぜらる。故に架線當時と異なる温度に於ける電線の弛度並に張力を適當ならしむる様、架線當時に於ける弛度或は張力を定めるには、上記の關係を研究せねばならぬ。

- 今 P = 電線に許し得べき最大張力 (封度)
 P_n = 架線當時無風無雪として弛度 d_n に相當する電線の張力 (封度)
 w_c = 電線自身の長さ 1 呎の重量 (封度)
 w_l = 電線の長さ 1 呎に附着する氷雪の重量 (封度)
 w_w = 電線の長さ 1 呎に加はる風壓 (封度)
 w = 電線の長さ 1 呎の重量及荷重の合成 (封度)

$$= \sqrt{(w_c + w_l)^2 + w_w^2}$$
 d_0 = 最大張力の場合に於ける電線弛度 (呎)
 (d_0 は最低温度に於て氷雪及風壓を計上し張力が P とな

る場合の電線の弛度とす)

- d_n = 架線當時電線に與ふべき弛度 (呎)
 (d_n は無風無雪の場合架線の時の弛度であつて架線當時は d_0 の場合より t 度温度高きものとす)
 L_0 = 弛度 d_0 の場合に於ける電線の長さ (呎)
 L = 張力 P を受けたる場合の長さ L_0 なる電線より張力全部を取り去りたる場合の長さ (呎)
 L_n = 張力を受けざる場合の長さ L なる電線に張力を加へず温度のみ t 度上昇せし場合の電線の長さ (呎)
 L_n = 張力を受けざる場合 L_n なる長さを有する電線に P_n なる張力を加へたる場合の電線の長さ (呎)
 (故に L_n は d_n の弛度にて P_n の張力を以て張られた電線の長さ即架線當時の電線の長さである)
 α = 電線の温度に依る線膨張係數
 A = 電線の切斷面積 (平方吋)
 M = 電線の彈性係數
 t = 最低温度より測りたる架線當時の温度
 S = 徑間距離 (呎)

とすれば (1) 式に依り

$$P = \frac{wS^2}{8d_0}$$

$$d_0 = \frac{wS^2}{8P} \dots\dots\dots (9)$$

即 P なる張力を許し得べき電線は最低温度に於て氷雪及風壓をも考慮し S なる徑間距離に對し (9) 式で求めたる d_0 なる弛度を有すればよいこと

となる。〔Pなる最大許容張力は如何なる場合でも電線の弾性極限を超過せぬ様定めねばならぬ（第二章7を参照）〕

この場合の電線の長さは

$$L_0 = S + \frac{8d_0^2}{3S} \dots\dots\dots(10)$$

若しこの電線から張力を取り去る時は、其の長さは弾性率に従つて縮小する故、次の如くなる。

$$\begin{aligned} L &= \frac{L_0}{1 + \frac{P}{AM}} \\ &= \frac{S + \frac{8d_0^2}{3S}}{1 + \frac{P}{AM}} \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

今張力を與へざる儘とし温度をt度上昇せしむればLなる長さの電線は次の如き長さとなる。

$$\begin{aligned} L_h &= L(1 + \alpha t) \\ &= \frac{S + \frac{8d_0^2}{3S}}{1 + \frac{P}{AM}} (1 + \alpha t) \\ &= (S + \frac{8d_0^2}{3S}) \frac{(1 + \alpha t)}{(1 + \frac{P}{AM})} \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

實際は架張せられたる電線には張力が働く故に張力を受けざる場合 L_h なる長さを有する電線が P_n なる張力を受くれば其の長さを増加し次の如くなる。

$$\begin{aligned} L_n &= L_h(1 + \frac{P_n}{AM}) \\ &= (S + \frac{8d_0^2}{3S}) (1 + \alpha t) \frac{1 + \frac{P_n}{AM}}{1 + \frac{P}{AM}} \dots\dots\dots(13) \end{aligned}$$

即 L_n はPの張力にて d_0 の弛度に張られたる電線が、温度上昇して張

力が P_n となりたる場合の電線の長さである（この場合氷雪及風壓の有無は(15)式の w_c の取り方に依りて定めらる）。而して電線の伸縮及電線に加はる荷重（氷雪風壓等）の如何に關せず拋物線の公式が適用されるに依り（但し公式に用ゆる數字は各々の、場合場合に依り適當な値を取らねばならぬ） L_n は次の式に依りても求めらる。

$$L_n = S + \frac{8d_n^2}{3S} \dots\dots\dots(14)$$

然して架線當時無風且無雪とすれば

$$P_n = \frac{w_c S^2}{8d} \dots\dots\dots(15)$$

(13)式及(14)式に依り

$$(S + \frac{8d_0^2}{3S}) (1 + \alpha t) \frac{1 + \frac{P_n}{AM}}{1 + \frac{P}{AM}} = S + \frac{8d_n^2}{3S}$$

之の式中へ(15)式を入れて P_n を消去すれば

$$(S + \frac{8d_0^2}{3S}) (1 + \alpha t) \frac{1 + \frac{w_c S^2}{8AMd_n}}{1 + \frac{P}{AM}} = S + \frac{8d_n^2}{3S}$$

(12)式を之に入れると

$$L_h(1 + \frac{w_c S^2}{8AMd_n}) = S + \frac{8d_n^2}{3S}$$

この式の各項に $\frac{3Sd_n}{8}$ を乗すれば

$$\begin{aligned} \frac{3Sd_n}{8} (1 + \frac{w_c S^2}{8AMd_n}) L_h - \frac{3S^2 d_n}{8} - d_n^3 &= 0 \\ d_n^3 + \frac{3S^2 d_n}{8} - \frac{3Sd_n}{8} L_h - \frac{3w_c S^3 L_h}{64 AM} &= 0 \\ \therefore d_n^3 + \frac{3S}{8} (S - L_h) d_n - \frac{3w_c S^3 L_h}{64 AM} &= 0 \end{aligned}$$

架空電線路では L_h と S とは其の差甚小なる故

$$S^3 L_h = S^4$$

としても差支ない故

$$d_n^2 + \frac{3S}{8}(S - L_h)d_n - \frac{3w_c S^4}{64AM} = 0 \dots\dots\dots(16)$$

(16)式に依りて得たる弛度を以て架線すれば、溫度降下し最低溫度に至り電線が氷雪並に風壓を受けたる場合、弛度 d_0 となり張力 P となる。即架線當時弛度 d_n を與ふれば、最悪状態に於ても電線の張力は其の最大許容張力を超過しないのである。而して架線當時の張力 P_n は (16) 式にて求めたる弛度 d_n を (15) 式に入れば求めらる。之等の計算に用ひたる係數の値及電線の強度等は第三章に於て詳記してある。(9) 式乃至 (16) 式に於て P_n は架線當時の電線の張力で P_n の記號の説明では架線當時は無風無雪と假定したけれど、これは架線作業の當時には問題とする程の暴風もない筈で、且電線に氷雪が附着した儘で架線作業をする事もない故に、架線當時を無風無雪と假定したのであつて、何にも P_n は無風で且氷雪の附着も無き場合の電線の張力でなければならぬことはない。若し上記の説明の通り架線當時風も無く氷雪の附着もないならば、(15) 式中の w_c を其の儘用ゆればよく、若し又架線當時風が吹いて居るならば (15) 式中の w_c の代りに $\sqrt{w_c^2 + w_w^2}$ を用ゆればよく、又架線當時風も吹き且氷雪も電線に附着して居るなら (15) 式中の w_c の代りに w を用ゆればよい。尙 P_n は架線當時の電線の張力として説明したけれど t の取り方に依つて如何なる溫度に於ける場合に關しても弛度及張力の計算が出来る。即 (9) 式乃至 (16) 式に於て w_c を $\sqrt{w_c^2 + w_w^2}$ とするか、或は w とするか又は t の値を任意に取る事に依つて如何なる状態に於ける電線の弛度や張力でも計算出来る。

最低溫度に於ける弛度 d_0 を知りて他の溫度に於ける弛度を求めるには (16) 式を用ゆればよろしいけれど、三次式となつて居て複雑である故氷雪

の附着なき地方では次の近似公式が廣く用ひられて居る。

$$d_n = \sqrt{d_0^2 + \frac{3atS^2}{8}} \dots\dots\dots(17)$$

但し (17) の d_0 と d_n との場合の電線の受くる荷重には變化なきものとす。(17) 式は (16) 式よりも僅に大なる結果を得る故に (17) 式は近似にして誤差は安全なる側にあり。

(16) 式又は (17) 式に於て t を最高溫度の場合に取れば d_n は最大弛度となる。電線の地表上の高さ等はこの最大弛度に依りて論ぜられねばならぬ。架線當時の溫度は春夏秋冬晝夜晴曇の差によりて變化する故、種々なる溫度に遭遇しても架線當時の弛度を誤らぬ爲めには (16) 式又は (17) 式で t を色々に變へて、 t の種々なる値に對し弛度を求め、之れを曲線圖として置けば便利である。第10表は京阪地方に於ける溫度表で之れに依りて見れば、京阪地方では最高溫度を攝氏 40 度最低溫度を零下 10 度とすればよい。第17表は全国各地の溫度を示す。

第10表 京阪地方に於ける溫度表

年 度	京 都		宇 治		大 阪	
	最 高 C°	最 低 C°	最 高 C°	最 低 C°	最 高 C°	最 低 C°
明治四十三年	35.6	- 9	35	- 4.9	34.9	- 4.8
明治四十四年	35.9	- 7.3	35.4	- 5.4	31.5	- 4.5
大正元年	35.9	- 6.9	37	- 4.7	34.3	- 2.5
大正二年	36.2	-10.9	37.5	- 6.8	35.1	- 4.6
大正三年	36.3	- 4.8	37.5	- 4.9	35.2	- 2.5
大正四年	36.1	- 6.1	36.8	- 4.7	36	- 4.7
大正五年	35.3	- 4.7	36.6	- 4.1	34.6	- 2.2
大正六年	37.2	- 9.4	38.1	- 9	35.4	- 3.1
大正七年	36.4	- 7.1	37.6	- 6.6	31.4	- 4.5
大正八年 觀測開始					34.7	- 3.6
以來ヲ通ジテ	37.2	-11	38.4	- 9	37.6	- 7.1

弛度計算の例

徑間距離 550 呎に於て直徑 104 ミルのもの 19 本撚硬引銅線(直徑 0.52 吋)を最低溫度に於て、最大荷重の加はりたる場合、安全係数を 2.5 として張架せんとする場合其弛度幾何。又此の條件にて張架せられたるものが、最高溫度に於て電線自身のみを重量を支持するものとした場合の弛度及張力幾何。

但し 最大荷重は電線の周圍に厚さ $\frac{1}{4}$ 吋の氷雪附着したる上に風壓(垂直投影面積 1 平方呎に付き 10 封度)加はりたる場合を計算し、電線の扯斷力は 1 平方吋に付き 50 000 封度とし最低と最高との溫度の差を攝氏 50 度とす。

(次の符號は前記の符號と變化なし。)

$$A = 0.161 \text{ sq. in.}$$

$$w_c = 0.63 \text{ lb}$$

$$w_i = \frac{\pi}{4} (1.02^2 - 0.52^2) \times 12 \times 0.033 = 0.24 \text{ lb}$$

$$w_w = \frac{1.02}{12} \times 10 = 0.85 \text{ lb}$$

$$w = \sqrt{(w_c + w_i)^2 + w_w^2} \\ = \sqrt{0.87^2 + 0.85^2} = 1.218 \text{ lb}$$

$$\alpha = 1.7 \times 10^{-5}$$

$$t = 50^\circ\text{C}$$

$$M = 17 \times 16^3 \text{ (硬銅の } M \text{ を } 20 \times 10^6 \text{ とし撚線に對しこの } 85\% \text{ を取る)}$$

$$S = 550 \text{ 呎}$$

$$P = 50\,000 \times 0.161 \div 2.5 = 3\,220 \text{ lbs}$$

(9) 式に依り最低溫度に於て最大荷重を受けた場合の弛度は

$$d_o = \frac{wS^2}{8P} \\ = \frac{1.218 \times 550^2}{8 \times 3220} = 14.3 \text{ 呎}$$

(10) 式に依り弛度 d_o の場合の電線の長さは

$$L_o = S + \frac{8d_o^2}{3S} \\ = 550 + \frac{8 \times 14.3^2}{3 \times 550} = 550.992 \text{ 呎}$$

(11) 式に依り電線の unstressed length は

$$L = \frac{L_o}{1 + \frac{P}{AM}} \\ = \frac{550.992}{1 + \frac{3220}{0.161 \times 17 \times 10^6}} = 550.3444$$

(12) 式に依り溫度 t 度上昇の場合の電線の unstressed length は

$$L_h = L (1 + \alpha t) \\ = 550.3444 \times (1 + 1.7 \times 10^{-5} \times 50) = 550.8122 \text{ 呎}$$

(16) 式に依り最大溫度の場合の弛度は

$$d_n^3 + \frac{3S}{8} (S - L_h) d_n - \frac{3w_c S^3}{64AM} = 0 \\ d_n^3 + \frac{3 \times 550}{8} \times (550 - 550.8122) d_n - \frac{3 \times 0.63 \times 550^3}{64 \times 0.161 \times 17 \times 10^6} = 0 \\ \therefore d_n = 15.241 \text{ 呎}$$

(上記の諸式の中 t なる溫度を變ふれば任意の溫度に於ける弛度が計算出来る) (15) 式に依り最大弛度 d_n の場合の張力は

$$P = \frac{w_c S^2}{8d_n} \\ = \frac{0.63 \times 550^2}{8 \times 15.241} = 1\,563 \text{ lbs.}$$

22 電線自身の重量のみを支持するものとして或る安全係数を與へて最低溫度に於ける弛度を定めたる場合同一溫度にて氷雪及風壓の爲め電線

に荷重加はりたる場合の弛度及張力。

d_0 = 最低温度にて最大荷重の加はりたる場合に於ける弛度(呎)

T_0 = 最低温度に於て最大荷重を受け弛度 d_0 の場合の張力(封度)

L_0 = 弛度 d_0 張力 T_0 の場合の電線の長さ(呎)

d = 最低温度に於て電線自身のみの重量を支持するものとし安全係数を f (電気工作物規程にては木柱の場合 $f=5$) としたる場合の電線の弛度(呎)

T = 弛度 d の場合の電線の張力 $= \frac{P}{f}$ (封度)

L = 弛度 d 張力 T の場合の電線の長さ(呎)

A = 電線の切斷面積(平方吋)

M = 電線の弾性係數

S = 徑間距離(呎)

w_0 = 電線自身の長さ1呎の重量(封度)

w = 荷重を受けたる電線の長さ1呎の合成重量(封度)

今最低温度に於て電線自身の重量のみを支持するものとし安全係数を f とすれば弛度及長さは

$$d = \frac{w_0 S^2}{8T} \dots\dots\dots(18)$$

$$L = S + \frac{8d^2}{3S} \dots\dots\dots(19)$$

然るに今この状態に張られたる電線に氷雪附着し、風壓加はる場合は張力増加し、電線の長さを増す故其の長さは

$$L_0 = L \left(1 + \frac{T_0 - T}{AM}\right) \dots\dots\dots(20)$$

尙又拋物線の公式は如何なる場合にも適用される故(3)式に依り L_0 は次の如くしても求められる。

$$L_0 = S + \frac{8d_0^2}{3S} \dots\dots\dots(21)$$

而して張力と弛度との關係も(1)式が常に適用され得る故

$$T_0 = \frac{wS^2}{8d_0} \dots\dots\dots(22)$$

(20)(21)(22)式に依り L_0 及 T_0 を消去し d_0 を求むれば

$$S + \frac{8d_0^2}{3S} = L \left(1 + \frac{T_0 - T}{AM}\right)$$

$$S + \frac{8d_0^2}{3S} = L \left(1 + \frac{\frac{wS^2}{8d_0} - T}{AM}\right)$$

$$\therefore d_0^2 = \frac{3S}{8} \left(L - S - \frac{LT}{AM}\right) d_0 + \frac{3LwS^2}{64AM} \dots\dots\dots(23)$$

(23)式に依りて求むる弛度が計算せられる。そしてこの場合の張力 T_0 は(22)式中へ(23)式で求めた弛度を入れると容易に計算出来る。(但し d_0 は風壓が加はつた場合には傾斜の方向に於ける弛度である)

計算の例

徑間距離 550 呎の箇所に 104 ミルのもの 19 本撚の硬銅線に對し、最低温度に於て電線自身のみの重量を支持するものとし、安全係数を 5 としたる場合の弛度を求む。次に最低温度に於て電線の垂直投影面積 1 平方呎に付き 20 封度の風壓加はりたる場合の弛度及張力を求む。尙最大温度に於て電線自身のみの重量を支持するものとしたる場合の弛度及張力を求む。

(符號は前記と同意とす。)

$$A = 0.161 \text{ sq. in.}$$

$$w_0 = 0.63 \text{ lb.}$$

$$w_w = \frac{0.52}{12} \times 20 = 0.866 \text{ lb}$$

$$w = \sqrt{w_0^2 + w_w^2}$$

$$= \sqrt{0.63^2 + 0.866^2} = 1.072 \text{ lb}$$

$$\alpha = 1.7 \times 10^{-5}$$

$$t = 50^\circ\text{C}$$

$$M = 17 \times 10^6 \text{ (硬銅の } M \text{ を } 20 \times 10^6 \text{ とし撚線はこの } 85\% \text{ とす)}$$

$$S = 550 \text{ 呎}$$

$$P = 50\,000 \times 0.161 = 8\,050 \text{ lbs.}$$

$$T = 8\,050 \div 5 = 1\,610 \text{ lbs.}$$

(18)式に依り弛度 d は

$$\begin{aligned} d &= \frac{w_e S^2}{8T} \\ &= \frac{0.63 \times 550^2}{8 \times 1610} = 14.8 \text{ 呎} \end{aligned}$$

(19)式に依りこの場合の電線の長さは

$$\begin{aligned} L &= S + \frac{8d^2}{3S} \\ &= 550 + \frac{8 \times 14.8^2}{3 \times 550} = 551.0615 \text{ 呎} \end{aligned}$$

(23)式に依り最大荷重の場合の弛度は

$$\begin{aligned} d_0^3 &= \frac{3S}{8} \left(L - S - \frac{LT}{AM} \right) d_0 + \frac{3LwS^3}{64AM} \\ &= \frac{3 \times 550}{8} \left(551.0615 - 550 - \frac{551.0615 \times 1\,610}{0.161 \times 17 \times 10^6} \right) d_0 + \\ &\quad \frac{3 \times 551.0615 \times 1.072 \times 550^3}{64 \times 0.161 \times 17 \times 10^6} \\ d_0 &= 16.42 \text{ 呎} \end{aligned}$$

(但し此の弛度 d_0 は荷重の方向に傾斜せる弛度である事は勿論である)

(22)式に依り最大張力は

$$\begin{aligned} T_0 &= \frac{wS^2}{8d_0} \\ &= \frac{1.072 \times 550^2}{8 \times 16.42} = 2\,470 \text{ lbs.} \end{aligned}$$

(17)式に依り最大弛度は

$$d_n = \sqrt{d^2 + \frac{3\alpha t S^2}{8}}$$

$$= \sqrt{14.8^2 + \frac{3 \times 1.7 \times 10^{-5} \times 50 \times 550^2}{8}} = 17.75 \text{ 呎}$$

弛度 d_n の場合の張力は (無風無雪の場合)

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{w_e S^2}{3d} \\ &= \frac{0.63 \times 550^2}{8 \times 17.75} = 1\,340 \text{ lbs.} \end{aligned}$$

23 電線の太さと荷重の影響

架空電線の弛度や張力が温度や荷重の變化と共に如何に變化するかは上述の通りであるが、電線の太さが變ると荷重の影響が甚敷く變化する故、今一例を擧げて其の影響の程度を計算して見ることにする。

【例】太さを異にする甲乙二線あり。共に同一品質の硬銅線にして毎平方吋の扯斷力 50 000 封度なりとす。甲乙共 1 000 呎のスパンにて最低温度に於て電線自身のみ重量を支持するものとし、安全係数を 5 として架線された場合其の周圍に各々厚さ $\frac{1}{4}$ 吋の氷雪附着し其上垂直投影面積 1 平方呎に付き 10 封度の風壓加はりたる場合各々の電線の安全係數幾何なるか。但し甲は直徑 116.2 mil のもの 37 本撚にして直徑 0.814 吋。長 1 呎の重量 1.54 封度、切斷面積 0.3925 平方吋とし、乙は直徑 77.2 mil のもの 7 本撚にして直徑 0.232 吋、長 1 呎の重量 0.129 封度、切斷面積 0.0327 平方吋とす。

(次の附號は前記と同一とす)

甲の場合

$$A = 0.3925 \text{ sq. in.}$$

$$w_e = 1.54 \text{ lb.}$$

$$w_i = \frac{\pi}{4} (1.314^2 - 0.814^2) \times 12 \times 0.033 = 0.331 \text{ lb.}$$

$$w_w = \frac{1.314}{12} \times 10 = 1.09 \text{ lb.}$$

$$w = \sqrt{(w_0 + w_1)^2 + w_w^2}$$

$$= \sqrt{(1.54 + 0.331)^2 + 1.09^2} = 2.162 \text{ lb.}$$

$$\text{(電線の扯斷力)} = 50\,000 \times 0.3925 = 19\,620 \text{ lbs.}$$

∴ (低温度に於て荷重なき場合の弛度)

$$= \frac{1.54 \times 1\,000^2}{8 \times \frac{21588}{5}} = 49.3$$

$$\text{(最低温度に於て風壓及氷雪の荷重を受けたる場合電線の張力)} = \frac{2.162 \times 1\,000^2}{8 \times 49.3} + 2.162 \times 49.3$$

$$= 5\,596 \text{ lbs.}$$

$$\text{(此の場合の安全係數)} \dots\dots\dots = \frac{19\,620}{5\,596} = 3.5$$

乙の場合

$$A = 0.0327 \text{ sq. in.}$$

$$w_0 = 0.129 \text{ lb.}$$

$$w_1 = \frac{\pi}{4} (0.732^2 - 0.129^2) \times 12 \times 0.033 = 1.61 \text{ lb.}$$

$$w_w = \frac{0.732}{12} \times 10 = 0.61 \text{ lb.}$$

$$w = \sqrt{(w_0 + w_1)^2 + w_w^2}$$

$$= \sqrt{(0.129 + 1.61)^2 + 0.61^2} = 1.845 \text{ lb.}$$

$$\text{(電線の扯斷力)} = 50\,000 \times 0.0327 = 1\,635 \text{ lb.}$$

$$\therefore \text{(最低温度に於て荷重なき場合の弛度)} = \frac{0.129 \times 1\,000^2}{8 \times \frac{1635}{5}} = 49.3$$

$$\text{(最低温度に於て風壓及氷雪の荷重を受けたる場合電線の張力)} = \frac{1.845 \times 1\,000^2}{8 \times 49.3} + 1.845 \times 49.3$$

$$= 559 \text{ lb}$$

$$\text{(此の場合の安全係數)} \dots\dots\dots = \frac{1635}{559} = 2.9$$

即同一品質の電線が同一の條件で架張せられてあつて、之れに同一條件の荷重が加はつた場合でも、電線の太さに差ある爲め甲は安全係數 3.5 と

なり乙は 2.9 となりて、安全係數に非常な差を生ず。若し乙が尙小さい線であつたならば、益々安全係數の値小となる。故に逓信省電氣工作物規程本則第四十七條に依り最低温度に於て電線自身の重量を支持するものとし安全係數を 5 とし弛度を計算した場合には大きな電線は安心であるけれど、小さな電線の場合は最低温度に於て最大荷重の加はつた場合の電線の張力が如何程の安全程度にあるかを檢し置く必要がある。此の例の計算では簡單にする爲め電線の彈性率を除外して計算したのであるが、此の例では弛度が可也大きく従つて彈性率の弛度に及ぼす影響の割合が小さい故大した誤差は起らない。

第五章 鐵塔用材片の強度

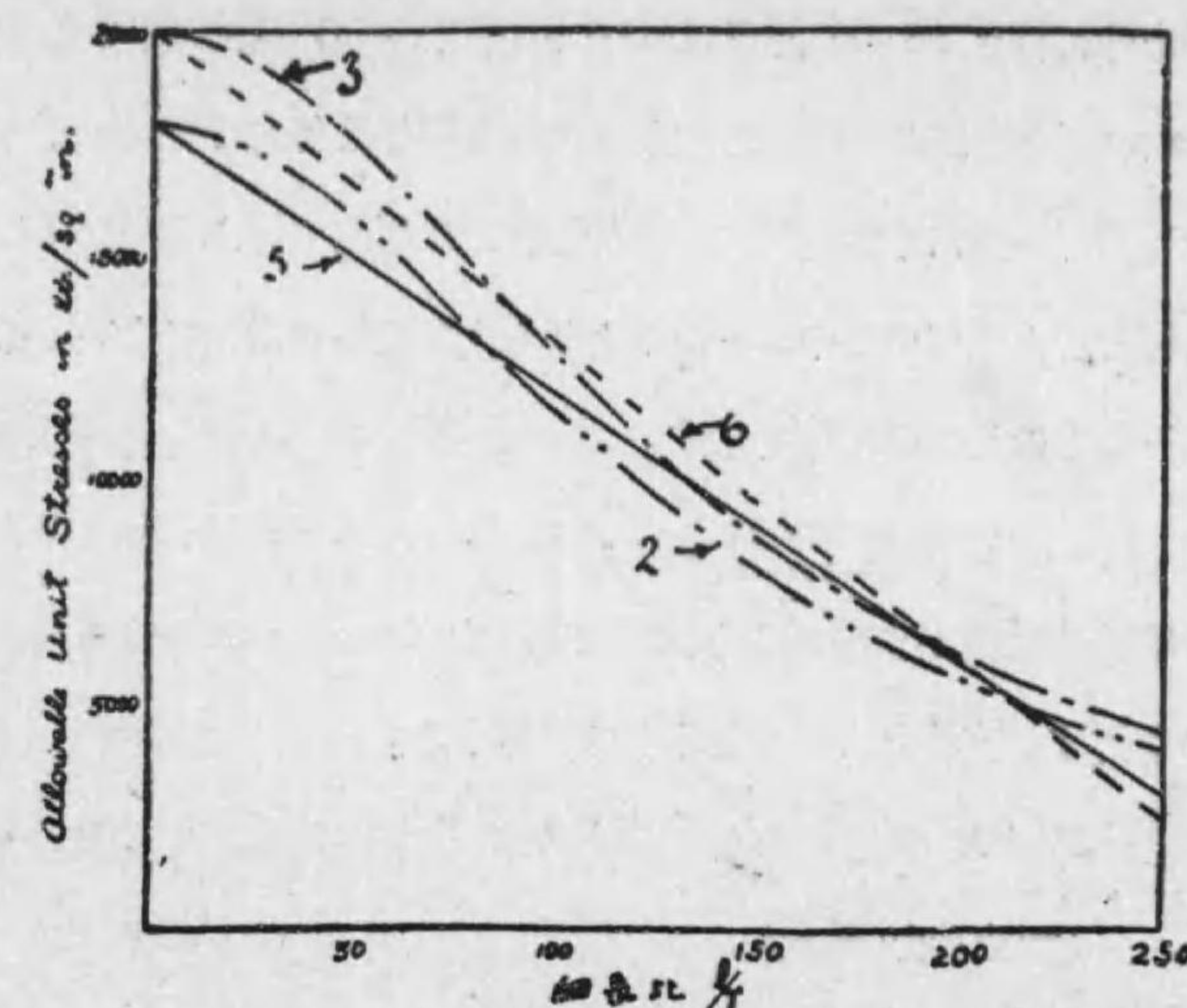
24 鐵塔用材料 鐵塔に使用する材料は鋼である故、鐵塔は鋼塔と云ふべきである。鐵塔に用ひらるゝ材料の断面の形狀は、山形鋼 (angle steel) が最も多く用ひられ、平鋼 (flat steel bar)、溝形鋼 (channel steel) 及鋼管 (steel pipe) が之れに次いで用ひられ、其他特種の形狀のものも稀に用ひらる。之等の種々なる断面の形狀のものは各々特性を有してゐる。そして切断面の慣動半徑 (radius of gyration) の小なるものは抗張材 (tension member) として用ゆるに適し、慣動半徑の大なるものは抗壓材 (compression member) として用ふるに適す。即ち平鋼は抗張材として用ひられ山形鋼溝形鋼及鋼管等は抗壓材として用ひらる (但し抗壓材として用ひ得る材片を抗張材として用ふる事は差支なく山形鋼は抗張材としても随分廣く用ひられてゐる)。第 11 表は最近米國カーネギー會社製鐵塔用鋼材をピツブルグ・テストング・ラボラトリーにて試験した結果を示すものである。第 12 表は種々なる形の鋼材の性質を示す。

第 11 表 カーネギー製鐵塔用鋼材試験成績表

材片 種類	大サ 吋	彈性 極根 lbs/□"	ultimate strength lbs/□"	長 8 吋 ニ於ケル 伸 長 %	分 析 成 分			
					car- bon %	Mn %	phosp. %	sulph. %
angle	2 × 2 × 3/16	32 760	60 650	24	.22	.35	.011	.042
	2 × 2 × 1/4	36 830	62 160	28	.24	.41	.014	.033
	"	37 720	61 140	26	.18	.42	.015	.040
	2 1/2 × 2 × 3/8	37 460	61 160	28	.24	.35	.013	.048
	"	36 200	60 240	28	.18	.43	.018	.060
	2 1/2 × 2 × 1/4	36 300	60 120	29	.23	.34	.016	.042
"	36 420	64 210	26	.20	.36	.013	.036	

欠

結果は l/r の或る範圍内に於ては充分信頼し得れども、 l/r が其範圍の外にある場合には誤差が多い故に、この公式を用ゆる場合には、 l/r の如何なる範圍内に於て正確であるかを豫め研究して置かねばならぬ。第15圖はこの比較を示す。圖に於て(2)(3)(5)(6)は前記(2)式(3)式(5)



第 15 圖

式及(6)式の値の曲線である。この曲線で見ると(5)及(6)は l/r の値零乃至 250 位の範圍内ならば信頼し得べきものである(l/r は普通 250 以下である)。

直線公式は計算が簡単である故設計の場合甚だ便利である。

27 ボールト又はリベットの強度 鐵塔構成材を結合するにはボールト又はリベットを用ゆ。ボールト及リベットは主として剪力 (shearing stress) を受く。その抗剪強度は次の如くして求められる。

$$P=SA$$

欠

但 P =抗剪強度(封度)
 S =單位抗剪強度(一平方吋に付き封度)
 A =切斷面積(平方吋)

單位抗剪強度は單位抗壓強度の約四分の三が普通である。 S の破壊強度は一平方吋に付き 25 000 乃至 48 000 封度位で其の許容強度 (allowable working value) は安全係数の取り方に依り變るは勿論で普通一平方吋につき八千乃至一萬六千封度位にて設計され、工場内で行ふリベットに対しては現場で行ふリベットやボルトよりも大なる値を用ひてよい。第 13 表はボルトの切斷面積等を示す。

28 ボルト又はリベットの支持力 ボルト又はリベットは抗剪強度が充分なると同時に支持力 (bearing value) も荷重に耐へ得るを要す。支持力は次の如くして計算する。

$$P=SA$$

但し P =支持力(封度)
 S =單位支持力(一平方吋に付き封度)
 A =受壓面積(平方吋)

S の許容強度の値は 17 000 封度乃至 32 000 封度位でボルトの單位抗剪強度の二倍を普通とす。

ボルト又はリベットは抗剪強度と支持力とが何れも荷重に對し充分の値でなくてはならぬ。結合される二つの材片の厚さが薄き場合にはボルト又はリベットの強度は支持力にて支配され、厚き場合には抗剪強度に依りて支配せらる。

一例を示せば

ボルトの直徑	5/8 吋
結合される材片の厚さ	3/16 吋
單位抗剪強度	16 000 封度
單位支持力	32 000 封度

の場合には

$$\begin{aligned} \text{ボルトの切斷面積} &= \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{5}{8}\right)^2 \\ &= 0.307 \text{ 平方吋} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{受壓面積} &= \frac{5}{8} \times \frac{3}{16} \\ &= 0.117 \text{ 平方吋} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{故に 全抗剪強度} &= 16\,000 \times 0.307 \\ &= 4\,920 \text{ 封度} \end{aligned}$$

$$\text{全支持力} = 32\,000 \times 0.117 = 3\,750 \text{ 封度}$$

即この例に於てはボルトの強度は支持力に依りて支配されなければならぬ。(此場合厚さが 4 分の 1 吋以上とならば支持力はボルトの強度より大となる故、ボルトの強度は抗剪強度によりて支配される)。

29 彎曲に對する強度 鐵塔のアームに於て時々生ずる如く彎曲力率を受ける場合の強度の公式は

$$M=SZ$$

但 M =彎曲力率(外力による)

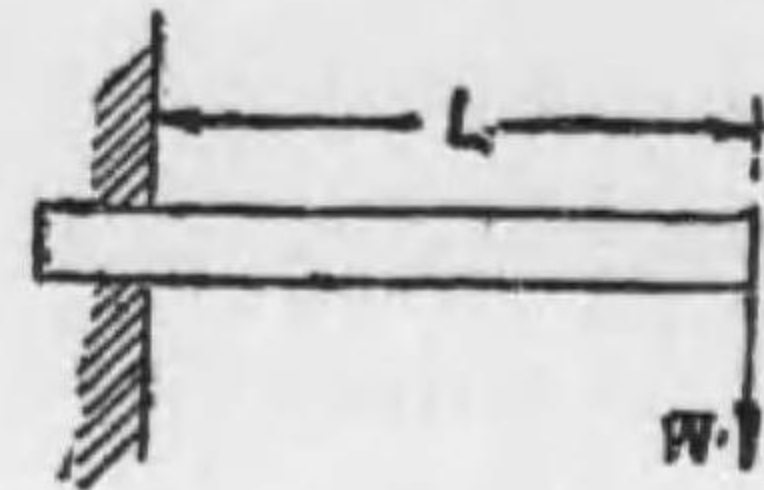
S =材片に生ずる最大單位應力

Z =材片の斷面率 (section modulus)

M は外力に依る彎曲力率で第 17 圖の如き場合に於ては

$$M=WL$$

Sなる最大應力は中性面の一侧に於ては應壓力で、反線側では應張力である。故に S の値は單位抗張強度及び單位抗壓強度を超過しない様に設計せねばならぬ。



第 16 圖

第六章 鐵塔に加はる荷重

(loading condition for tower)

30 鐵塔に加はる荷重の分類

鐵塔の設計に當りては先づこれに加はる荷重を想定し計算せねばならぬ。荷重の取り方にて鐵塔の重量は輕くも重くも設計せられ得るのであつて、重き荷重條件の基に設計されたならば、鐵塔は安全であるけれども、重量大となりて鐵塔費高くなる故に、起り得べき最大の荷重を研究し、之れ以上に重き荷重條件を以て設計せぬ様注意せねばならぬ。

今鐵塔に加はる荷重を研究するに當り次の如く分類する。

- (1) 垂直荷重 (vertical load)
- (2) 水平横荷重 (horizontal transversal load)
- (3) 水平縦荷重 (horizontal longitudinal load)

31 垂直荷重

これは鐵塔に載せられたるものゝ重量其他にして次の如きものよりなる。

- (A) 電線及地線の重量
- (B) 碍子及其附屬品の重量
- (C) 鐵塔自身の重量
- (D) 電線地線及鐵塔其他に附着する氷雪の重量
- (E) 垂直に吹き下す風壓

垂直荷重としての電線及地線の重量は、鐵塔の前後のスパンの各最大弛度の點と、鐵塔との間に於ける線の重量の合計を計上せねばならぬ。それ故線の支持點に高低差なき場合には鐵塔の前後のスパンの各々半分宛

の長さに対する線の重量の合計を取ればよいことは明かである。碍子及鐵塔の重量は用いた材料の大きさに依りて計算が容易に出来る。

(第12表及第14表参照) 電線其他に積る氷雪の程度は地方に依りて大差がある故に、其地方の状況を精査して着積する重量を計算せねばならぬ。米國にては電線の周圍に1.5吋位の厚さに氷雪が附着したこともある由なるが、我國では逓信省電氣工作物規程に依り、木柱工事の場合に對し電線の周圍に附着する氷雪の厚さは、降雪多き地方に於て $\frac{1}{4}$ 吋としてある(電氣工作物規程本則第四十八條)。故に鐵塔工事の場合も之れに準據して設計すればよい。地線に對しても電線と同じ厚さに附着するとしてよろしい。鐵塔構成材に對しても電線地線等と同様の厚さに氷雪が積るとしてもよろしいが、土地の状況に依りては尙多く取る必要がある。猪苗代水電の送電線の鐵塔設計には電線及鐵塔構成材に對しては附着する氷雪の厚さを $\frac{1}{2}$ 吋とし、地線に對しては $\frac{3}{8}$ 吋として計算せられたと聞いてゐる。電線又は地線に附着する氷雪の重量は次の如く計算す。

$$W_i = w l \left\{ \frac{\pi (d + 2r)^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right\}$$

但し附 $W_i =$ 附着せし氷雪の重量(封度)

$w =$ 氷雪一立方吋の重量(封度) ($w = 0.033$ 度封)



第17圖

$l =$ 電線又は地線の長さ(吋)

$d =$ 電線又は地線の直径(吋)

$r =$ 附着せし氷雪の厚さ(吋)

垂直に吹き下す風の壓力は、水平に吹く場合に比し甚だ小さき故、山の麓等に於ても鐵塔の設計には考へに入れなくてもよろしい。然し電線の張力は

に對する影響は侮り難い場合がないとも限らない。何となれば電線自身の重量と風壓との働く方向が一致する故、其合成力は兩者の代數的和となるからである。

鐵塔の主柱が直立せる時は垂直荷重の合計を主柱の數にて除せば、垂直荷重に因る主柱の應力が求められる。若し主柱が傾斜せる場合は、主柱の應力の垂直分力と垂直荷重と等しかるべく、其水平分力は鐵塔のウェブシステムの應力を増加せしむることとなる。然し實際の場合主柱の傾斜の角度は甚だ緩い故主柱を垂直と見做してよろしい。殊に他の荷重に因る鐵塔の各材片に生ずる應力に比し、垂直荷重に依りて生ずる應力は甚だ小さい故に、傾斜を垂直と見做したる爲の僅の誤差は設計上何等差支ない。

32 水平横荷重 これは電線路の方向と直角の方向に、鐵塔に加はる荷重であつて次の二つに分ち得。

- (1) 風壓 (wind pressure)
- (2) 角度荷重 (corner load)

第14表 其一 ビン型碍子重量大サ強度等

line volt	磁器部		重量 封度	ベースノ高さ (アーム上面 ヨリ磁器部下 端迄)吋	mechanical strength lbs
	最大直径 吋	高さ 吋			
6 600	5	3 ³ / ₄	2.5	1 ³ / ₄	1 500
11 000	5	4	3	2	"
15 000	5 ¹ / ₂	4 ¹ / ₄	3.5	2	"
25 000	7	6	5	2 ¹ / ₂	"
35 000	8 ¹ / ₂	8	13	2 ¹ / ₂	"
40 000	9 ¹ / ₂	8 ¹ / ₂	15	3 ¹ / ₂	2 000
45 000	11	9	20	5	"
55 000	13	11	30	5 ¹ / ₄	"
66 000	14	12 ¹ / ₂	40	5 ¹ / ₂	2 500
70 000	15	14 ¹ / ₂	50	5 ⁵ / ₈	"
77 000	15 ¹ / ₂	15	60	5 ⁵ / ₈	"

第14表 其二 suspension insulator
(一箇ノ working voltage 25 000 volt dia 10")

一連内ノ碍子數	2	3	4	5	6	8	10
一連ノ全長 吋	20	26	32	38	44	56	68
全重量(大約) 封度	24	36	48	60	72	96	120

第14表 其三 strain insulator (二連併列ノ場合)
(一箇ノ working voltage 25 000 volt dia 10")

一連内ノ碍子數	2	3	4	5	6	8	10
全 長 吋	38	44	50	56	62	74	86
全重量(大約) 封度	85	109	133	157	181	229	277

風壓は風速の自乗に依りて變化す。次の式は單位面積に加はる風壓を求むる一般公式である。

$$P = K \frac{W V^2}{2g}$$

但し P = 風壓

V = 風速

W = 空氣の重量(單位容積の)

g = 重力加速度

K = 受風面の形によりて變化すべき係數

K なる係數を求むるには實驗に依る外はない。故に色々の公式が實驗に依りて求められてゐる。次に數種の公式を擧げて見れば

シュライベル (Schreiber) 氏の公式

$$P = 0.030784 \frac{H}{T} V^2 \dots \dots \dots (1)$$

但し P = 風壓 (kg/sq meter)

H = 大氣壓 (ミリメートル)

T = 絕對溫度

V = 風速 (meter / sec)

若し攝氏 0° に於て大氣壓 760 ミリメートルならば上式は

$$P = 0.0857 V^2$$

となる。

他の實驗公式

$$P = 0.12 V^2 \dots \dots \dots (2)$$

但し P = 風壓 (kg/sq meter)

V = 風速 (meter/sec)

「ダインス」(Dines) 氏公式

$$P = 0.003 V^2 \dots \dots \dots (3)$$

但し P = 風壓 (lbs/ft²)

V = 風速 (miles / hour)

米國氣象觀測法中の公式

$$P = 0.004 V^2 \dots \dots \dots (4)$$

但し P = 風壓 (lbs/ft²)

V = 風速 (miles/hour)

之等の公式は皆1平方呎或は1平方メートル位の小さな平面に對する風壓である。大建物の如く面積大なる場合には、之等の式に依る計算は過大な結果を得る様である。

圓筒形面に對する風壓は、平面に對する風壓の 45 % 乃至 79 % 位の間に色々の人に依りて云はれて居るが、50 % とするのが最も多く用ひられて居る。50 % とすれば(4)式に依れば電線に加はる風壓は

$$P = 0.002 V^2 \dots\dots\dots (5)$$

となる。バツク (Buck) 氏はナイヤガラに於て 950 呎のスパンにて直径 0.58呎の撚線を使用して實驗した結果次の公式を得た。

$$P = 0.0025 V^2 \dots\dots\dots (6)$$

バツク氏の公式は式(5)より大であるがこの差は撚線を使用したので受風面が眞の圓筒形を成して居ない爲め風壓が大となつた結果である。單一線に對して(5)式が適し撚線に對しては(6)式が適する様に思はれるけれど、單一線にも撚線に對しても(6)式を用ひるが安全である。(6)式も單位は(4)式と同様である。

風速を正確に測ることは困難である。測候所の風速計に依りて得らるゝ風速は指示風速と云ひ、眞の風速より大きい故に風壓を計算する場合に風速計の示す風速をそのまま用ひたならば、實際よりも大なる結果となる。而して眞の風速と指示風速とは第15表の如き關係である。第16表は我國各地測候所で觀測せし風速の記録である。

第15表 指示風速ト眞ノ風速トノ關係及風壓

指示風速 一時間=付キ哩	眞ノ風速 一時間=付キ哩	圓筒=對スル風壓 P = 0.0025 V ²	平面=對スル風壓 P = 0.004 V ²
30	25.7	1.7 lb/ft ²	2.66 lb/ft ²
40	33.3	2.8	4.48
50	40.8	4.2	6.66
60	48.0	5.8	9.33
70	55.2	7.6	12.20
80	62.2	9.7	15.4
90	69.2	12.0	19.1
100	76.2	14.6	22.2
110	83.2	17.3	27.7
120	90.2	20.3	32.6

第16表 各地測候所記録(開設以來)

地 方 名	最高温度 (攝氏)	最低温度 (攝氏)	最大風速 (毎秒米突)		
臺 臺 臺 鹿 熊	南	36.2	3	55	
	中	37.2	- 1	38	
	北	37.5	- 0.2	44	
	島	36.2	- 6.1	71	
	本	38.3	- 9.2	37	
長 福 下 宮 廣	崎	36.7	- 5.6	64	
	岡	36.2	- 5.3	38	
	關	35.9	- 6.5	44	
	崎	37.7	- 7.5	44	
	島	37.8	- 8.3	76	
松 四 多 高 神	坂 度	山	37.0	- 8.3	28
		島	35.4	- 3.9	57
		津	36.8	- 6.1	38
		知	37.1	- 7.0	39
		戸	37.6	- 5.5	28
大 和 德 津 名	歌 古	阪	37.6	- 7.1	37
		山	36.3	- 4.9	42
		島	37.1	- 5.2	33
		屋	36.8	- 7.8	45
			36.8	- 9.5	40
濱 横 東 八 銚	丈	松	37.2	- 5.5	34
		濱	36.2	- 6.2	49
		京	36.6	- 8.1	34
		島	31.4	- 0.2	59
		子	33.5	- 7.3	64
水 石 宮 京 彦	戸 卷 古 都 根		34.7	- 11.7	35
			34.8	- 13.6	39
			36.2	- 17.3	45
			37.2	- 11.0	26
			35.3	- 11.3	34
岐 甲 長 前 筑	波	阜	38.2	- 10.6	36
		府	37.7	- 15.6	46
		野	36.8	- 16.4	29
		橋	36.3	- 9.5	35
		山	30.2	- 11.6	51
宇 福 山	都	宮	35.7	- 14.8	72
		島	36.6	- 18.5	35
		形	36.8	- 20.0	27

第16表 續き

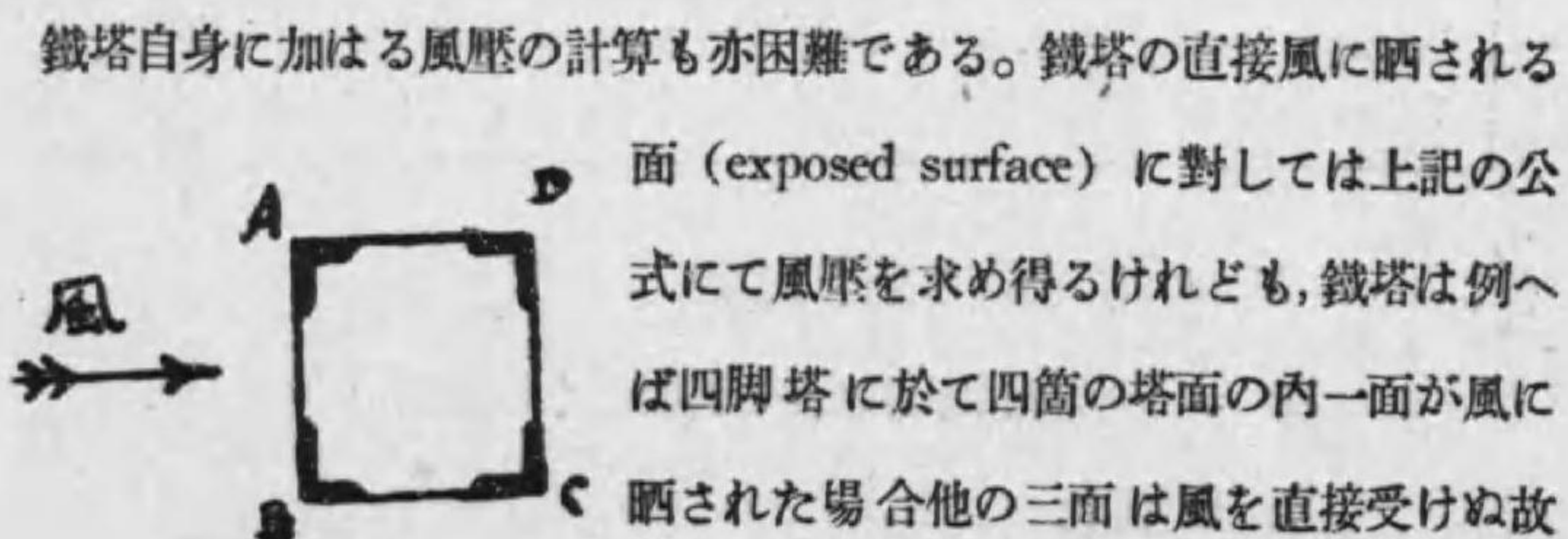
地方名	最高温度 (攝氏)	最低温度 (攝氏)	最大風速 (毎秒米突)
濱境舞敦金	田 36.4	- 6.4	43
	鶴 37.8	- 9.7	36
	賀 36.7	- 7.3	22
	澤 36.5	- 9.2	28
伏新秋青函	木 36.6	-12.1	38
	湯 39.1	- 9.7	38
	田 35.6	-24.6	48
	森 36.0	-19.0	29
札旭釧鋼釜	幌 33.4	-25.6	41
	川 34.6	-41.0	25
	路 26.7	-26.8	36
	走 35.8	-29.2	38
仁京元大旅	山 33.6	-14.0	29
	川 34.7	-20.9	41
	成 35.6	-11.5	22
	山 39.6	-21.9	29
奉長南漢	連 33.1	-19.3	35
	順 34.0	-19.3	35
	天 37.0	-32.9	28
	春 35.3	-36.0	40
	京 40.2	-10.2	26
	口 39.5	- 7.1	22

第17表 米國電氣聯合委員會ノ承認セル風壓及氷雪

荷重ノ等級	温度ノ變化 (華氏)	電 線		鐵 塔
		風 壓 投影面 1 平方 呎 = 付キ封度	氷雪ノ厚サ 吋	風 壓 1 平方呎 = 付 キ封度
A	30°乃至120°	15	0	13
B	-20°乃至120°	8	1/2	13
C	-30°乃至120°	11	3/4	13

米國電氣聯合委員會では、電線路が他の線路を横斷する場合に於ける鐵塔に對する荷重には、風壓及氷雪を第17表の如く認めてある。我國の選

信省電氣工作物規程では木柱を使用する場合には、本則第四十七條及第四十八條に於て次の如く定めてある。即ち氷雪を考へない場合には、風壓は電線に對しては其垂直投影面積1平方呎に付き20封度として、他の圓筒形面に對しては垂直投影面積1平方呎に付き24封度とし、平面に對しては1平方呎に付き40封度とし、氷雪を考へる場合に於ては電線には其周圍に四分の1吋の氷雪附着したる上に、垂直投影面積1平方呎に付き10封度、他の圓筒形面に對しては垂直投影面積1平方呎に付き12封度、平面に對しては20封度の風壓加はるものとすべき様規程されてゐる。故に鐵塔の設計には少くとも此規程に従つて計算すべきは勿論のこと、尙進んで其地方の狀況を考慮し生じ得べき最大風壓の値を取つて設計するがよい。次の第18表は諸會社の鐵塔設計に採用した荷重を示す。



第18圖 この三面は弱い風壓を受ける。即第18圖に

於てAB面が直接風に晒されたとすればBC, CD, DA, の三面は弱い風壓を受く。而して鐵塔設計にはこの四面の受くる風壓の合計を知る必要がある。風に直接曝されない面の風壓の計算は殆ど出來ない故、AB面の受くる風壓を求め此れに或る係數を乘じて四面の受くる風壓の合計を求む。即ち

$$W = kP \dots\dots\dots(7)$$

第18表 諸會社鐵塔設計荷重
(風壓及氷雪)

會社名	設計荷重		
	氷雪ノ厚 吋	電線=加ハ ル風壓 (lb/□')	鐵塔=加ハ ル風壓 (lb/□')
Penna Utility Co.	1/4	26	26
Vancouver Power Co.	1/2	8	20
East Creek Power Co.	1/4	45 miles	20
City of Winnepeg	1/2	8	25
Sierra & San Francisco Power Co.		10	10
Mississippi River Power Co.	1/2	6	30
Lehigh Navigation Elec Co.	1/2	8	8
Utah Power & Co.	1/4	10.5	65 miles
Chile Exploration Co.		18	30
Pacific Gas & Elec. Co.	3/4 ice + 1 1/2 snow	14.5	14.5
Inawashiro Hy. Elec. Pwr. Co.		20	20
Ujigawa Elec. Co.		20	40

但し W = 鐵塔全面の受くる風壓

P = 直接風に曝されたる面の受くる風壓

k = 係數

k の値は鐵塔の主柱の開きに依りて變化するもので、鐵柱の如く主柱の開

き小なる場合は k の値も小であつて、次の價が普通に用ひられる。

主柱の開き	k の價
約 15 呎以下	1.5
約 15 呎以上	2.0

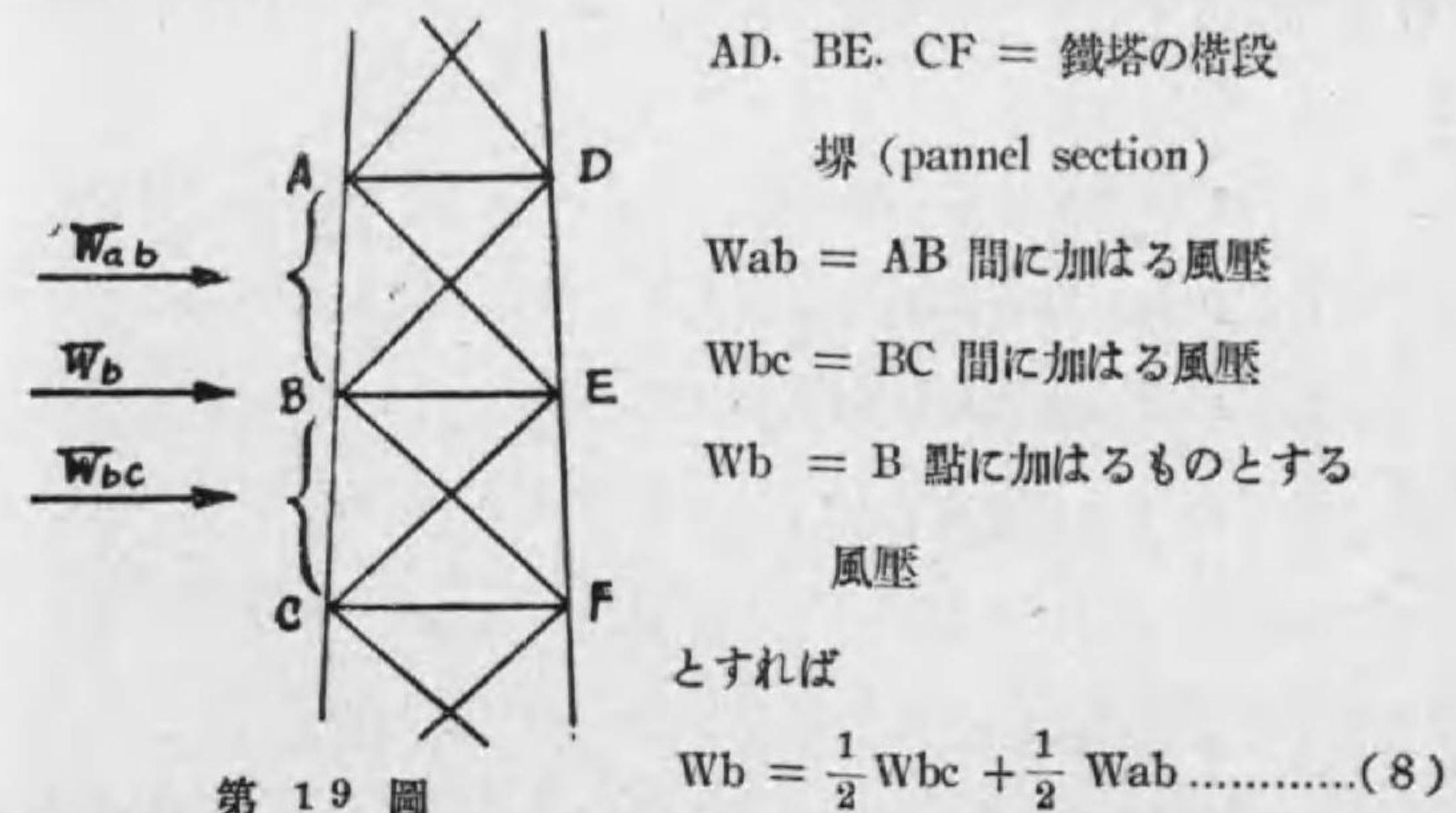
鐵塔は上部と下部とに於て、其用材の大きさ及主柱の開き異なる故、風壓の計算は鐵塔の各所に於て行はねばならぬけれども、煩雜である故地面より

頂上迄の受風面の平均幅を求めて、鐵塔の何處にても高さ 1 呎に加はる風壓を同一として計算することがある。

$$\text{受風面の平均幅} = \frac{\text{鐵塔受風全面積}}{\text{鐵塔の地表上に於ける高さ}}$$

この平均幅によつて風壓を計算する方法は、至極簡單で且誤差も憂ふるに足らぬ様になし得る故、大變良い方法である。

鐵塔自身に加はる風壓は鐵塔の到る所に働くけれど、鐵塔設計の場合は鐵塔の各階段點 (panel point) に相隣る上下兩階段間の風壓の半分宛の風壓が其の階段點に働くものとす。即ち第 19 圖に於て



第 19 圖

A, C 點等に加はる風壓も (8) 式と同様の方法にて求めらる。

W_{ab} , W_{bc} を (7) 式に依り例へば k を 1.5 として計算したならば鐵塔の右側 D, E, F 各點には風壓は働かないものとしてよい (何となれば k を 1.5 とすれば D, E, F 各點に加はるべき風壓も含まれたる全體の風壓が A, B, C 點即左側に加はることとなる故である)。若し D, E, F 點にも風壓を働かせて計算せんとすれば、鐵塔の左側に於ては W_{ab} W_{bc} 等

は k を 1 として計算し、右側に於ては k を 0.5 とし (7) 式及 (8) 式を應用して計算すればよい。何れにしても鐵塔設計上結果に於て殆ど差がないが k を 1.5 として風壓が鐵塔の左側のみに集中して加はるものとした場合は、AD. BE. CF なる横材に加はる壓縮力 (風壓に依る壓縮力) が k の價の變化だけ大きくなる。そしてこの増加の値は全體の荷重に依る應力に比し、殆常に甚小さい故に k を 1.5 とし風壓全部を風が直接當る側に集中して働くものとして設計して差支ない。又この方法が簡單である。

角度荷重は電線路の方向變化する場合、電線の張力に依りて生ずるもので、鐵塔の前後のスパンの電線の張力の合成を計算すればよい。第 20 圖に於て

A = 鐵塔の電線支持點

P = 鐵塔の前後に張られたる各々の電線の張力 (封度)

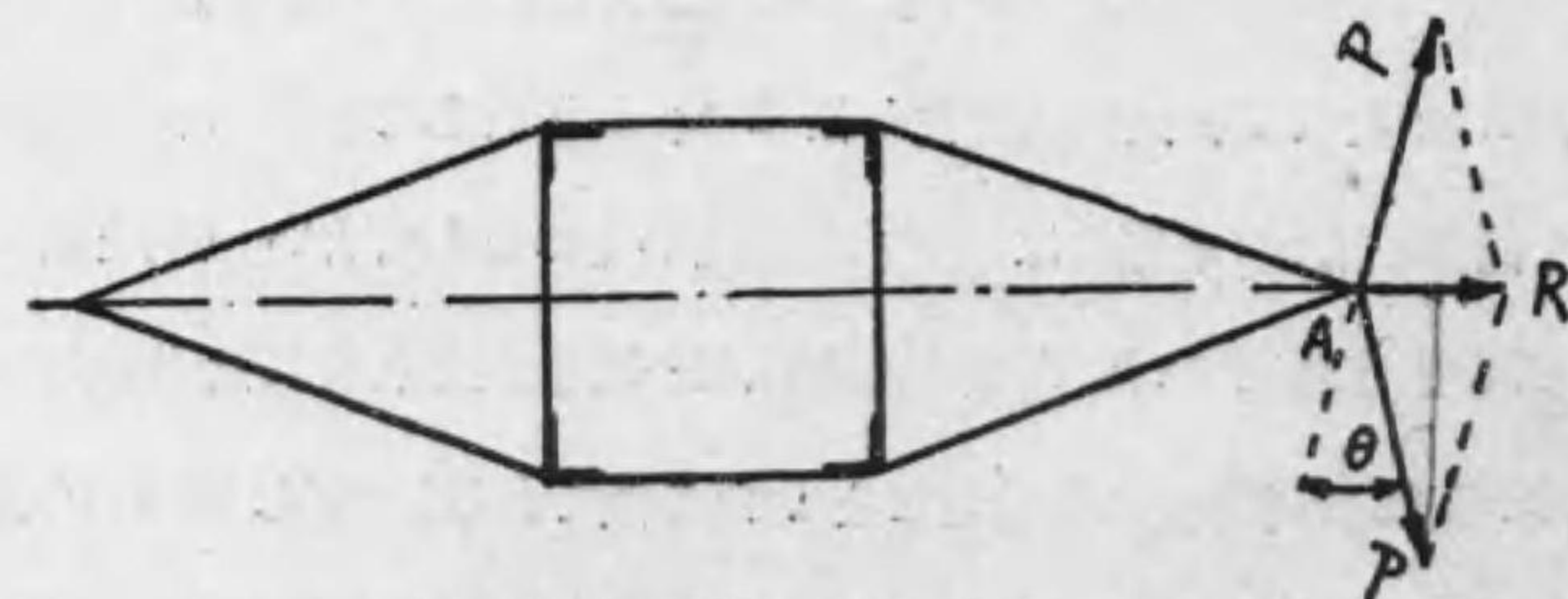
θ = 電線路の方向變化の角度

R = 角度荷重 (封度)

とすれば

$$R = 2P \sin \frac{\theta}{2}$$

上式に於て P なる張力は最低溫度に於て電線に氷雪並に風壓の加はりて



第 20 圖 角度荷重圖

増加したる張力を用ひねばならぬ。角度荷重は電線路の方向變化する箇所の鐵塔にのみ加はるものである故、一般の鐵塔にはこの荷重を考へる必要の無いことは明である。

33 水平縦荷重 これは鐵塔に對し電線路の方向に加はる荷重で次の二つに分ち得。

(1) 添架線の張力 (tension of wires)

(2) 風壓 (wind pressure)

風壓は水平横荷重としての場合が鐵塔に大なる荷重を與へる。(電線及地線等がある爲め) 殊に電線や地線の切斷せし場合の荷重を考へると、切斷しない側の線に風壓が加はつて増加する其の張力の影響が水平縦荷重としての風壓よりも遙に大なるを普通とす。故に水平横荷重としたよりも、縦荷重とした場合が鐵塔に重き荷重を與へる様な特種な場合にのみ、風壓を水平縦荷重として計算すればよい。(何れの方向の風壓が鐵塔に重き荷重を與へるかは次に述ぶる如く總合荷重を考へ鐵塔に最も大なる荷重を與へる場合に對して設計すべきである)。

添架線の張力は、鐵塔の前後に添架せられたる線が同一の張力を有する様設計されたならば、水平縦荷重を生じない。一般に送電線路に於ては、同一の電線を同一の張力で張る故、普通の場合には水平縦荷重は起らぬ。可撓鐵塔が用ひられ得るのは此爲めである。然し電線路の一部に川越其他の爲めに異なる線を用ひたる場合、又は同一の線を用ひても弛度を變化しなければならぬ場合、或は故障の爲め線が切斷したる場合、又は鐵塔の前後のスパンの添架線に加はる荷重が異なる場合等には、添架線の不平均張力に依り鐵塔は線路の方向に引かれる。即ち水平縦荷重を受ける。

異なる線を用いた場合及び弛度を變化した場合の水平縦荷重は、鐵塔の前後兩側に添架せられたる線の張力を計算し、其差を取ればよい。鐵塔の前後兩スパンの添架線の荷重の差の中にて風壓の差は風の速度が兩者に於て一様でない爲めに起るけれど、之れを正確に數字に示し得ない。且普通兩者の差は大なる値にもならぬ故、荷重計算には省略して差支ない。氷雪の差も同様に省略して差支ない。最も注意を拂ふべきは添架線の切斷にして、鐵塔の一方で斷線が起ると反對側の添架線の張力にて鐵塔は引かれる故、電線が太い場合は非常なる荷重を受け斷線數が増せば増すにつれて、大なる荷重が鐵塔に加はることになる。添架せられたる線が鐵塔の一方に於て全部切斷せられたる場合は、水平縦荷重の最も甚敷い場合である。全部切斷の場合の水平縦荷重を採用して鐵塔を設計すれば安全である。けれど現今迄の實際の經驗上電線の切斷は甚だ少く、全線切斷の如きは殆無きを以て特種なる場合を除く外は、全線切斷の場合の水平縦荷重を取る必要はない。普通の場合には次に示す如き斷線數を採用すれば充分である。

添架電線條數	切斷條數
3	1/2 乃至 1
6	1 乃至 2
9 以上.....	2 乃至 3

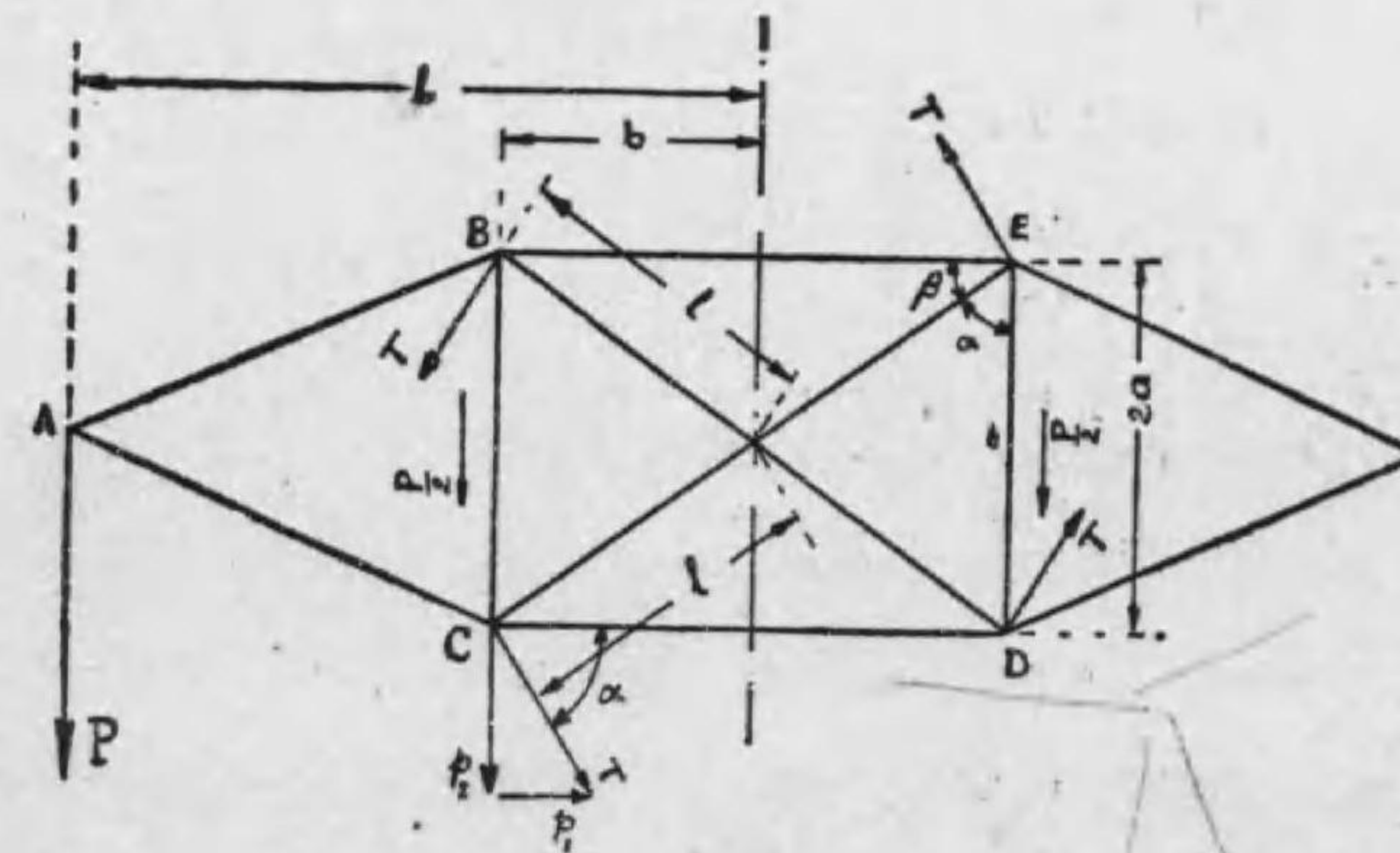
逓信省電氣工作物規程では本則第 48 條に於て、木柱に對し不平均張力を全線條の扯斷力の $\frac{1}{6}$ 以上と定めてある。電線は最も甚敷い荷重を受けた場合でも、其張力が彈性極限を超過してはならないけれど、電線の架張の張力は最悪荷重状態の場合に於ては彈性極限に近い値であつて、彈性極限は扯斷力の約二分の一である故に、三線の内一線切斷するものとす

れば電氣工作物規程本則第四十八條の規程と殆一致することとなる。而して引留鐵塔は勿論のこと連続して用ひたる可撓鐵塔の中間に設けらるゝ主要固定鐵塔等の如きは、全線切斷の場合を採用するがよい。

水平縦荷重は鐵塔に對し剪力 (shearing force) 及扭力 (twisting force) を加ふることとなるにより、鐵塔は此兩者に對しても充分なる強度を要す。剪力は水平縦荷重を其まゝ鐵塔に加はるものとすればよい。扭力は鐵塔の各面に加はるを以て、次の如くして各面に加はる扭力の大きさを求む。

第 21 圖は四脚塔の一箇のアームの箇所に於ける鐵塔の斷面圖を示す。B, C, D 及 E は主柱とす。今アームの一端 A 點に架せられたる電線が一側にて切斷したものとすれば、反對側の切斷しない電線の張力 P は點 A に働く。この P が鐵塔に及ぼす剪力は P と同じ値であつて、鐵塔の BC 面と ED 面とが半分宛を負ふ。扭力は鐵塔の BC, CD, DE, EB, の四面が支持せねばならぬ。そして其各面の負ふ値は次の如く計算さる。

今 $P = A$ 點に働く電線の張力



第 21 圖

L = 鐵塔中心線と A 點との距離

T = 鐵塔の B, C, D, E 各點にて resisting torque を考ふる
場合の force (對角線と直角)

l = T と鐵塔中心との距離

P_1 = T の CD 面に於ける分力 (C 點及 D 點に T が働く故 C
D 面は $2P$ なる force を支持せねばならぬ, BE も同じ)

P_2 = T の BC 面に於ける分力 (B 點及 C 點に T が働く故 BC
面は $2P_2$ なる force を支持せねばならぬ, DE 面も之
れと同じ)

電線の張力 P の鐵塔に及ぼす moment は

$$\text{twisting moment} = PL$$

鐵塔の resisting moment は

$$\text{resisting moment} = 4Tl$$

外力に依る moment と鐵塔の resisting moment とは相等しかるべきを
以て

$$PL = 4Tl$$

$$\therefore T = \frac{PL}{4l}$$

$$\text{而して } 2P_1 = 2T \cos \alpha = 2 \frac{PL}{4l} \times \frac{a}{l}$$

$$= \frac{PLa}{2l^2} = \frac{PLa}{2(a_1^2 + b_1^2)}$$

$$2P_2 = 2T \sin \alpha = 2 \frac{PL}{4l} \times \frac{b}{l}$$

$$= \frac{PLb}{2l^2} = \frac{PLb}{2(a_2^2 + b_2^2)}$$

若し鐵塔の四本の主柱が正方形に配置されたらば

$$a = b$$

となる故上記 $2P_1$ 及 $2P_2$ の式は

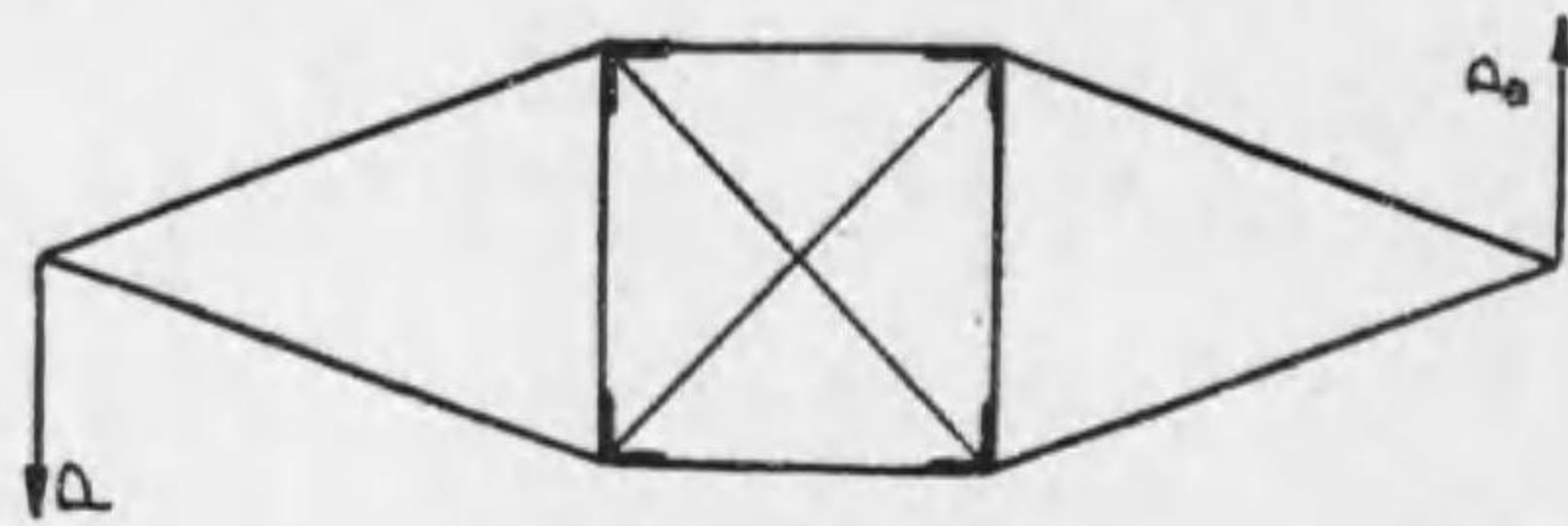
$$2P_1 = \frac{PL}{4a}$$

$$2P_2 = \frac{PL}{4a}$$

となりて鐵塔各面が同様の扭力を受けることとなる。而して之等の扭力が
鐵塔に働けば主柱に対しては、相隣る兩面よりの影響が打消し合ふ故、普
通の場合には扭力は主柱には無關係としてよい。(web system には影響す
ること明か也)例へば第 21 圖に於て BC 面の受くる扭力 $2P_2$ により、
C なる主柱は compression を受けるが同時に此の主柱は CD なる面の受
くる $2P_1$ に依り tension を受け、この兩 stress は互に打消す(但し鐵
塔の兩面が正四邊形であれば、 $2P_1 = 2P_2$ となりて主柱の compr-
sion と tension とは全く打消されるけれど正四邊形でないと完全に打消
し合はない。然し普通の場合には鐵塔は大概正四邊形又は正四邊形に近い斷
面を有してゐる故に特種の場合の他は主柱に対しては扭力の影響を考へな
くてもよい)。

引留鐵塔や可撓鐵塔の中間に設ける主要固定鐵塔等に於て、全線切斷即
例へば電線 6 本の内 6 本全部切斷するものと思ふ場合、切斷の生ずる側
が 6 線とも同一側である場合、剪力による荷重最も大きく従つて主柱の應
力最も大となる。この場合鐵塔には扭力を與へない。之に反し第 22 圖の
如く鐵塔の左右にて各三線宛反對側に於て切斷する場合は、剪力は互に消
し合ふけれど、扭力が最も大きく従つて鐵塔の web system の各材片に
最も大なる應力を生ず。故に鐵塔設計に於て全線切斷を條件とする場合に

は、主柱の強度に對しては剪力の最大なる場合を考へ web system に對しては扭力の最大なる場合を考へねばならぬ（但し鐵塔のアーム非常に短かく扭力非常に小なる場合はこの限りにあらず）。普通の鐵塔では上記の如く扭力を計算することは餘りに酷であり、且斯の如きことは殆生じないと考へ得る故、全線切斷の條件の下に設計する場合でも、剪力のみを全線切斷とし、扭力に對しては鐵塔の左右何れか一方のみに於ける全部の線が切斷した場合に對して設計するも差支がないと思はれる。



第 22 圖

電線の張力は實際は水平に働かないで電線支持點に於ける電線のなす曲線の方向に沿ふて働く。そして其垂直分力は電線の支持點と最大弛度の點との間に於ける重量に等しく其水平分力が上記水平縦荷重となるのである。然し弛度は普通 span に比し甚小さい爲め、電線の張力は水平に働くものとしても其誤差は非常に小さい。故に電線の張力は水平に働くものと



第 23 圖

し、垂直荷重としての電線の重量は別に計算するを普通とす。第 23 圖に示す電線の弛度はスパンに比し甚敷大なる場合なれども、電線張力と其の水平分力とは殆等しい値である。それ故上記の如く荷重を計算しても殆誤差は生じない。電線が風壓を受けた場合も同様の方針で取り扱ふを普通とす。即實際は風壓を受けた場合の張力の水平横分力は電線に加はる風壓となるけれど、電線の成す水平横角度は甚小い故に風壓を受けて増大した張力は、全部其まゝ水平縦荷重として計算し、水平横荷重としての電線に加はる風壓は別に計算するを普通とす。

水平縦荷重としての張力は第四章に於て述べてある如く最低温度に於て最大荷重（氷雪及風壓）を受け増加した張力を計算せねばならぬ（最低温度に於いて最大荷重を受けた場合が最も張力が大きい）。

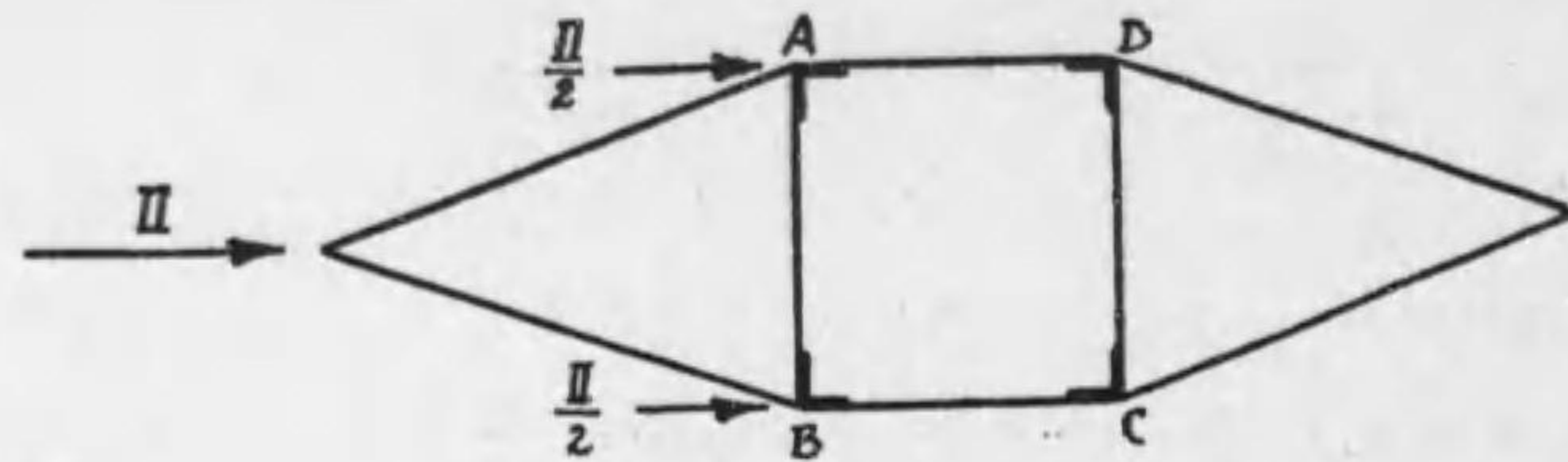
34 総合荷重 (combined load) 鐵塔は上記のすべての荷重の内何れの荷重が如何なる點（加はり得べき）に加はるとも、單獨の各々の荷重を安全に支持し得なければならぬのは勿論のこと、其上同時に生じ得べき總ての荷重の合成荷重をも充分に支持し得なければならぬ。

今假りに四脚鐵塔に於て

- (I) = 垂直荷重
- (II) = 風壓に依る水平横荷重
- (III) = 角度に依る水平横荷重
- (IV) = 電線張力に依る水平縦荷重
- (V) = 風壓に依る水平縦荷重
- (VI) = 電線張力の扭力による荷重（鐵塔の一面が受くる値とす）
- (VII) = 扭力を考へた場合の電線張力に依る水平縦荷重とすれば

(I) なる荷重は鐵塔の四脚に依り等分に支持され他の總ての荷重と同時に働く

(II) なる荷重は第24圖の如く鐵塔のAD面及BC面にて半分宛支持されねばならぬ。そして(II)は(I)及(III)と同時に生じ得。(II)



第24圖

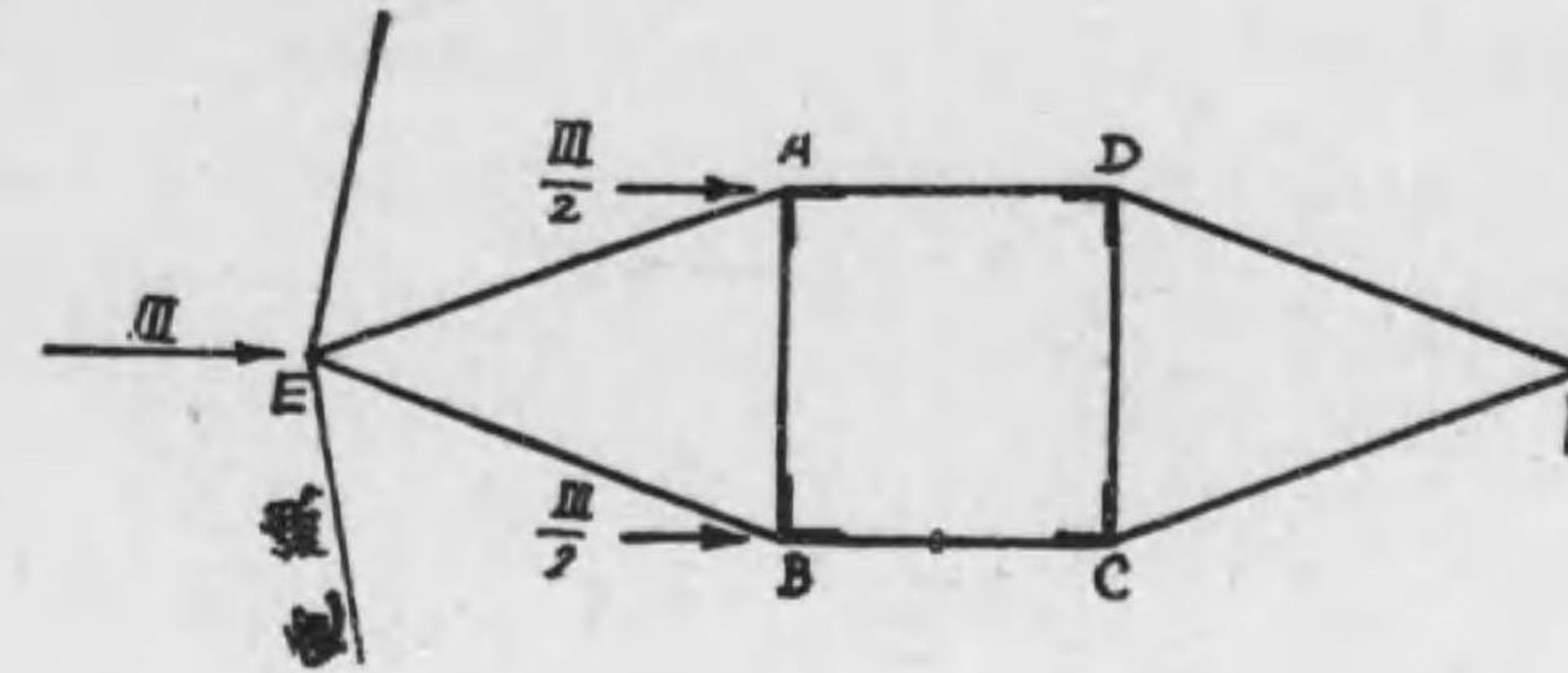
は(IV)なる電線の張力の水平横分力であるとした場合は勿論のこと、張力を其まゝ全部水平縦荷重として取り扱ふ場合も(II)は(IV)と同時に生じ得。

(II)と(V)とは同時に生じ得ない。(II)と(VI)と(VII)とは同時に生じ得。

電線の切斷せし場合の水平縦荷重を考ふるに、この場合電線に加はる風壓は切斷された部分を差引かねばならぬ。然し切斷箇所は必ずしも碍子の附近であるとも限らぬ故、切斷して垂れた線の地上へ迄の部分の風壓を(II)の荷重の内に入れる必要がある。故に電線切斷に依る水平縦荷重を考へた場合でも(II)は電線が切斷しない場合の値を用ひても良い。

(III)なる荷重は第25圖に示す如くAD面及BC面にて半分宛支持されねばならぬ。[(III)はE及F兩點に働くけれど第25圖では假りにE點にのみ働くとした](III)と(I)及(II)とは同時に働き得。(III)

と(V)とも同時に起り得。

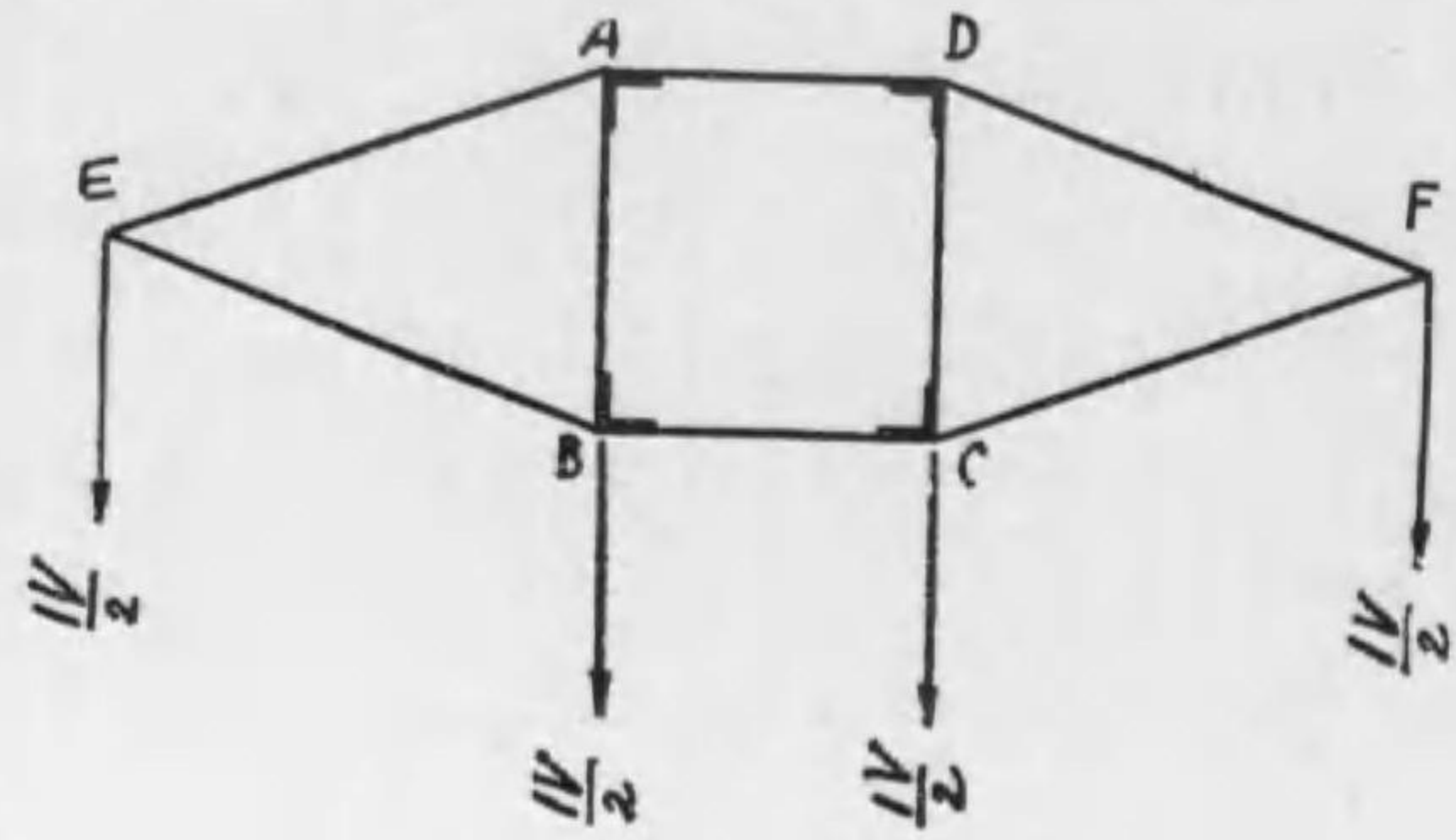


第25圖

(III)は全體の電線路の方向より見れば電線張力の水平横分力である故、第20圖に於て一方の張力Pが無くなると(III)の値は半分となる故に(III)は(IV)と同時に生じない場合が鐵塔に大なる水平横荷重を與へる。(III)と(VI)及(VII)も之と同様であるが(VI)は鐵塔の横の面(AD面及BC面)にも作用する故(III)單獨の場合と(III)と(VI)と同時に生じた場合との影響を比較して見なければならぬ(アームが長いと(VI)の影響は甚だ大きく角度が大きいと(III)の影響が甚だ大きい)。

而して(III)と(V)とは同時に起り得るけれども、電線に加はる風壓に依りて増加したる張力に依る角度荷重の影響が大きい故、風壓は水平横荷重とし(III)と(V)とは同時に起らないとするが普通である。

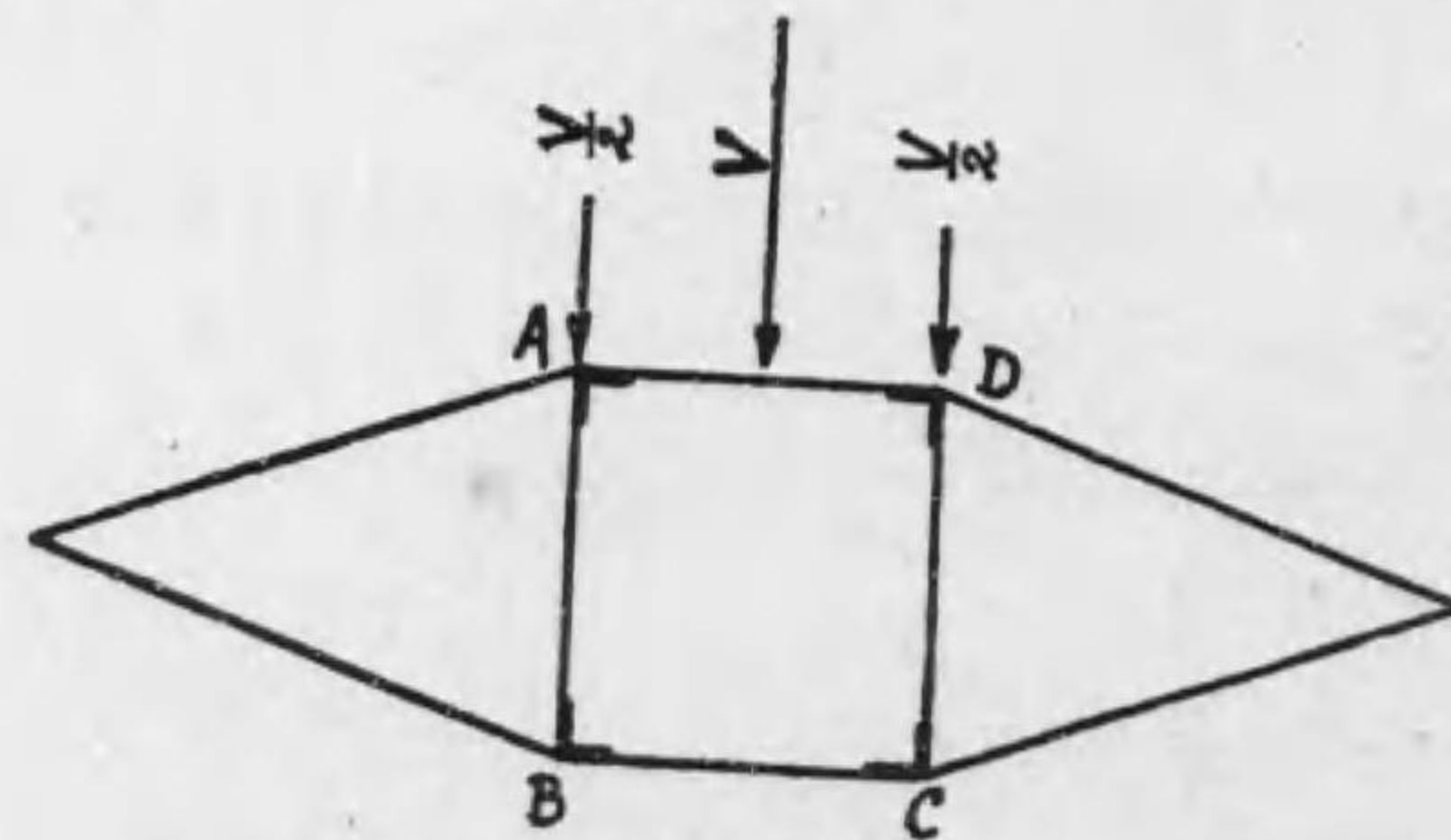
(IV)なる荷重は第26圖の如くE點及F點に働く電線張力の合計である。(VI)は鐵塔の面AB及DC面に依り半分宛支持される。(IV)と(I)(II)及(III)との同時に生じ得べき關係は上記の通りである。(IV)と(V)とは同時に起り得ることは明である。然し(IV)と(V)と同時に起るとすれば(IV)は電線に風壓の加はらない場合(即張力最



第 26 圖

大でない場合)の値となる。然るに風壓を受けた場合の電線の張力の増加は鐵塔に甚大なる影響を及ぼすもので、且この場合に於ても風壓は水平横荷重として鐵塔に加はる故、特種な場合を除く外は引留鐵塔の如き場合でも (IV) は (V) と同時に起らずして (II) と同時に起るものとして設計するが安全である。(IV) と (VI) 及 (VII) とは同時に起り得ない。

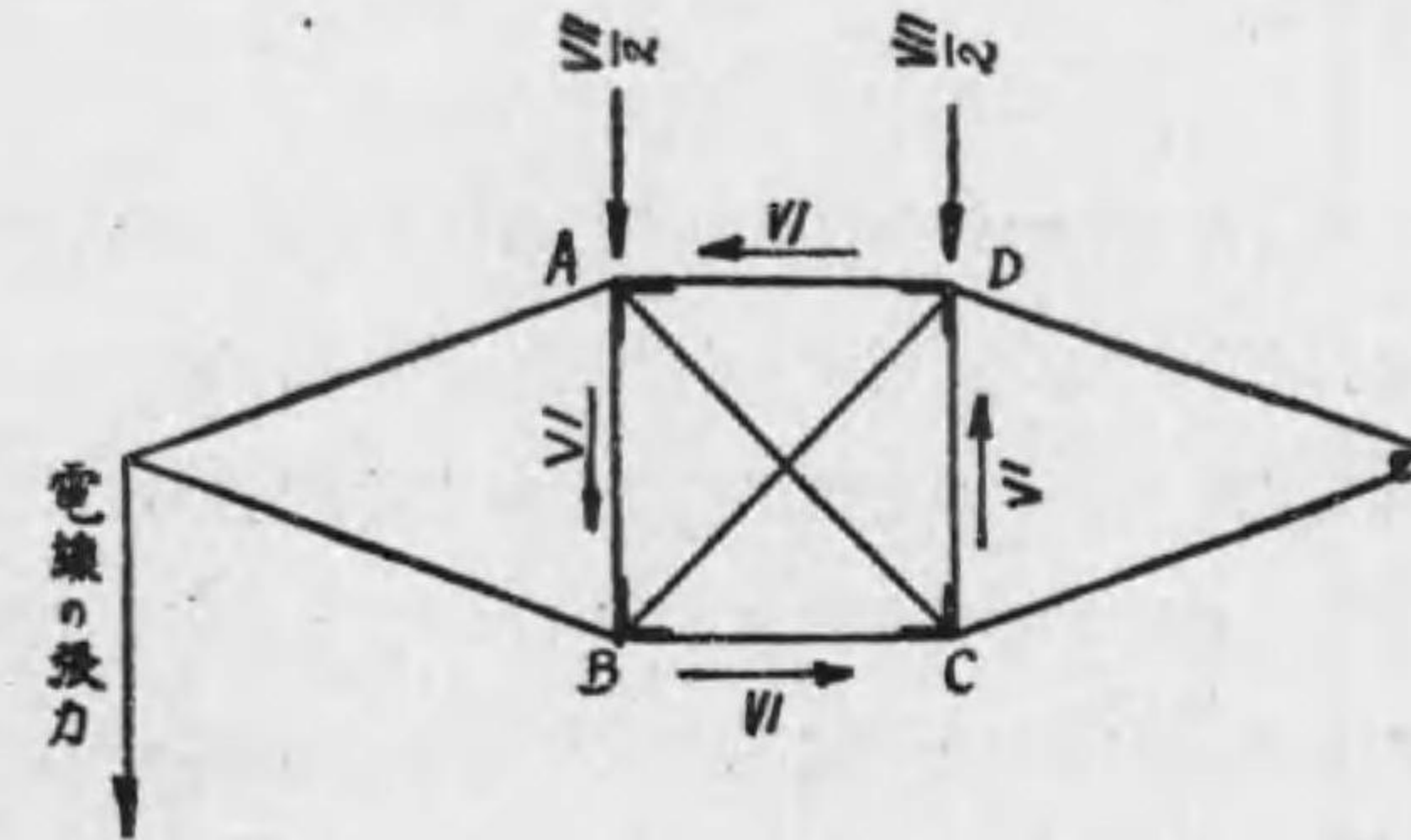
(V) なる荷重は第 27 圖の如く鐵塔の AB 面及 CD 面に依り半分宛支持される。(V) と (I) 乃至 (IV) との同時に生じ得べき關係は上記の通である。(V) と (VI) 及 (VII) とは同時に起り得ないでもないけれど、



第 27 圖

(IV) と (V) の場合に於てすら上記の通である故 (V) は鐵塔の設計には極特種の場合の外考へる必要無きものとして、本章に於て次に荷重を總合する場合には (V) を除きて考ふ。

(VI) なる荷重は (VII) と相伴ふて必ず同時に起るもので、第 28 圖の如く (VI) は鐵塔の各々の面即 AB 面 BC 面 CD 面 及 DA 面に依りて支持せられ、(VII) は AB 面及 DC 面に依りて半分宛支持せらる。而



第 28 圖

して (VI) 及 (VII) は web system にのみ大なる影響を及ぼすもので、主柱に対しては (VII) よりも (IV) の影響が大であるを普通の條件とす。

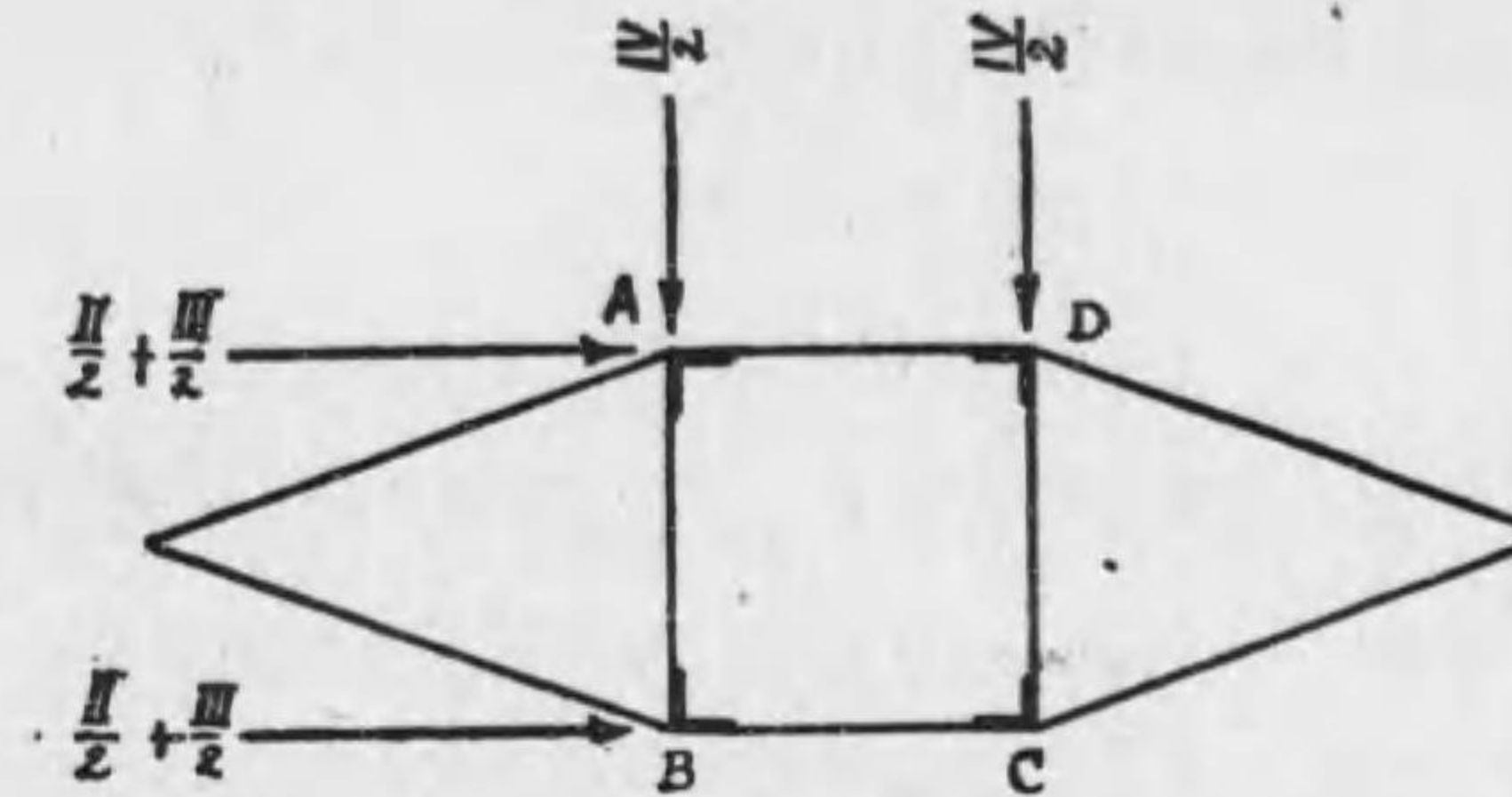
今各種の荷重を上記の性質に依り總合すれば、鐵塔の各面に同時に加はり得べき荷重の種類は次の如くなる (第 24 圖, 第 25 圖, 第 26 圖, 第 28 圖 参照)。

- (甲)..... $(\frac{IV}{2})$ のみ働く.....(a)
- AB 面に對し..... $(\frac{VI}{2})$ と $(\frac{VII}{2})$ との和が働く.....(b)
- BC 面に對し..... $(\frac{II}{2})$ と $(\frac{III}{2})$ と (VI) との和が働く.....(c)

- CD面に對し……
- (甲)…… $(\frac{IV}{2})$ のみ働く……(d)
 - (乙)……(VI)と $(\frac{VII}{2})$ との差が働く……(e)
- DA面に對し…… $(\frac{II}{2})$ と $(\frac{III}{2})$ との和と(VI)との差が働く……(f)

若し風の方角も電線の張力の方角も共に上記と反對とならば、BC面に對する(c)はDA面に働きDA面に對する(f)がBC面に働くこととなり(b)も(e)も同様に入り代りて働く。故に鐵塔のAB面とCD面とは同一の強度を要し、BC面とDA面とも同一の強度を要す。又鐵塔は(四脚鐵塔に於て)特種な場合を除く外四面共同様の構造とすれば、異りたる材片に異様の加工をする煩を避け、同種の材片に同様の加工をする便宜あるを以て、普通は四面共同様の構造として設計さる。それ故鐵塔の各面のweb systemは上記(a)(b)(c)(d)(e)(f)の各々の及ぼす應力を各材片毎に付きて比較し、最も大なる値に對して設計されねばならぬ。主柱は相隣る二つの塔面より同時に應力を受ける。そして兩方共に應張力なるか又は共に應壓力であつて、相隣る二面より受くる應力が互に相加はる場合もあれば、一方の塔面より應張力を受け、他方の面より應壓力を受け、相隣る二面より受ける應力が互に打消す場合もある。第29圖はAB面及CD面に各 $\frac{IV}{2}$ なる荷重が働き、BC面及AD面に各 $\frac{II}{2}$ 及 $\frac{III}{2}$ なる荷重の和が働きたる場合を示すもので、この場合Aなる主柱にはAB面に依り受くる應張力と、AD面に依り受くる應張力とが相加はりて作用し、Bなる主柱にはAB面に依る應壓力とBC面に依る應張力とが相殺して作用し、Cなる主柱にはBC面に依る應壓力とDC面

に依る應壓力とが相加はりて作用し、Dなる主柱にはDC面に依る應張力とAD面に依る應壓力とが相殺して作用す(垂直荷重は常に主柱に對し應壓力を生ぜしむる様作用する故、各主柱の應力計算には常に應壓力として加算せねばならぬ)。



第 29 圖

而して荷重の方角が變れば何れの主柱に對しても、其の相隣る二つの塔面により受ける應力は應壓力が相加はる場合も生じ得べく、應張力が相加はる場合も生じ得るを以て、各主柱は皆應壓力の相加はつた場合にも、又應張力が相加はつた場合にも充分な強度を有する様設計されねばならぬ。普通長い材片は抗壓強度が抗張強度に比し甚敷く弱い故、基礎の引揚力其他特種の關係の箇所以外は主柱は應壓力の最大な場合に對して、安全な様設計すれば應張力に對して必ず安全である。

著者の鐵塔設計に於て最も適當なりと考へる荷重條件は第19表の通りである。但し第19表中の記號は上記と同一の意味とす。

第19表 其ノ一 適當ナル荷重表

(特別高壓主要送電線路ノ場合)

荷重ノ種類 鐵塔ノ種類	添架電 線條數	垂直荷重			水平荷重		
		I	II	III	IV	V	VI及VII
全線路=固定 鐵塔ヲ用ユル 場合ノ中間鐵 塔	6	總テノ重 量	遞信省規 程	角度アラ バ計算	0	0	電線一條 切斷ノ場 合ノ影響 ノ二分ノ 一
同上用途中引 留鐵塔	6	"	"	"	0	0	電三條切 斷
可撓鐵塔		"	"	0	0	0	0
可撓鐵塔ノ中 間=用ユル固 定鐵塔		"	"	角度アラ バ計算	全線ノ 切斷	0	片方ノ全 線切斷
引留鐵塔		"	"	"	全線切斷	0	"

第19表 其ノ二 適當ナル荷重表

(特別高壓配電線路ノ場合)

荷重ノ種類 鐵塔ノ種類	添架電 線條數	垂直荷重			水平荷重		
		I	II	III	IV	V	VI及VII
全線路=固定 鐵塔ヲ用ユル 場合ノ中間鐵 塔	6	總テノ重 量	遞信省規 程	角度アラ バ計算	0	0	電線一條 切斷ノ場 合ノ影響 ノ二分ノ 一
同上用途中引 留鐵塔	6	"	"	"	0	0	電線二條 切斷
可撓鐵塔		"	"	0	0	0	0
可撓鐵塔ノ中 間=用ユル固 定鐵塔	3	"	"	角度アラ バ計算	電線二條 切斷	0	電線一條 切斷
"	6	"	"	"	電線三條 切斷	0	片方電線 二條切斷
引留鐵塔		"	"	"	全線切斷	0	片方ノ全 線切斷

第19表 其ノ三 適當ナル荷重表

(特別高壓=アラザル配電線路ノ場合)

荷重ノ種類 鐵塔ノ種類	添架電 線條數	垂直荷重			水平荷重		
		I	II	III	III	V	VI及VII
全線路=固定 鐵塔ノミヲ用 フル場合ノ中 間鐵塔	6	總テノ重 量	遞信省規 程	角度アラ バ計算	0	0	電線一條 切斷ノ場 合ノ影響 ノ二分ノ 一
同上用途中引 留鐵塔	6	"	"	"	0	0	電線一條 切斷
可撓鐵塔		"	"	0	0	0	0
可撓鐵塔ノ中 間=用ユル固 定鐵塔	3	"	"	角度アラ バ計算	電線一條 切斷	0	電線一條 切斷ノ場 合ノ影響 ノ半分
"	6	"	"	"	電線二條 切斷	0	電線一條 切斷
引留鐵塔		"	"	"	全線切斷	0	片方ノ全 線切斷

川越鐵塔の荷重條件 送電線路が大きな川を横過する箇所に使用する鐵塔は徑間距離の大なる爲めに生ずる大なる弛度及水面上の電線の高さの制限に依り鐵塔の高さ甚高くなる。それ故若しこの鐵塔を酷なる荷重條件を與へて設計すると鐵塔の重量非常に大となる。然し重量を惜みて輕き荷重條件で設計すれば設計荷重以上の荷重に遭遇した場合倒れる憂がある。大鐵塔の倒壊は最も見苦しく且送電停止をも長時間に亘らしめる故、餘りに輕き荷重條件にて設計するも考へものである。若し電線が切斷せぬものと信頼し得るならば川越鐵塔には水平縱荷重は少しも支持せしめず、川越の次の低い鐵塔を強く設計して、之れにて引留めの用をなさしめることが出来るので非常に經濟である。然し電線は川越附近にても切斷しないとも限らない故、川越の大鐵塔にも普通の水平縱荷重(電線六條の場合ならば其

の内一條乃至二條位切斷せし場合)を支持せしめる様設計するが良いと思はれる。(垂直荷重、水平横荷重をも勿論充分に支持せねばならぬ)。

附 記

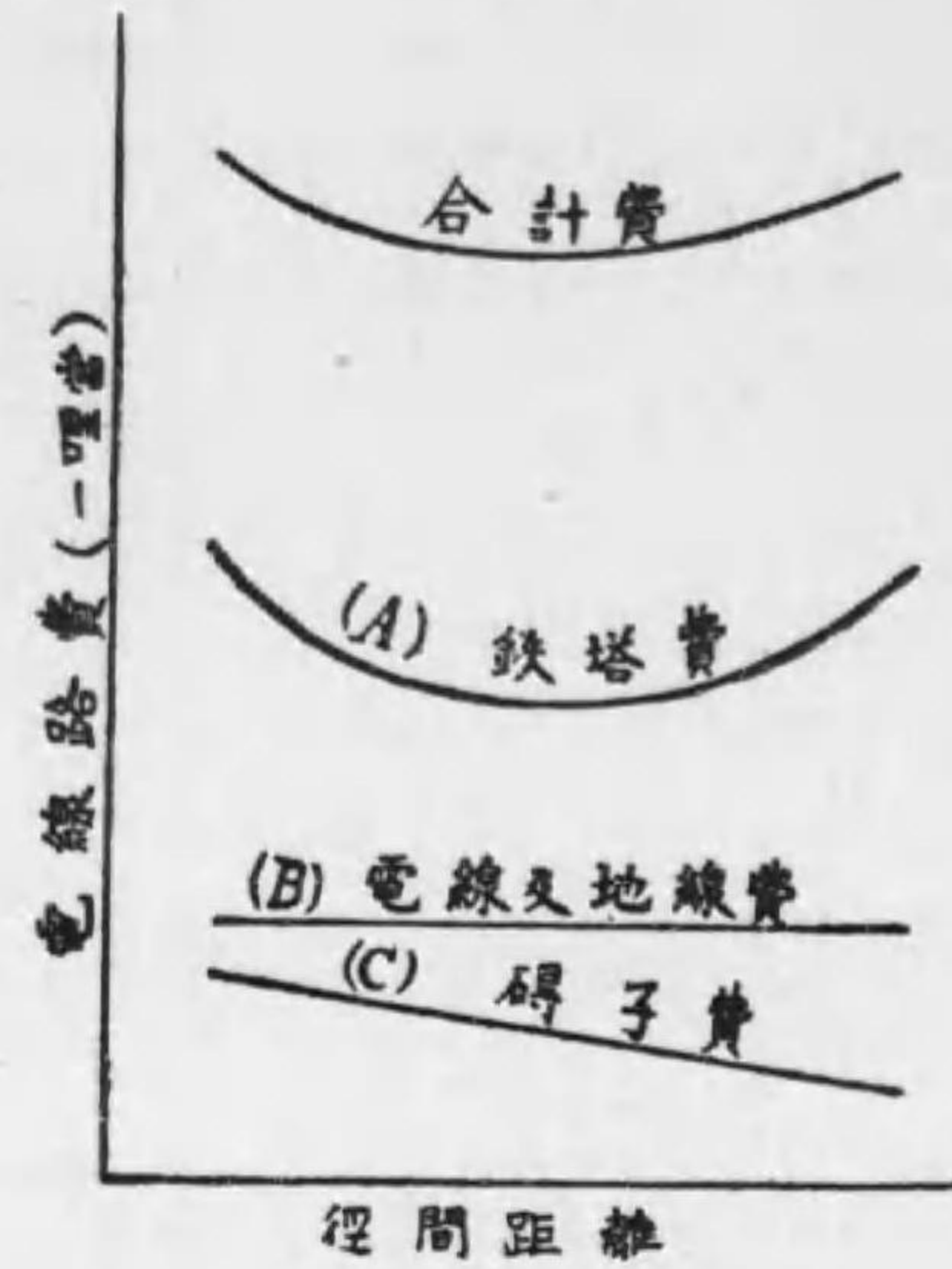
水平縦荷重や角度荷重を計算する場合の電線の張力は、前述の通り最大張力(最低温度に於て最大荷重の加はりたる場合)を用ひねばならぬけれど、若し最大張力を計算する時間なく或は電線の荷重條件決定して居らぬ場合に、鐵塔設計其他の爲め電線の最大張力を知る必要ある場合には電線の彈性極限を取れば常に充分安全である。電線は何時如何なる状態に於ても、其張力が決して彈性極限を超過しない様に弛度を計算する故に、如何なる場合の最大張力でも必ず常に電線の彈性極限以内にあつて、しかも彈性極限に近い値であるからである。(第二章7を参照)

第七章 徑間距離

35 經濟的徑間距離 [economical span] 鐵塔は徑間距離に依り高さや荷重等を變ず。徑間距離長くなれば鐵塔の基數を減じ、従つて碍子の數も減するけれど一基の鐵塔に要する費用多額となる爲め、或る程度以上に徑間距離を長くすれば電線路費は増加するに至る。それ故最も經濟的なるは幾何の徑間距離を採用せし場合なるかを研究せねばならぬ。經濟的徑間距離を研究するには次の

- (A) 鐵塔費(鐵塔用材料費。基礎費。運搬費。組立費。用地費。補償費等の合計)
- (B) 電線及地線費(電線及地線材料費。運搬費。架線費。補償費等の合計)
- (C) 碍子費(碍子及附屬品費。運搬費。取付費。送電中の碍子取換費に對する資本金費等の合計)

の合計、種々なる徑間距離に對して電線路の互長1哩に付きて計算し、其の最も少額なる場合の徑間距離を以て、經濟的徑間距離とすべきである。此の比較研究には次の第30圖の如き曲線圖を描けば便利である。第30圖に於てBなる電線及地線費は徑間距離と無關係であるとして差支なく、Cなる碍子費は徑間距離と殆反比例す。Aなる鐵塔費は徑間距離に對し簡単な關係でない。之れを正確に求めることは非常に困難である。鐵塔費と徑間距離との關係に關しては太刀川博士著特別高壓送電線路の研究。山崎四朗氏著長距離電力輸送。Frank Koester氏著 Hydro-Electric Development and Engineering 中に詳述されてある。之等の方法に従つて計



第30圖 經濟的徑間距離比較研究曲線圖

算すれば充分なる結果が得られることは勿論吾々の言を待たないことである。而し初歩の者で之等先輩諸氏の書かれた理論を實際に適用す場合に於て迷はるる點のある場合には、主要徑間距離數種に對し實際に鐵塔を設計して、其の重量其他一切の費用を計算して鐵塔費を比較研究してもよい。斯くすれば多小手數を要するけれど、徑間距離を定めることは非常に大切である

故、其れ位の手數を拂ふことは厭ふべきでない。

36 徑間距離の選定 電線路の徑間距離は、經濟的徑間距離に従つて決定せねばならぬことは勿論であるけれど、全然之れに従ふことは考慮を要す。數萬乃至十數萬ヴォルトの特別高壓送電線路の故障は、碍子に最も多い故に、碍子の數を減少せしめて送電線路の弱點の數を減ずる爲めには、經濟的徑間距離を多少超過して徑間距離を選定するのが策の得たものである場合があり、又地方に依つて用地交渉の非常に難儀な處に於て鐵塔基數を可及的減少し、事業を順調に進捗せしめるのが得策な場合もある。

普通に行はれて居る徑間距離は 10 000 乃至 20 000 ヴォルトの電線路

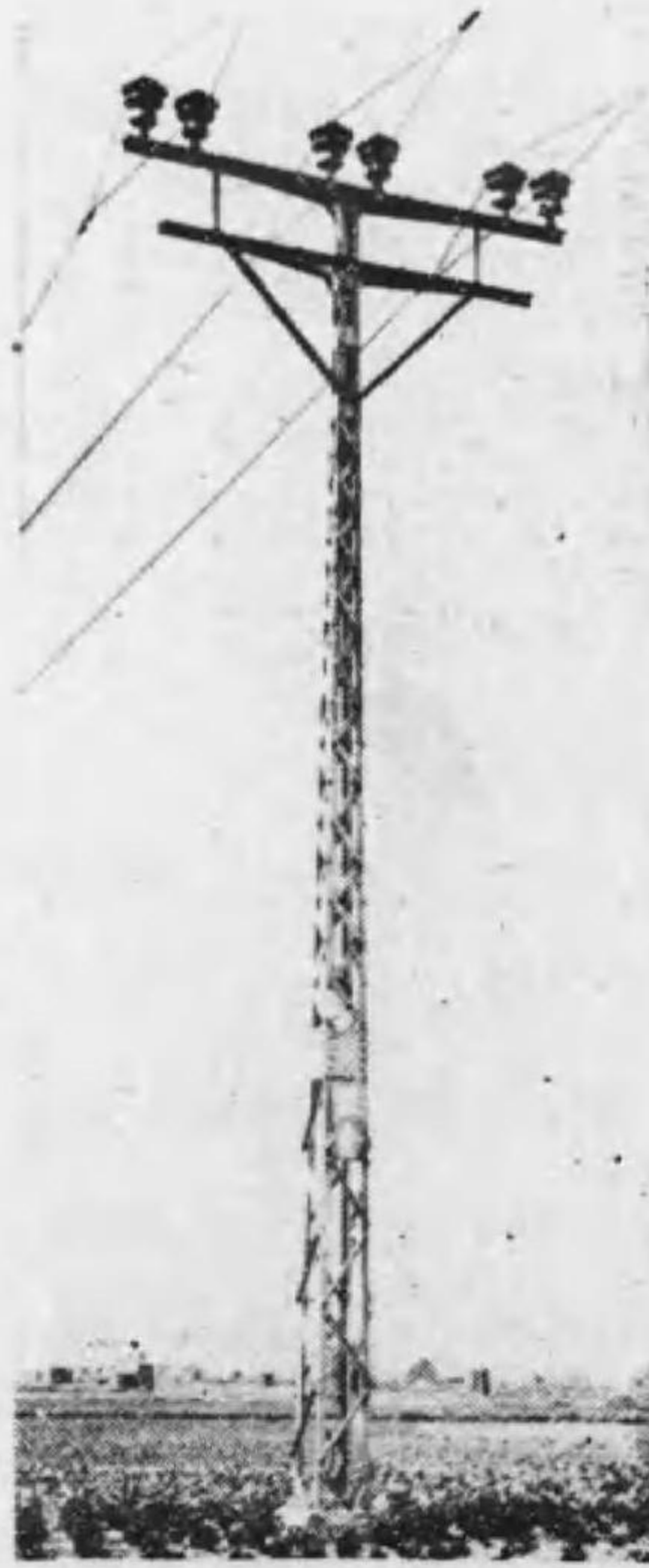
で、鐵柱又は小鐵塔を用ふる場合に於て、300 呎乃至 400 呎位で 20 000 乃至 70 000 ヴォルトの送電線路で鐵塔を用ふる場合に於て、400 呎乃至 600 呎位で、之以上の電壓の送電線路で鐵塔を用ふる場合に於ては 500 呎乃至 900 呎位である。(第八章 第26表 参照)

第八章 鐵塔の型

[type of tower]

37 鐵塔の種類 鐵塔は用ひらるゝ場合々々の荷重状態其他の條件に依り色々の形に設計せらる。今これを地面に於ける主柱の開きに依つて大別すれば次の二種類となる。

- (A) 鐵柱 (steel pole)
- (B) 鐵塔 (steel tower)



第31圖 其1
鐵柱を使用せる送電線路

そして鐵塔は其の強さに依り次の二つに別つことが出来る。

- (A) 可撓鐵塔 (flexible tower)
- (B) 固定鐵塔 (rigid tower)

次に之等に付きて概略を述ぶ。

鐵柱 地面に於ける根開きの小なる支持物をすべてポールと云ひ、鐵材にて作つたポールを鐵柱と云ふ。鐵柱は根開き狭き爲め鐵塔に比し強度が非常に劣る故、電線路の支持物としては電線其他の垂直荷重(荷重に關しては第六章参照)と電線並に鐵柱に加はる風壓に依る水平横荷重とのみを支持する爲めに設くるを普通とす(而しこれ以上の荷重が働く場合でもステーを取ることに依つて鐵柱も随分大きな荷重に堪へ得)。



第31圖 其2 ベーツ式鐵柱
(22 000 ヴォルト送電線路ニ使用セル實況)

鐵柱は普通の場合約 30 000 ヴォルト以下位の配電線路に適し徑間距離は 300 尺内外が適當である。

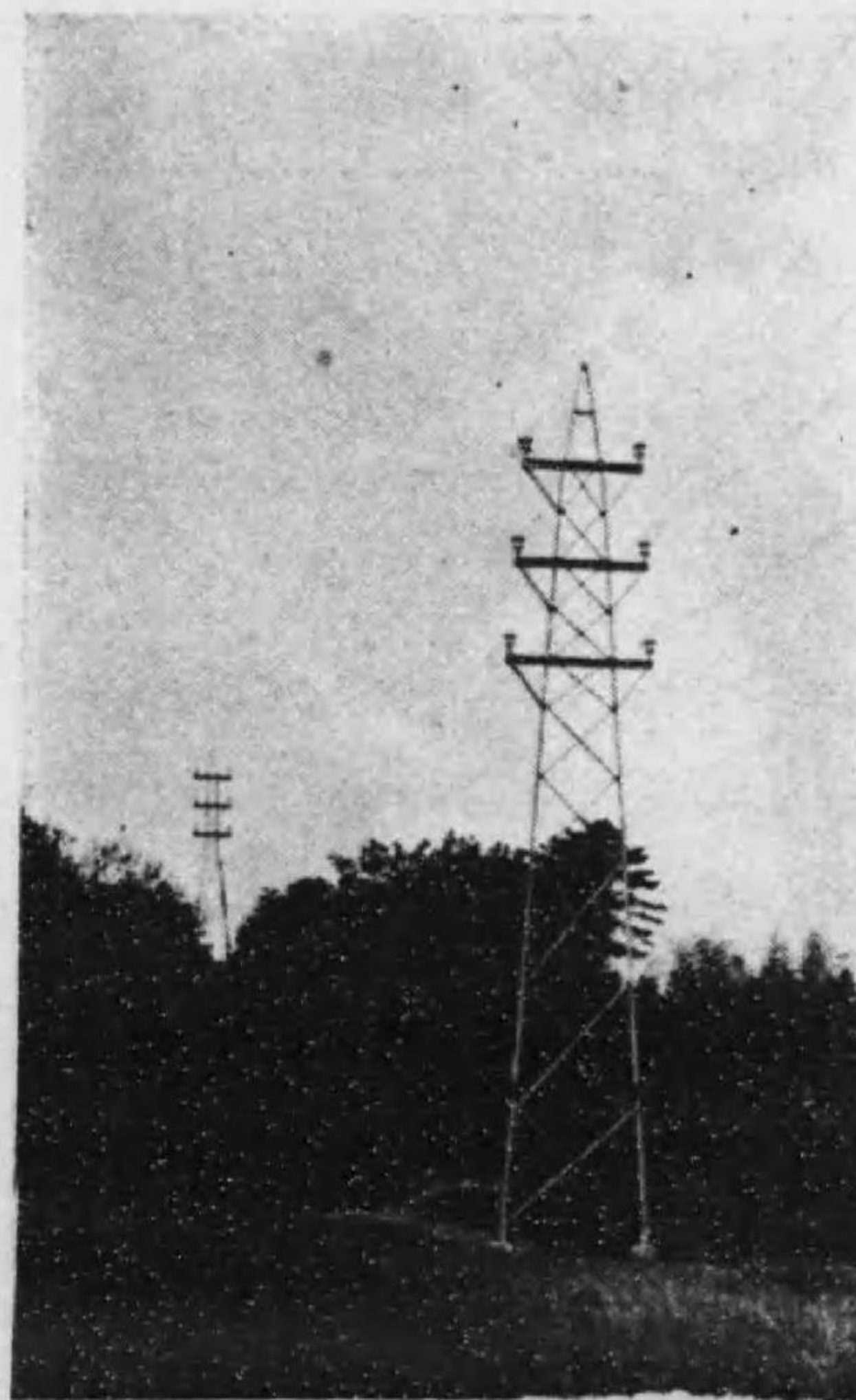
鐵柱の切斷面の形狀は電氣鐵道のセンターポールに度々見受ける如き圓形のもあれば正方形のもあり直方形のもあり I 字形のもある。第31圖は電線路に用ひらるゝ鐵柱の數種を示すもので、同圖其1は最も普通に用ひられて居るもので、切斷面は正方形である。この主柱には山形を用ひブレーシングには主として平鋼を用ひ山形鋼を用ひることもある。同圖其2はベーツポールと云ひ、Bates 氏の考案せられたもので、切斷面は I 字形を成

して居る。ペーツポールは他の鐵柱や鐵塔の如く各構成材をボルト又はリベットにて結合して作らず、一箇の鋼をロールして作る、所謂無銲鐵柱である。故に結合點の能率は甚良いと思はれる。

可撓鐵塔 地面に於ける主柱の開きの廣いのを鐵塔と云ひ、或る方向に撓み得る鐵塔を可撓鐵塔と云ふ。この鐵塔は垂直荷重と電線路に直角に加はる風壓とをのみ支持する爲に設くるもので、二脚塔が多く用ひられて居る。電線路の方向に加はる荷重は支持し得ない故に、可撓鐵塔の一侧に於て電線が切斷した場合には斷線の生じない側の電線の張力により引かれる爲めに、可撓鐵塔は斷線の生じない側の方向へ撓む。撓めば斷線を生じた側の残りの電線の弛度減少し張力増加し、斷線の生じない側の電線の弛度増加し、張力減少する故兩側の張力が平均され、鐵塔の破壊するのを免れる。これが可撓鐵塔の利點である。可撓鐵塔が連続して用ひられた場合、一箇所に於て電線切斷起れば、弛度の増減は斷線の生じた箇所の隣接徑間に止らず、普通前後各々約五徑間迄影響するらしい。電線切斷の數が増加すると、可撓鐵塔の撓みも増加し、遂に撓みが鐵塔の彈性極限を超過し、鐵塔が破壊されるに至る。それ故、電線切斷の場合生ずる不平均張力を緩和する爲め、電線を碍子に綁縛する場合、可撓鐵塔に対しては滑式綁縛 (sliding clamp) とすることがある。斯くすれば電線が切斷した場合各切斷しない側の張力で、電線は碍子の上を滑つて行く故、不平均張力は直に緩和され鐵塔は安全であるが架線の復舊には甚困難である。

可撓鐵塔は二脚であつてウェブシステムは只一面のみなる故に材料が甚敷節約され且建設も非常に簡易である。この鐵塔は線路の方向に加はる荷重を支持し得ない故可撓鐵塔を連續して用ゆる場合には、斷線の場合の水

平縦荷重を支持せしめる爲めに強力なる固定鐵塔を所々に設けねばならぬ。固定鐵塔を可撓鐵塔の間に挿入する間隔は、電線切斷の可能性の程度に依りて支配せられる。若し電線が絶対に切斷せぬものと信じ得るならば、電線路の兩端の引留及角度の變化大なる箇所以外には、全部可撓鐵塔を用ひてよしい。けれど實際上電線は絶対に切斷せぬと信じ得ない故、相當の間隔に固定鐵塔を挿入しなければならぬ。最初歐州大陸で連續して可撓鐵塔を用ひた時には、可撓鐵塔五基目毎に固定鐵塔を挿入して好成績であつたらしい。電線材料の選擇を注意し充分なる安全係數を與へて架線



第 33 圖 A 字型可撓鐵塔

span 550 呎 電壓 55 000 volt
電線 銅 (四零番)

する等、其他電線切斷の憂を除く様注意して施工するならば、電線は殆切斷しない故可撓鐵塔五基目以上拾基目、或は之以上毎に固定鐵塔一基を用ひても何等差支ない。線路の亘長から云へば、可撓鐵塔を連續して半哩乃至一哩又は一哩半使用し固定鐵塔一基を用ひてよい。可撓鐵塔中に挿入された固定鐵塔は電線及地線の總數の半分乃至全部が切斷した場合の水平縦荷重を充分に支持し得る様設計するがよい (勿論固定鐵塔は他の總

ての荷重をも十分に支持し得なければならぬ)。可撓鐵塔に對しては徑間距離は約 500 尺以下が普通である。可撓鐵塔の形は H 字形 (H-frame) もあるが A 字形 (A-frame) が最も多く行はれて居る。可撓鐵塔の主柱には溝形鋼を用ひ他のメンバーには山形鋼及平鋼等が用ひられる。(溝形鋼が主柱として用ひられる理由は第十章に詳記しあり) 第 32 圖は A 字形可撓鐵塔を示し第 20 表は六大電氣會社に於て 958 基の可撓鐵塔に就きて調査したる成績表である。

第 20 表 可撓鐵塔成績報告集

報告サレタル 可撓鐵塔數	破壊基數	摘 要
158	無	
262	無	
62	無	「アーム」二個扭ラレタルアリ
100	無	碍子ノ取付破壊セルモノ四ヶ所アリ
290	3	基礎ガ引キ上ゲラレタルニ依ル
86	56	1914 年 12 月ノ暴風雨ニ依ル

固定鐵塔 固定鐵塔は送電線路の支持物として最も強きものであつて、この鐵塔は送電線路に加はる總ての荷重を、完全に支持せしめる爲に設けらるるを普通とす。そして引留鐵塔 (dead end tower) 隅塔 (corner tower) 川越鐵塔 (river crossing tower) 等には必ず固定鐵塔を用ゆ。送電線路の直線部分には主として可撓鐵塔を用ひ、其の數基目毎に一基の固定鐵塔を用ゆることもあれば又全部に固定鐵塔を用ゆることもある。可撓鐵塔の中間に用ゆる固定鐵塔は最も酷なる水平縦荷重をも支持し得る様設計し、全線に固定鐵塔を用ゆる場合には、各々の荷重はこれよりも甚敷く輕減してよしい。第 19 表中に全線路に固定鐵塔を用ひた場合の適當なる荷重表

もある。全線路に固定鐵塔を用ひる場合でも、全部同一の強さのものとする場合もあれば、又大部分は弱き固定鐵塔とし、垂直荷重並に風壓及僅かの水平縦荷重を支持せしめ、要所所に強き固定鐵塔を用ゆることもある。又此の後者の強き固定鐵塔を二種類にし一は非常に強き引留力を有せしめ他は半引留塔とすることもある。固定鐵塔の切斷面の形は三角形をなせるものもあれば、四邊形をなせるものもある。實際に於ては正四邊形の切斷面を有せる四脚塔が最も廣く用ひられて居る。

次の第 21 表は合計 7362 基の固定鐵塔を有する 16 箇の送電線路に付きての固定鐵塔成績調査表である。これと第 20 表とを見るに固定鐵塔は故障殆ど無きに依り、荷重條件其他の設計並に建設を注意し、誤りなくば殆絶対に安全であると考へて差支がない。

第 21 表 固定鐵塔成績報告集

報告セラレタル 固定鐵塔基數	倒壊基數	摘 要
244	無	電線燒損ノ爲メ「アーム」一個扭ラレタルアリ
378	無	
1041	無	
374	無	
64	無	
243	無	雪ガ電線ヲ離ルル時ノ振動ニ依リ電線三條燒損
1079	無	
593	無	
184	無	
33	無	
851	無	
110	無	
324	無	碍子ノ取付四ヶ所破損
913	無	「アーム」吊用ノ棒數個破損。電線數條燒損
748	1	1915 年ノ大暴風雨ノ爲メ。尙電線モ 70 個所切斷シタルアリ
187	1	1915 年ノ大暴風雨ニテ「スパン」1250 呎ノ個所ノ鐵塔主柱破レテ倒ル。他ノ鐵塔モ輕微ノ變形アリ

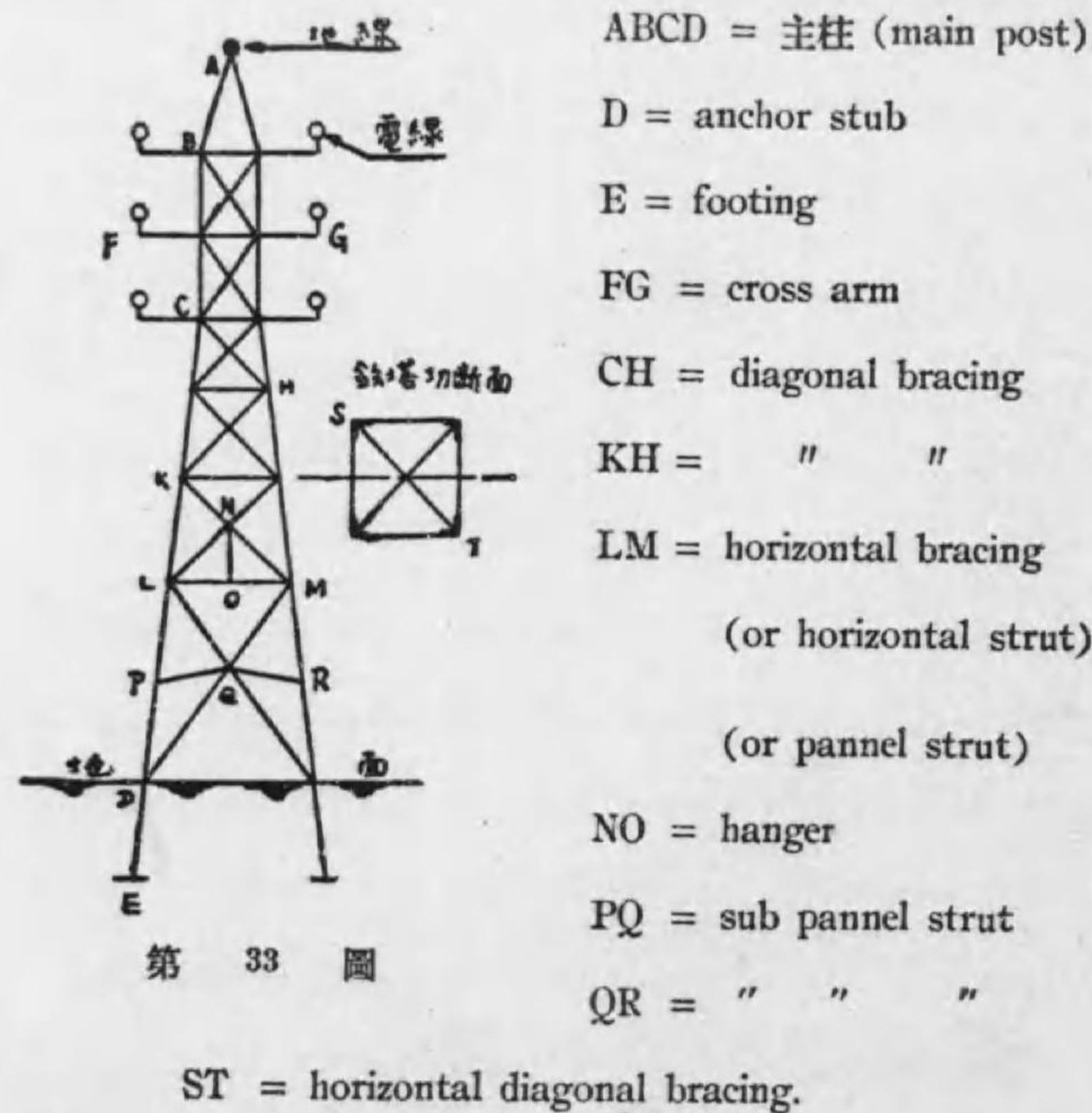
38 鐵塔の型 今此處に於ては主として固定鐵塔の型に關して記し、可撓鐵塔の型に付いては固定鐵塔の型を應用することとす。

そして型を考へるに先だちて型の差を生ずる鐵塔の主要部分を構造上より次の三つに分ちて考へる。

- (A) 鐵塔の切斷面の形
- (B) 主柱の傾斜
- (C) Web system の形

(尙其他鐵塔の型に關係ある諸事項は次の(39)節に於て記しあり)。

之等の記述に先だちて鐵塔各部の名稱を記せば第33圖に於て



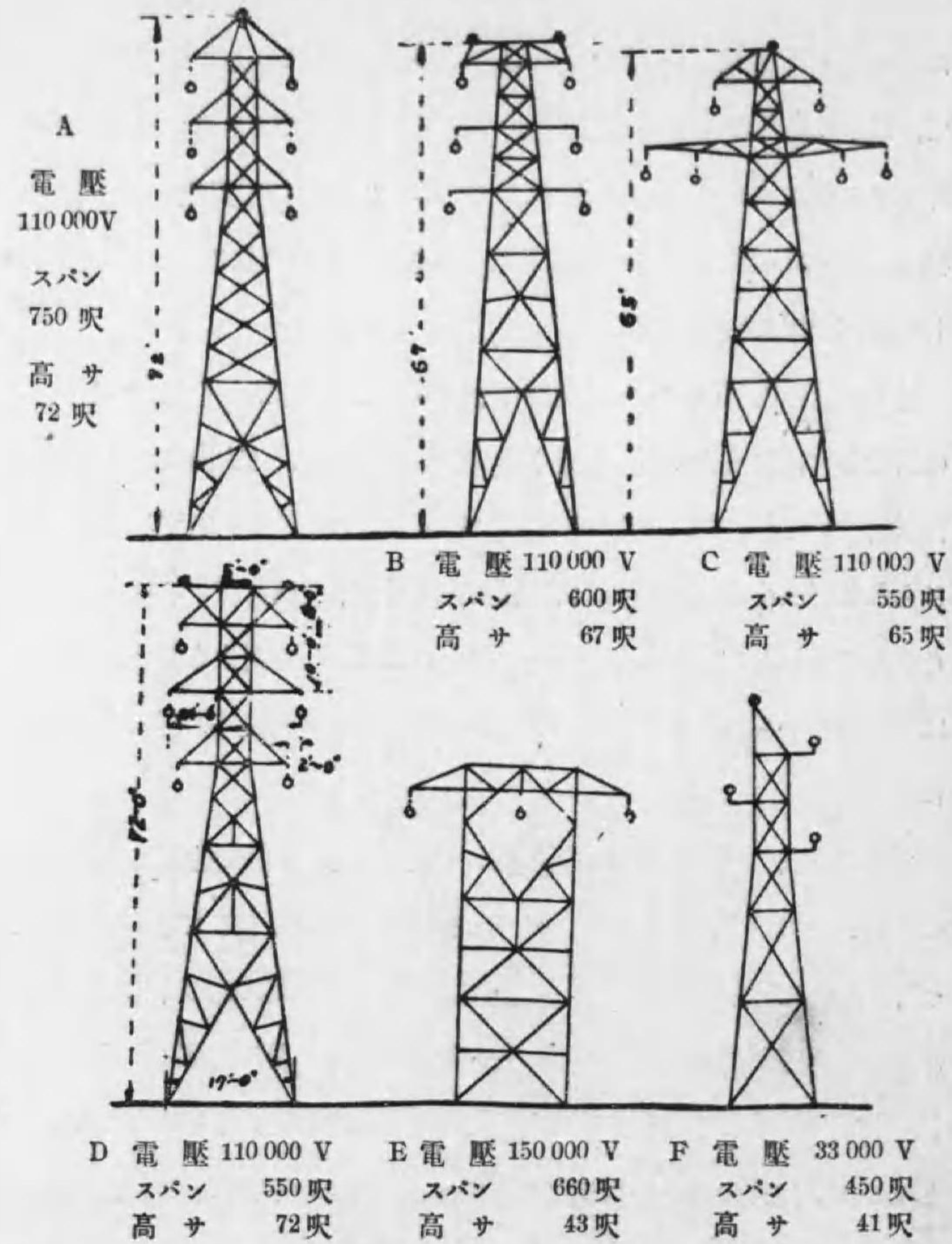
の如き名稱あり。尙主柱以外の材片を補助材 (アウキジリアリーメンバー

又はセコンダリーメンバーと云ひ、鐵塔の一側面に於て主柱間を連結するブレーシング類を總稱してウェブシステム (web system) と云ひ、上下相隣る二つのダイアゴナルブレーシングの接續點を鐵塔のパネルポイント (panel point) と云ひ、二つのパネルポイント間をパネルと云ふ。第33圖に於いて ON 又は PQ 並に QR は設計上應力の算定出來ぬ材片であつて、只他の材片の強度を助ける爲めに用ひられたものである。斯の如き材片をノミナルメンバーと云ふ。而して ON は LM の細長比を PQ は主柱 LD の細長比を小さくする爲めに用ひられたものである。(細長比に關しては第十章を參照)

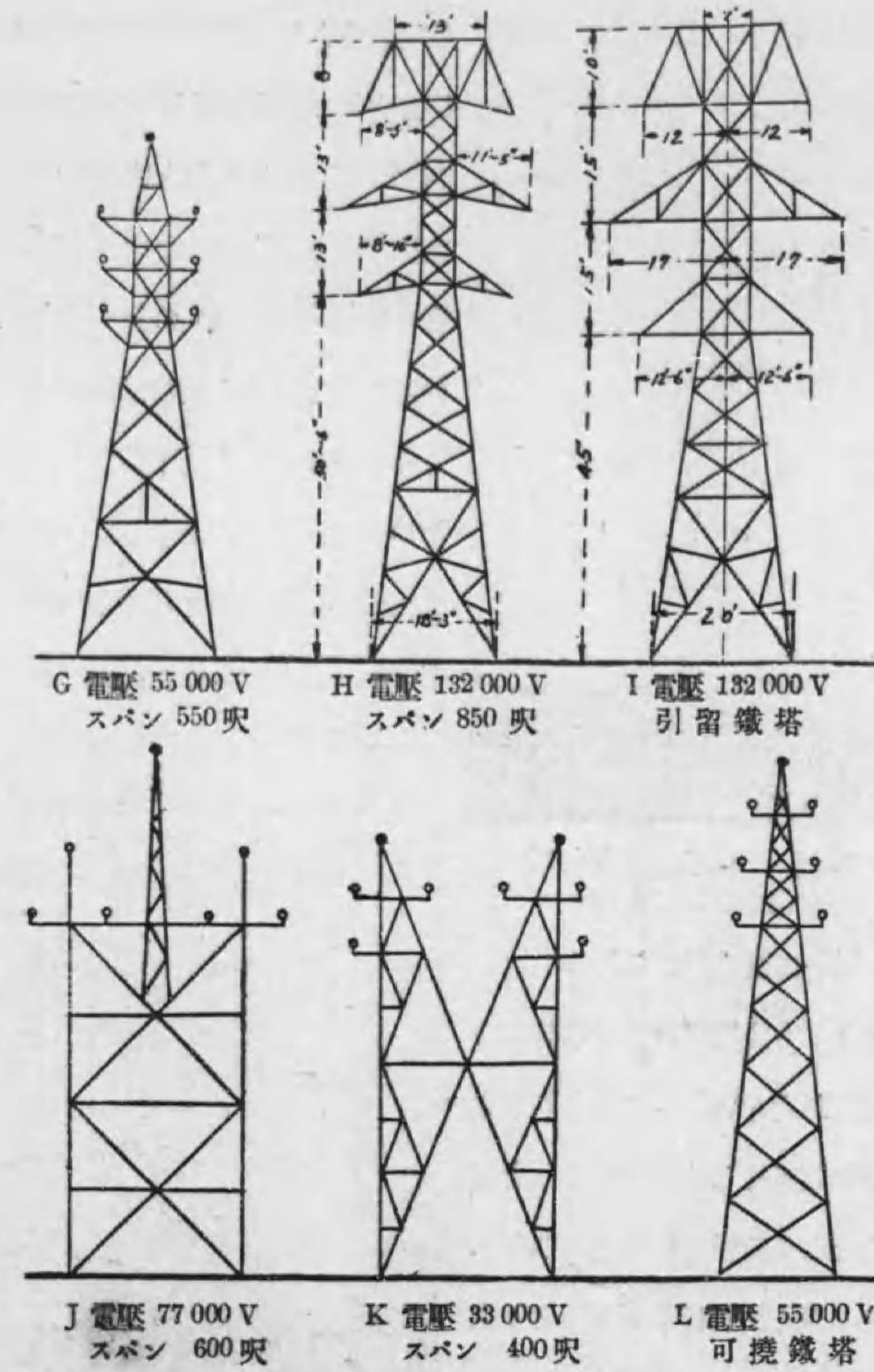
鐵塔の切斷面の形 固定鐵塔の切斷面の形は四邊形が多く用ひられ、其の内でも特に正四邊形が最も廣く用ひられて居る。或る方向にのみ大なる荷重を受ける場合等の如き特種鐵塔には長方形の切斷面を有する鐵塔も用ひられる。又小さい送電線路には稀に三角形の切斷面を有する鐵塔も用ひられることがある。けれど構造上面倒な點が多いから面白くない。第34圖は鐵塔の型の種類を示したもので第35圖は各種の型の鐵塔の實例の寫眞である。

主柱の傾斜 第34圖及第35圖に於ても見る如く、鐵塔の主柱は直立したのもあれば傾斜したのもある。鐵塔に加はる荷重の生ずる力率は地面に近づくとつれて増加する故、鐵塔の主柱間の開きも地面に近づくとつれて増加せしめるが有利である。それ故實際用ひられて居る鐵塔は、殆全部主柱を傾斜せしめて下方に於ける主柱の開きを上方に於けるそれよりも廣くしてある。主柱の傾斜を餘り大きくすると、鐵塔の下部に於ける主柱間の開きが甚しく廣くなり、ウェブシステムの材料を餘計に要する様になるの

である故、主柱の傾斜は餘り大きくするのもよくない。普通に主柱の傾斜の角度は垂直線から測り 10 度以下である（15 度位の傾斜を成した鐵塔もないではない）そして鐵塔の主柱の地面に於ける開きは全體の高さの $\frac{1}{3}$



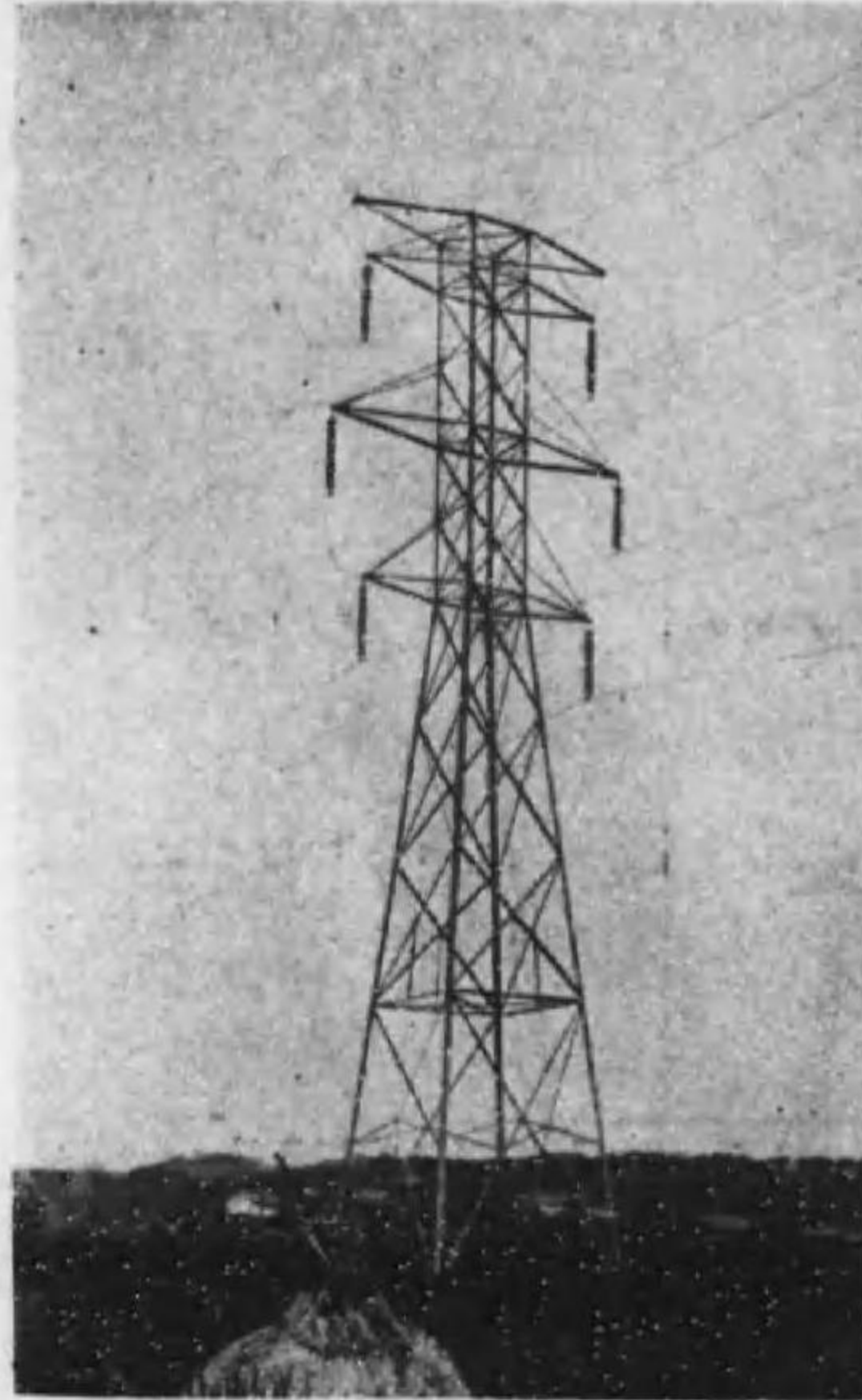
第 34 圖 鐵塔の型各種



第 34 圖 鐵塔の型各種 (續き)

乃至 $\frac{1}{7}$ の間に設計せられるのであるが $\frac{1}{4}$ 乃至 $\frac{1}{5}$ 位が最も普通である。

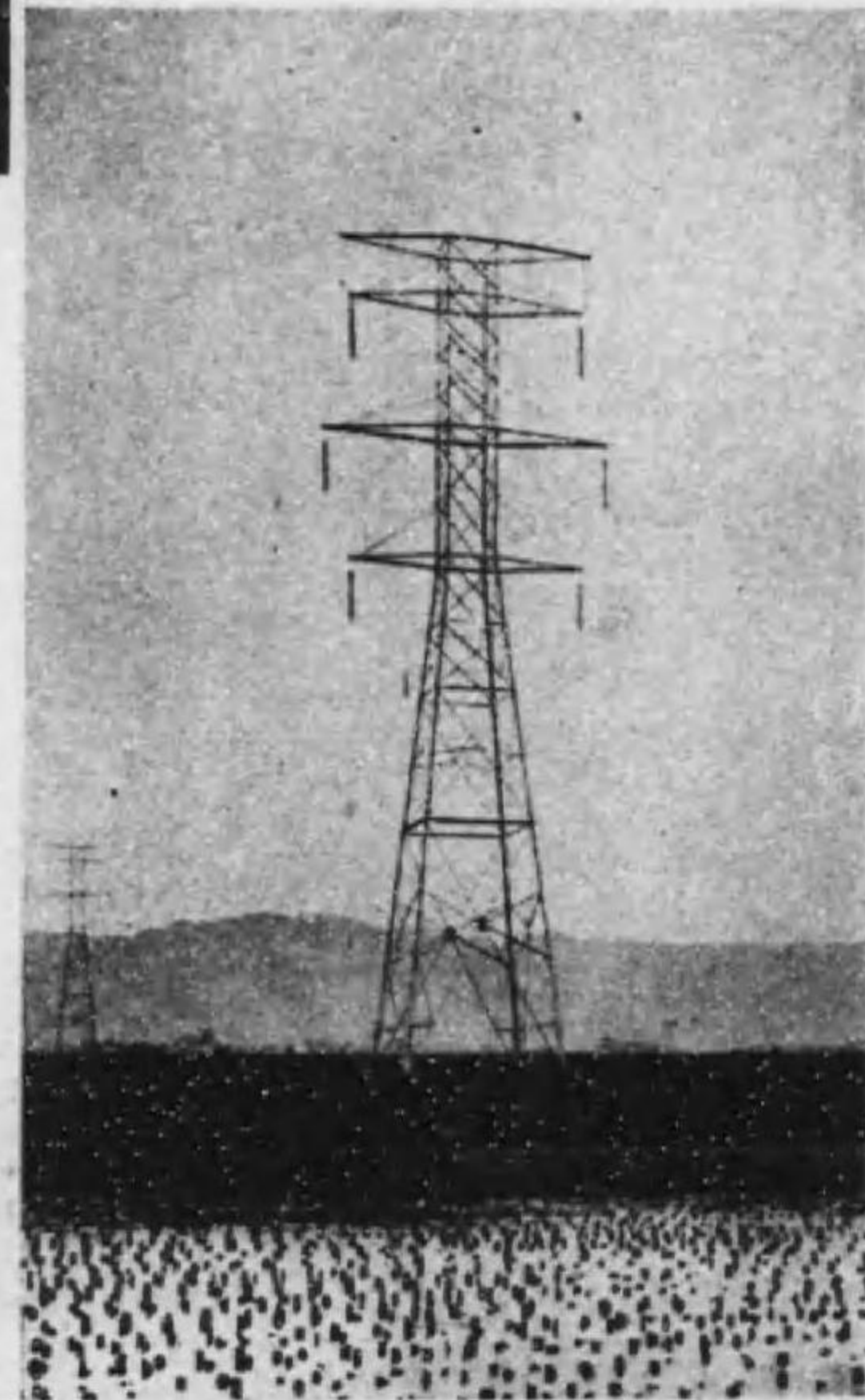
主柱を地面から頂上迄一直線狀に設計する場合もあれば、又途中で曲げ



第 35 圖 B. 大同電力株式會社鐵塔 (154 000 V)

付くる場合に廣く用ひられる。最下腕金より下方は鐵塔の受ける荷重に依る力率が大きい故、これより下方の主柱を傾斜せしめ、これより上方は直立せしめた鐵塔が多く用ひられて居る。斯くすれば最下腕金より上方の鐵塔構成材に對し同様の加工を成し得る便があり、且外觀も此型が良い様に思はる。而し外觀は主觀的のものである故勿論絶對的のもので

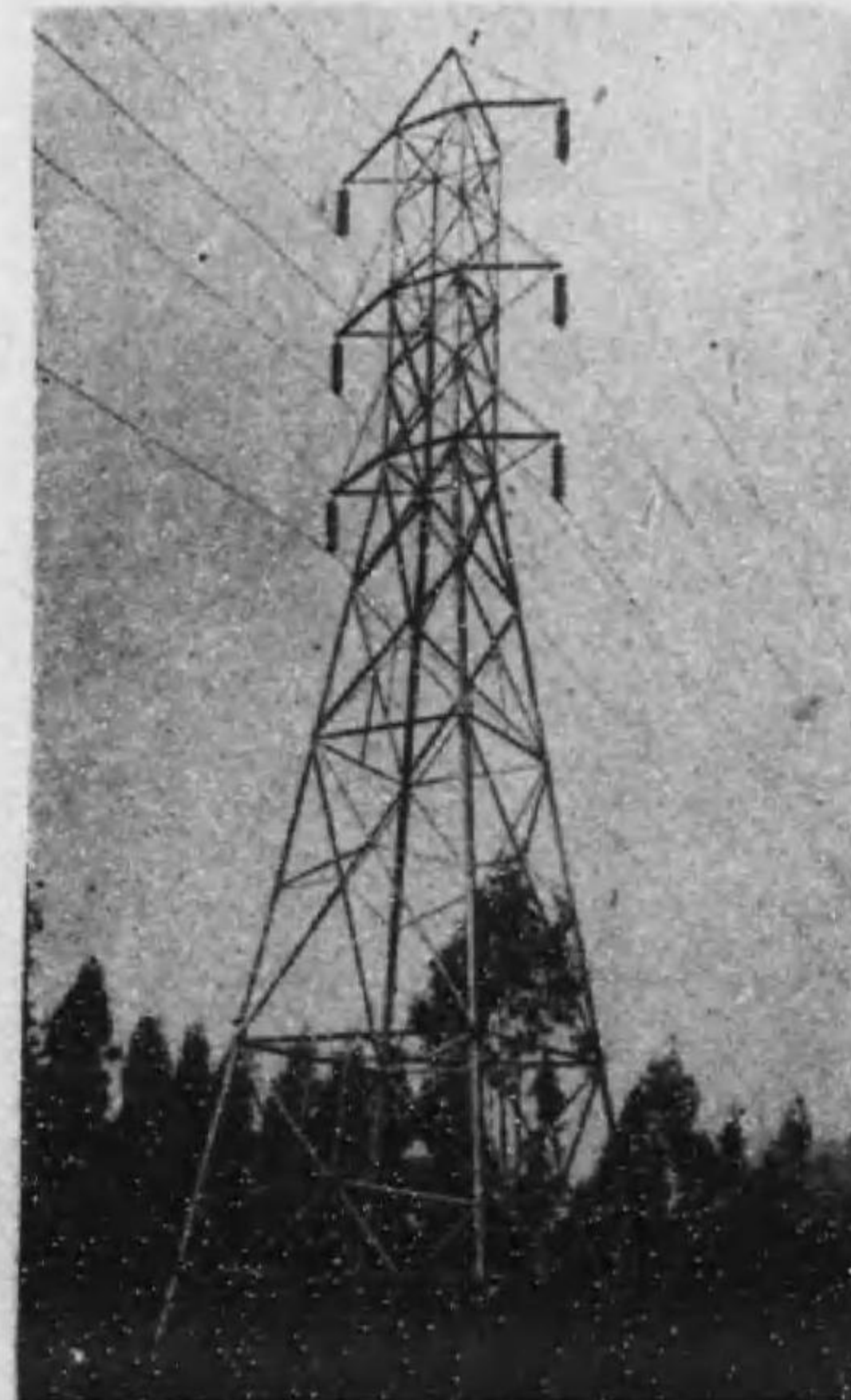
る場合もある。第 34 圖 (B) 及 (C) 等は主柱を途中で曲げない型で、同圖 (A) 及 (D) の如きは途中で曲げた型である。主柱を途中で曲げる場合には第 34 圖 (A) の如く最上腕金の點及最下腕金の點の二箇所で曲げると (D) の如く最下腕金の點一箇所のみで曲げるとある。(A) の如きは架空地線一條を用ゆる場合に適し、(D) の如きは架空地線二條を取



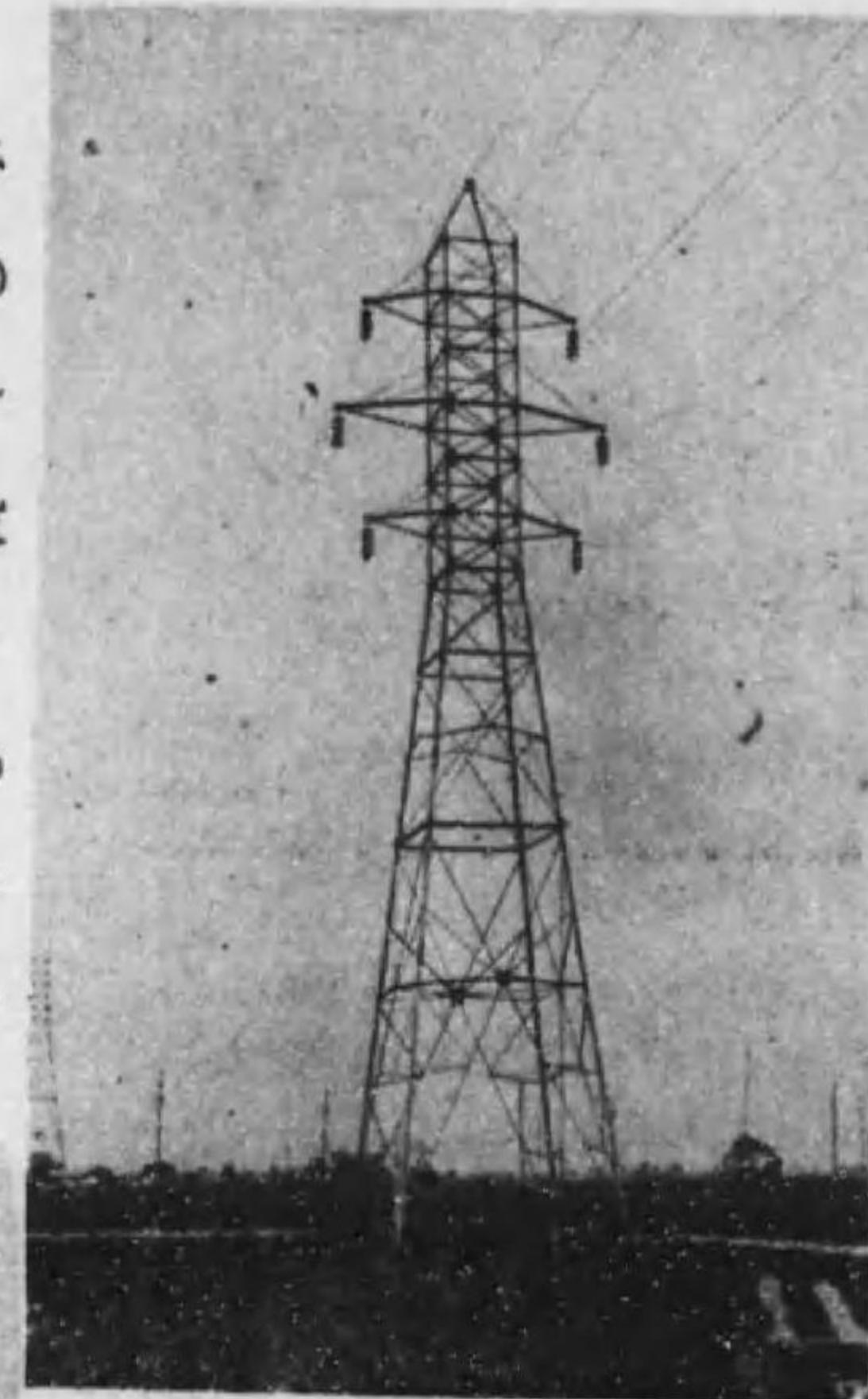
第 35 圖 鐵塔の型實例
A. 日本電力株式會社鐵塔 (154 000 V)

はない。

ウェブシステムの形 ウェブシステムの形の主な種類は第 34 圖 (B) (C) 及 (F) の如く、各パネルポイント毎に水平ストラットを設けたものと、第 34 圖 (L) の如く水平ストラットを用ひないものとの二つである。前者はダイアゴナルブレーシングが單に抗張材として

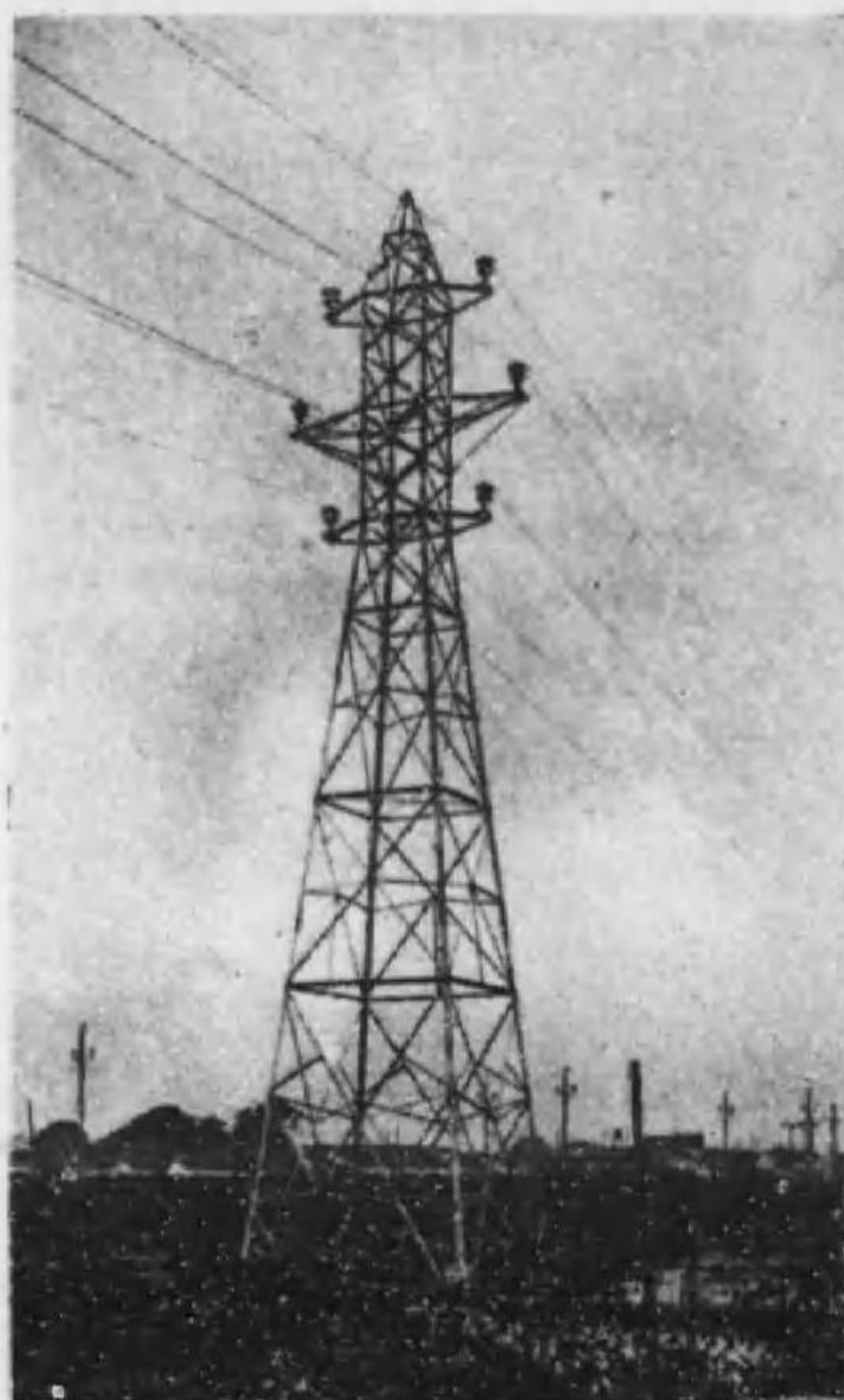


第 35 圖
C. 110 000 ヴォルト 送電線路鐵塔



第 35 圖 D. 元大正水力電氣株式會社鐵塔 (77 000 V)

のみ働けばよいので、此點は甚有利である。後者はダイアゴナルブレーシングは全部抗張材としても抗壓材としても完全に働かねばならぬ。而し前者は一個のパネルに於て二個のダイアゴナルブレーシングあるにも不拘、一方向の荷重に對しては一個のダイアゴナルブレーシングのみ働き、他の一個は此の荷重と反對方向の荷重が加はつた場合にのみ働く。即一



第 35 圖

E. 55 000ヴォルト 送電線路鐵塔

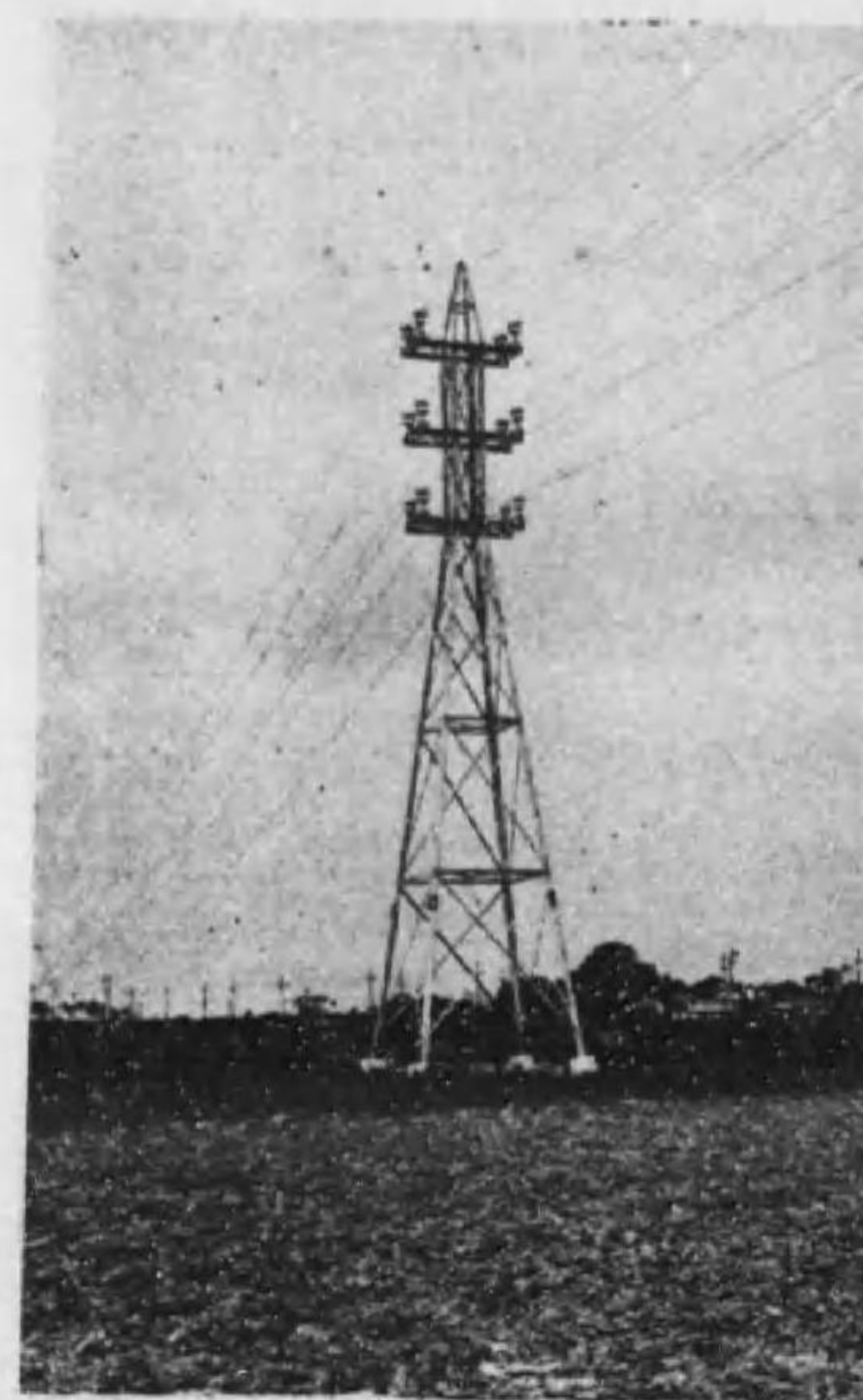
つて働く)それ故この場合には二つのダイアゴナルブレイシングは遊ばない利點がある。(尙之に關しては第八章 40 に於て説明しあり)

地面附近に於て鐵塔主柱の開きが
大なる場合にはパネルの長さを長く
しても鐵塔の各メンバーの應力は僅
かの影響を受けるのみであるのが常
である。斯の如き場合には第 34 圖
(A) (B) (C) (D) 等の如く、地上

方が働く場合他方は休む不利がある。後者の場合に於ては一個所のパネルに於ける二個のダイアゴナルブレイシングは各々全體の荷重の半分宛を分担し、一方が抗張材として働けば他方は抗壓材として働く(そして荷重の方向反對となれば抗張材として働いた方が抗壓材となりて働き抗壓材として働いた方は抗張材とな



第 35 圖

F. 宇治川電氣株式會社鐵塔
(55 0000 V)第35圖 G. 宇治川電氣株式會社鐵塔
(55 000 V)

及其附近のパネルの長さを長くしウェブシステムの材料を節約するがよい。而して此の場合主柱の支持せられざる部分の長さが長くなるに依り、主柱の強度が減ぜられるのを防ぐ爲めサブパネルストラットを一個乃至數個用ひて、主柱をパネルポイント間の途中に於て一個乃至數個所支持せしめ、主柱の細長比を制限以内に保ち、其の強度を充分ならしめる。細長比に關しては第十章に於て説明しあり。(ウェブシステムの種々なる型に關しては第 34 圖及第 35 圖参照)

39 鐵塔の型に關係ある事項 電壓。電線の離隔。電線の大きさ。電線の種類。電線條數。電線の配置。架空地線の有無。架空地線の條數並に配置。碍子の種類。徑間距離。荷重の取り方。其の筋の取締規則等は鐵塔の型に關係がある。次に之等に就きて説明す。

電壓の影響 電壓が高くなると電線と電線の間隔や、電線と鐵塔構成材片との離隔を大とせねばならぬ爲め、腕金と腕金との垂直間隔長くなり鐵塔の高さを増加し、且腕金の長さ長くなりて水平縱荷重に依りて鐵塔の受ける扭力大となる。従つて鐵塔を電壓低き場合よりも強く設計せねばならぬ。又電壓高くなれば碍子費が増加する故徑間距離を長くせねばならぬの

で、従つて鐵塔の高さ高くなる。尙又最低電線の地表上の高さも電壓に応じて高くせねばならぬ故、電壓が高くなると鐵塔の高さは随分増加する。高さ高くなり其の上強き強度を要するから鐵塔の型は電壓が高くなるにつれて甚數變化する。

電線の離隔 架空電線相互の離隔及架空電線と鐵塔構成材との離隔に關しては、人々に依つて意見が色々であつて、一つの權威ある公式の如きものは無い様である。電線相互並、に電線と鐵塔構成材との離隔は電壓、電線の弛度、徑間距離、電線の種類、碍子の種類等に依つて適當に定めねばならぬ。

電壓が高くなるにつれて電線の離隔を増加せねばならぬのは勿論であるが、架空電線に對しては其の最小離隔は人に依つて多少異なつて居る。第22表は著者の適當と考へる電線の離隔表で、電線と鐵塔構成材との最小離隔を示すものである。懸垂碍子の場合碍子がスキングした時でも其他如何なる場合でも、電線は其の支持物と第22表に示された距離以上に離隔せしめねばならぬ。

そして電線相互の最小間隔は如何なる状態に於ても電線と鐵塔構成材との最小離隔の約二倍以上を保持する様にすればよい。

第22表 架空電線ト鐵塔構成材トノ最小離隔

電 壓	電線ト鐵塔構成材トノ最小離隔(吋)
6 600	4 — 9
6 600 — 13 000	5 — 12
13 000 — 22 000	7 — 15
22 000 — 33 000	10 — 18
33 000 — 45 000	13 — 21
45 000 — 66 000	18 — 24
66 000 — 88 000	21 — 27
88 000 — 110 000	24 — 29
110 000 — 132 000	26 — 36
132 000 — 154 000	36 — 46

又第23表は米國アルミナム會社の示すアルミナム線相互の離隔表である。

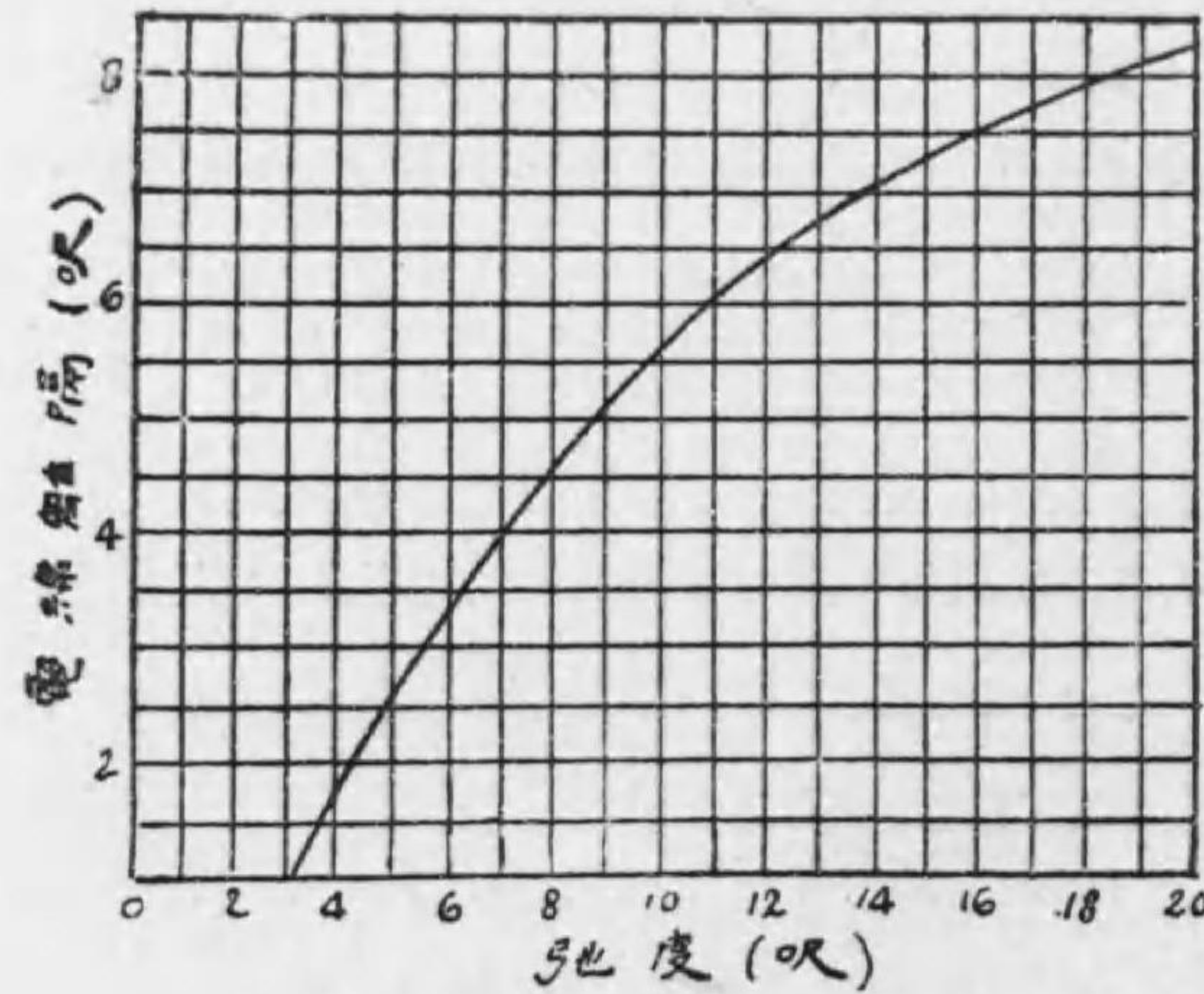
電線相互及電線と鐵塔構成材との離隔は、大きな鳥が電線路へ飛び來り飛び去る場合に鳥の羽に依つて電線が接地又は短絡せられない様に、相當間隔を大きくすることも必要である。鳥に依る障害は我國でも又外國でも實例は澤山あるが、鳥は次第に教育されて遂には電線路の危険なことを知り殆んど飛び來らなくなるらしい。

第23表 電線相互ノ離隔(アルミナム線)(米國アルミナム會社)

電 壓	最小離隔(吋) (スパン 200 呎以下)	最大離隔(吋) (特種ノ長徑間ヲ除ク)
10 000	24	90
20 000	50	98
30 000	36	104
40 000	44	112
60 000	58	128
80 000	74	146
110 000	102	168
130 000	126	186
150 000	152	203
200 000	230	258
220 000	262	280

弛度が大きくなれば電線は風の爲めに動搖する故に、電線は弛度に應じて相互の離隔を大とせねばならぬ。水平に並べて架設せられた二つの電線が同時に反対方向に動搖し得るものとすれば、この二つの電線は最大弛度に於て互に反対方向に最も大きく動搖した場合でも、最小離隔以上の間隔を保つ様設計せねばならぬ。而し同種類で同じ大きさの電線を同一の徑間に同じ弛度で張つたならば、電線は殆同期に動搖するものである故、架空電線は殆同期に動搖するものとして少しも差支がない。但し軽い電線は同期の動搖が亂れ易い故 アルミナム線 の如きに對しては銅線より 25% も多くの水平離隔を與へ、又銅線でも小さい電線は大きな電線よりも幾分大き

な離隔を與へるがよい。弛度と電線相互の離隔に關し電線相互の離隔は第22表に示せる最小離隔に弛度1呎増す毎に2吋を加ふべきであると云ふ人もあれば、又最小離隔に徑間距離20呎を増す毎に1吋を加へ、尙其の上に弛度1呎を増す毎に1吋を加ふべきであると云ふ説もある。第36圖は弛度の變化に對し Coomb 氏の示せる線相互の離隔曲線であるが、此の値に電壓に依る離隔を加へると間隔が過大となる。第24表は弛度の變化に對する電線相互の最小離隔の表であつて勿論第22表の離隔以上にて架空電線相互の離隔として適當なものである（但しこの兩方共にピン型碍子を用いた場合の銅線に對するものである）。懸垂碍子の場合には第39圖に示す



第36圖 電線相互離隔曲線 (クーム氏)

如く碍子の動搖する爲めの接近距離だけ電線の離隔を大とせねばならぬ。第25表は懸垂碍子を使用した場合の銅線の最小離隔を示す。（屋外變電所や屋外開閉所等の設計に際しても、電線の離隔が重大問題となる。離隔の定め方に依り變電所や開閉所の敷坪が大變變化する。斯の如き場合には徑

間距離甚短く電線の弛度も非常に小さい故電線の離隔は第22表又は第24表の弛度最小な場合の値に多少の餘裕を取つて定むればよい。

第24表 銅線線間最小水平離隔 (ピン型碍子ノ場合)

電 壓	弛 度 及 最 小 線 間 距 離						
	呎 吋 2-0	呎 吋 4-0	呎 吋 6-0	呎 吋 10-0	呎 吋 12-0	呎 吋 16-0	呎 吋 20-0
2300	1-0	1-2	1-6	2-2	2-6	3-2	3-10
6600	1-2	1-2	1-6	2-2	2-6	3-2	3-10
11000	1-6	1-6	1-9	2-5	2-9	3-5	4-1
22000	2-0	2-0	2-2	2-10	3-2	3-10	4-6
33000	2-6	2-6	2-8	3-4	3-8	4-4	5-0
44000	3-0	3-0	3-0	3-8	4-0	4-8	5-4
66000	4-0	4-0	4-0	4-8	5-0	5-8	6-4
88000	5-0	5-0	5-0	5-2	5-6	6-2	6-10

第25表 銅線々間最小水平離隔 (懸垂碍子ノ場合)

電 壓	弛 度 及 最 小 線 間 距 離						
	呎 吋 6-0	呎 吋 8-0	呎 吋 10-0	呎 吋 12-0	呎 吋 16-0	呎 吋 20-0	呎 吋 30-0
44000	3-9	4-2	4-7	5-0	5-10	6-8	8-9
66000	5-0	5-4	5-9	6-2	7-0	7-10	10-0
88000	6-3	6-3	6-5	6-10	7-8	8-6	10-7
110000	7-6	7-8	8-1	8-6	9-4	10-2	12-3
132000	8-9	8-10	9-3	9-8	10-6	11-4	13-5
154000	10-0	10-0	10-4	10-9	11-7	12-5	14-6

Kapper 氏の架空電線路に關する書中に銅線の場合の電線相互の離隔に付きて次の如き公式がある

$$D = 0.048S + 4\sqrt{E}$$

但し D = 電線相互の離隔 (呎)

S = 徑間距離 (呎)

E = 電壓 (K. V.)

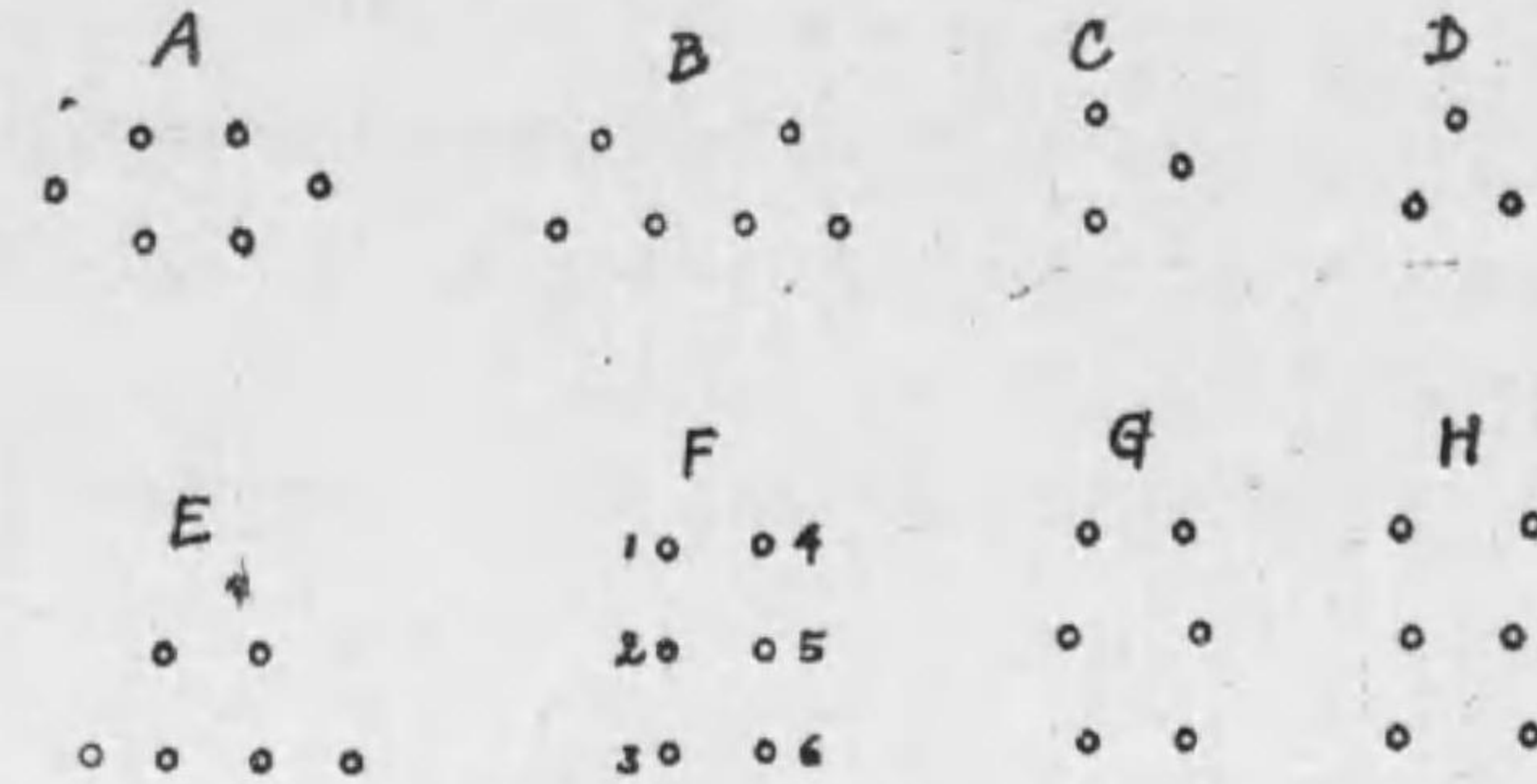
然しこの公式に依る時は電線の離隔が小に過ぎはせぬかと思はる。

上記は主として電線の水平離隔に關したものであるが、電線相互間の垂直離隔に關しても如何なる場合に於ても常に電線相互の最小離隔としては第 22 表に示された鐵塔構成材と電線との最小離隔の二倍以上を保つ様定めなければならぬ。第 40 圖に示せる如き荷重の不平均（懸垂碍子の場合）に依る電線の接近及電線に附着せし氷雪が急に落下した爲め、電線が跳ね上る場合の、上下の電線の接近等の考慮を加へて垂直離隔を適當に定めねばならぬ。（此の爲め降雪多き地方では電線配列は第 37 圖 G が最も有利）。次の第 26 表中に電線離隔の實例が記されてある。

電線及地線の種類。大さ。條數の影響 電線及地線の材料の種類が銅であるか鋼であるか、又はアルミナムであるかに依つて、鐵塔の型に影響のあることは風壓に依る電線の動搖。或は導電率の良否に依る電線の直径の變化に伴ふ電線の受くる風壓或は電線の扯斷力の相違に依る架線張力の變化等を考ふれば明かである。架空地線を使用せぬ場合と、使用する場合と鐵塔の型に差を生ずるのは勿論で、電線及地線の大きさ變化すれば鐵塔の受ける垂直荷重。水平横荷重及水平縦荷重變化し鐵塔の型に影響を及ぼし、電線及地線の條數變化すれば、腕金の數或は長さに變化を來たし、且鐵塔の受ける荷重が甚しく變化する故、鐵塔の型の變化を餘儀なくせしめらる。

電線の配列 電線の配列は直接鐵塔の型に關係するもので、色々の配列が行はれ得れども、普通に行はれて居る配列は次の第 37 圖の如きものである。

第 37 圖に於て C 及 D の他は皆電線六條の場合であつて鐵塔の中心線と此の圖の中心線と一致するものとす。F は鐵塔の兩側に三線宛垂直に配



第 37 圖 電線配列

列したもので、G は F の中央の電線を僅か外へ出したもので H は F の中央の電線を僅か内方へ入れたものである。G 又は H の如くすれば電線に附着した氷雪が急に落下して電線が跳ね上る場合や、第 40 圖の場合

第 26 表 電線配列。電線相互間隔等實例表

(本表中ニ示セル電線配列ノ符號ハ第八章第 37 圖ノ配列圖ト同一トス)

事業者名	電壓 (volts)	碍子種類	標準徑間距離 (呎)	電線種類	電線配列	電線相互水平間隔	電線相互垂直間隔
Southern Indian Power Co.	22 000	pin	300	銅	A	一邊 3'-0"	
Utah Power & Co.	44 000	susp.	600	"	F		6'-0"
Utah Lt & Rurg Co.	"	"	500	"	"	14'-0"	5'-0"
Arizona Power Co.	45 000	"	"	"	"	10'-0"	5'-0"
Penna. Central Power Co.	"	pin	500	"	B	一邊 6'-0"	
U. S. Reclamation Service	"	susp.	800	"	F	8'-0"	6'-0"
Uji-Gawa Elec. Co.	55 000	pin	550	"	"	7'-6"	6'-0"
Nippon Elec Power Co.	"	susp.	600	"	F	11'-0" 15'-0"	6'-0"
Portland Rwy & Power Co.	57 000	"	500	"	F	11'-0"	6'-0"

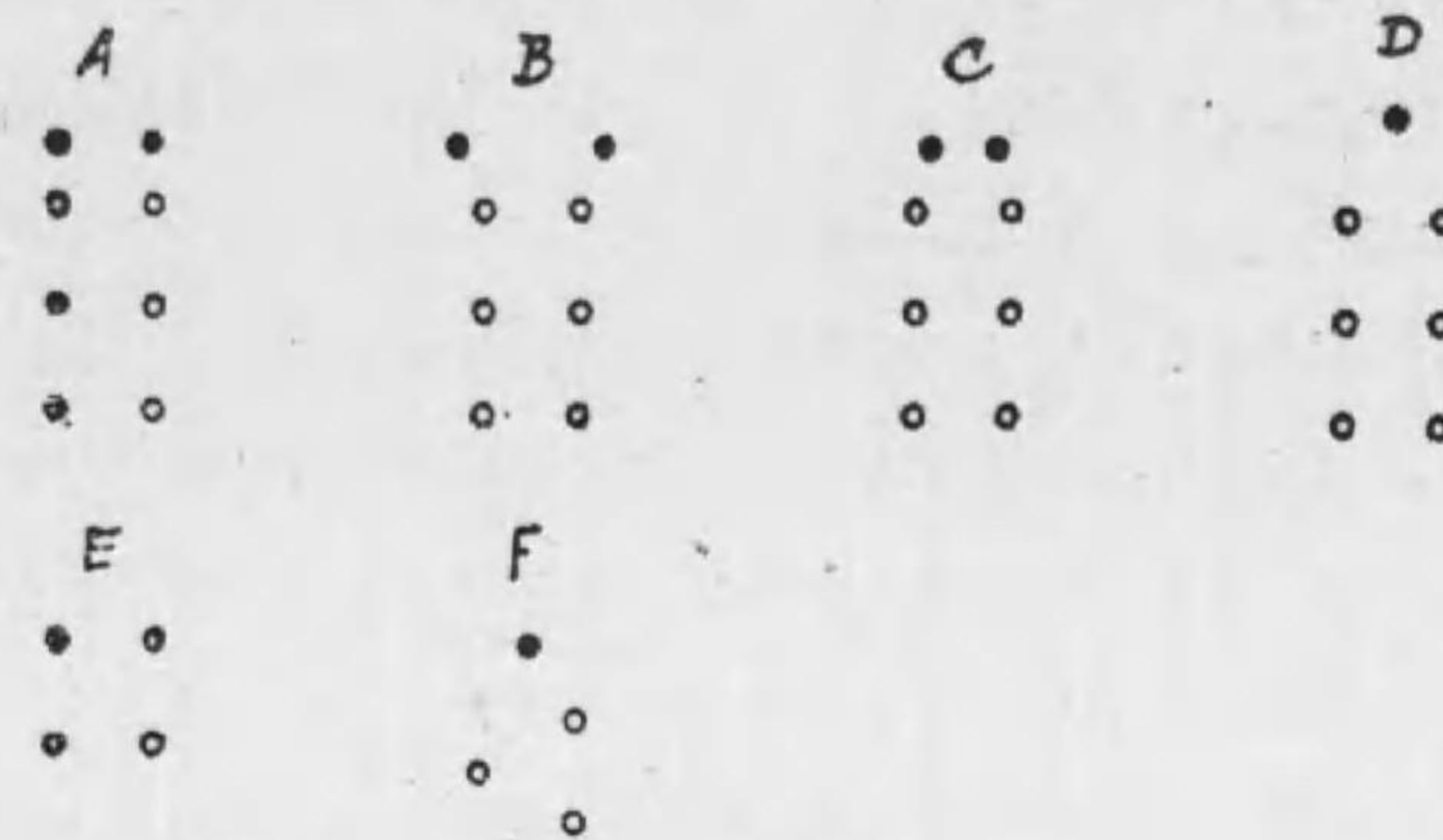
事業者名	電壓 (volts)	碍子型 種類	標準徑 間距離	電線 種類	電線配 列	電線相互 水平間隔	電線相互 垂直 間隔
Toronto Power Co.	60 000	pin	400	銅	B	一邊 6'-0"	
Washington Water Power Co.	60 000	susp.	650	アルミ ナム	A	15'-2"	7'-0"
Great Northern Power Co.	"	pin	400	銅	B	一邊 6'-0"	
" " "	"	susp.	800	"	F	11'-6"	5'-7"
East Creek Power Co.	66 000	pin	550	"	"	13'-0"	6'-0"
Penna Water & Power Co.	70 000	susp.	500	アルミ ナム	"	15'-5"	7'-0"
Southern Cal. Edison Co.	75 000	pin	700	銅	B	一邊 6'-0"	
Nippon Elec Power Co.	77 000	susp.	600	"	F	10'-0" 16'-0"	7'-0"
Uji Gawa Elec Co.	"	"	600	"	G	13'-6" 18'-6"	7'-0"
Uji-Gawa Elec. Co.	77 000	pin	550	"	F	7'-6"	6'-0"
Taisho Hydro Elec. Co.	"	susp.	600	"	G	15'-0" 19'-0"	7'-0"
Toronto Power Co.	85 000	pin	650	"	B	8'-0"	7'-0"
Mexican Power Co.	"	"	500	"	"	一邊 6'-0"	
Rio Janeiro Tram & Power Co.	88 000	"	500	"	"	一邊 8'-0"	
Southern Power Co.	"	susp.	600	銅及 アルミ ナム	A	16'-0"	8'-0"
" " "	"	"	"	"	"	18'-0"	10'-0"
Shawinigan Water Power Co.	100 000	"	520	アルミ ナム	F		8'-0"
Los Angels Aqueduct	"	"	650	銅	"		10'-0"
Great Western Power Co.	"	"	750	"	"	14'-0"	10'-0"
Yadkin River Power Co.	"	"	650	"	"	15'-0"	9'-0"
Sierra & San Fran. Power Co.	104 000	"	800	"	"	15'-0"	9'-0"
Hydro Elec. Power Commission	110 000	"	550	アルミ ナム	B		10'-0"
Mississippi River Power Co.	"	"	800	銅	F	17'-11"	10'-0"

事業者名	電壓 (volts)	碍子型 種類	標準徑 間距離 (呎)	電線 種類	電線配 列	電線相互 水平間隔	電線相互 垂直 間隔
Alabama Power Co.	110 000	susp	600 700	銅	B	一邊 10'-0"	
Cedar Rapids. Mfg Power Co.	"	"	660	アルミ ナム	F		10'-0"
Mexican Northern Power Co.	"	"	575	"	A	一邊 10'-0"	
Pacific Gas & Elec. Co.	"	"	800	銅	F		10'-0"
Inawashiro Hydro Elec. Power Co.	"	susp	550	"	G	20'-6"	10'-0"
Connecticut River Transm. Co.	120 000	"	600	"	F		10'-0"
Utah Power and Co.	130 000	"	650	"	F		13'-0"
Kansas Gas and Elec. Co.	132 000	"	850	鋼心ア ルミナ ム	G	22'-3" 28'-3"	13'-0"
Southern Sierras Power Co.	140 000	"	660	"	G	16'-6"	10'-0"
Nippon Hydro Elec. Power Co.	154 000	"	750	銅	G	22'-0" 28'-0"	12'-0"
Daido Electric Power Co.	"	"	750	"	G	27'-0" 33'-0"	13'-9"
Nippon Hydro Elec. Power Co.	"	"	900	鋼心ア ルミナ ム	G	24'-0" 28'-0"	12'-6"
Southern California Edison Co.	220 000	"	660 550	"	水平	17'-3"	
Utah Power and Lt. Co.	44 000	pin	350	銅	C	一邊 6'-0"	
La Crosse Water Power Co.	46 000	"	480	"	"		
Adirondack Elec Power Co.	60 000	"	550	"	"		
Yadokin River Power Co.	104 000	susp	650	"	"	15'-0"	9'-0"
Sierra & San Francisco Power Co.	"	"	800	"	"	15'-0"	9'-0"
Av. Sable Elec. Co.	110 000	"	528	"	"	一邊 8'-0"	
Columbus Power Co.	114 000	"	600	"	"		10'-0"
Eastern Michigan Power Co.	140 000	"	500	"	"	12'-0"	12'-0"

等に電線が接觸する憂が少くなる。F 及 G は二回線添架の場合に最も広く用ひられて居る配列である。B 或は E の如く多數の電線を同一の腕金に配列すると、電線相互の離隔を最小限度にしても腕金は相當長きものとなり、其の爲め電線切斷の場合鐵塔の受ける扭力甚敷増大す。一回線添架の場合には誘導作用の平均を保たしめる爲め、電線を正三角形に配列すること容易であるけれど、二回線添架の場合には兩回線を正三角形に配列せんとすれば第 37 圖 B の如くなり、鐵塔に大なる扭力を與へる故に、F 又は G の如く配列し適當にトランスポジションを施して、誘導作用の影響を平均せしむるが得策である。第 37 圖第 34 圖及第 35 圖を参照すれば、電線の配列と鐵塔の型との關係が明かとなる。

F の如き配列にて二回線を添架する場合、何れの三線を以て一回線を形成せしめるかが問題となる。(1) (5) (3) を以て一回線を作らしめると殆ど正三角形に近い配列が出来るけれど、一方の回線に故障が出來て修理しなければならぬ場合に甚危険である。(1) (2) (3) を以て一回線を形成せしめて置けば、故障修理の場合他の一回線は鐵塔の反對側にのみある故、充電したままでも之に觸れる憂が無い。それ故鐵塔の左右に於て各々獨立的に一回線を形成せしめるのが良い。此の場合に於ける回線相互の間隔は、片側送電中他の側の修理作業の出来る様充分に取らねばならぬ。第 26 表中に電線配列の實例が示されてある。

架空地線の條數並に配列 架空地線は電線路を雷に對して電氣的に保護すると同時に、鐵塔の頭上支線として鐵塔の倒壞を機械的にも保護するものである故に、電線より上方に鐵塔の頂上に設ける。地線と電線との垂直距離は兩者の水平距離以上を要す(地線の位置に於て垂直線と 45 度の傾

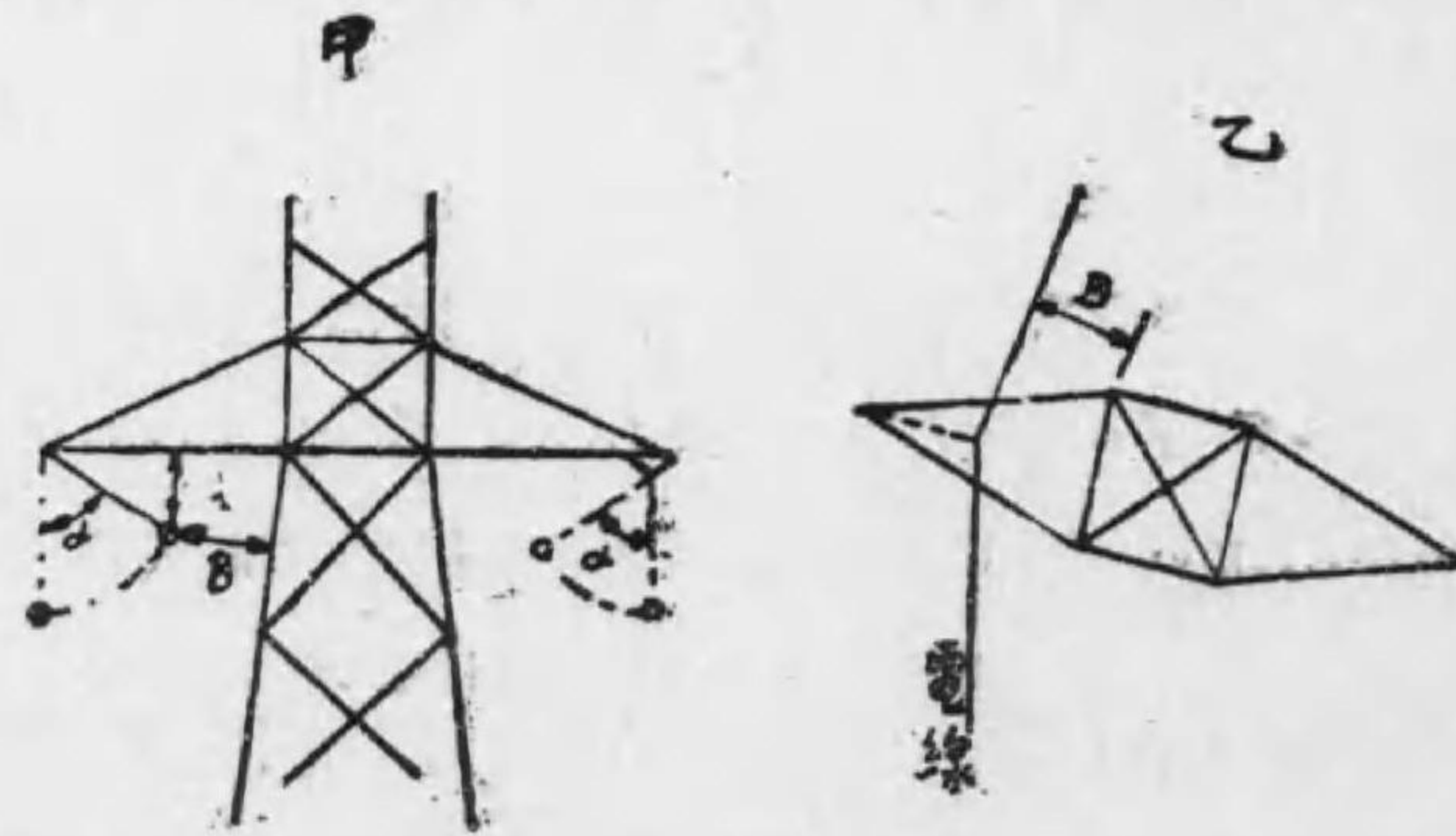


第 38 圖 地線配列圖

斜にて引きたる直線の内側に電線が入らねばならぬ)。地線は一條用ゆることもあれば二條用ゆることもある。二條用ゆれば保護の作用大となることは勿論である。第 38 圖に於て黒圓は地線を、普通の圓は電線を示すものとす。同圖 A B 及 C は電線二回線地線二條の場合を示し D は電線二回線地線一條の場合を示し、E 及 F は電線一回線地線一條の場合を示す。地線二條使用の場合 A の如く電線の直上に地線を設けるよりも保護の目的から云へば B の如く電線よりも外方へ地線を設けるが良い。この意味に於て C は最も劣つて居る。D は地線一條を中央に設けるものであつて經濟的である。A B 又は C は地線を二條設けた爲めに、一條のみを設けたる D よりも電線路の保護の効力二倍であるかと云ふに、必ずしも二倍の効力は得られない。それに二條設ける場合には地線費増加するのみならず、荷重増加の爲め鐵塔費も大となる故、二條設けるに越した事はないけれど、一條でも充分差支がないと思はる。地線を E の如く設ける時は鐵塔費は輕減せられるけれど、地線と同一水平線上にある電線の保護が出來

ない故、Fの如く配列すべきである。(尙地線の配列に関しては第38圖及第34圖並に第35圖を参照のこと)。

碍子の種類の影響 碍子がピン型であるか、懸垂型であるかに依つて、鐵塔の型に變化を來たす。第34圖及第35圖を見れば明なる如く、ピン型碍子の場合には腕金の補強材は下方から腕金を支へる様に設けられ、懸垂型碍子の場合には腕金を上方から吊す様に補強材を設ける。懸垂型碍子は普通電壓の高い場合に用ひられ、且其の一連の長さも長い故、腕金と腕金との間隔長きを要す。又懸垂碍子は風の爲めに電線と共に動揺するに依り、腕金を長くし動揺しても電線相互及電線と鐵塔構成材との離隔が充分に保たれる様に設計せねばならぬ。第39圖は懸垂型碍子が動揺して鐵塔材片に接近する有様を示す。同圖甲は線路が直線の場合で、乙は線路の方向變化せる場合である。A 或は B なる距離は何れの場合でも電壓に應じて充分の長さでなくてはならぬ(第22表を参照)。(α)なる動揺の角度は電線に依つて異なるもので、電線の重量に比し風壓の影響が大なる電線に対しては(α)は大きな値を取る。即アルミナム線の場合には(α)は約70度位



第 39 圖

で、銅線の場合は約45度乃至60度である。第39圖に於て甲圖向つて右側は腕金より下方を一部分(約1呎)動揺し得ない様に設計された場合を示すもので、斯くすれば甲圖のAなる距離の不足を補ふ爲め碍子の長さを長くする場合アームの長さを短縮し得る利益がある。

懸垂碍子を使用した場合第40圖の如く或る徑間に於て、上方電線に冰雪甚敷附着し、下方の電線には冰雪附着せず、其の隣接徑間に於て之れと反對に上方の電線に冰雪附着せず、下方の電線甚敷冰雪附着する時は、中央の徑間に於ては上方と下方との電線が非常に接近する。この場合に於ても兩電線は最小限度の離隔以上の間隔を保つ様設計せねばならぬ。



第 40 圖

徑間距離並に荷重の取方の影響 徑間距離が長くなれば電線の弛度が甚敷増加する故に、鐵塔を高くせねばならぬ。又徑間距離が長いと鐵塔の受ける水平横荷重垂直荷重も増加する故、鐵塔も之れに適する様型を變化せねばならぬ。

荷重の取り方輕き場合には、鐵塔の強度は弱くなし得る故、主柱の開きを狭くして宜敷いが、荷重を重く取る場合には主柱の開きを廣くし、強力な鐵塔とせねばならぬ。其他鐵塔の各部に於ても荷重の輕重に應じて型を適當に變化せしめねばならぬ。

40 鐵塔の型の選定 鐵塔の型の選定は送電線路に取りて重要な問題の一つである。選定に際しては上記の如き鐵塔の型に關係ある總て

のものを考慮し、最少の材料を以て最大の強さを得るのみならず、材料以外の方面に於ても建設の便否、運搬の難易、建設後の巡視及維持の便否等をも考へるのは勿論のこと、尙其の上に鐵塔構成材の各々の材片に生ずる應力が合理的に計算され得る様な型を外觀の美をも考慮に入れて選ばねばならぬ。

澤山の鐵塔を要する長い送電線路では、高さ其他色々な鐵塔が必要となりて、鐵塔の種類が多くなるのを免れない。鐵塔の種類が多いと同種の材片に同様の加工を施す便が無くなる故、製作費が高くなるのみならず、建設にも不便が伴ふ故に、斯の如き場合には標準となるべき鐵塔の型を定め、他の型の種類をなるべく減じ、他の型の鐵塔は標準鐵塔の下部を切り去り、又は其の下部に継ぎ加へをして得らるる様に設計するがよい。この場合の標準鐵塔の型の選定は最も注意せねばならぬ。

そして小さな配電線路には鐵柱を用ひ、小さな送電線路には可撓鐵塔を主として用ひ、大きな送電線路にはなるべく固定鐵塔のみを用ひるがよい。

ウェブシステムに關しては、水平ストラットを省略するか否かは、第九章を参照して經濟的に定むべきである。第九章例五及例六を参照するに、例五は水平ストラットを用ひた場合で、例六は之を省略した場合である。以下例五を甲とし例六を乙とす。荷重が同様に鐵塔も同様であるとすればブレースは甲の場合は乙の場合の二倍の應力を生ずるけれど、甲の場合はダイアゴナルブレースは抗張材となる利點がある。乙の場合にはブレースの應力は値に於て甲の場合の二分の一となるけれど、種類に於て應壓力となる損がある（柱の抗壓強度は抗張強度に比し非常に小さい）。今此の何れが有利なるかを考ふるに水平ストラット

トラット其の他の重量を考へずにダイアゴナルブレースのみに付きて甲の場合と乙の場合とを比較すれば次の如くなる。（但し甲の場合はダイアゴナルブレースを抗張材とした場合で、乙の場合は之れを抗壓材としたものである）

P_t = 抗張材としての強度

A_t = 抗張材としての有効切斷面積

p = 單位強度（抗張抗壓共に同値とす）

P_c = 抗壓材としての強度

A_c = 抗壓材としての有効切斷面積

r = 切斷面の最小慣動半徑

l = 抗壓材の支持せられざる長さ

とすれば甲の場合に於てはダイアゴナルブレースの強度は

$$P_t = pA_t$$

乙の場合には抗壓材としての強度を要する故、其の強度は

$$P_c = \left(p - 60 \frac{l}{r}\right) A_c$$

乙は甲の場合の二分の一の應力となる故

$$P_t = 2P_c$$

$$\therefore pA_t = 2\left(p - 60 \frac{l}{r}\right) A_c$$

$$\therefore 60 \frac{l}{r} = p - p \frac{A_t}{2A_c} \dots \dots \dots (1)$$

即同様の鐵塔にて同一の荷重が加はる場合に於て、甲の場合と乙の場合とダイアゴナルブレースに同一の材料を用ひたとすれば、 l/r 即細長比が(1)式に示す値となる時、甲乙兩者は同一の強度となりて優劣はないのである。細長比が之より以下とならば、其の處のダイアゴナルブレース

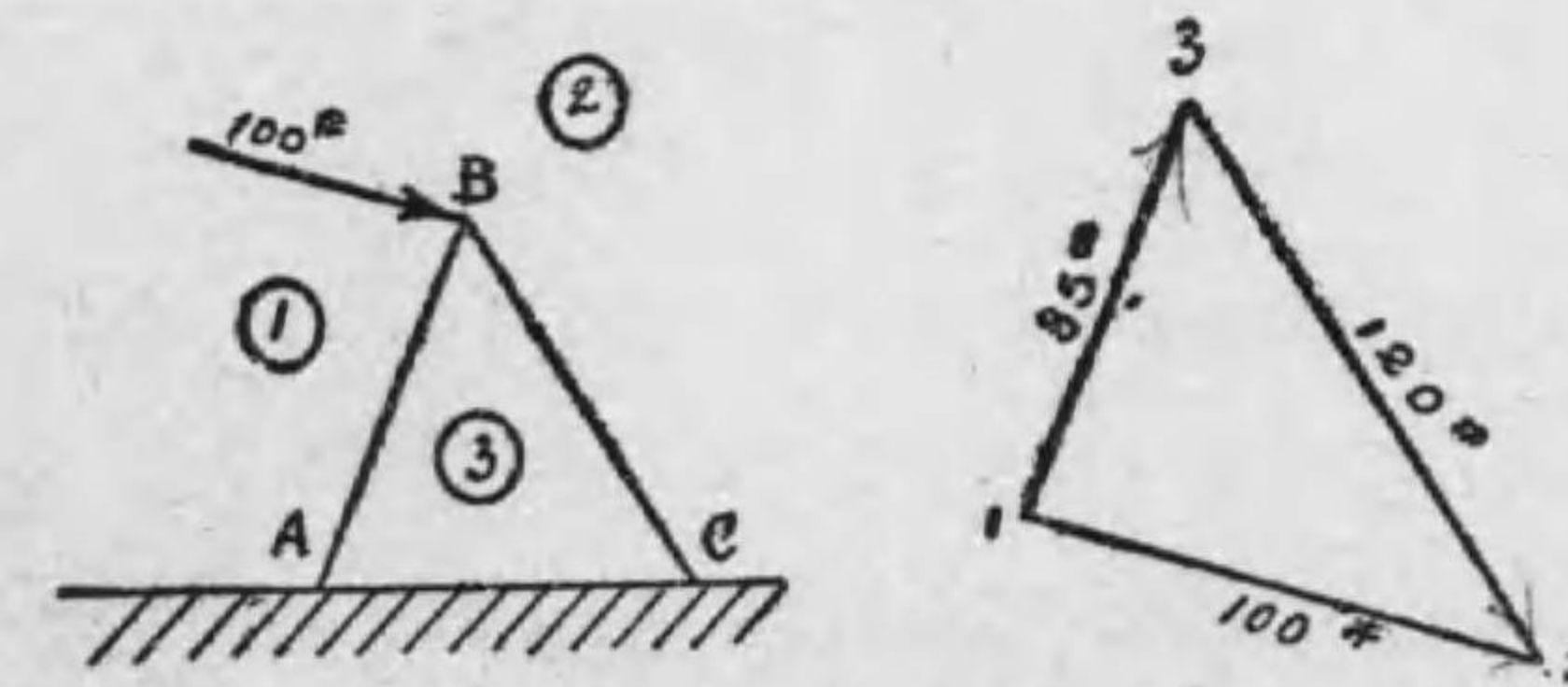
ングは乙の如くするが有利である。 A_t はボルト穴の爲めに減ぜられたる切斷面積を差引いた値であるが、 A_e は材片の端に穿つた穴は考へなくてもよい故、 A_t は A_e より小さい事を忘れてはならぬ。尙甲の方には水平ストラットがある故、若し甲乙両者がダイアゴナルブレイシングとして同一材料を用ひ、(1)式に示す関係があるとすれば、水平ストラットに要する材料は同一強度を得る爲めに、甲が乙より餘分に要する材料となる。其の上甲は一個のダイアゴナルブレイシングが受ける應力が乙の場合の二倍となる故、之れを接続するボルトは直徑大なるものを要し、大切なる材片に大なる穴を穿ち、材片強度の有効切斷面積を損じ或は乙ならば一本で足りる場合にも甲は二本のボルトを要することとなる。乙は此の點に於ても有利である故に、細長比が(1)式に示す値以下である場合は勿論、多少此の値を超過しても乙の如くし、ダイアゴナルブレイシングを抗壓材としても働き得る様設計して、水平ストラットを省略するがよい。

第九章 應力圖 (Stress Diagram)

41 應力圖 鐵塔の如き複雑なる結構の各材片に生ずる應力を計算に依つて求めることは非常に煩雜となり手数を要するのであるが、圖法に依つて求めると簡明に求められる。此圖を應力圖と云ひ鐵塔に荷重が加はつた場合鐵塔が倒壊せず外力と内力とが均合つて居る爲めには鐵塔の各點に於て總ての外力と應力との水平分力の和が零であり、總ての外力と應力との垂直分力の和も零であり且總ての外力と應力との力率の和も零でなければならぬ。之れに依つて應力圖が描かれる。次に數種の例を以て應力圖の描き方を説明す。

應力圖例一

第41圖の左方に示す如き結構があつてA點及C點は共に土地に固定せられて居りB點に於て100封度の外力が矢の方向に働いたとする。この場合(AB)及(BC)なるメンバーの應力を應力圖に依りて求めるには先づ外力及び應力を表示する爲之等を狭んで符號(ABC...又は①②③...)を付ける今外力を表示する爲めに之れを狭んで①②なる符號を付し(BC)な



第41圖 應力圖例一

るメンバーの應力を表示する爲め之れを狭んで②③なる符號を付し(BA)なるメンバーの應力を表示する爲め之れを狭んで③①なる符號を付す。そ

して符號はメンバーの結合點を中心とし時計の針の廻る方向に讀むものとす。斯の如く結構圖中の總ての外力と應力とを狭んで符號を付け終つたならば次に應力圖を描く。應力圖を描くには結構圖の近くに於て先づ①②なる外力と平行に直線を引き其線上に適當な力の縮尺にて此の外力の大きさに相當した長さを取る。そして符號は結構圖に於けると同一とし今引きたる外力の大きさに取りたる直線を挟まず其兩端に符號を付す。尙符號は結構圖の結合點 B に於て時計の針の廻る方向に讀みつつ外力の方向と一致せしめて定める。即この例にては符號は①②と讀み外力の方向は左より右に向ふ故に應力圖に於て外力を表はす直線の兩端には左より右に向ひ (1) (2) の順序に符號を付ける〔即左端に (1) 右端に (2)〕次に結合點 B に於て時計の針の廻る方向に符號を讀めば①②の次には②③なる應力がある故に應力圖に於て今求めた (2) なる點より (BC) に平行に直線を引き尙結合點 B に於て更に符號を讀めば③①なる應力がある故に應力圖に於て前に求めた (1) の點より (BA) に平行線を引く〔(3) なる點は應力圖に於て未だ求められて居ない故 (1) から平行線を引いたのである〕之の平行線と (2) から (BC) に平行に引いた線との交點を (3) とす。これにて完結したる力の三角形が出来る (外力及應力が合計三つある故三角形となる。四つあらば四角形五つあらば五角形となる) これが求める應力圖である。此の應力圖に於て (1) (2) なる邊の方向は①②なる外力の方向を示し (1) (2) なる邊の長さは外力①②の大きさを示し。 (2) (3) なる邊の方向は應力②③の方向を示し其の長さは②③なる應力の大きさを示し (3) (1) なる邊の方向及長さは③①なる應力の方向及大きさを示す。今此の應力圖は 1 吋を以て 100 封度を示す様力の縮尺を定めたる故②③なる應力

(即 (BC) なるメンバーに生ずる應力) は 120 封度で③①なる應力 (即 (AB) なるメンバーに生ずる應力) は 85 封度となることが知れる。之れに依つて各メンバーに生ずる應力の方向と大きさを知ることが出来るが此等の應力の種類 (應張力なるか又は應壓力なるか) を知るには次の如くすればよい。

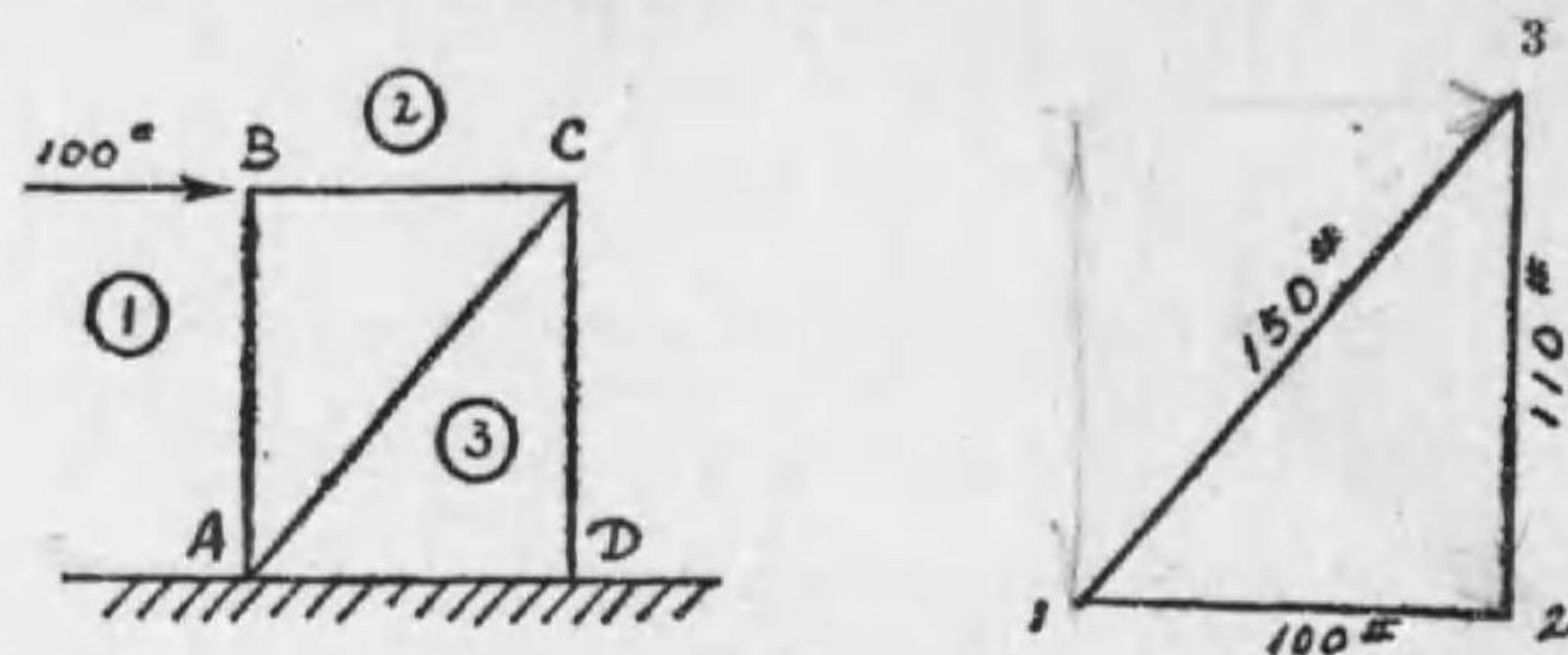
今考へたるメンバーの結合點に於て結合點を中心とし時計の針の廻る方向に順次に符號を讀み之れに合して應力圖の符號をたどる時其の應力圖に於ける符號のたどらるる方向が結構圖のメンバーの結合點の方に向ふ場合は其の應力は應壓力 (compressive stress) であつて反對の方に向ふ場合は其の應力は應張力 (tensile stress) である。即此の例に於て結構圖のメンバーの結合點 B に於て B の周圍の符號を B を中心とし時計の針の廻る方向に順次に讀めば (此の場合外力から讀み始めると分り易い) ①—②—③—①となる此の順序に應力圖の符號をたどれば (2)—(3) は B 點に向ふ故應壓力で (3)—(1) は B 點に反せる故應張力である。即第 41 圖左方に示す結構に於て B 點に矢の方向に 100 封度の外力が加はつた爲めに (BC) なるメンバーには 120 封度の應壓力生じ (AB) なるメンバーには 85 封度の應張力生ず。故に (AB) 及 (BC) なるメンバーは夫々此の應力に堪ゆる強度を要す。

他の色々の結構に對しても此の方法を應用すれば應力圖が描かれる。

應力圖例二

第 42 圖左方の如き結構に於て B 點に外力が加はつた場合には (AB) なるメンバーが此の外力を支へる爲めには (AB) はベンディングを受ける。然るに長い材片のベンディングに抗する強度は非常に小さく且應力圖も描き得ない故第 42 圖の如き場合には外力は其の儘 (BC) なるメンバーに依つ

てC點に傳へられ(AC)及(DC)なるメンバーにて支持せらるるものとして應力圖を描く。此場合にも勿論例一の如く符號を付けねばならぬが應力を生じないものとしたメンバーを括んでは符號を付けない。それ故應力を生じないメンバーが如何程澤山あつても全然無きものと考えて符號を付け應力圖を描けばよい。例二の場合に於ては應力圖は第42圖の右方に描い



第42圖 應力圖例二

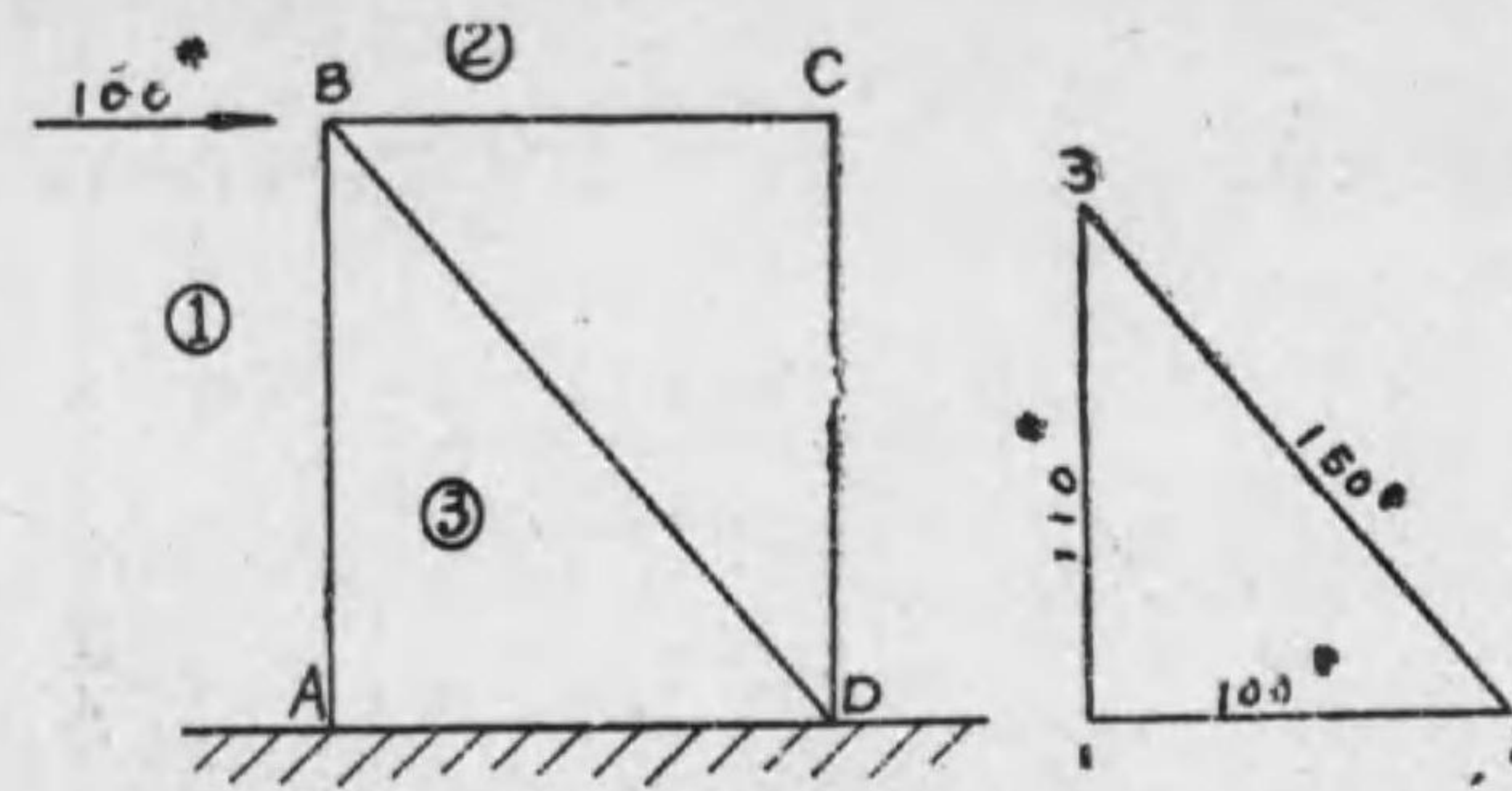
てある通りで描法は例一の場合と同様である。即(CD)なるメンバーには110封度の應壓力生じ(AC)なるメンバーには150封度の應張力生ずることが知れる。(BC)なるメンバーでは外力と同じ大いさの應壓力生ずることは明かであり又(AB)なるメンバーには應力は生じない。

例一の場合のA點及C點例二の場合のA點及D點は共に大地に固定されたものとす。若し固定されて居なかつたならば外力が働けば外力につれて結構が運動する。今例へば例二に於てA點にはACの方向に150封度の力が働く故A點は之れに耐ゆる固定力を要す。この150封度の力の水平分力は100封度であつてA點に於て地面と平行の方向に働き垂直分力は110封度であつてA點に於てA點を引き揚げる故A點はこの水平分力及引揚力を充分に支持し得なければならぬ。又D點にてはCDが垂直の方向である故110封度の壓縮力は垂直の方向に働く故にD點の下方の大地はこの壓縮力

を支持するに充分なる耐壓力がなければならぬ。

應力圖例三

第43圖の左方の如き結構に於てB點に矢の方向に外力が加はれば例二の場合の如くAB及BDなるメンバーにて外力を支持せねばならぬ。

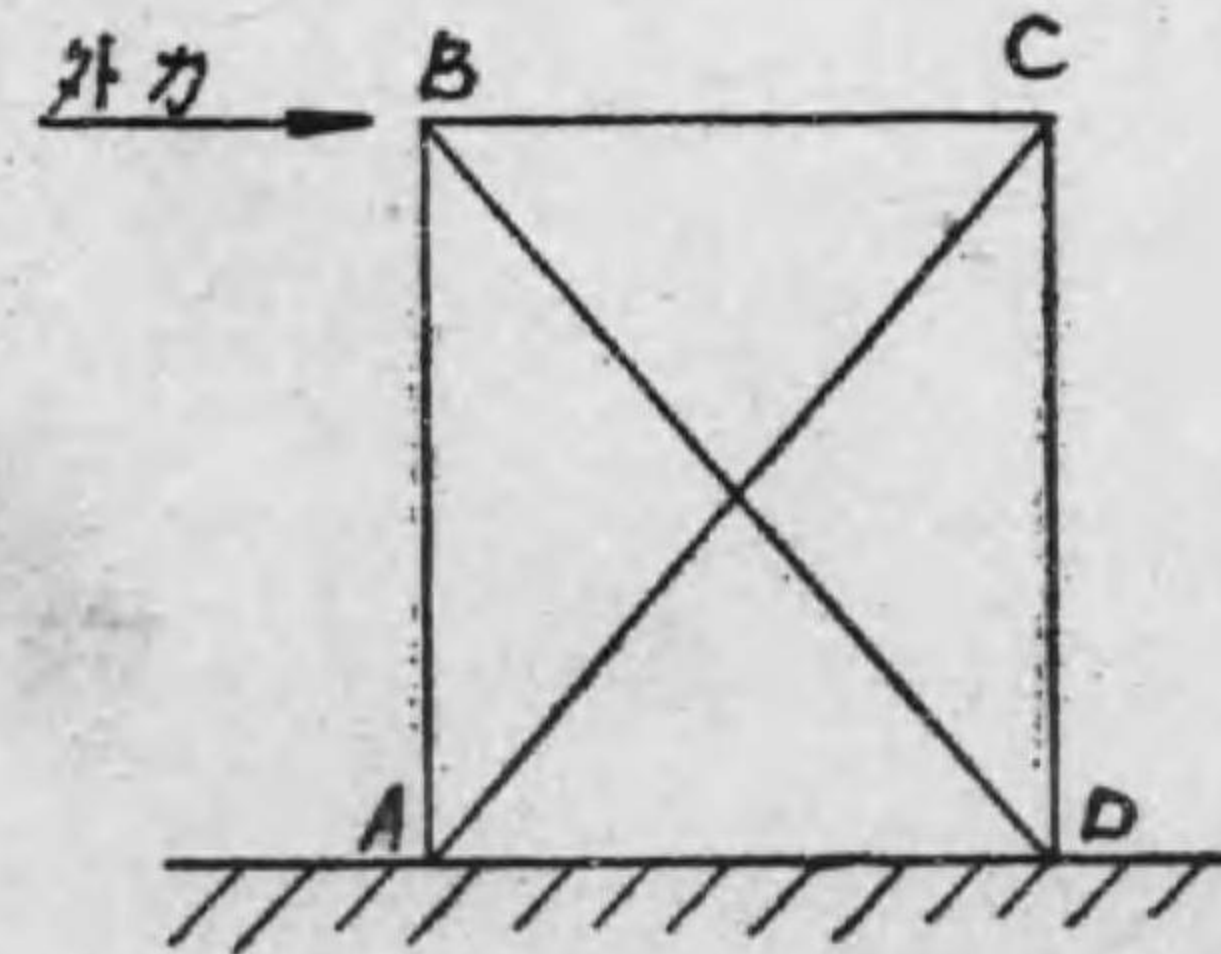


第43圖 應力圖例三

そしてBC及CDなるメンバーは遊んで居るものとして應力圖を描く。

第43圖の右方は應力圖であつてABなるメンバーには110封度の應張力働きBDなるメンバーには150封度の應壓力働くことが知れる。

應力圖例四



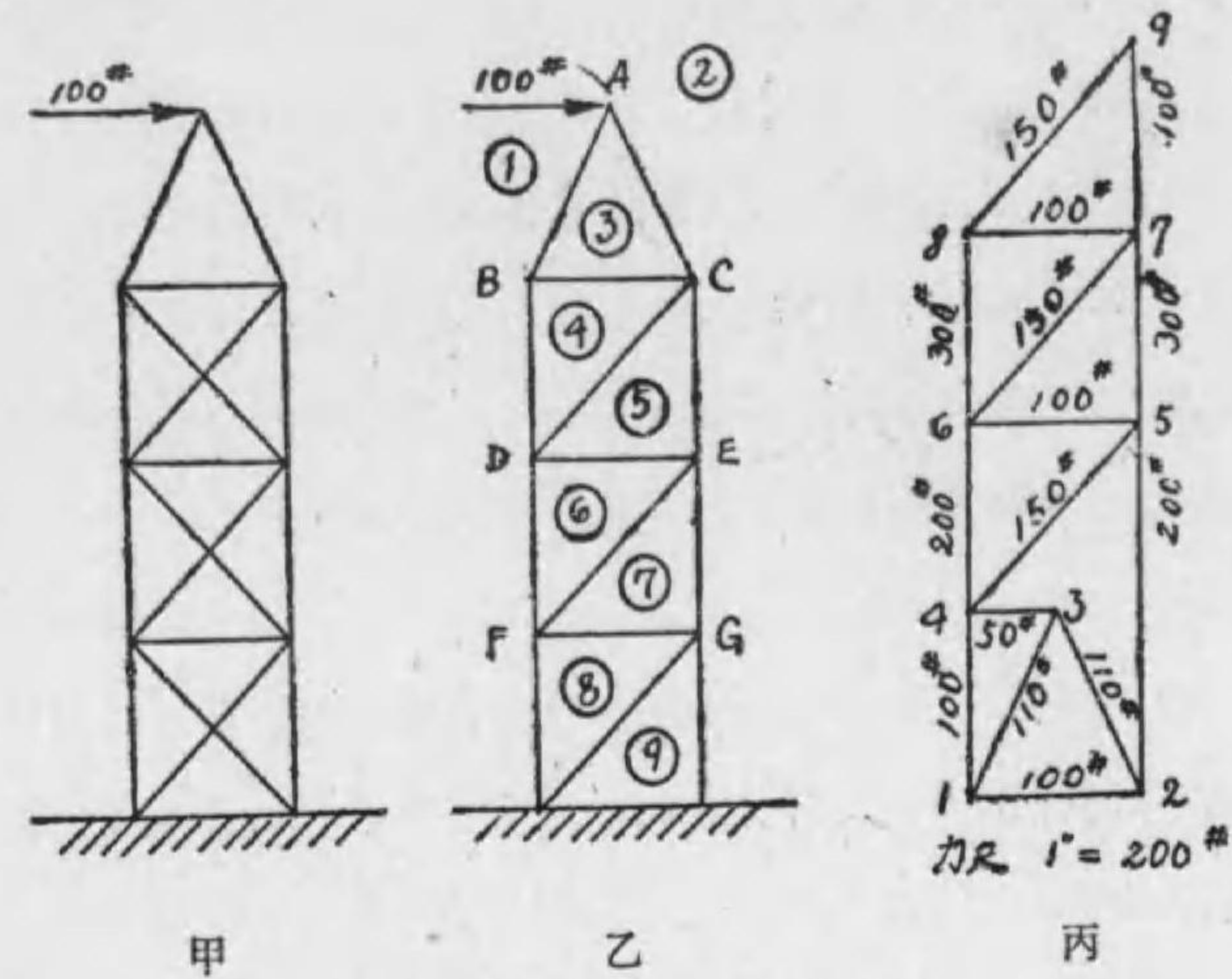
第44圖 應力圖例四

第44圖に示す如き結構に於てB點に外力が矢の方向に加はりたる場合AB及BDなるシステムのみによりて此の外力を支持するものと考へてもよい。此場合は例三と同様の應力圖が出来る。又外力をBCな

るメンバーに依りて C 點に傳へ AC 及 CD なるシステムに依つて支持するものとしてもよい。此場合の應力圖は例二と同様となる。又外力の半分を AB 及 BD なるシステムに依つて支持し残りの半分を AC 及 CD なるシステムに依つて支持するものとしてもよい。外力を AB 及 BD なるシステムに依つて支持する場合は BD なるメンバーは抗壓材となり AC 及 CD なるシステムに依つて支持する場合は AC なるメンバーは抗張材となる。

應力圖例五

第 45 圖甲に示す如き結構に於て頂上に外力加はりたる場合ダイアゴナルブレーシングを抗張材のみとすれば外力は乙に示すシステムに依つて支持されねばならぬ故に其の應力圖は丙の通りとなる。丙なる應力圖は例一の場合を應用すれば容易に出来るが只注意すべきはメンバーの結合點に於て應力未知なるメンバーが三つ又は三つ以上あれば應力圖が完結されない故複雑な結構の場合には未知の應力が二つしかない結合點を見出し其の處から應力圖を描き始め次に應力圖を全部描き終る迄にも常に未知の應力二つなる結合點を見出して順次に應力圖を描くべきである。即第 45 圖乙に於て外力の働ける A 點は應力未知のメンバー只二つなる故先づ A 點に關して應力圖を描けば丙圖の (1) — (2) — (3) が出来る。これで AB 及 AC なるメンバーの應力が知れる事となる。次に C 點を見るに C 點に集合せるメンバーは四つあつて AC なるメンバーの應力が今知れた他は知れて居ない故應力未知なるメンバー三つとなる。それで此三つの内何れか一つが知れた後でなければ C 點に關しては應力圖は描き得ない。然るに B 點に於ては集合せるメンバー三つにして其の内 AB の應力は既に



第 45 圖 應力圖例五

求められたに依り未知の應力は二つである。それ故此の度は B 點に關して應力圖を描き丙圖の (1) — (3) — (4) — (1) を得。之に依つて BC なるメンバーの應力が知れたから C 點に集合せるメンバーの中應力未知のメンバーは二つとなるに依り C 點に關して應力圖を描き丙圖の (3) — (2) — (5) — (4) — (3) を得。同様にして D 點 E 點 F 點 G 點の順序に各點に關して應力圖を描けば丙圖の應力圖は完成さる。即 D 點に關して應力圖を描き (1) — (4) — (5) — (6) — (1) が出来 E 點に關して應力圖を描き (5) — (2) — (7) — (6) — (5) なる部分が描かれ F 點に關して應力圖を描き (1) — (6) — (7) — (8) — (1) なる部分が描かれ G 點に關して應力圖を描き (7) — (2) — (9) — (8) — (7) なる部分が描かれこれにて應力圖全部が完成される。

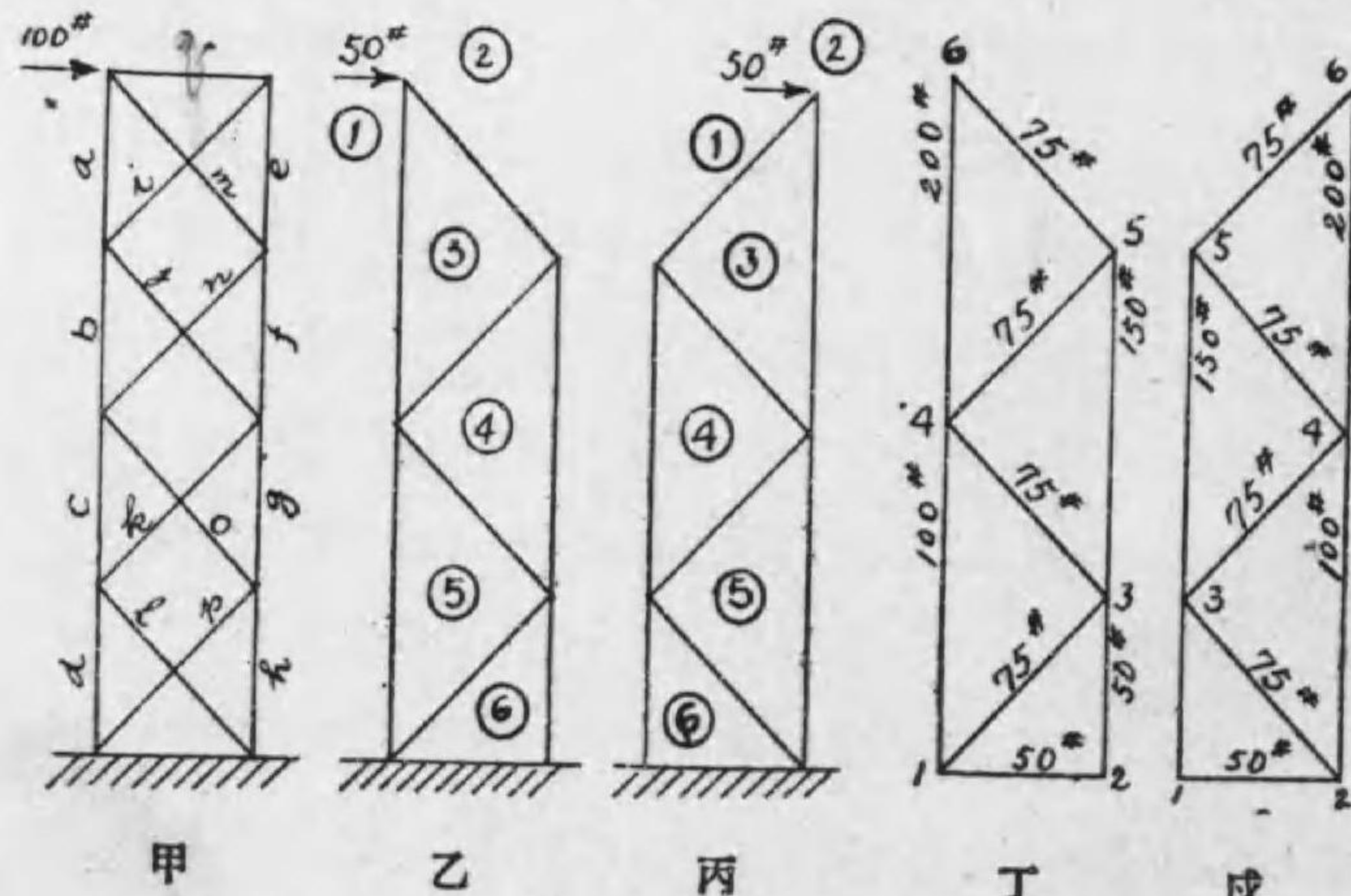
若し外力が第 45 圖と反対方向に働いたならば同圖乙に於て省略されたダイアゴナルブレーシングが抗張材として働き乙圖に示されたダイアゴナ

ルブレーシングは休むものとして應力圖を描く。それ故此の場合の應力圖は第 45 圖丙を紙脊から見たと同じとなる。

第 45 圖に於て丙の應力圖に依れば結構の地面の所に於いては主柱は(2)―(9)にて示されたる壓縮力を受ける故主柱自身は勿論のこと其の下方の土地も之の壓縮力に耐ゆる強度を要す。又他の主柱は(8)―(1)にて示されたる應張力をも受けこの主柱の下方の土地はダイアゴナルブレーシングからも(8)―(9)にて示された力を受ける故此の土地は(8)―(1)と(8)―(9)との合成力を受ける。そしてこの合成力の垂直分力は此の土地を上方へ引き揚げんとし水平分力は此の土地を水平の方向に押す。故に此の結構の基礎は之等の壓縮力、引揚力及水平力を充分に支持する強さを要す。

應力圖例六

第 46 圖甲に示す如きホリゾンタルストラットを有せざる結構に於て頂



第 46 圖 應力圖例六

上に矢の方向に外力が働いた場合には此の結構を乙及丙なる二つのシステムに分ちて考へ外力の半分が乙なるシステムに依つて支持され残りの半分が丙なるシステムに依つて支持されるものとして設計す。乙又は丙の何れかのシステムのみによつて外力の全部を支持せしめる様設計すれば安全の點に於てはよいけれどもウェブシステムに非常に多くの材料を要し不經濟である故乙及丙なる兩システムに依つて外力が等分に支持されるものとして設計するが普通である。

第 46 圖戊は乙の場合に對する應力圖で丁は丙の場合に對する應力圖で

第 27 表 例六に對する應力表

甲圖ニ示シタル「メンバー」	乙圖ノ「システム」ヲ考ヘタル場合		丙圖ノ「システム」ヲ考ヘタル場合		合計應力	
	乙圖ニ於ケル符號	戊圖ニ依ル力	丙圖ニ於ケル符號	丁圖ニ依ル力		
main post	a	1—3	- 50 ^{封度}		- 50 ^{封度}	
	b	"	"	1—4	- 100	
	c	1—5	- 150	"	"	
	d	"	"	1—6	- 200	
	e			2—3	+ 50	
	f	2—4	+ 100	"	"	
	g	"	"	2—5	+ 150	
	h	2—6	+ 200	"	"	
web system	i			1—3	- 75	
	j			3—4	+ 75	
	k			4—5	- 75	
	l			5—6	+ 75	
	m	2—3	+ 75			
	n	3—4	- 75			
	o	4—5	+ 75			
	p	5—6	- 75			
	q					+ 50

ある。丁戌は共に外力の作用點から應力圖を描き始む。一個のメンバーが乙及丙の兩圖中に描かれあるメンバーもあれば一方に描かれあるメンバーは他には描かれてないものもある。斯の如き場合には各メンバーの性質を考へ丁及戌の兩方より求めた應力の各々何れか一つを取るか又は合計を取るかを誤らぬ様注意を要す。即此の例に於てはブレーシングに對しては丁或は戌の一方の値を取り主柱に對しては丁及戌の兩方より求めた値の和を取る。

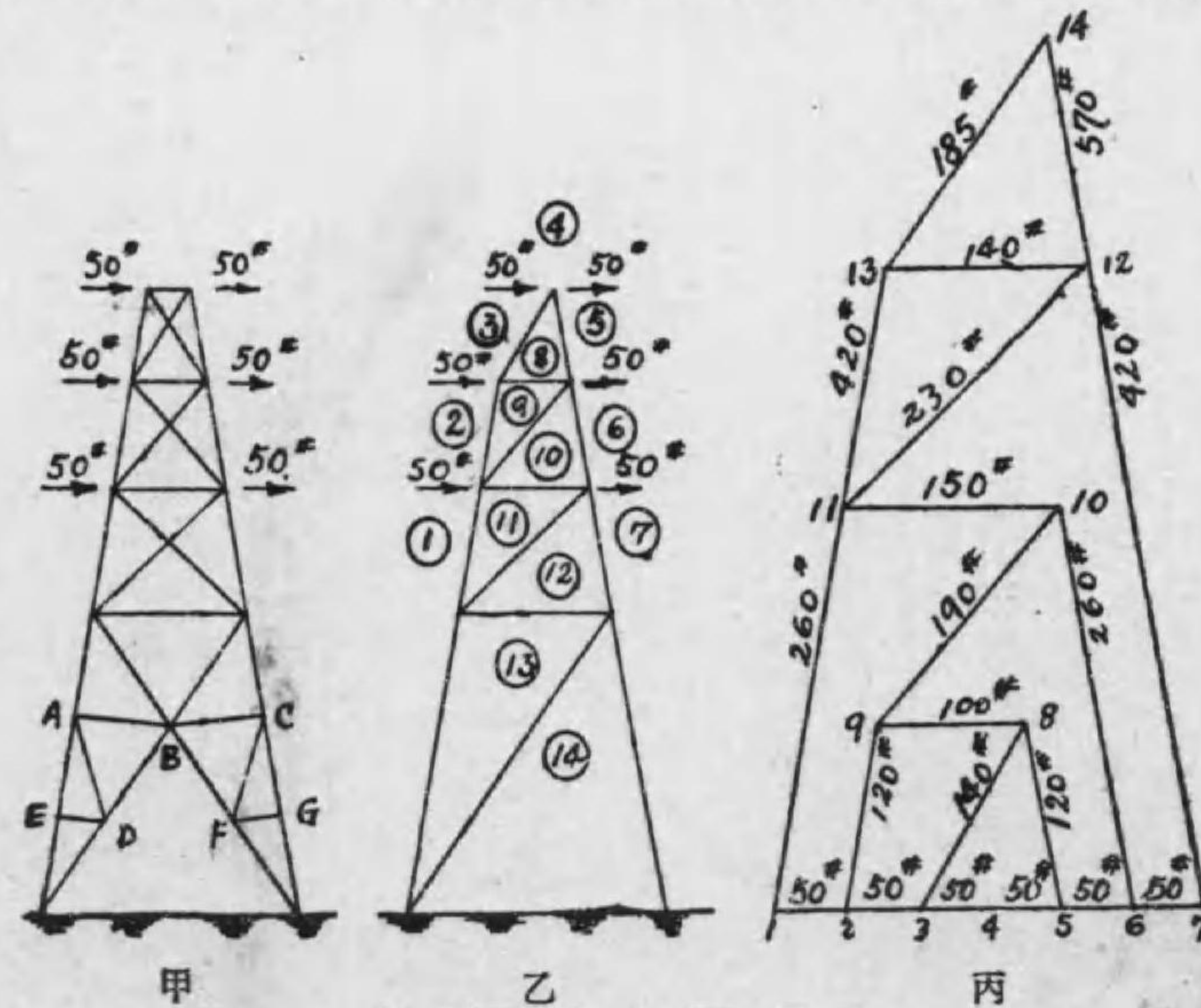
第 46 圖甲の結構に於て各メンバーを ab の符號を以て表示し(此の符號は應力圖の符號と無關係にて只だメンバーのみを表示するのに用ひたるものとす) 丁及戌の應力圖と参照して各メンバーの應力を表にすれば第 27 表の如くなる。此の表にて (+) の符號は應壓力を示し (-) の符號は應張力を示す。第 46 圖及第 27 表を参照するに i なるブレーシングは應張力 75 封度で j なるブレーシングは應壓力 75 封度である。然るに若し外力が第 46 圖甲に示す場合と反對方向に同じ強さで加はつたならば i なるメンバーには 75 封度の應壓力生じ j なるメンバーには應張力生ず。故に荷重が何れの方向からも加はり得るならば i も j も共に應張力にも應壓力にも充分なる様設計せねばならぬ。他のブレーシングも主柱も同様の方針で設計すればよい。

應力圖例七

第 47 圖甲の如き結構に於て矢に示す如く數個所に荷重が加はつた場合の應力圖は第 45 圖の場合を應用すればよい。即第 47 圖乙に示す如きシステムに依りて外力を支持するものとし丙の如き應力圖を得。丙を描くには他の應力圖と同様に未知の應力二つの箇所より順次に應力圖を描く即丙

に於て (3) — (4) — (5) — (8) — (3) を最初に描き次に (3) — (8) — (9) — (2) — (3) を描き次に (9) — (8) — (5) — (6) — (10) — (9) を描き次に (2) — (9) — (10) — (11) — (1) — (2) を描き次に (11) — (10) — (6) — (7) — (12) — (11) を描き次に (1) — (11) — (12) — (13) — (1) を描き次に (13) — (12) — (7) — (14) — (13) を描きて丙なる應力圖が完成さる。

第 47 圖甲に於て主柱は傾斜して居る爲め地面附近に於けるウェブシステムの應力は甚小なる故に地面附近のパネルの長さを長くしウェブシステムの材料を節約するが得策である。此の場合主柱の支持されざる長さが長くなりて主柱が弱くなり主柱の細長比も制限を超過する様になるを以て甲圖に示せる如く ABC AD DE CF FG 等の材片を使用して主柱を所々にて支持せしめ主柱の強度を増し細長比も制限以内に保たしめることが普

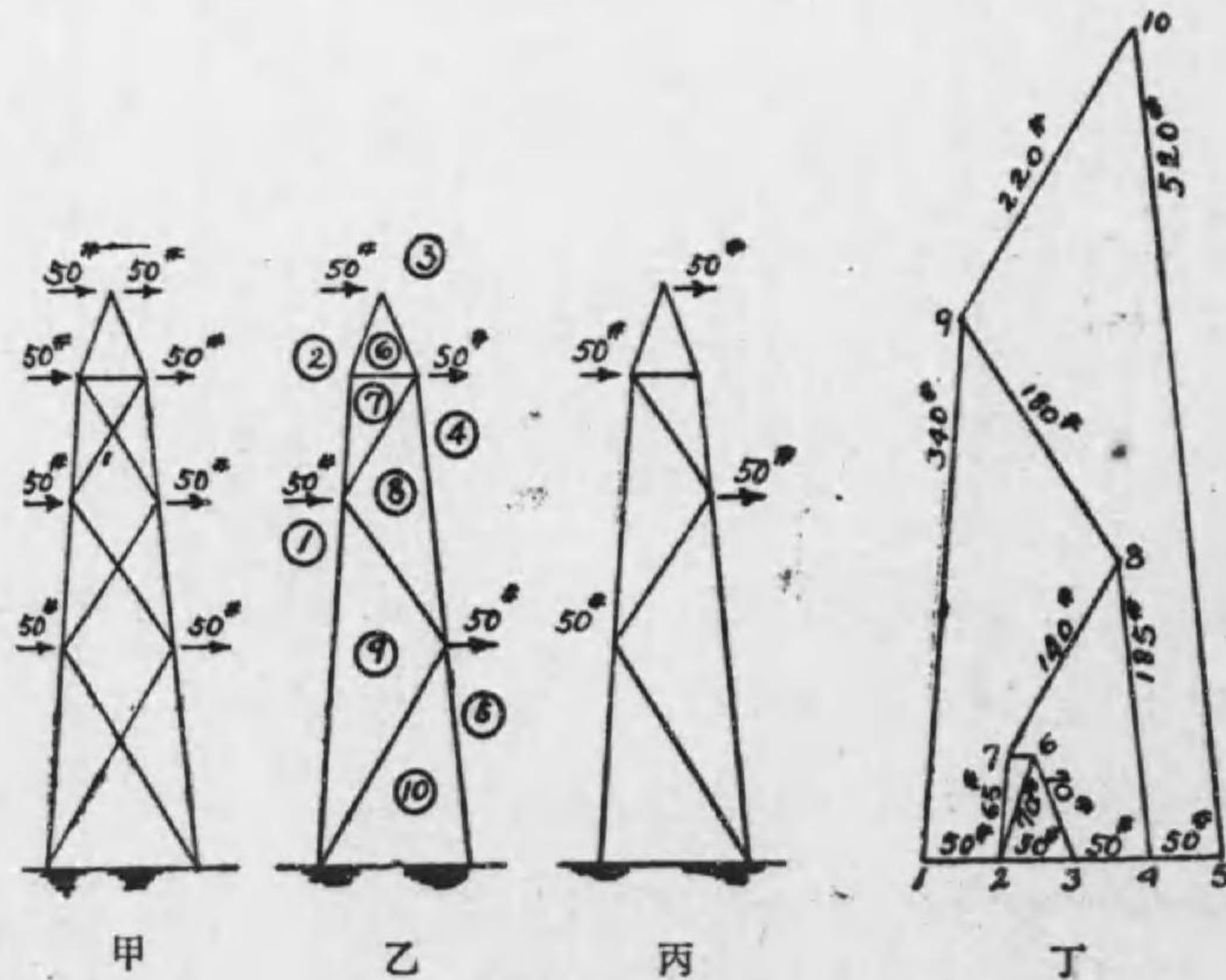


第 47 圖 應力圖例七

く行はれて居る。斯の如く主柱の途中を支持するのみの目的に用ひられた材片をノミナルメンバーと稱し應力圖には全然無關係である。

應力圖例八

第 48 圖甲の如き結構に於て矢に示す如く數個所に外力が働いた場合の應力圖は第 46 圖を應用すれば容易に描かれる。第 46 圖の場合と同様に外力の半分は乙なるシステムに依つて支持され他の半分は丙なるシステムに依つて支持されるものとし乙及丙に對し各々應力圖を描く。丁は乙に對する應力圖であつて丙に對する應力圖は乙に對する應力圖を紙脊から見たものと同一である故第 48 圖中には丙に對する應力圖は省略してある。第 48 圖丁は (2) — (3) — (6) — (2) より描き始め次に (2) — (6) — (7) — (2) を描き次に (7) — (6) — (3) — (4) — (8) — (7) を描き次に (2) — (7) — (8)



第 48 圖 應力圖例八

—(9)—(1)—(2) を描き次に (9)—(8)—(4)—(5)—(10)—(9) を描けば應力圖が完成される。

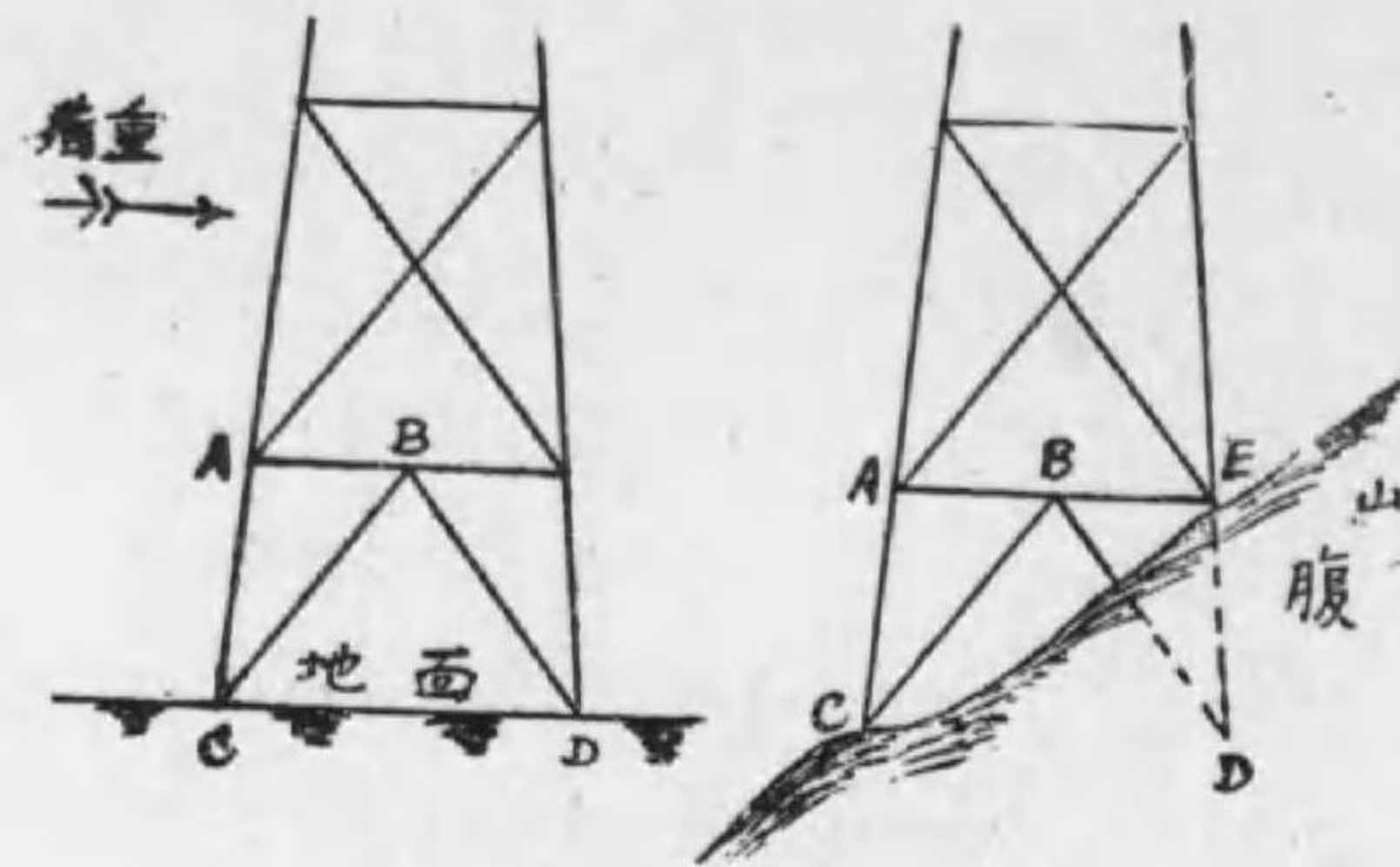
應力圖例九

鐵塔の設計に際しては先づ其の電線路中に於て最も數多く用ひらるる鐵塔を標準鐵塔とし其の型を慎重に研究決定し他の鐵塔は出來得る限り標準鐵塔の型を採用し高さの異なる鐵塔は標準鐵塔を切り縮め又は繼ぎ伸ばして設計するのが種々な點に於て有利である。第 49 圖は繼ぎ伸ばしの場合の一例で甲は平地に於けるもので乙は山腹に於けるものである。乙の場合山腹の土質が強固で鐵塔から受ける總ての荷重を十分に支持し得るならば山腹と反對側の塔面 (即 AC 面) 一面にのみ BC BD なるメンバーを用ひ他の三面には之を省略して支差がない。而して此の場合には應力圖は鐵塔の AE なる部分より下方は固定されあるものとして描けばよい。若し山腹の土質堅固でないならば平地に於けると同様に繼ぎ伸ばし BD 及主柱 DE は山腹の土中に埋め置くがよい。

今甲圖に於て矢の方向に外力が加はつたとすれば AB なるメンバーが受ける水平方向の應力 (應力圖例一乃至例八に依つて求めらる) は BC 及 BD なる二つのメンバーに依つて支持されねばならぬ。此の場合 BC が抗張材となり BD が抗壓材となる。そして此應力の値は應力圖例一を應用すれば容易に求めらる。荷重の方向反對とならば BC が抗壓材となる故 BC 及 BD は共に抗壓材としても充分なる強度を要す。然るに長い材片は抗壓材としては弱い故繼ぎ伸ばしのパネルの長さが長くなると BC 及 BD を共に抗張材として設計するのが甚だ有利となる。

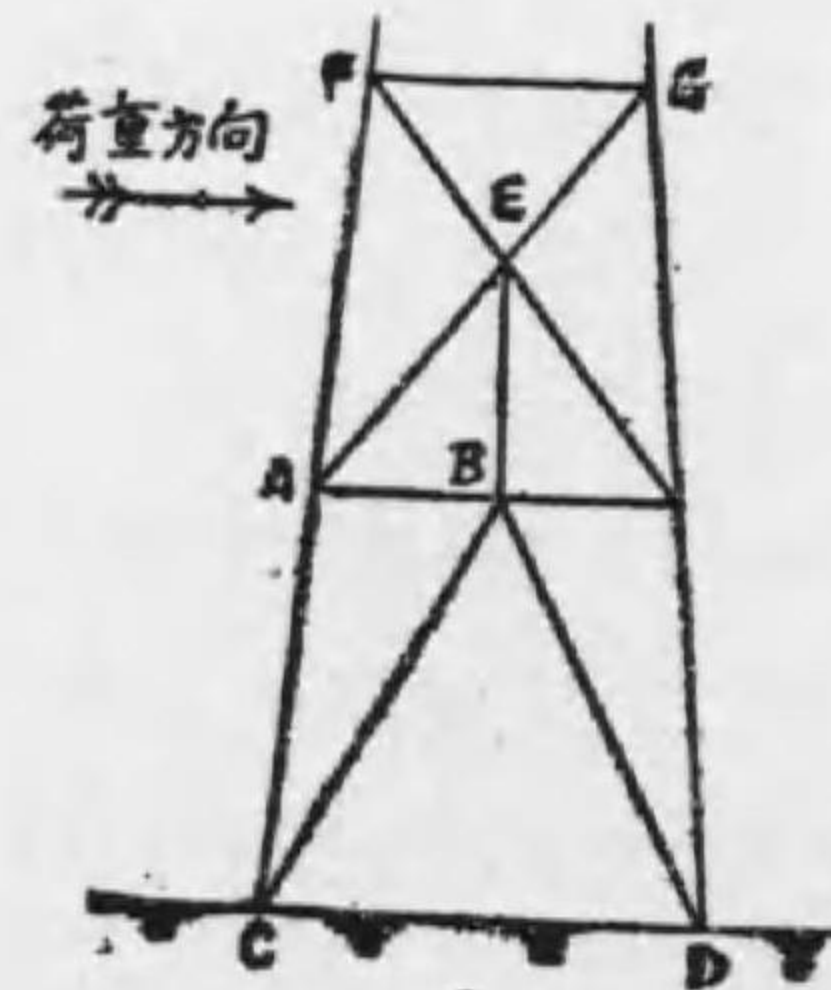
それで第 50 圖は BC 及 BD を抗張材としたもので矢の方向に荷重が

加はると AB に水平應壓力生じ AB の水平力を BC 及 BE に依りて支持し (此の場合 BC 及 BE 共に應張力を生ず) BE に働く力は E 點にて



第49圖 應力圖例九

FE 及 EG に依りて支へられ FE 及 EG は共に應張力を生じ FE 及 EG



第50圖 應力圖例九

の受くる力の水平分力は FG に應壓力を生ぜしめ垂直分力は主柱に應壓力を生ぜしむ。(之等の應力の値は圖例一乃至例八を應用すれば容易に求められる)。荷重の方向反對とならば BC は休み BD が抗張材として働く故第 50 圖の如き場合には BC 及 BD は共に抗張材として設計すればよい。(継ぎ伸しのパネルの構造を普通のパネルの構造と同様としても勿論宜敷いのである)

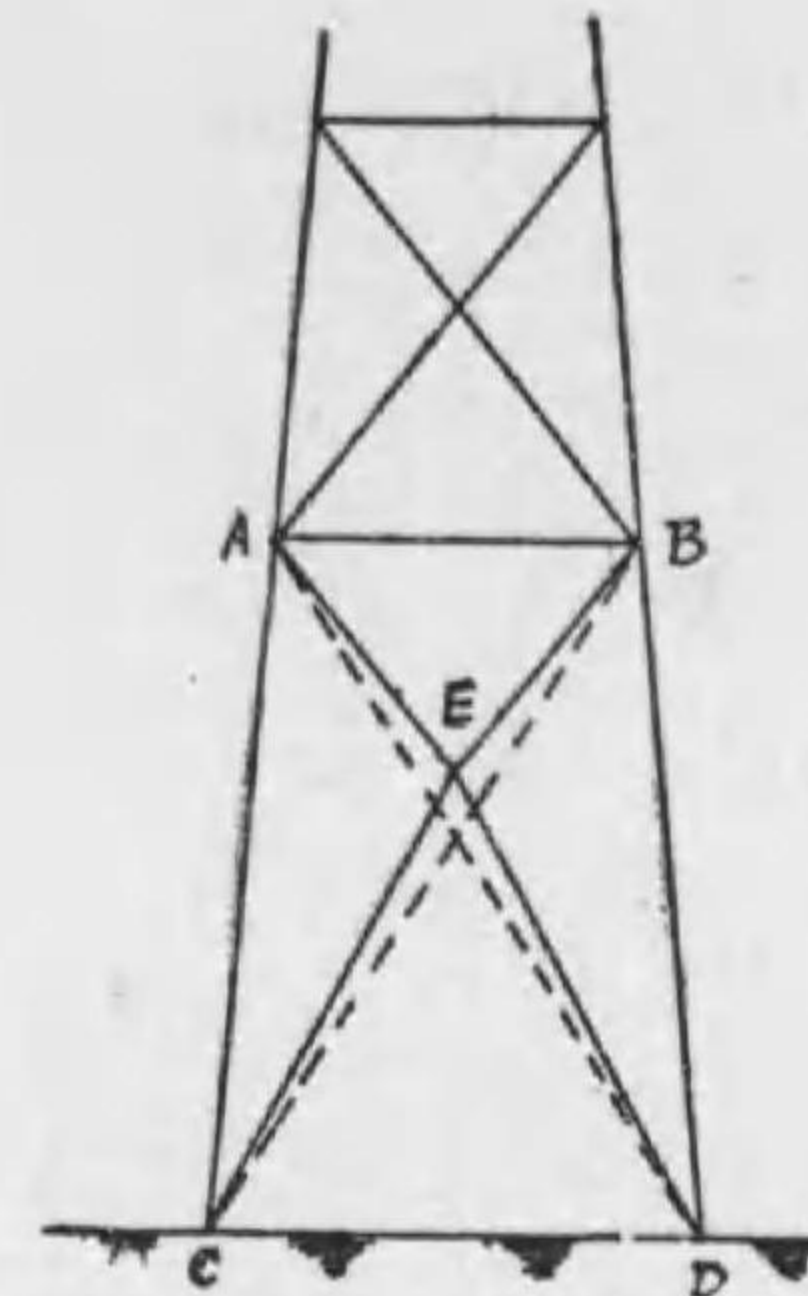
應力圖例十

第 51 圖の如く鐵塔のダイアゴナルブレーシングを直線とせず BEC

なる形とすることがある。此の場合應力圖は BC 及 AD なる直線を假想し此の假想のダイアゴナルブレーシングに對し上記例五又は例七の如き方法で描かれる。而し直線でないダイアゴナルブレーシングは成るべく避けるがよい。

應力圖例十一

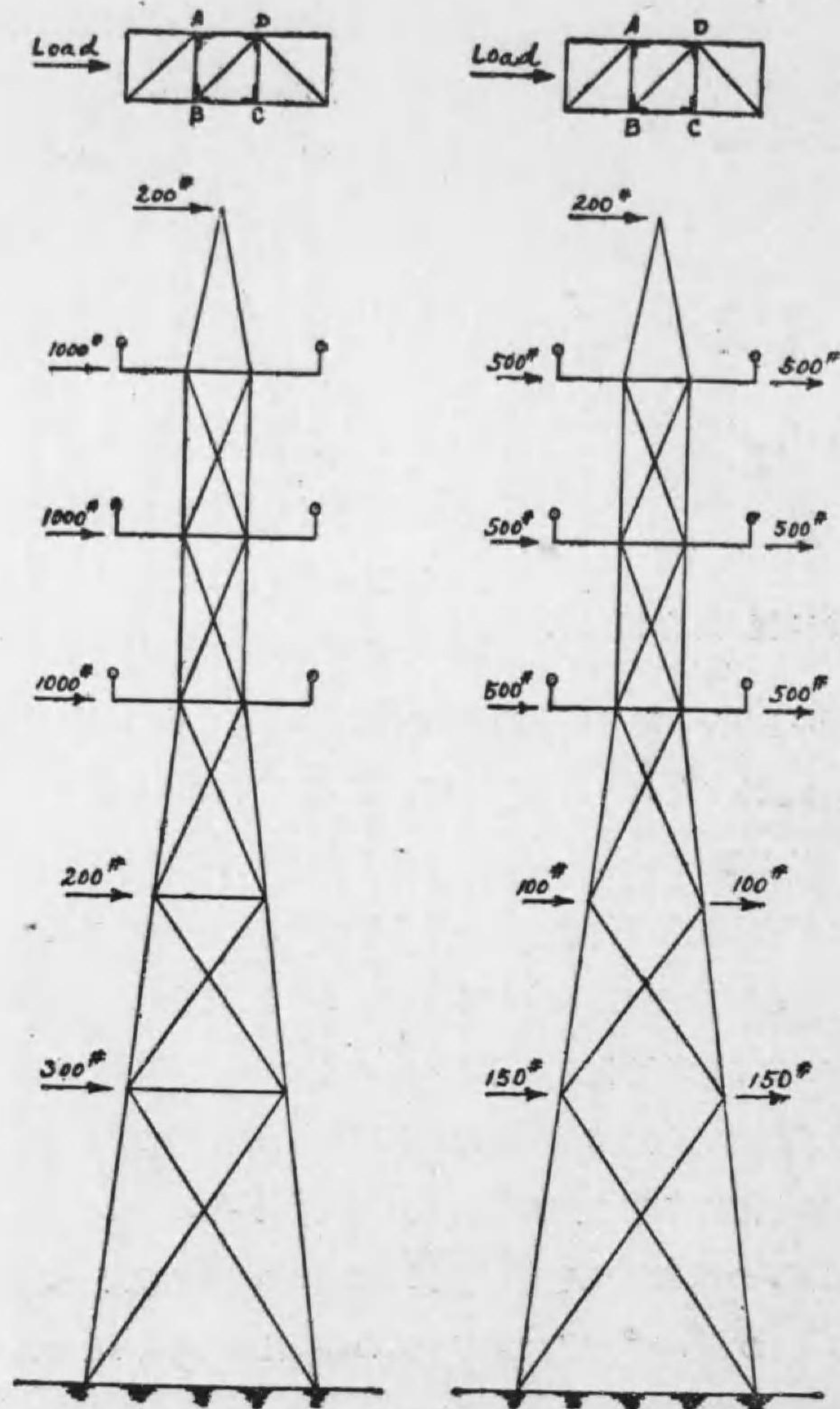
第 52 圖甲及第 53 圖甲に示す如き主柱の傾斜が途中で變化せる鐵塔 (四脚塔) に於て矢に示す通り荷重が加はつた場合を考へるに第六章に於て述べた如く全體



第51圖 應力圖例十

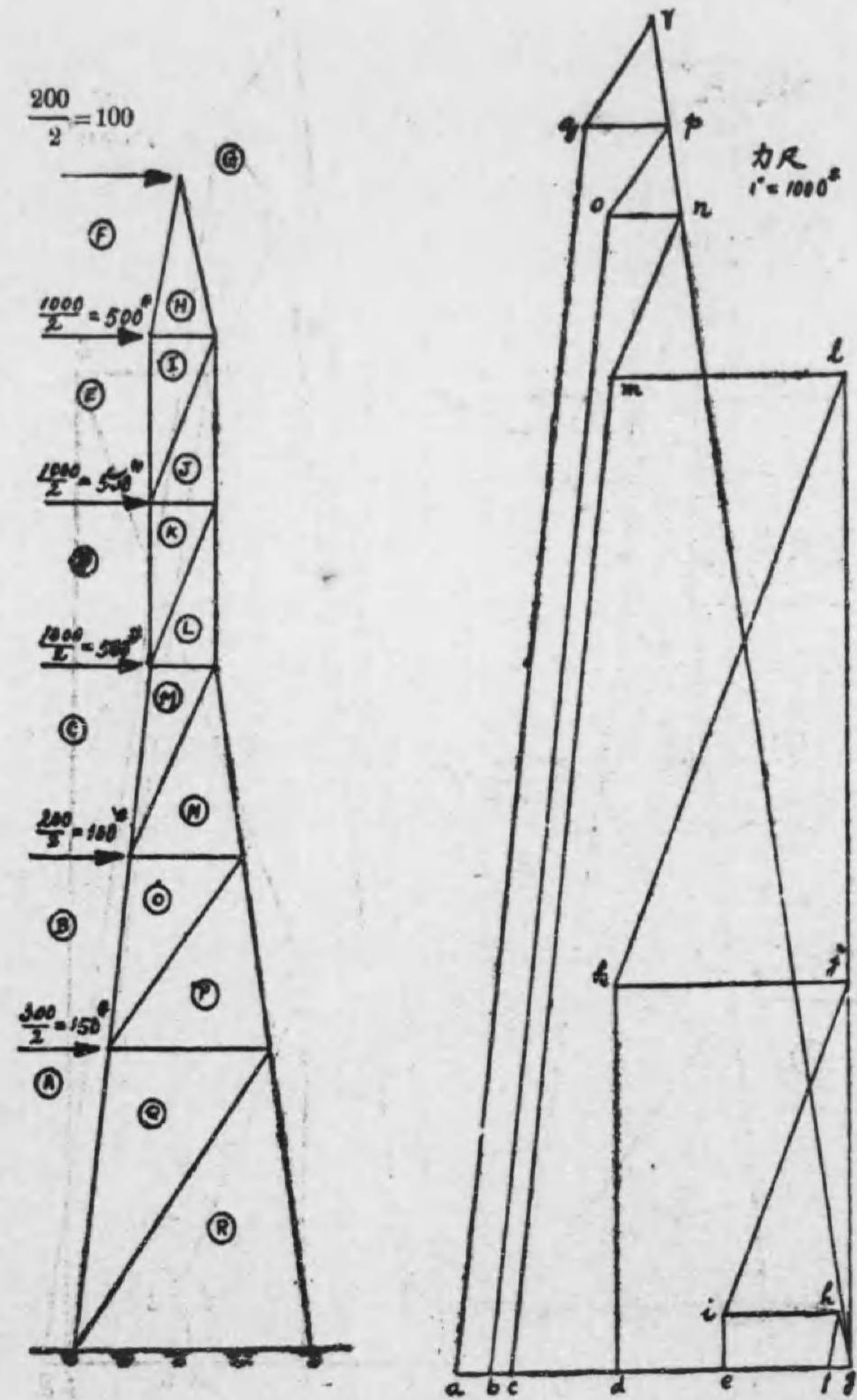
の荷重の半分宛が鐵塔の四箇の塔面の内荷重の方向と平行に相面せる二箇の塔面に依りて支持される故第 52 圖又は第 53 圖に於ける AD なる塔面及 BC なる塔面に依りて全體の荷重の半分宛を支持することとなる。第 52 圖乙は第 52 圖甲の荷重の半分を支持すべき一つの塔面 (例へば BC 面) の荷重に對し有効に作用するシステムを示したもので第 52 圖丙は之れに對する應力圖である。應力圖を描く方法は應力圖例七と殆同様である只主柱の傾斜の變化する箇所に對し注意すれば容易に描かれる。

第 53 圖乙は第 53 圖甲の荷重の半分宛を支持すべき一つの塔面 (例へば BC 面) の荷重に對し有効に作用する二つのシステムの内一つを示す。(他の一つのシステムに關する應力圖との關係は應力圖例八を参照すれば明瞭である故此處は一方のみを示し他の一方のシステムは説明せず)。此の一つのシステムは其の塔面の支持すべき荷重の半分を支持する故全體の



第 52 圖 甲

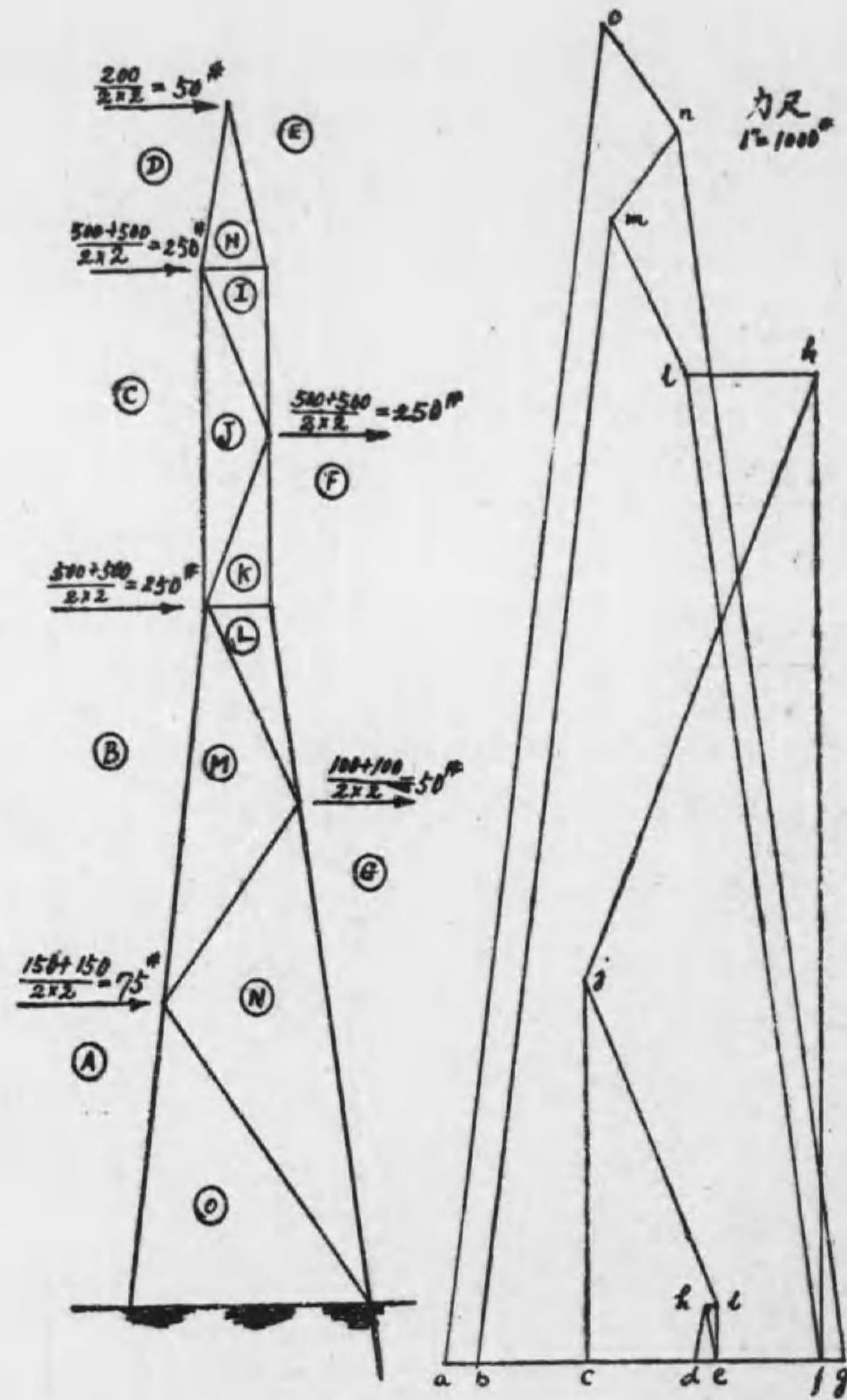
第 53 圖 甲



乙

丙

第 5 2 圖



第 53 圖

荷重の四分の一を支持すればよい。それ故應力圖は全體の荷重を四除したる荷重に對し描くべき事となる。即第 53 圖乙に於て今考へつつある鐵塔面のシステムの各パネルポイントに加はる荷重を四除し第 53 圖丙に於て其の應力圖を描きあり。此の應力圖も支柱の傾斜の變化せる箇所に對して注意すれば應力圖例八等を應用して容易に描かれる。

第 52 圖は水平ストラットを用ひダイアゴナルブレーシングを抗張材とした設計で第 53 圖は水平ストラットを省略しダイアゴナルブレーシングを抗壓材として設計した場合で此等の得失は第八章40に記しあり。

應 力 圖 例 十 二 (鐵塔の腕金と扭力)

第 54 圖甲は鐵塔の腕金の箇所の断面の一例を示したもので今此のアームの一侧に於て電線が切斷し矢の方向に電線の張力が働いたとすれば其の爲め鐵塔は矢の方向に剪力を受けると同時に扭力をも受ける。此の鐵塔を第 54 圖甲の通りの寸法とし電線の張力を 2470 封度とすれば剪力は電線の張力の方向と平行なる二つの塔面に依つて支持さるる故 (第 28 圖参照)

$$\begin{aligned}
 \text{(一箇の塔面の受くる剪力)} &= \frac{P}{2} \\
 &= \frac{2470}{2} \\
 &= 1235 \text{ 封度}
 \end{aligned}$$

扭力は四箇の塔面に依つて支持され其の計算は第六章 33 (第 21 圖並に第 28 圖参照) の説明の通りであつて符號も其の儘とすれば

$$\begin{aligned}
 P &= 2470 \\
 L &= \frac{7.5}{2} = 3.75 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{2.5}{2} = 1.25 \text{ ft}$$

$$b = a = 1.25 \text{ ft}$$

$$\therefore 2p_1 = 2p_2 = \frac{2470 \times 3.75}{4 \times 1.25}$$

$$= 1850 \text{ Lbs}$$

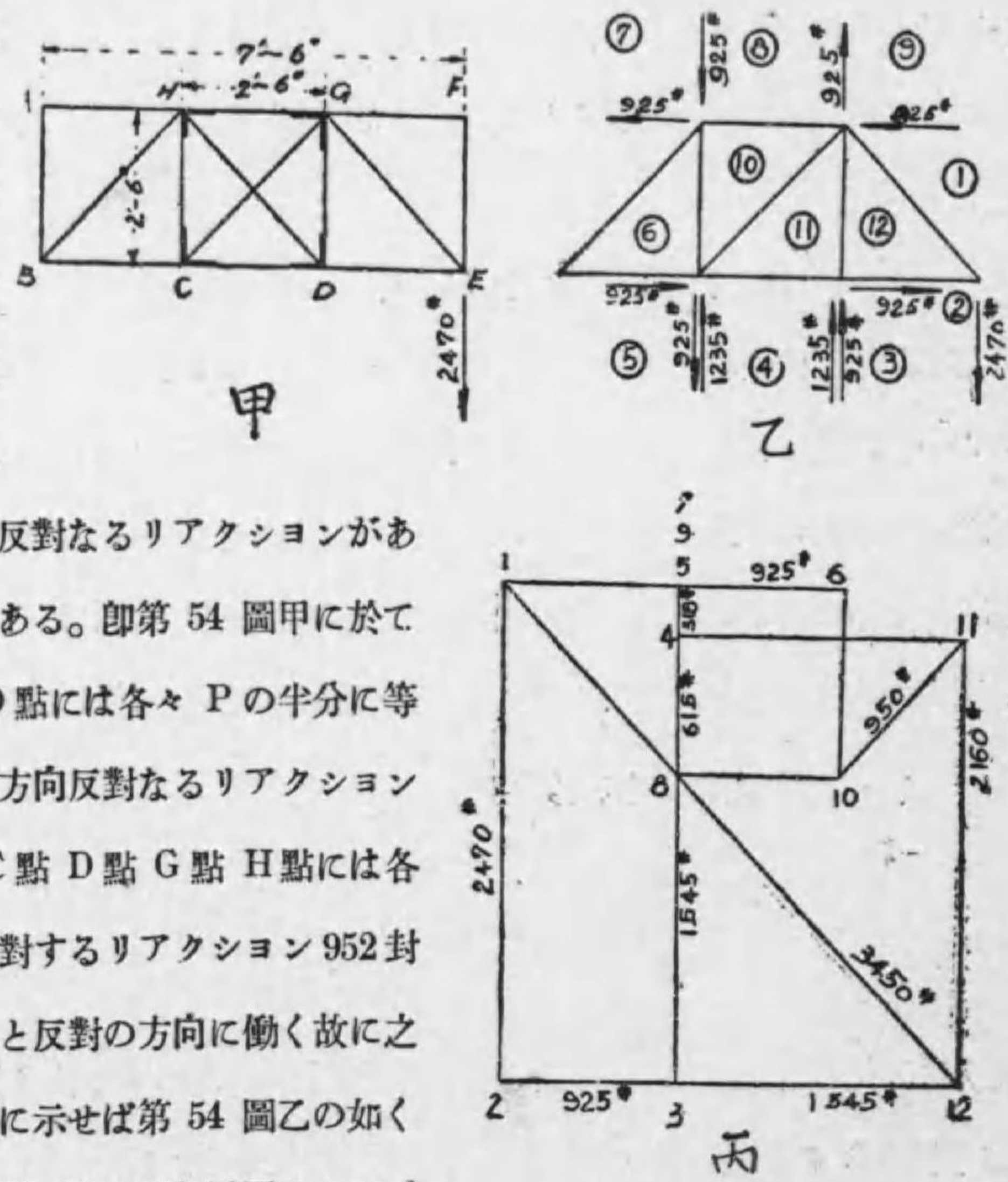
$$p_1 = p_2 = \frac{1850}{2} = 925 \text{ Lbs}$$

此等の剪力及扭力は P なる外力に依つて鐵塔の各面に加はるを以て鐵塔

が安定な
る爲めに
は各塔面
は夫々の
剪力及扭
力と等し

く且方向反對なるリアクションがあ
るべきである。即第 54 圖甲に於て
C 點及 D 點には各々 P の半分に等
しく P と方向反對なるリアクション
があり C 點 D 點 G 點 H 點には各
々扭力に對するリアクション 952 封
度が扭力と反對の方向に働く故に之
れ等を圖に示せば第 54 圖乙の如く
なる。(但し乙にては 甲圖のメンバ

ーの中で今考へて居る荷重に對し有効に働くメンバーのみを示してある)
乙に關して應力圖を描けば丙圖の通りとなる。即先づ(1)―(2)なる外力を



第 54 圖 應力圖例十二

描き次に(1)―(2)―(12)―(1)を描き次に(12)―(2)―(3)―(4)―(11)―
(12)を描き次に(9)―(1)を描き次に(8)―(9)を描き次に(8)―(9)―
(1)―(12)―(11)―(10)―(8)を完結せしめ次に同じ様に(7)―(8)―(10)―
(6)―(7)を描き次に(6)―(10)―(11)―(4)―(5)―(6)を描きて丙なる應
力圖が完結さる。

第十章 鐵塔各部の構造

42 細長比 [ratio of slenderness] 柱の強度を考へる場合、其の支持せられざる長さと同切斷面の最小慣動半徑との比を細長比 (ratio of slenderness) 又は (ratio of stiffness) と云ひ、抗壓材の強度は此の細長比に依つて甚敷く支配される (第五章参照)。第五章に於て記しある如く抗壓材の強度の計算公式の内には細長比の影響が含まれて居る故、細長比は此公式に依りて計算したる場合、材片が必要の強度を得る範圍内でなければならぬは勿論であるが、又此の單なる計算以外に細長比が大となると材片が變形し易く、變形すれば抗壓強度非常に弱くなる故に、細長比は公式に依つて計算した抗壓強度を得る爲めの制限の外に尙或る値以上を超過してはならぬ。主要なメンバーに對しては細長比を厳しく制限し補助メンバーに對しては寛にす。尙外力に依つて變形する憂のあるメンバーは、細長比を小さくし水平材 (ホリゾンタル・メンバー) も途中で重力の爲に曲がる憂がある故、細長比を小にす。送電線路の鐵塔に對しては橋梁家屋等の如く細長比を小さく取らなくてもよいのは勿論であるが、次の第 28 表は著者の適當と考へる細長比の最大の限界の値である。

第 28 表 細長比 $\left(\frac{l}{r}\right)$ の値

	主 柱	補助材	ノミナル メンバー
特別高壓主要送電線路	150	200	220
特別高壓配電線路	180	230	250
特別高壓デナイ配電線路	200	250	280

普通のメンバーの細長比の計算は、鋼材の表に依り最小慣動半徑を求め、

之で其のメンバーの支持せられない長さを除せばよい。(各種鋼材の慣動半徑は第五章第 12 表に計算されてある)。鐵塔の如き構造物に對しては、各々のコンプレッションメンバーに付きて細長比を制限以内に置くのみならず、全體のシステムとしても細長比を制限以内にあらしめねばならぬ。次に例を以て説明すべし。

二脚塔の細長比

第 55 圖の如き二脚塔に於てプレーシングの細長比は容易に求められるが、主柱に對しては先づ各パネルポイント間の支持せられざる長さに関し、細長比を考へるに下端のパネルが、最も長く 6 呎 6 吋であつて、主柱は 7 吋の溝形鋼で 1 呎の重量 7.95 封度のもつれば、此の最小慣動半徑は第 12 表に依り 0.59 吋であるに依り此細長比は次の如くなる。

$$\frac{l}{r} = \frac{78}{0.59} = 132$$

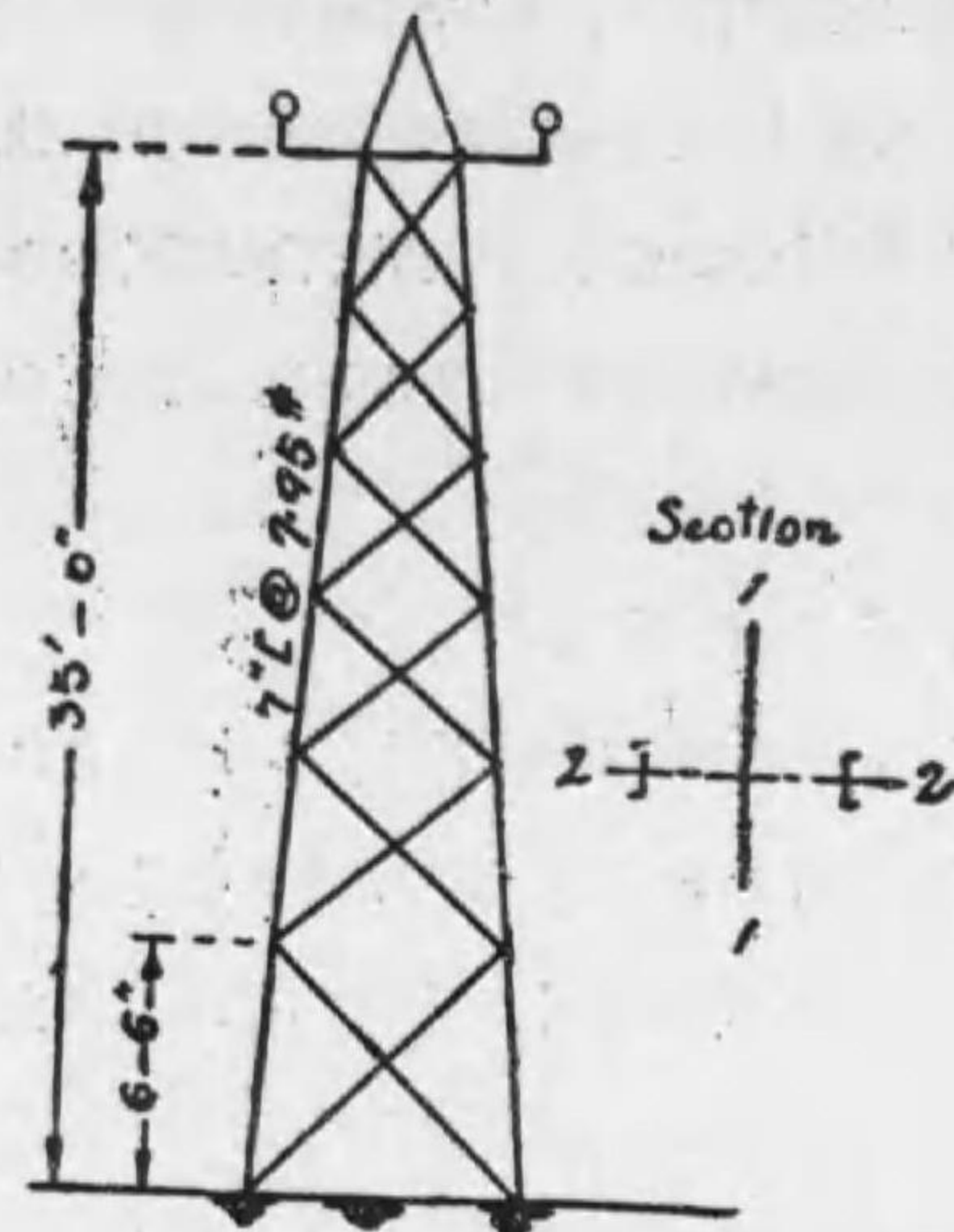
但し l = 支持せられざる長さ (吋)

r = 最小慣動半徑 (吋)

次に全體のシステムに關して細長比を考へるに第 55 圖の切斷面に於て見る如く、全體のシステムとしては (1) 軸に對しては慣動半徑甚大であるが、(2) 軸に對して慣動半徑最小なる故 (2) 軸に對して慣動半徑を求む。〔第 12 表に依り (2) 軸に對する慣動半徑は (2.72 吋) である〕主柱の長さは 35 呎である故に全體のシステムとしての

$$\text{細長比は } \frac{l}{r} = \frac{35 \times 12}{2.72} = 154 \quad \text{となる。}$$

若し細長比の値を 150 以下に制限すれば、此の二脚塔は主柱の各パネルに對してはよいけれど全體のシステムとして細長比が、制限を僅か超過することとなる。此の鐵塔の高さは 35 呎以上であるけれど鐵塔は最下腕金の



第 55 圖 二脚塔細長比説明圖

點で電線に依り支持されるものとし支持されざる長さは地面と最下腕金との距離を取りて計算せり。此の細長比の計算に依つて明なる如く可撓鐵塔の如き二脚塔では鐵塔の高さが高くなると全體のシステムとして第55圖の(2)軸に關する慣動半徑を考へた場合の細長比に依つて主柱の大きが

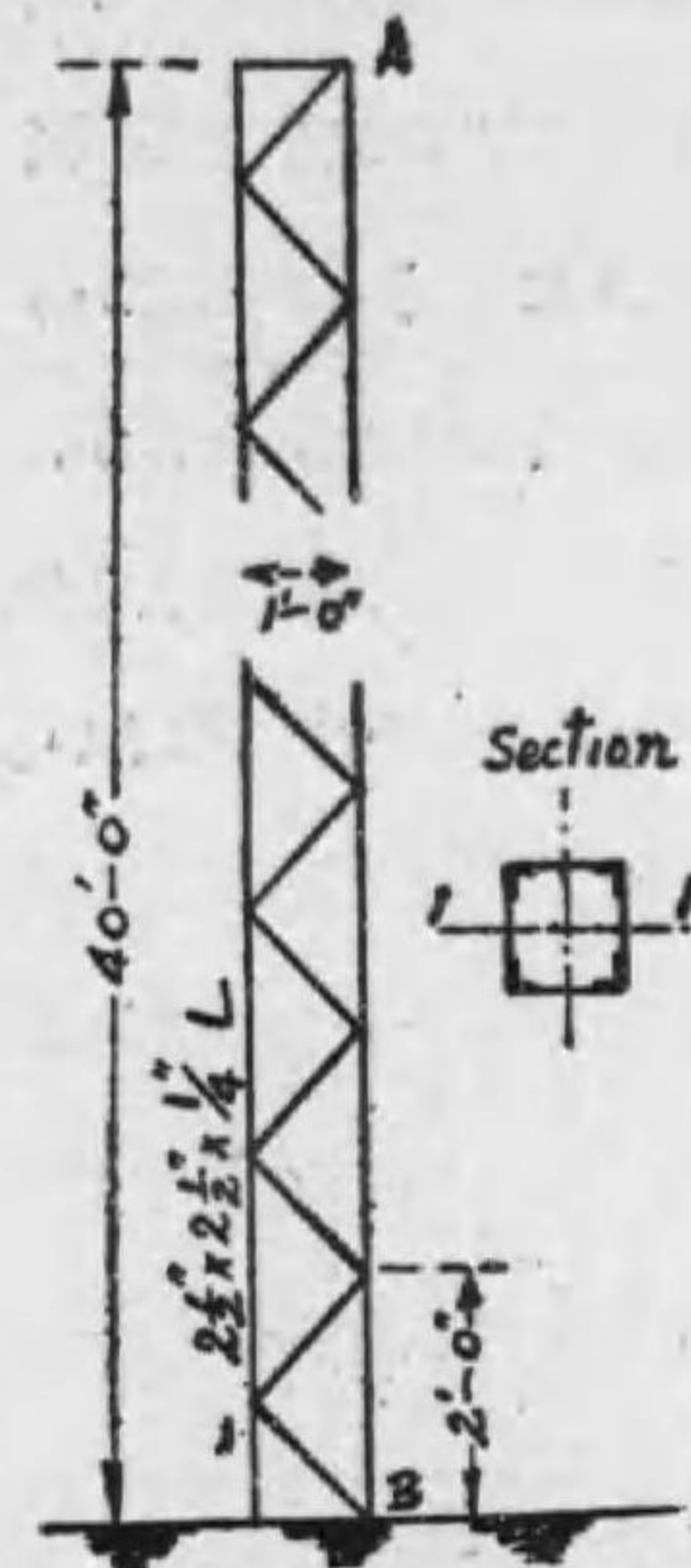
甚敷支配せられる。(2)軸に關する慣動半徑は單位の長さが同じ重量の材料では溝形鋼が最も大きい故に二脚の鐵塔の主柱には普ねく溝形鋼が用ひられて居る。

四脚柱の細長比

四脚柱に對しても二脚塔と同様に、各パネルの主柱、各ブレーシング及鐵柱全體としての細長比を考へねばならぬ。今主柱に付きて考へるに第56圖の主柱は $2 \frac{1}{2}" \times 2 \frac{1}{2}" \times \frac{1}{4}"$ なる山形鋼を1呎の開きに正四邊形の配置にて四本用ひ、パネルの長さ2呎である。而して第12表に依り $2 \frac{1}{2}" \times 2 \frac{1}{2}" \times \frac{1}{4}"$ なる山形鋼の最小慣動半徑は 0.49呎なる故に、各パネルに關しての主柱の細長比は

$$\frac{l}{r} = \frac{2 \times 12}{0.49} = 49$$

次に全體のシステムとしての細長比を考へるに第56圖の切斷面は正方形である故(1)軸に關する慣動半徑と之れと直角なる軸に關する慣動半徑は相等しい故(1)軸に關して慣動半徑を求むればよい。次に記しある公式に依りて計算すれば



$r^2 = d^2 + r^2g$
 $= 5.28^2 + 0.77^2$
 $= 28.49$
 $r = 5.33$ 吋
 $l = 40 \times 120 = 480$ 吋
 $\frac{l}{r} = \frac{480}{5.33}$
 $= 90$

第56圖 四脚柱細長比説明 となりて全體のシステムとしての細長比が主柱各パネルの細長比よりも大となる(公式は次に説明しあり)。

四脚鐵塔も四脚柱と同様の計算を行へばよい。

慣動半徑を求める公式(第57圖参照)

$$r^2 = d^2 + r^2g$$

但し $r =$ 任意の軸(0)に關する平面形の慣動半徑

$d =$ 0軸と平面形の重心との距離

$rg =$ 平面形の重心を通り0軸に平行な軸(g)に關する慣動半徑



第 57 圖 慣動半徑軸轉換圖

43 用材の厚さ 鐵塔用鋼材は相當の厚さが無ければならぬ。腐蝕する憂の大なる場合は特に厚さを餘分にする必要がある故、ガルバナイジングの場合よりもペーンチングの場合は厚き鋼材を用ひ、又煙突の近くや化學工場の近くや海岸等でも鋼材の厚さを所要以上に厚くするがよい。又材片の用途に依り主要な部分に用ひられる場合は厚くせねばならぬが、補助材の場合は厚さを小さくし得。次の第29表は最も普通に行はれて居る鐵塔用鋼材の厚さを示す。そして丸材は直徑二分の一時を最小とするがよい。

第29表 鋼材の厚さの制限

	主 柱	補 助 材
ペーンチングノ場合	$\frac{1}{2}$ " 以上	$\frac{1}{4}$ " 以上
ガルバナイジングノ場合	$\frac{1}{4}$ " 以上	$\frac{3}{16}$ " 以上

44 ボールト及リベット、鐵塔は現今は殆全部ガルバナイジングされて居る故、リベットは工場内でリベットせられ得る特種な部分にのみ行ひ、他は全部ボールトを用ひてメンバーを接続す。

ボールトに對しては防錆の爲に普通のガルバナイジングを施さずにセラダイジングが専ら行はれて居る。(第一章参照) ボールト及リベットの直徑は $\frac{1}{2}$ 吋以上のものがよい。直徑 $\frac{5}{8}$ 吋位が最も多く行はれて居る。

若しリベットを採用し得るならばなるべくリベットを用ひるがよい。何となればリベットは餘分の長さを穴の内に打ち込む故、リベットと穴との間に隙が無くなり、且作業後リベットが收縮するので連結される二つのメンバーを固く押へ付ける爲め摩擦を甚敷増加し、チョイントの強度を増大せしめる利益がある故である。

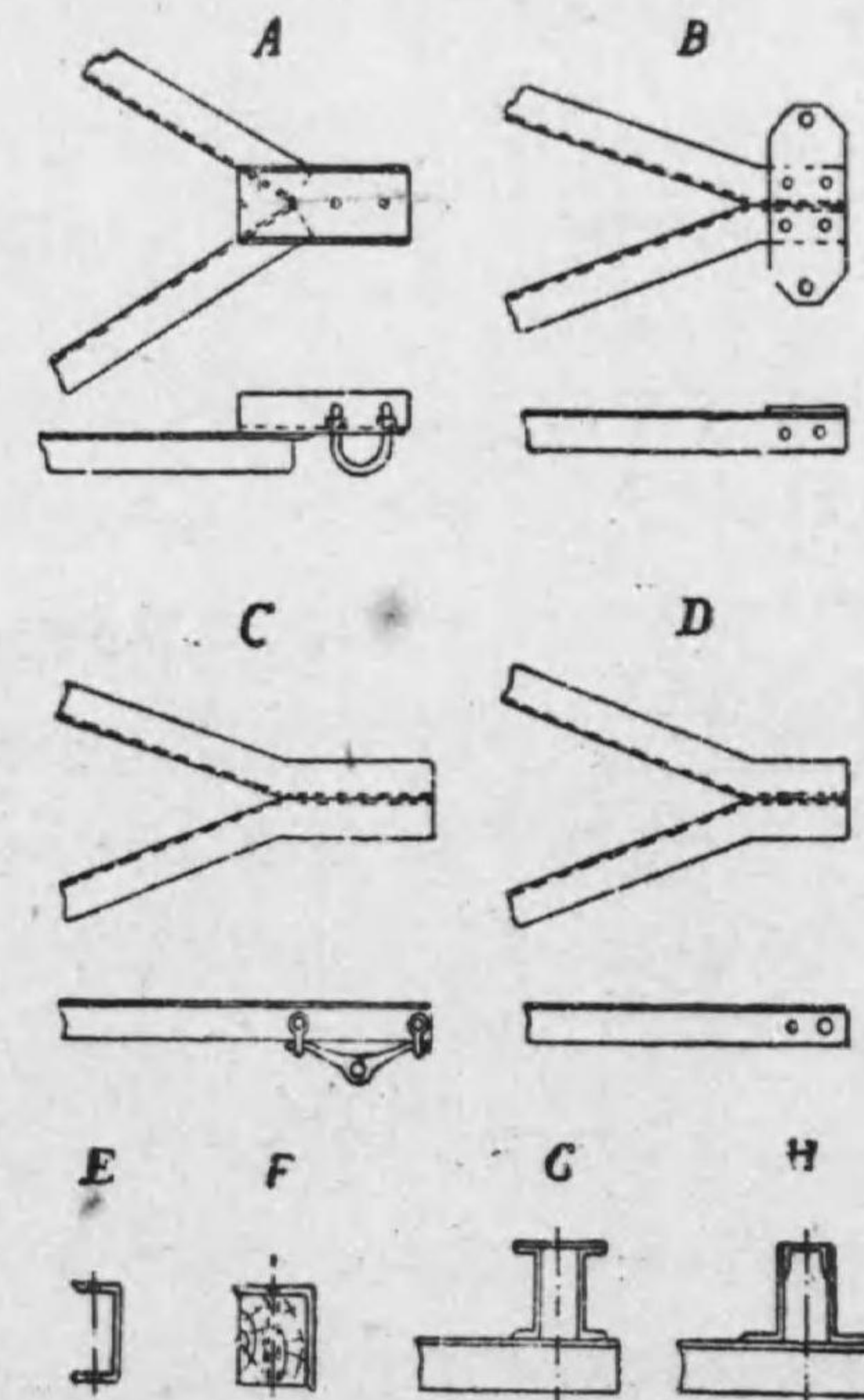
欠

へらる。尙この原因に關して第 76 圖を参照して此れ以上の讀者の判斷を望む。

DE. AD. 等の如きノミナルメンバーを用ひた爲め、餘分に二次應力を受けて腕金が破壊した實例は外國にもあるとのことである故、荷重の強く加はる腕金には DE. 及 AD. 等のノミナルメンバーを用ひないが最も宜敷い。而し之れを用ひない場合は AB. は最小慣動半徑に對して細長比及強度を計算しなければならぬ故、腕金の重量を多く要する不利がある。

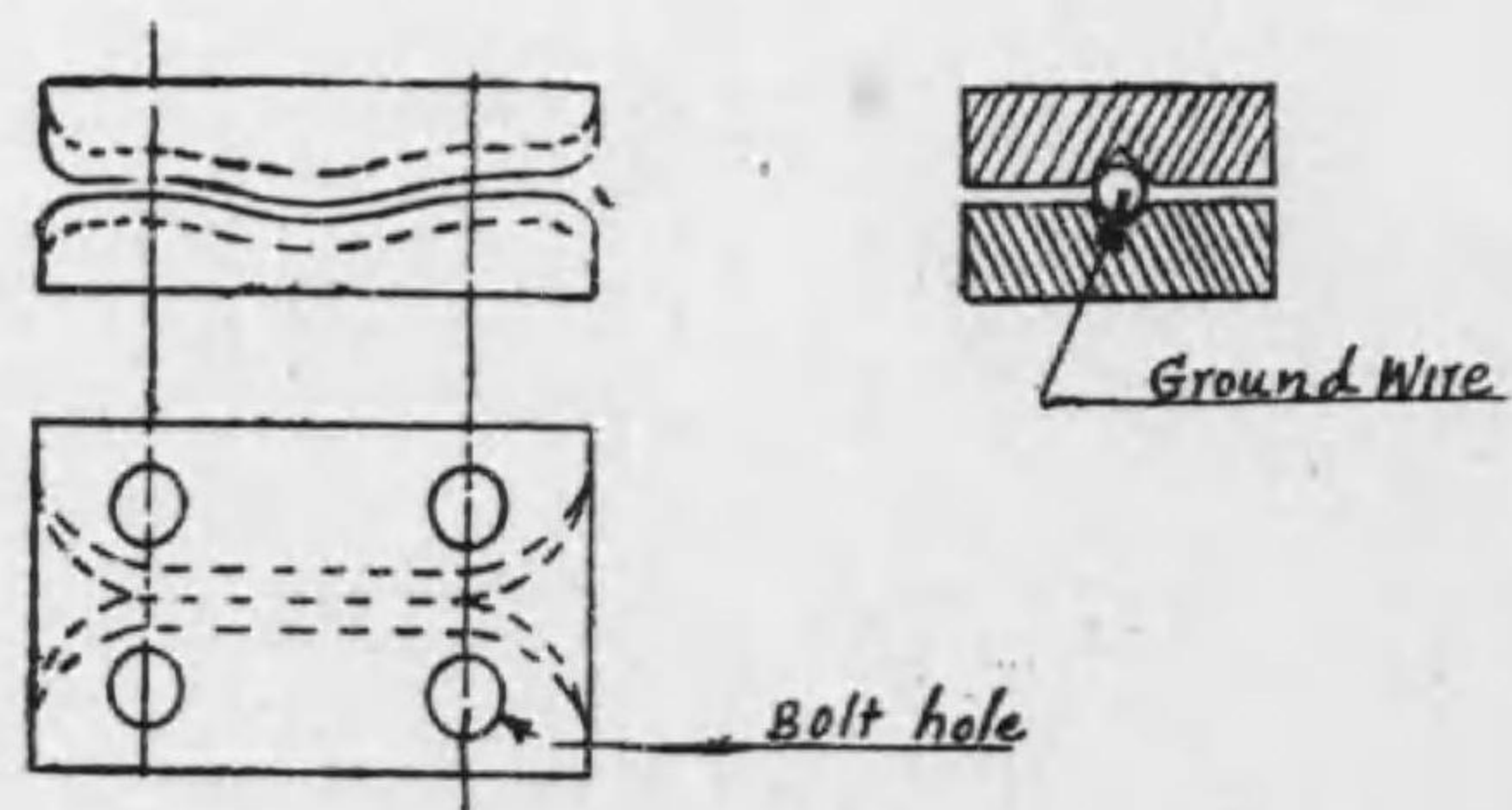
次の第 67 圖は碍子を腕金へ取付ける構造の數例である。

欠



第 67 圖 碍子取付箇所構造圖

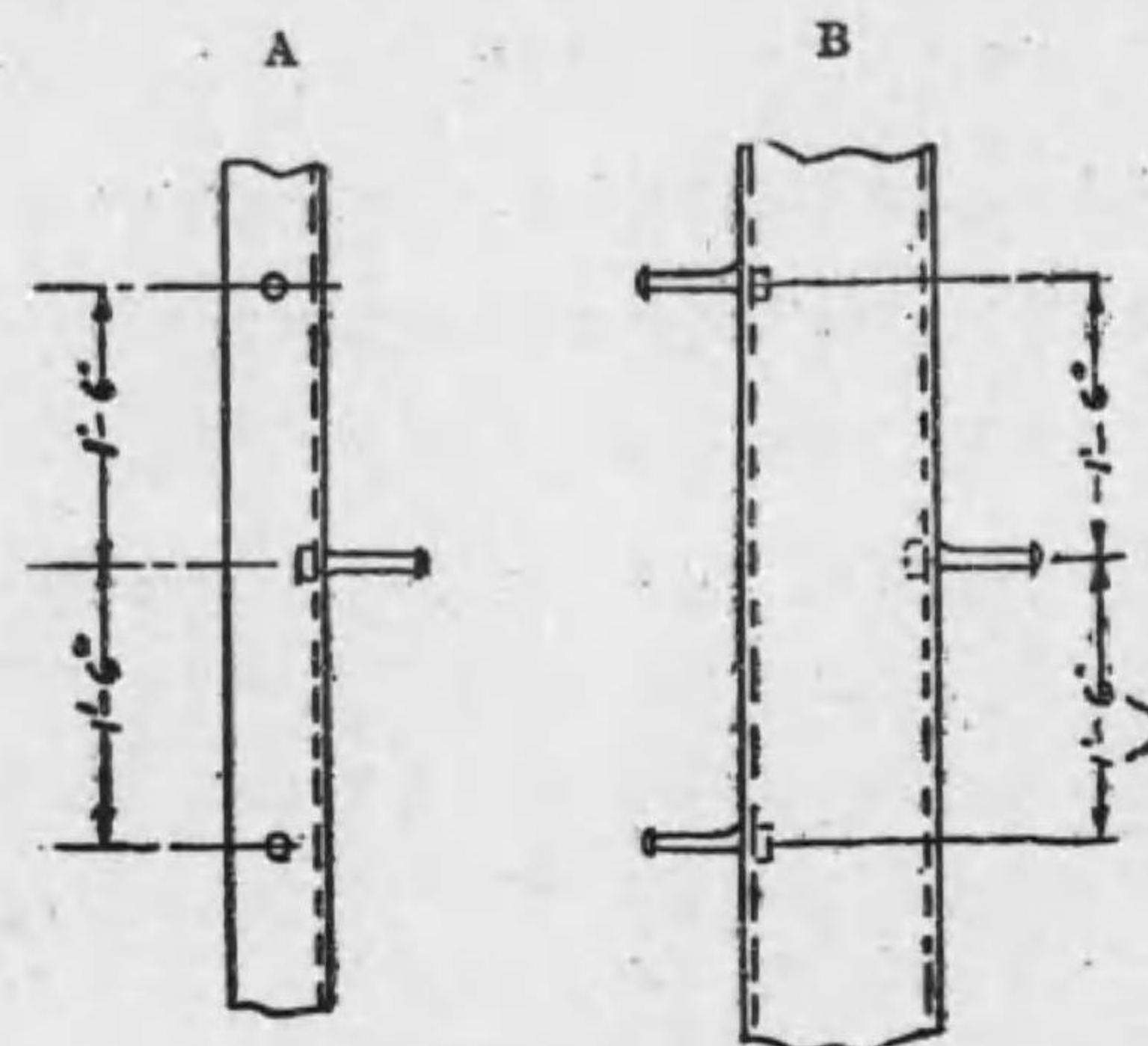
地線取付金物 地線は鐵塔を通して接地さるべきものなる故に碍子を用ひず(碍子へ地線を取付けて地線は別に接地することもあるけれど碍子を使用する必要なきに依り地線を直接鐵塔へ取付けるがよい。但し電線に故障の生じた場合、地線を以て電線に代用する計畫ある場合には相當の碍子を用ひねばならぬ)。半圓形の溝のある二つの金物の間に地線を挟み、地線は溝の中を通しこの二つの金物をボルトにて締めて地線を留める。この金物は鐵塔に固く取り付けらるゝものとす。金物の溝の形は圓形のもあれば正方形もある。正方形の場合には地線の直徑に多少の變化があつても金物と地線とは四點にて接觸する故差支がない點が有利である。溝の長さが短かいと地線が滑る憂がある。又溝は相當長くしても溝が直線であると滑り易い故に、溝は直線とせず波形とし溝の兩端は圓みを付けて溝を擴大し、以て地線を損傷せしめぬ様注意せねばならぬ。第 68 圖は地線取付金物 (ground wire clamp) の例を示す。



第 68 圖 (ground wire clamp)

足場階梯 (ladder rung) 鐵塔を昇り降りする爲めに足場階梯を設ける川越等の特種の大鐵塔には別に鐵製の梯子を作りこれを鐵塔に取り付ける

こともあるけれど、普通は第 69 圖の如く一個の主柱に長さ約 6 呎の足場ボルトを取付け之れを足場として昇降する。一つの足場と次の足場との間隔は 1 呎 6 吋を普通とす。尙足場の取付け始めは地面上 5 尺乃至 8 尺位とする。第 69 圖 A は主柱が山形鋼の場合 B は溝形鋼の場合足場階梯の例を示す。



第 69 圖 足場階梯の例

第十一章 鐵塔の基礎

46 基礎の強度 鐵塔自身が如何に強くても、其の基礎が弱い場合は鐵塔は自身の強度を十分に發揮せずして倒壊するに至る。故に基礎は鐵塔と同等以上の強度を有して居なければならぬ。基礎に加はる荷重は鐵塔の支柱より受けるもので壓縮力、引揚力、及水平推力の三種に分つことが出来る。そして之等の力の値は應力圖に依りて求められる。基礎は之等の各々の荷重の最大なる場合に於て充分な強度を有する様設計されねばならぬ。

壓縮力に対する基礎強度 基礎の受ける壓縮力は全部其の下方の土地に依て支持される。そして土地の耐壓強度は次の式に依つて計算さる。

$$P = pA$$

但し P = 基礎の耐荷強度

p = 土地の單位面積の耐荷強度

A = 基礎の土地に対する受壓面積

土地の單位面積の耐荷強度は土質に依り千差萬別である。第 32 表は土地の面積一平方呎の安全耐荷強度の大體を示す。

土地の耐荷力が弱い場合には杭打を施して杭に依つて基礎の受ける壓縮力を支持せしめる。杭打に関しては色々の公式があるけれど、次のサンダ一の公式が普通に用ひられて居る。

第 32 表 土地の安全耐荷力 (一平方呎=付)

地盤の種類	安全耐荷力	地盤の種類	安全耐荷力
軟質赤土の類	0.5(噸)	硬質粘土	3.0(噸)
硬質赤土の類	2.0	砂交り砂利	4.0
不密實の砂	1.5	不密實の砂利	3.0
密實の砂	4.0	密實の砂利	6.0
砂交り粘土	1.5	土丹岩	10.0
軟質粘土	1.0		

第 33 表 杭木の安全耐荷力 (貫)

落下高	最終沈下	活 錘 ノ 重 量 (貫)								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
四尺	二分	480	720	960	1200	1440	1680	1920	2160	2400
	四分	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200
	六分	160	210	320	400	480	560	640	720	800
五尺	二分	600	900	1200	1500	1800	2150	2400	2700	3000
	四分	300	450	600	750	900	1075	1200	1350	1500
	六分	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
六尺	二分	720	1080	1440	1800	2160	2520	2880	3240	3600
	四分	360	540	720	900	1080	1260	1440	1620	1800
	六分	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200
七尺	二分	840	1260	1680	2100	2520	2940	3360	3780	4200
	四分	420	630	840	1050	1260	1470	1680	1890	2100
	六分	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400
八尺	二分	960	1440	1920	2400	2880	3360	3840	4320	4800
	四分	480	720	960	1200	1440	1680	1920	2160	2400
	六分	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600
十尺	二分	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000
	四分	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
	六分	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
尺	一分	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200

サンダーの公式
$$P = \frac{HK}{8d}$$

但し P = 杭一本の安全耐荷力 (噸)

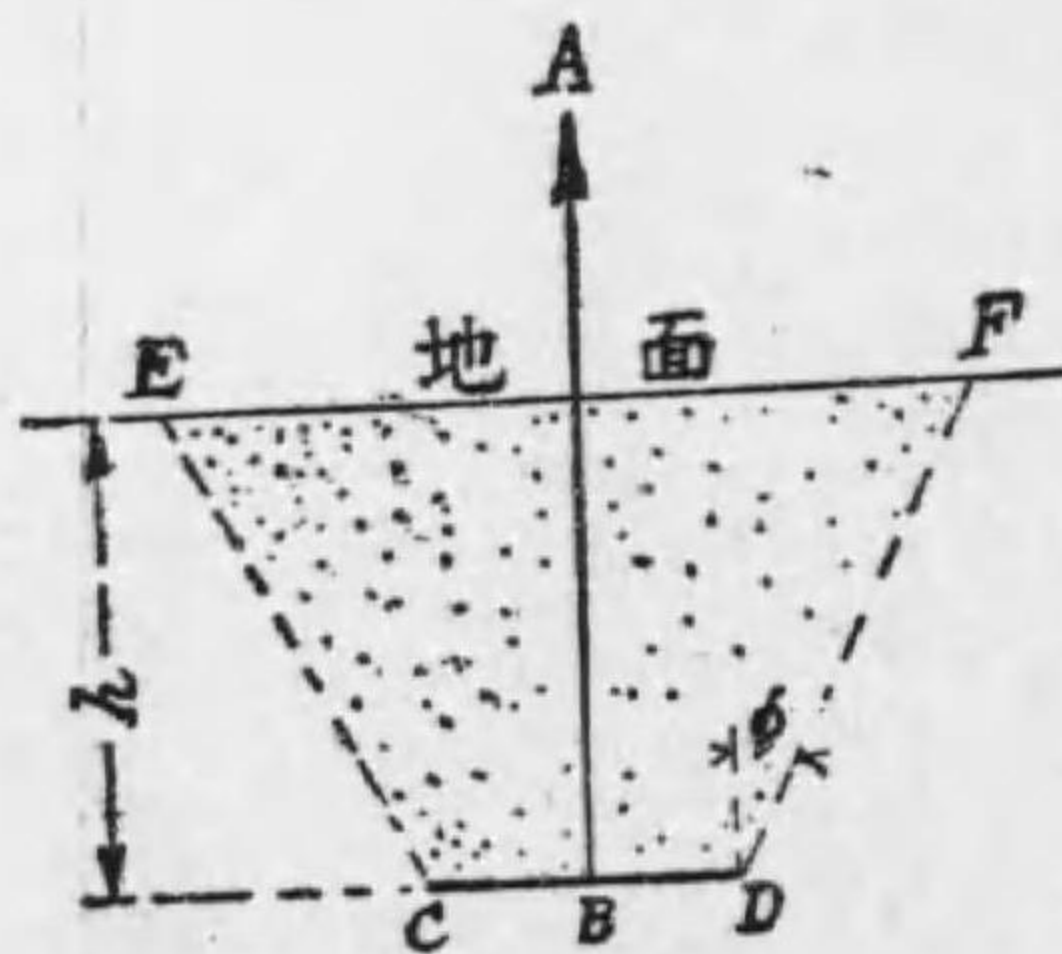
K = 重錘の重量 (噸)

H = 重錘の落下の高さ (呎)

d = 最後の一打に依る杭の沈下 (呎)

第 33 表は杭一本の安全耐荷力の大體の値を示す。

引揚力に抗する基礎強度 第 70 圖に於て CD なる一枚の四邊形の板が地中 h なる深さに水平に埋設せられ、之れを AB なる方向に引き揚げんとする場合は、CD が鐵塔基礎底面で AB が鐵塔の一脚であつて、此の塔脚が基礎を引き揚げる場合と同様である。今 CD 板を引き揚げる場合を考ふに、CD 板を引き揚げるには CD 板の直上方の土塊のみならず、CD



第 70 圖

板の外周に於て垂直線と ϕ なる角度をなす平面にて圍れたる土塊の重量に打ち勝たなければならぬ。(實際には此の土塊の重量の外に尙引き揚げらるる土塊と其の周圍の残る土塊との抗剪力にも打ち勝たなければ、CD 板は引き揚げられないけれども、土塊の打剪力は土質及乾濕の度

に依つて非常に變化し確實な計算は至難である故、鐵塔の基礎の計算には抗剪力を省略するがよい。(そして斯くするのが安全である)。 ϕ なる角度は土地の自然傾斜角又は息角に等しく取られ土質に依つて變化す。第 34 表は土地の息角及重量を示すものである。鐵塔基礎の計算には其の建設さ

れる土地の土質に依り息角を適當に取らねばならぬのは勿論であるが息角を 30 度とし土塊 1 立方呎の重量を 100 封度とするを普通とす。

第 34 表 土の重量及自然勾配

土質	狀況	自然勾配角度	1 立方呎ノ重量(封度)
砂	乾燥	35°	100
	水分多	40°	110
	水分多	30°	120
砂	利丸角	30°	120
	利丸角	40°	110
粘土	乾燥	26°	110
	水分多	45°	120
	水分多	15°	130
普通土	乾燥	40°	80
	水分多	45°	90
	水分多	30°	110
軟岩	腐蝕	37°	110
	腐蝕	45°	100
冲積土	積	18°	90
	積	45°	100
捨石	炭	27°	50
	炭	35°	50

引揚力に抗する土塊の重量を求めるには先づ土塊の容積を求めねばならぬ。第 70 圖に於て CD 板を正方形とすれば、CD 板の外周に於て垂直線と ϕ なる角度をなす平面に依つて畫せられる土塊は倒立截頭正四角錐體となる。(CD 板が正方形でない場合には其の形に應じて土塊は色々の截頭錐體となる)。そして截頭錐體の容積は如何なる場合でも次の式で計算される。

$$V = \frac{1}{3} h (A + \sqrt{AB} + B)$$

但し V = 截頭錐體の容積 (立方呎)

h = 截頭錐體の高さ (呎)

A = 截頭錐體の頂面の面積 (平方呎)

$B =$ 截頭錐體の底面の面積 (平方呎)

引揚力に抗する基礎強度の計算の他の法として、土地の自然傾斜角度を零度 (又は零度でなくても非常に小さく) とし、土地の重量としては基礎底面の外周を圍める垂直面内に含まれた土塊のみを計算 (若しも多少の傾斜角度を許すならば其れ相當の容積の土塊を計算) し、其の外に此の土塊と其の周圍の土地との抗剪力 (又は凝着力) を計算に入れる事もある。此の場合基礎の引揚力に抗する強度は、

(1) 土地の重量 (息角を零度又は零度近く取りたる)

(1) 土地の抗剪力

となるけれど前記の通り抗剪力は計算至難である故此の計算方法は用ひられない。

又上記の計算に於て引揚力に抗する土塊の中に基礎自身のコンクリートが含まれて居る場合、此のコンクリートの重量と土地の重量と別々に計算し、其の兩者の和を以て引揚力に抗する重量として設計する事もある。これはコンクリートの1立方呎の重量が約140封度であつて、土塊のそれよりも遙かに重い故に區別して計算するのである。

尙又地下水の水位が相當高い場合には基礎の引揚力に抗すべき土塊が水に浮かされる故に、此の場合土塊の重量は水の浮力に依つて甚敷減殺される事を忘れてはならぬ。

水平推力に抗する基礎強度 鐵塔の基礎の受ける水平推力は基礎の周圍の土地の土壓に依つて支持される。土壓には能動土壓と受動土壓との二つがある。能動土壓とは土地が他の壁を壓する場合の壓力で、受動土壓とは壁が土地を壓する場合の土地の抗壓力である故に、鐵塔の基礎の水平推力

を支持するのは受動土壓である。此の土壓の計算に關しては色々の公式や圖法があつて、土地の種々な状態に適合する様に公式や圖法を適用して正確な結果を得るには非常な知識と經驗とを要す。次に受動土壓を求める公式の一例を示す。

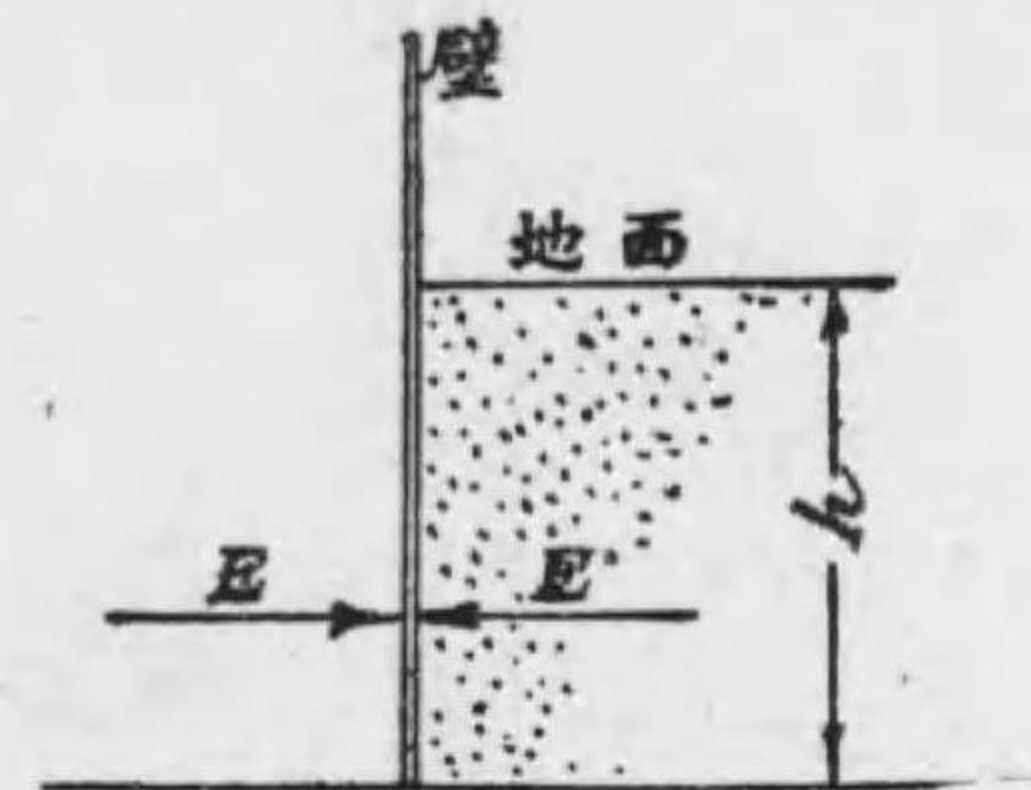
$$E = \frac{1}{2} rh^2 \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

但し $E =$ 地面より h の深さに達する直立の壁面1呎中の受動土壓 (封度)

$h =$ 壁の地下面の深さ (呎)

$r =$ 土塊一立方呎ノ重量 (封度)

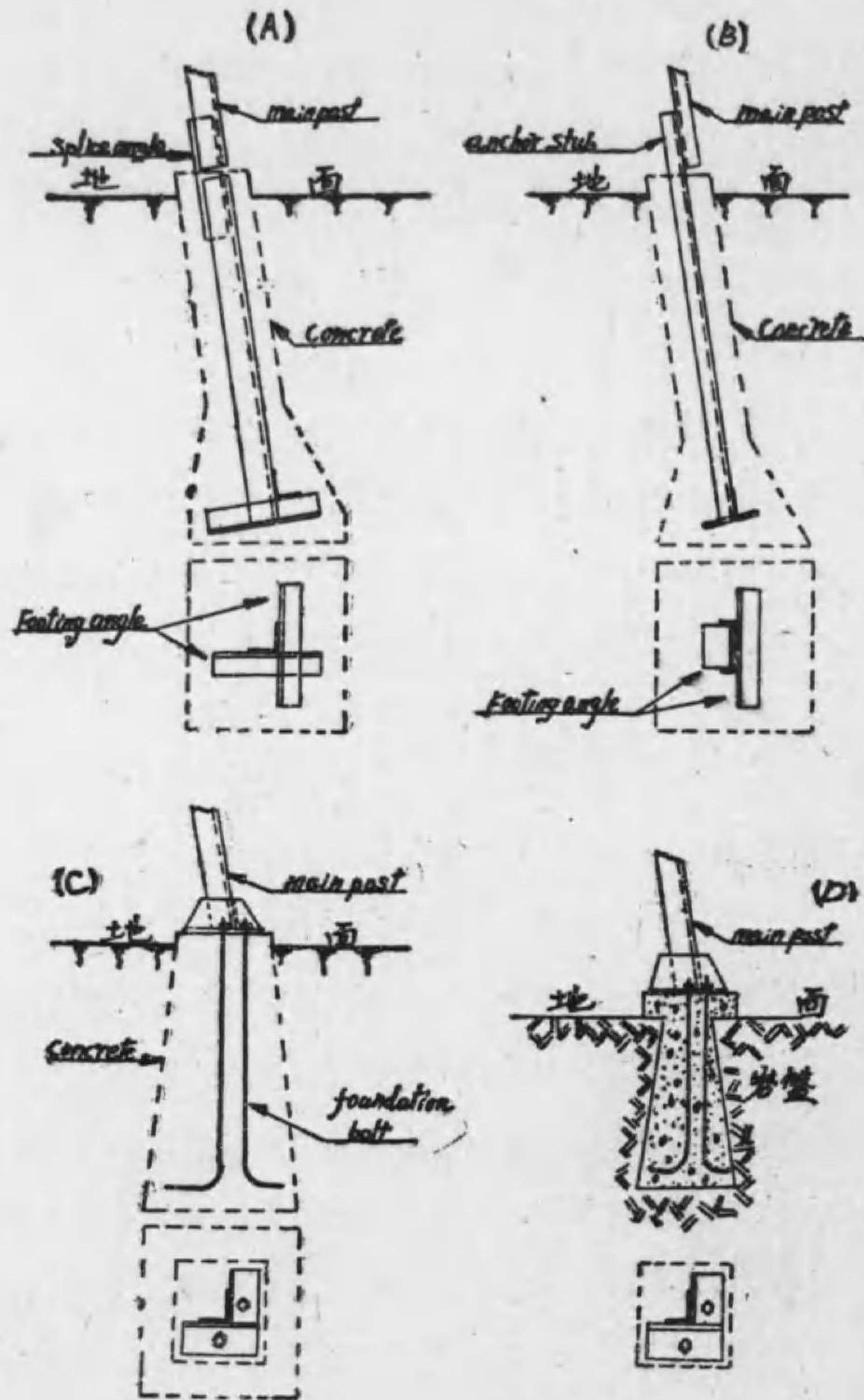
$\phi =$ 土地の自然勾配



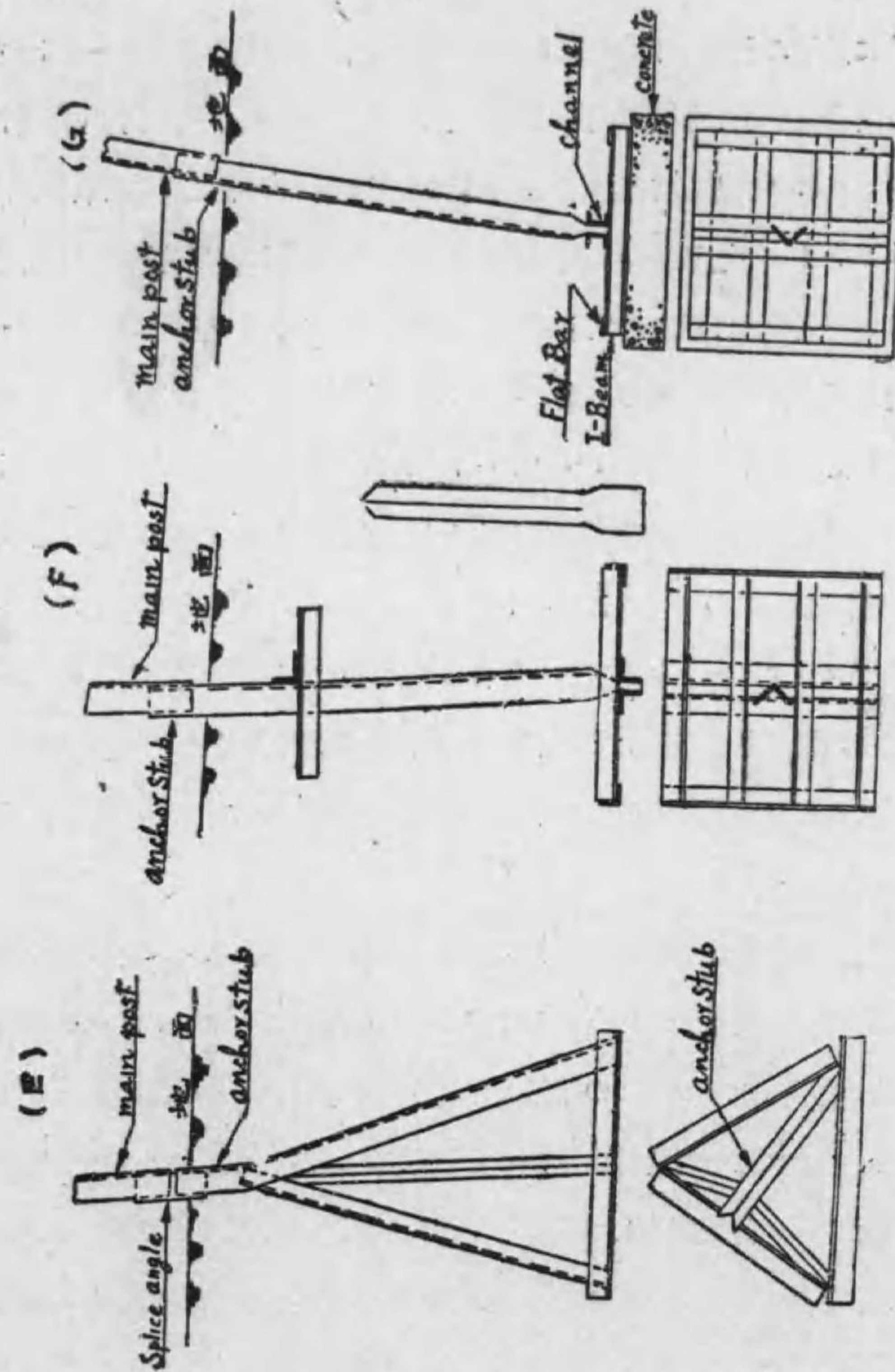
第71圖 土壓圖

47 基礎構造 鐵塔基礎の構造は上記の強度を充分ならしめる様設計すればよい故、種々なる人々に依つて色々に設計せらる。而して基礎の地中に於ける深さは、或る程度以上に浅くすると強度に不安が生ずるのみならず、大なる強度を得るには浅い根入れの基礎は費用を多額に要する故に、鐵塔の基礎は小さな鐵塔でも5呎以上の深さとし普通の鐵塔にあつては7呎以上、大きな鐵塔にあつては9呎以上とし、電線路が河川横斷の箇所等に用ゆる特別の大鐵塔にあつては12呎又は之以上の深さとするが安全である。又河川敷内に建設する鐵塔の基礎は特に深くし、流水勾配を考慮し相當信頼の出来る地層迄達せしめ洪水時でも安全な様設計せねばならぬ。

鐵塔基礎はコンクリートを以てする場合もあれば、鐵脚型とする場合も



第 72 圖 鐵塔基礎圖各種



第 72 圖 鐵塔基礎圖各種

ある。第 72 圖は種々なる基礎構造の數例を示したものである。全圖 A

乃至 C はコンクリート基礎で、C は基礎ボルトをコンクリート中に植込み之に鐵塔の主柱の下端を取り付けたもので、(此の場合基礎ボルトの長さは其直徑の四十倍乃至五十倍以上とす) A 及 B は主柱と同様の鋼材をアンカースタブとして用ひ、其の下端に山形鋼材を水平に適當に取付け、之をコンクリートを以て包んだものである。第 72 圖 D は岩盤に施す鐵塔の基礎で岩盤に下擴りの穴を穿ち、之れにコンクリートを以て基礎ボルトを植込み、塔脚を此の基礎ボルトに取付けるものである。第 72 圖 E 及 F は鐵脚型の基礎でコンクリートを用ひない代りに、山形鋼、溝形鋼、I 字形鋼等を用ひて基底面積を大としたものである。第 72 圖 G は鐵脚型基礎の下方にのみコンクリートを施したもので、壓縮力に對する基礎の強度がコンクリートを用ひない場合の鐵脚型に比し安全である。第 72 圖 F に於て地面より僅下方にて塔脚に山形鋼を取付けあるは、コンクリートを施されてない爲め基礎の水平推力に對する強度が足りないのを補ふ目的である。

一般に送電線路は運搬の便惡しき土地を通過して建設されるを以て、鐵塔の基礎は運搬費を大いに考慮して設計せねばならぬ。コンクリート基礎は砂利、洗砂、セメントの運搬費を意外に多額に要する場合があつて、斯の如き場合には鐵材を澤山用ひても鐵脚型の基礎とした方が遙に經濟である故に、種々比較研究して基礎を設計しなければならぬ。著者はコンクリートを全然廢したる基礎にはコンクリート用材料の運搬費甚敷く多額に上る場合の外は、俄に賛成し難きも、第 72 圖 G の如く鐵脚型基礎の下方にのみコンクリートを施したる基礎は、コンクリート費多額なる場合に採用して適當なる構造と考らる。

第十二章 鐵塔設計の例

48 設計條件 次の條件に適する同一送電線路に用ゆる固定鐵塔及可撓鐵塔を設計す。

- 電壓 55 000 volts
- 電線の大きさ 直徑 104 ミルのもの 19 本撚
- 電線の條數 6 條
- 電線種類 硬引裸銅線
- 地線の大きさ 直徑 125 ミルのもの 7 本撚
- 地線條數 1 條
- 地線の種類 亞鉛鍍鋼線
- 垂直荷重 鐵塔に依つて支持せらるる總てのもの重量及鐵塔自身の重量 (但し氷雪附着無きものとす)。
- 水平横荷重 次の風壓を計上すべし
 - 平面に對しては 1 平方呎に對し 40 封度電線に對しては垂直投影面積 1 平方呎に付き 20 封度
- 水平縦荷重 固定鐵塔に對しては電線及地線全部切斷した場合の剪力並に片側の電線三條切斷した場合の剪力及扭力。可撓鐵塔に對しては水平縦荷重を計算せず。
- 電線の弛度及張力 最低溫度に於て電線自身の重量のみを支持するものとし安全係數を 5 とし弛度を計算し此が最大溫度に於ける増大したる弛度を最大弛度とし最低溫度に於て荷重加はりたる場合の張力を最大張力とす。

温度の變化.....最低温度と最高温度との差を攝氏 50 度とす。(第 10 表及第 16 表参照)

碍子.....磁器製ピン型碍子

鐵塔強度の安全係數..... 3 以上

49 固定鐵塔設計 次の順序にて設計すればよい。

- (1) 電線及地線の配列並に其の間隔等を定め。
- (2) 電線及地線の弛度を計算し鐵塔の高さを定め。
- (3) 鐵塔の型及各メンバーの大きさを豫定して鐵塔の結構圖を畫き (但し one Line Drawing)
- (4) 荷重を計算し。
- (5) 應力圖を畫き鐵塔構成材の各々の應力を求む。(但し應力圖は各種の荷重に對し夫々別々に描くがよい。一部分の設計條件變更の場合又は一部分の計算に誤りある場合等に其影響する應力圖のみを訂正又は變更すればよい便がある故である)
- (6) 鐵塔を構成する各メンバーの強度を計算しこの強度と(5)にて求めたる各種荷重に依る應力の内同時に働き得べきものの合計の應力と比較し豫定せしメンバーの大きさが適當であるか否かを檢す。この爲に第 35 表の如き表を作れば一目瞭然す。(應力の合計には第 6 章参照)
- (7) 若し豫定せしメンバーの強度不足し又は過大なる場合には適當な大きさに變更し再び上記の方法を以て計算を行ひ満足な結果を得る迄何回でも繰返し計算する。甚だ面倒な様であるが馴れて來ると案外見當が外れぬものである。

次に上記の順序に依つて固定鐵塔の設計を行ふ。

欠

即主柱に對しては (I) (II) (III) 及 (IV) は同時に生じ得べく、又 (I) (III) (IV) 及 (V) も同時に生じ得べきものである。而して (I) (II) (III) 及 (IV) の和が大きい故、之れを以て主柱の最大應力とし合計の行に記しあり。

ウェブシステムに對しては同時に生じ得べきものの組合せが三様ある。

即

- (A)(II) のみ生ず
- (B)(III) (IV) 及 (VI) が同時に生じ得
- (C)(V) 及 (VI) が同時に生じ得

故にこの三つの場合に對し各々應力の合計を求めて比較し、最大なるものを以て合計の行に記入す。即 (8) なるメンバーに對しては (II) のみ單獨に生じた場合が最も大なる故、合計の行に 4300 封度を記入し、(9) なるメンバーに對しては (V) 及 (VI) の和が最大である故、7700 封度を合計の行に記しあるが如し。

次に第 35 表に於て各メンバーの最大許容強度と最大應力 (合計の行に記せる應力) とを比較するに強度適大なるメンバーが多少ある。之等の大きさを小さくして再び計算を行つてもよい。而し鐵塔は強度に於て贅澤な様に見へても、工作に於て材料の統一や接續點の数の減少等が有利な場合があり、又抗壓材は細長比の制限に依つて支配せらるる場合が澤山あり、(本設計では細長比は主柱に對し 150 補助材に對しては 200 ノミナルメンバーに對しては 250 迄許すものとしあり)、又ボルトの直径を本設計の例では $\frac{5}{8}$ 吋とした故山形鋼は $2'' \times 1 \frac{1}{2}'' \times \frac{3}{16}''$ 以上を使用することに制限し、材片の厚さは主柱に於ては $\frac{1}{4}$ 吋其他の材片は $\frac{3}{16}$ 吋以上としたる

欠

等の爲め、之れにも制限せられ、其の爲め荷重の甚だ軽い材片等の應力に對し強度の過大なる材片も出来ることとなる。若し強度に過大又は過少の材片が出来て之れを變更するならば、變更後の材片にて構成せらるる鐵塔に對し、上記の設計法を満足の結果となる迄繰返して行へばよい。

ボルト

送電線路の鐵塔は現場でリベットするが不便である故に、本設計の例では材片結合には全部ボルトを用ゆ。ボルトの直徑は全部 $\frac{5}{8}$ 吋とし、ボルト穴はボルトの直徑に對し $\frac{1}{16}$ 吋の餘裕を許すものとす。

ボルトの抗剪強度及支持力は第五章に計算したる値を用ゆ。そして各材片の接続に要するボルトの数は第 35 表にて示されたる應力をボルトの強度にて除すれば得られる。

基礎

基礎は塔脚一個毎に別々にコンクリートを以て施行し第十一章第 72 圖 (A) と同様の形とす。アンカースタブは主柱と同じ山形鋼を以てし地面より僅上方にて主柱と接続し地面より 8 呎 6 吋下方迄達せしめ下端には約 3 呎の長さで主柱と同じ大さの山形鋼 2 本を互に直角に取付けコンクリートの受壓面積を大にし周圍をコンクリートを以て包む。上部のコンクリートは 1 呎角に施行し底部に於ては 4 呎 6 吋角としコンクリートの底面は地面より 9 呎 6 吋の深さとし、其の下に厚約 6 吋の割栗石を施すものとす。次にこの基礎の強度の計算を行ふ。

(A) 引揚力に對する基礎強度

土の自然勾配の角度を 30 度とし 1 立方呎の重量を 100 封度とす (次の CC, EF, h. 等の符號は第十一章第 70 圖及其の符號を利用して計算す)

$$\text{(底面 CD の面積)} = 4.5 \times 4.5 = 20.25 \text{ 平方呎}$$

$$\begin{aligned} \text{(地面に於ける EF の面積)} &= [(CD \text{ の長さ}) + 2h \tan \phi]^2 \\ &= (4.5 + 2 \times 9.5 \times 0.578)^2 \\ &= 239.7 \text{ 平方呎} \end{aligned}$$

故に引揚力に抗する倒立截頭方錐體の土塊の容積 V は (第十一章の公式に依り)

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{3} h (A + \sqrt{AB} + B) \\ &= \frac{1}{3} \times 9.5 \times (20.25 + \sqrt{20.25 \times 239.7} + 239.7) \\ &= 1044.05 \text{ 立方呎} \end{aligned}$$

故に引揚力に抗する強度は

$$1044.05 \times 100 = 104405 \text{ 封度}$$

となる。然るに基礎に働く引揚力は第 35 表の主柱の最下部の壓縮力から垂直荷重の二倍を引き去つた値と等しい (鐵塔の主柱の最下端の壓縮力と引揚力とは等しき値であるが、垂直荷重に依り壓縮力は増加し引揚力は減殺される故、此の影響を差引けば壓縮力から引揚力を求める事が出来る)。

$$\begin{aligned} \text{即 (引揚力)} &= 41290 - 1950 \times 2 \\ &= 37310 \text{ 封度} \end{aligned}$$

此の計算の結果引揚力 37310 封度に對し基礎強度 104405 封度あり且基礎に對しては引揚げらるる土塊と其の周圍の土塊との抗剪力も引揚力に抗するを以てこの基礎は充分安全である (但し尙之以上に安全を期するならば基礎底面の面積を大とするか又は基礎の地中に於ける深さを増せばよい)。

(B) 壓縮力に對する基礎強度

土地一平方呎の安全耐壓強度を 3000 封度とす。本設計の例の基礎の底面積は 4 呎 6 吋平方である故基礎の耐壓強度は

$$\begin{aligned} (\text{基礎安全耐壓強度}) &= 3000 \times 20.25 \\ &= 60750 \text{ 封度} \end{aligned}$$

然るに主柱が基礎に及ぼす壓縮力は第 35 表に依り 41290 封度である故、此の基礎は充分安全である。

(C) 水平推力に對する基礎強度

今此の基礎のコンクリートを地面より底面迄一呎角の柱として考ふる時は其の壁面に接する土地の受動土壓は (第十一章を参照)

$$E = \frac{1}{2} brh^2 \tan^2 (45^\circ + \frac{\phi}{2})$$

但し E = 受動土壓 (封度)

$$r = \text{土地一立方吋ノ重量} = 0.058 \text{ 封度}$$

$$h = \text{コンクリートの地面下の深さ} = 114 \text{ 吋}$$

$$\phi = \text{土地の自然勾配角度} = 30^\circ$$

$$b = \text{コンクリート壁の巾} = 12 \text{ 吋}$$

$$\begin{aligned} \therefore E &= \frac{1}{2} \times 12 \times 0.058 \times 114^2 \times \tan^2 60^\circ \\ &= 13550 \text{ 封度} \end{aligned}$$

第 73 圖の應力圖に依つて見るに一個の基礎に加はるべき水平横荷重の合計も水平縦荷重の合計も各々今求めた E の値に比し數分の一以下である故充分安全である。

尙コンクリート基礎の場合は塔脚よりコンクリートに及ぼす壓縮力に對しコンクリートの受壓面積がコンクリートの安全耐壓力を超過しない様設計せねばならぬ。(此の場合コンクリートの安全耐壓力は一平方吋に付き

300 乃至 500 封度である)

50 可撓鐵塔設計

固定鐵塔の場合と同様の順序にて設計す。

(1) 電線及地線配列

電線及地線の配列は固定鐵塔の場合と同様とす。但し可撓鐵塔の主柱は地表より最上部の腕金の位置迄直線となすを良しとする故、鐵塔の片側の電線三條は眞に垂直に配列されず、主柱に沿ひて稍々傾斜して配列す。(第 74 圖参照)

(2) 弛度計算

固定鐵塔の場合と同一とす。

(3) 鐵塔の型及各材片の大きさ。

鐵塔の型は第 74 圖の通とし主柱は二本とし溝形鋼を用ひ溝形鋼の溝は互に外方に向く様にシブレーシングは溝形鋼に取付けたる山形鋼の短片(クリップ)に取付くるものとす。(第十章 61 圖参照) 主柱は下方より最上部の腕金迄直線としウェブシステムにはホリゾンタルストラットを設けず。故にブレーシングは抗壓材としても抗張材としても働き得るものとし山形鋼を用ゆ。材片の大きさは第 36 表中に記入しあり。之れと第 74 圖中の材片の符號とを照し合せたならば各材片の大きさが明かとなる。

(4) 荷重の計算

垂直荷重

垂直荷重の計算は固定鐵塔の場合と同様である。但し可撓鐵塔は主柱が二本である故に全體の垂直荷重を二除して一本の主柱の各パネルに加はる垂直荷重を求めねばならぬ。そして計算の結果は第 36 表中に記入してある。腕金の一本の山形鋼に作用する垂直荷重は固定鐵塔の場合と同様 500 封度

とす。

水平横荷重

水平横荷重の計算に於て電線及地線に加はる風壓は固定鐵塔の場合と同様で

電線に加はる風壓.....477 封度 (一徑間に付き)

地線に加はる風壓.....344 封度 (")

第 74 圖に於て W_w は電線或は地線に加はる風壓に依り鐵塔の受くる荷重であつて地線一條電線六條に依り四箇所のパネルポイントに働くこととなる。そして W_w の計算の一例を示せば第 74 圖に於て FG にて示されたる W_w は

$$\begin{aligned} W_w &= 477 \times 2 \div 2 \\ &= 477 \text{ 封度} \end{aligned}$$

である。此の式の中で

477.....電線一條に對し一徑間に加はる風壓 (封度)

2.....此のパネルポイントには電線二條あるを以て二倍す。

2.....第九章例六の如く鐵塔に加はる荷重は一箇の塔面の二つのウェブシステムに依つて等分に支持される故に 2 除す (此の鐵塔は二脚塔である故塔面は一つである)。

第 74 圖に於て W_w は鐵塔面の左側にのみ記入し右側に記入すべき W_w は略してあるけれど、同圖の應力圖は右側にも左側にも同様に記入されてあるものと考へて描いてある。(第九章應力圖例 6 及 8 参照)

次に鐵塔自身に加はる風壓は

鐵塔自身に加はる風壓... 鐵塔の側面の受風平均巾を 0.75 呎と

し全體の受風面積は一側面のその一倍半とし各パネルの風壓は其の兩端のパネルポイントに於て半分宛集中して加はるものとして計算す。

第 74 圖に於て W_t は鐵塔自身に加はる風壓を各パネルポイント毎に計算したもので其の一例を示せば第 74 圖の BC にて表されたる W_t は

$$\begin{aligned} W_t &= 1.5 \times 0.75 \times \frac{7.5+7.75}{2} \times 40 \div 2 \\ &= 175 \text{ 封度} \end{aligned}$$

であつて此の中で

1.5鐵塔の風壓は鐵塔の片面の受くる風壓の一倍半としたる係數

0.75.....鐵塔片面の平均受風巾 (呎) (第 36 表参照)

7.5今考へたるパネルポイントより上方のパネルの長さ (呎)

7.75.....今考へたるパネルポイントより下方のパネルの長さ (呎)

2.....上下兩パネルの半分宛の風壓が此のパネルポイントに加はる故に 2 除す。

40.....一平方呎に付き加はる風壓 (封度)

2.....鐵塔面は一つなれども第九章例六の如く一つの塔面の二つのウェブシステムに依つて全體の荷重が等分に支持される故に 2 除す。

第 74 圖に於て W_t を左側にのみ記入し鐵塔の右側には記入を省略しあり。而し同圖の應力圖は右側にも左側と同じ強さの荷重が加はるものとして考へて描かれてある。(第九章應力圖例 6 及 8 を参照)

水平縦荷重

可撓鐵塔には水平縦荷重の支持力なきものとす。

(5) 應力圖

上記の如く荷重が全部計算せられた故之れに依つて應力圖を描き鐵塔を

第36表 可撓鐵塔應力並に強度計算表

member	断面形状	大サ	長サ	最小慣動半徑 (吋)	細長比 l/r	切斷面積 (平方吋)	
main posts	1	溝形鋼	5"	6'-0"	0.50	114	1.95
	2	"	7"	3'-0"	0.59	61	2.85
	3	"	"	"	"	"	"
	4	"	"	"	"	"	"
	5	"	"	"	"	"	"
	6	"	"	"	"	"	"
	7	"	"	4'-3"	"	86	"
	8	"	"	5'-3"	"	107	"
	9	"	9"	7'-6"	0.67	134	3.89
	10	"	"	7'-9"	"	129	"
	11	"	"	7'-9"	"	"	"
web system	12	山形鋼	2 x 1 1/2 x 3/16	2'-2"	0.35	81	0.63
	13	"	"	2'-4"	"	88	"
	14	"	"	2'-6"	"	94	"
	15	"	"	2'-8"	"	100	"
	16	"	"	2'-10"	"	103	"
	17	"	"	3'-6"	"	131	"
	18	"	"	4'-3"	"	159	"
	19	"	2 x 2 x 3/16	5'-6"	0.39	169	0.72
	20	"	"	6'-0"	"	158	"
	21	"	"	6'-5"	"	197	"
arm	22	"	"	2'-6"	"	"	0.72
	23	"	2 x 1 1/2 x 3/16	3'-10"	0.32	144	0.63

第36表 可撓鐵塔應力並に強度計算表 (續き)

member	最大許容度 (封度)	Stress due to			total sum. (lbs.)	
		verticel load. (lbs.)	wind across wire. (lbs.)	wind on tower. (lbs.)		
main posts	1	18 250	100	350	150	1 100
	2	40 900	700	340	140	2 480
	3	"	800	950	350	4 000
	4	"	1 400	1 400	500	6 100
	5	"	1 500	2 100	700	7 850
	6	"	2 100	2 700	850	10 150
	7	36 600	2 200	3 400	1 100	12 350
	8	33 000	2 300	4 300	1 350	14 650
	9	38 700	2 400	5 000	1 700	17 250
	10	37 600	2 500	5 900	2 250	19 950
	11	"	2 600	6 500	2 800	22 300
web system	12	8 280		800	250	1 050
	13	8 020		600	200	800
	14	7 790		1 100	320	1 420
	15	7 560		950	280	1 230
	16	7 340		1 500	350	1 850
	17	6 400		1 400	450	1 850
	18	5 410		1 200	550	1 750
	19	5 660		1 150	700	1 850
	20	4 970		900	800	1 700
	21	4 450		800	900	1 700
arm	22	10 620	400	238	100	730
	23	6 200	760			760

構成する各材片に生ずる最大應力を求む。第 74 圖中に應力圖を各荷重毎に別々に描きあり。そして各荷重に對し第九章例六丁戊の如くウェブシステムの二つのシステムに對し應力圖を各々描かねばならぬけれど、丁戊は互に紙脊から見れば同じ値となる故、第 74 圖に於ては第九章例六丁戊の何れか一方に相當する應力圖を描き、他の一方には之れを利用するものとす（此の場合應張力と應壓力とを混同せぬ様注意せねばならぬ）。

(6) 強度と應力との對照

固定鐵塔の場合と同様の方法にて第 36 表に鐵塔構成材片の各々の強度及應力を記入す。主柱に對しては垂直荷重に依る應力と電線及地線に加はる風壓に依る應力と鐵塔自身に加はる風壓に依る應力とが全部同時に生じ得べき故に、此の三つの應力を合計して第 36 表中應力の合計の行に記入しあり。ブレーシングに對しては電線及地線に加はる風壓と鐵塔自身に加はる風壓とが同時に働き得べきに依り、此の兩應力の和を第 36 表中應力の合計の行に記入しあり。

腕金の應力は甚小さく水平縦荷重を無きものとした故、腕金の主材は應壓力よりも應張力の影響が大きくなる。即垂直荷重及風壓に依る應張力の和を第 36 表中應力の合計の行に記入しあり。腕金の補強材は垂直荷重に依る應壓力のみを受ける。

而して強度と最大應力とを第 36 表に依り各材片に付きて比較するに強度の餘裕多きに過ぎる材片があるけれど、固定鐵塔の設計の場合と同様の理由に依り斯くするのを免れぬ。殊に細長比に於て主柱は各パネル毎に關し夫々制限 (150) 以下であると同時に最下腕金（懸垂碍子を使用する場合は尙上方）より下方地面迄の長さに関して全體のシステムとしても細長比

が此の制限以内でなければならぬ（第十章 42 を参照）。（即此の可撓鐵塔には主柱として上部に 7 吋の溝形鋼を用ひ、下方に 9 吋の溝形鋼を用ひ其の慣動半徑を第十章 42 に示せる如く計算し兩者の平均を求め、此の慣動半徑に對し細長比を 150 以下とならしめあり）。

若し材片の大きさを變更せんとするならば、變更後の材片に依りて構成せらるる可撓鐵塔に關し上記と同様の計算を行はねばならぬ。

基礎

基礎は塔脚一個毎に別々にコンクリートを以て施工し第十一章 第 72 圖 B と同様の形とす。アンカースタブは主柱と同じ大きさの溝形鋼とし地面より僅か上方にて主柱と脊合せに接續し、地面より 7 呎下方迄達せしめ其の下端には溝形鋼の溝内に溝の中と同じ長さの山形鋼を取付け尙其の反對側に長さ約 2.5 呎の山形鋼を取付けコンクリートの受壓面積を大とす。

コンクリートは基礎底面附近では 3 呎 6 吋角とし此より上方を 1 呎角に施工してアンカースタブを包ム様にす。コンクリートの底面は地面より 8 呎の深さとす。次に此の強度を計算す。

(A) 引揚力に對する基礎強度

計算方法は固定鐵塔の場合と同様とし次の式の符號は第十一章第 70 圖参照のこと

$$(\text{基礎底面の面積}) = 3.5 \times 3.5$$

$$= 12.25 \text{ 平方呎}$$

$$(\text{地面に於ける EF の面積}) = [3.5 + 2 \text{ htan}\phi]^2$$

$$= [3.5 + 2 \times 8 \times 0.578]^2$$

$$= 162.6 \text{ 平方呎}$$