第十二章　鐵筋混凝土杭水槽及管等

第八十八節　鐵筋混凝土杭
(Reinforced Concrete Piles).

（第一）　木杭と混凝土杭との優劣

鐵筋混凝土杭は次ぎの二つの場合に使用せらる。

(*a*)　木杭にては將來腐蝕或は蟲害等の虞ある場合。

(*b*)　杭上の荷重大にして木杭にては支持し得べからざる場合。

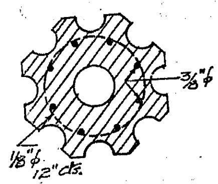
地盤常に乾燥せる處にては木杭に優ること言を俟たず、又港灣棧橋等に在りては鐵筋混凝土杭を使用すること便利である、市街高架鐵道建造物又は高層建築物の基礎に在りては、其の上に來る荷重頗る大であるから木杭を用ふるよりも鐵筋混凝土杭と爲す方得策なる場合多い。殊に此の如き場合に於て杭頭を水線以下に止むるときは頗る深き混凝土基礎を施さねばならぬこととなるが、鐵筋混凝土杭を使用すれば杭頭を地盤面に近く止むることが出來る。故に基礎工を深からしむる必要なく、從て生ずる工事費の節減比較的大で有る。

又此の兩者を支持力の方より論ずれば次ぎの如し、杭が其の上に來る荷重を支持するに二種の場合あり、其の一は杭の尖端が堅層地盤まで達したるときと他は土砂と杭外面との摩擦により支持する場合とである、前者の場合に於ては杭が支柱として働くが故に鐵筋混凝土と爲す方利益である、後者の場合に在りては杭の表面積に比例して其の支持力を增減するを以て鐵筋混凝土杭は特別の利益を認め難い、然し鐵筋混凝土杭と木杭とを單に其の末口及長さによりて價格の高低を比較することは早計である、何となれば前者には其の斷面中空形なるあり、十字形なるあり、其の容積の割合に表面積大なる物多い、殊に長さ四十尺以上の眞直なる松丸丸は今日購買價格頗る高きのみならず運搬にも頗る不便であるから鐵筋混凝土杭を使用する方優つて居る、又前にも述べし如く水線以上に杭頭を止め基礎混凝土の容積を減じ以て全體の工事費を減ずるは木杭の到底及ばざる處である。

第二　種類

(*a*)　コネエッス杭 (Choneweth Concrete Pile).　鐵網にセメントモルタル又は混凝土を塗付け之れを心棒の廻りに廻轉し圓壔形鐵筋混凝土杭を製せるもので有る。モルタルを練り合すには比較的少量の水を使用す、然し之れを壓縮する際水分の一部を押し出し、鐵網に混凝土を能く粘着せしめ比較的强き杭と爲る。

第百三十八圖

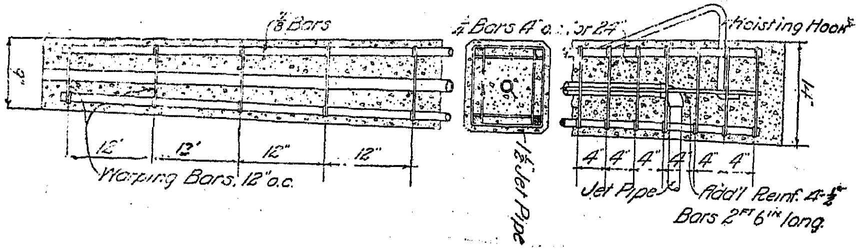


(*b*)　コルゲーテッド混凝土杭 (Corrugated Concrete Pile).　第百三十八圖に示せるは土砂との接觸面積を大ならしめ從て支持力を增加するの目的を以て杭の外面に凹凸を附したるものである、鐵

筋は縱及び横の二種類より成り縱筋は三分丸棒を三吋乃至四吋間に配置し螺狀筋(一分丸)を一呎の間隔に入れ杭斷面は六角形又は八角形にて縱に溝を付すること圖の如し。

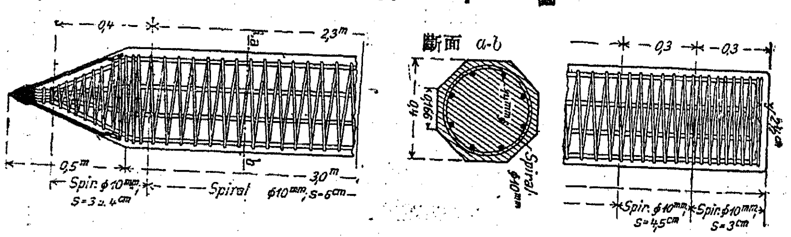
(c) 四角形杭 (Square pile).

第百三十九圖

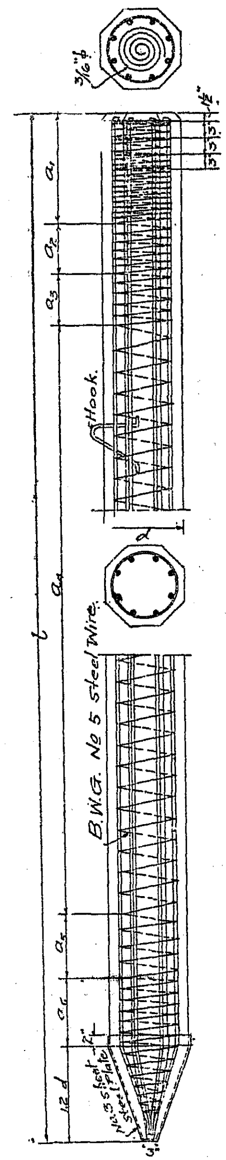


古くから使用せられたもので四角形斷面の四隅に四本(或は八本)の軸鐵筋を入れ之れを繋節筋にて横に留めたるものである、一端は普通の杭形に尖れるものと圖の如く平坦なるものとある、後者は噴水にて杭を打込む場合に使用せらる、第百三十九圖に示せるはボストン市のホーズ及びゴム會社建築の基礎に用ひしもので長さ三十呎である。

第百四十圖



第百四十一圖



杭長 呎	直徑 吋	$\frac{l}{d}$	螺旋筋 a_1 長	a_1 間隔	a_2 長	a_2 間隔	a_3 長	a_3 間隔	a_4 長	a_4 間隔	a_5 長	a_5 間隔	a_6 長	a_6 間隔	軸鐵筋 數	軸鐵筋 直徑(吋)	鐵筋量% 螺狀筋	鐵筋量% 軸鐵筋
20	12	20.0	12″	1″	10″	2″	12″	4″	163	6″	12	4	12	2	8	$\frac{7}{16}$′ φ	0.28	1.01
25	13	23.1	18	1	9	$1\frac{1}{2}$	10	2	218.5	4	12	3	12	2	8	$\frac{1}{2}$″ φ	0.56	1.12
30	15	24.0	19	1	9	$1\frac{1}{2}$	10	2	274.5	4	12	3	12	2	8	$\frac{9}{16}$ φ	0.32	1.06
35	16	26.4	24	1	12	$1\frac{1}{2}$	12	2	311	3	18	2	18	2	4 4	$\frac{9}{16}$ φ $\frac{5}{8}$ φ	0.32	1.05
40	17	28.3	24	1	12	$1\frac{1}{2}$	12	2	369.5	3	18	2	18	2	8	$\frac{11}{16}$ φ	0.36	1.24

(d) 八角形杭 (Octagonal Pile).

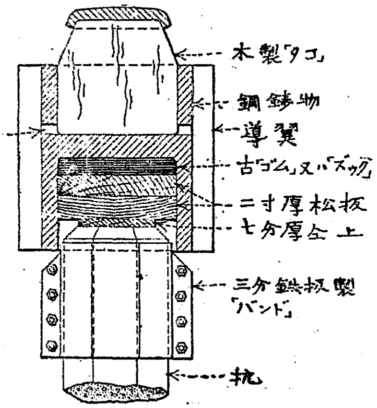
杭の斷面八角形を有し六本乃至十本内外の軸鐵筋を入れ、其外周に螺狀筋を加へたるもので有る、此は最も強度が強く又丈夫な杭て近來は八角形を採用する場合多し、螺狀筋は打撃に對し應張力を採り得る目的てあるが故に杭の頭部及び尖端に於て密に

中間に至るに從ひ粗くすること肝要である。

第百四十圖に示せるは長さ十一尺五寸五分を有し獨逸國エルサス州ミュルハウゼン市の建築家屋に用ひしもので製作後六週間にて打込み三十六噸を支持せしめたりと云ふ、第百四十一圖に示せるは著者の設計せるもので東京市街高架鐵道拱橋の基礎工事に用ひ、其の長さ十八呎乃至四十五呎總數四千三百本に上れり、杭の直徑は長さの約三十分の一を限度とし、軸鐵筋は杭斷面積の約一パーセント、螺狀筋は其三分の一パーセントで有る。螺狀筋は衝動及び直壓に對し安全なる樣頭部に於て間隔を次第に密にし且つ杭頭約一尺餘の間は別に四枚の渦狀筋を配置せり、是れ頭部の破碎を防ぐの目的に出でたのである。而して杭は二十噸乃至三十噸を支持せしむる樣設計せり、配筋の數等は前表に明かである。

（第三）　杭打用キャップ (Cap to be used in driving concrete piles).

第百四十二圖



螺狀筋を施したる杭は杭頭に鐵製バンドを用ひ緩衝用木片を使用すれば重量一噸乃至二噸の鐵槌を三尺乃至四尺の高さより落下せしむるも破碎を見ることが稀である、然し螺狀筋を使用せざる杭にては打込みに甚大の注意を要す、第百四十二圖に示したるは先年ミシシッピー川橋梁用鐵筋混凝土杭七百餘本打込みに用ひし方法である、著者は此れを少しく變更し二寸板二枚と古ズック四五枚を重ねバンドを廢し蒸汽鐵槌（約一噸半）以て鐵筋混凝土杭を打込みたれども何等破損を見ない。

（第四）　杭の支持力

(*a*)　柱として働く場合。

此の如き場合は甚だ稀である、然し杭が堅き地盤に達し途中水分多き泥土なる時又は杭の根入數尺にて他は水中に在る場合にては杭の一端固定せられ他端は單に支へられたるものと假定して杭の支持力を計算するを要す其の算式はオイラー氏に依れば次の如し。

$$P=\frac{9\pi^2 EI}{4l^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (201)$$

茲に　P＝最大荷重

E＝材料の彈性係數

I＝杭斷面の惰性率

l＝杭の支へられたる長さ

(*b*)　杭と地との摩擦により支持する場合。

此の杭の支持力を定むるに二つの方法あり、其の一は杭の長さ及大さ、錘の重さ及び其の落下の高さ、最後の一擊により打込みたる距離と杭の支持力との關係を定むる場合、其の二は多くの杭の上に荷重又は壓力等を加へ其の支持力を定め以て杭の支持し得

る荷重を、打込みの深さ、杭の大さ及び地質の種類等により表はす方法である。

然し今日まで鐵筋混凝土杭に對し特に研究された實驗式又は合理式を見ない、次ぎに揭ぐる公式は一般に此の如き杭の支持力計算に用ひられて居る。

ブリックス式 (Brix's Formula).

$$P=\frac{hW^2w}{2e(W+w)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (202)$$

玆に　P＝杭の安全支持力(但し安全率二とす、他の安全率を用ひんとせば公式の分母の2なる數字を變更すれば可なり)

h＝錘の落差

e＝最後の一擊にて打込み得たる深さ(h と同單位)

W＝落錘の重量

w＝杭の自重 (W と同單位)

ウェリントン氏式 (A. M. Wellington's Formula).

特に鐵筋混凝土杭に對する實驗式に非ず、普通木杭支持力の計算に使用す。

落錘 (Drop Hammer) を使用する時、$P=\dfrac{2Wh}{e+1.0}$

蒸汽錘 (Steam Hammer) を使用する時、$P=\dfrac{2Wh}{e+0.1}$　(203)

符號は前と同じ、但し h は(呎)にて表はし e は(吋)を用ふべし。

鐵筋混凝土杭は細く長き割合に多大の重量を許すこと多きが故に杭の摩擦面と其の摩擦面每平方呎の可許荷重との關係を知ることが肝要である。レーモンド混凝土杭會社にて試驗せる結果に據れば次ぎの如し。(Eng. News, Nov. 12, 1914, 992 頁參照)

杭の長さ(呎)	杭の摩擦面積(平方呎)	摩擦面每平方呎に對する最大荷重(封度)
14.8	39.50	1064
26.5	93.50	1230
28.0	100.25	1300

荷重試驗を施して一分の沈下を見たるときの荷重は次ぎの如し。

杭長	荷重(一分の沈下を見たるとき)
14.8	17. 噸
26.5	31. 噸
28.0	45. 噸

此の結果より見るも鐵筋混凝土杭は三十尺の長さを有すれば普通地盤にて二十五噸を安全に支持し得るものと見ることが出來る、又摩擦面積に對しては每平方呎三百封度乃至四百封度を限度とすること肝要である。

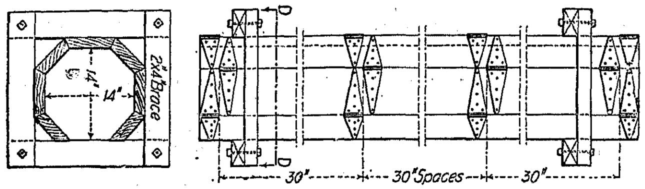
(第五) 製作の方法

鐵筋混凝土杭を製作するには二つの方法が有る。第一は直立の位置で作ること、第二は水平の位置で作ることとて有る、一般には水平の位置で作ることが多いのである。然し此は仕事が容易てあるけれども混凝土は下端に近い方が良く出來、上端の方は弱い

混凝土となり打込むときに幾分彎曲の傾きが有る、此は水平の位置で作つた支柱等の實驗でも明かに見らるる事實で不等質混凝土が出來る爲めである。

直立の位置で作ることは仕事が困難で有るが此の如き缺點はない、獨逸國ハンブルヒ停車場工事に使用せる鐵筋混凝土杭は直立の位置で作り又米シカゴ ロックアイランド及びパシフィック鐵道會社にて製作せる長三十呎杭も直立の位置で作られた、第百四十三

第百四十三圖



圖は其の型枠である、又型は成るべく五日以上經過した後に取り外づすが適當である。

第八十九節　鐵筋混凝土水槽及貯水池

(Reinforced Concrete Tank and Reservoir).

鐵筋混凝土水槽は鐵製水槽よりも價格に於て低廉で又耐久的である、此の如き水槽は製絲工場又はパルプ工場等の化學溶液の貯藏に供せらるるもの少なくない。其の構造法に二種類ある、一は普通鐵筋混凝土工の如く型を作り鐵筋を配當し混凝土を塡充する

ものと、他は金網又はラス (Lath) を組立て之れにセメント、モルタルを塗り水槽の形狀を造る方法である。

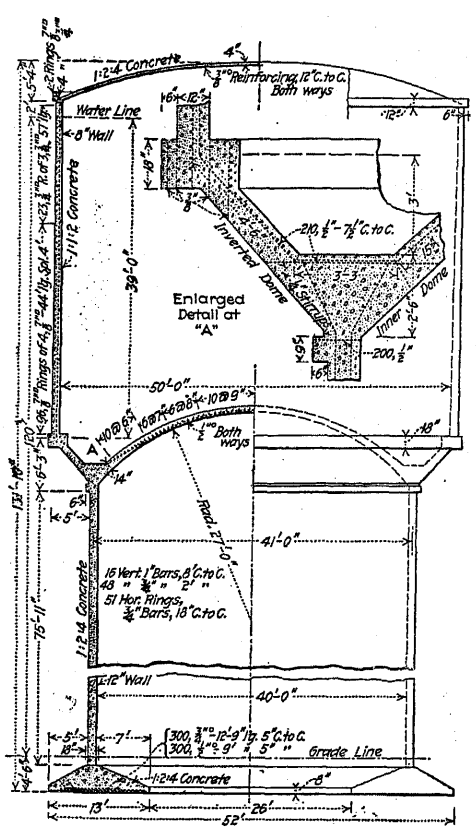
（第一） 構造法。使用材料の撰擇と調合とには耐水的なる樣充分の注意を用ひねばならぬ、砂利の大さは餘り大ならしめず表面を粗ならしめぬ程度とすること肝要である。又混凝土は練方を成るべく軟かくし鐵筋に充分凝着せしめ表面を糊狀とし、且つ全工事を一期に成工せしむること必要である。

如何なる大水槽と雖とも或る高さを全圓周に亘り混凝土工を施し漸次上部に工を進むべし、全圓を數區劃に分ち施工するときは期節の變り目に至れば其の工區の接續線より龜裂を生じ失敗に終るのが普通である。一例を擧ぐれば先年夏米國アイオワ州に直徑約百五十呎の圓形大貯水池が出來上つたので、七月より使用を開始し六、七、八、九の四ヶ月は能く水を貯へ得たるが十月に入り直ちに漏水し始めた、其の原因は十月に入り溫度が急に下降した故に貯水池の壁に縱龜裂を生じた爲めで有つた、其の龜裂は丁度八ヶ所で工區の接續部に當つて居たのである。

鐵筋は水壓力の全量を取り得る丈け必要で有るが、此は內外兩面に近く配置すること必要である。然らざれば溫度變化に對する龜裂を防ぐことが出來ぬ。

第百四十四圖に示せるは北米オンタリオ州ベルリンに建設せられたる鐵筋混凝土水槽で容量五十萬ガロン千九百十二年メンシュ (L. J. Mensch) 氏の設計施工せるものである、同氏は鐵筋混凝土

第百四十四圖



水槽の設計施工に妙技を有する人で、氏の作つたものは何れも皆成功して居る。水槽の直徑五十呎壁厚僅かに八吋で 1:1:2 の混凝土を用ひて施工せられたるものである。

（第二） 計算法

矩形、方形並に多角形の水槽の彎曲率算出法は第八十四節に述べて居る 故に茲には圓形水槽に就て述べよう。圓形水槽に在りては水壓力より來る應張力は全部鐵筋に負擔せしめ、混凝土は此の鐵筋を適當に保持し耐水的ならしむる目的に使用されて居るから、其の目的に添ふ丈けの壁厚が必要である、之は水の深さと混凝土の調合比とに依るものであるから技術者の適當なる判斷に任ずるのみである。

水平鐵筋量は直接水壓力により變化す、而して水壓力は壁の上端で零で底に近くに從ひ增加する。今次ぎの符號を使用す。

H=水平鐵筋量を算定せんとする斷面より上方に在る水の深(呎)

D=水槽又は貯水池の直徑(呎)

A_h=其の斷面に於ける所要水平鐵筋量(平方吋)

f_s=鐵筋上の可許應力度(每平方吋に付き封度)

任意の水平斷面に於て高さ一呎を採り其の部分を破らんとする張力の全量は 62.5 HD である、玆に水一立方呎の重量を 62.5 封度とす、而して此の水平張力に抵抗する鐵筋斷面積は $2A_h$ であるから

$$2A_hf_s=62.5\,HD$$

即ち

$$A_h=\frac{31.25\,HD}{f_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (204)$$

本式より所要鐵筋量を算定することが出來る。實際の場合に無蓋大水槽を作るときには、鐵筋を前列と後列とに分ち壁の表面に近く配置する方得策である、又混凝土上の龜裂を防ぐが爲めに比較的低き可許應張力を採用すべし、即ち每平方吋に付 10,000 乃至 12,000 封度を超過せしめてはいかぬ。

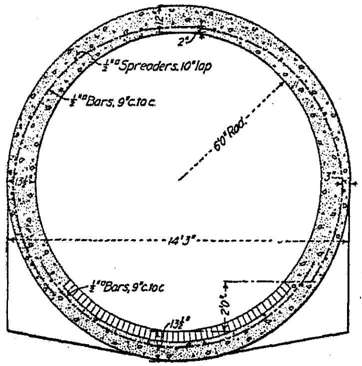
工區每の接續部は充分に注意を加へ舊施工面を掃除し強力のモルタルを塗り接續を完全にすべく、又高き水塔の場合には風壓を考へ煙突として設計するの必要あり。

第九十節 鐵筋混凝土管

(Reinforced Concrete Pipes).

(第一) 鐵筋混凝土管は近來盛んに應用さるるに至つた、鐵道用暗渠として米國各鐵道にては既に直徑六呎位まで使用して居る、其他給水及び排水管等にも應用せられ將來益ゝ其の範圍を擴大するに至るであらう。第百四十五圖に示せるものは米國シアトル市排水用管に使用されたもので直徑十二呎、延長二十一哩四分中に多數使用された。

第百四十五圖



144" Section

鐵筋配置の方法は力學上から明かなるが如く、管の上下に於て內面に近く入れ、管の兩側に於て外面に近く配置すること最も經濟的で在る。

第百四十五圖も亦此の配筋法を採つて居る。

(第二) 實驗成績

次ぎに掲ぐる實驗成績は千九百七年中米國イリノイ大學に於てタルボット教授の施されたるものである。

第三十八表

鐵筋混凝土環及管實驗成績(平等荷重にて)

內徑 (吋)	壁厚 (吋)	延長 (呎)	鐵筋 種類	鐵筋 %	材齡 日數	初めて龜裂を見たるときの荷重(封度)每呎に付き	最大荷重(封度) 全長に就き	最大荷重(封度) 每一呎につき
48	*4 (2.5)	2	¼" コルゲーテッド、バー 八本入	0.8	36	2250	21,000	10,500
48	同	同	同	同	41	3500	47,000	23,500
48	同	同	同	同	38	3250	37,000	18,500
48	同	同	同	同	36	3250	52,000	26,000
48	同	同	同	同	38	3200	50,000	25,000
48	4 (2.75)	同	同	0.8	88	4500	35,000	17,500
48	4 (3.0)	同	同	同	92	4000	38,000	19,000
48	4 (3.0)	同	同	同	90	4000	42,000	21,000
48	4 (3.0)	8.5	¼" コルゲーテッド、バー	0.66	—	8360	268,000	31,500
48	同	8.5	½" 同上	1.39	149	10960	215,000	24,800
48	同	8.5	¼" 同上	0.66	118	4950	202,000	23,000
48	同	8.5	三番線クリントン鐵網	0.88	183	6700	262,000	31,400
36	同	8.5	フェンス鐵網	0.28	92	4950	202,000	23,800

*( )內の文字は壁の鐵筋中心線に至る有効厚を示す。

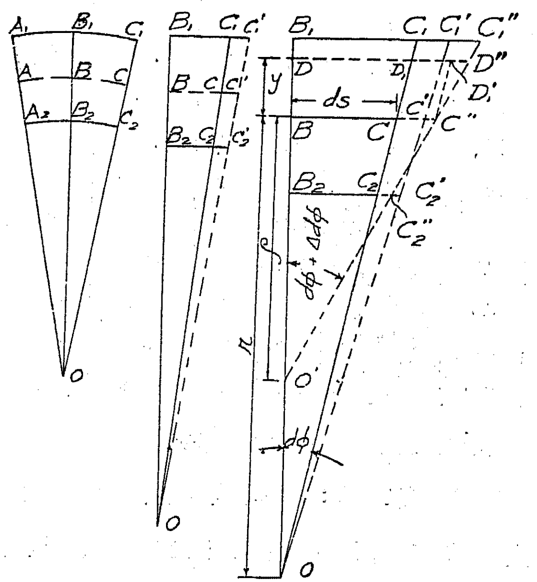
混凝土の配合は何れも1:2:4で、鐵筋は管の上下に於て內側に近く又兩側に於て外面に近く配置したものである、實驗の方法は堅固なる砂箱を作り管又は環を此の內に適當に据ゑ、四方共一呎以上砂にて塡充し此の砂上に百噸水壓機を用ひ實驗せるもので有る、實驗の結果はよく理論と一致せりと曰ふ、環の方は餘り强度優秀でないが管の方は成績一般に頗る優越して居る。是れソッケッ

トが補强したること大なるに依るのである、此の後イリノイ、セントラル鐵道、シカゴ、ミルウォーキー及セントポール鐵道、サンタフェ鐵道其他に於て暗渠用として盛んに採用さるるに至つた、是れ製作据付の容易なることと、强度の優秀なるが爲めである。

（第三）　計算式

(a)　曲材 (Curved member) の應力に關する理論

第　百　四　十　六　圖　(A)



（符號）　M＝任意の斷面に於ける彎曲率

P＝同上斷面に直角に働く直力

f＝同上斷面の任意點に於ける應力度

A＝同上斷面積

E＝材料の彈率

r≒曲材の曲率半徑を表はす一般符號

e＝任意點の纎維の伸張度

e_0＝曲材斷面の中心に於ける伸張度

$\omega=\Delta d\,\phi/d\,\phi$,

y＝斷面中軸線より或る纎維までの距離

$$x=-\frac{1}{A}\int\frac{y}{r+y}da,$$ 矩形斷面ならば

$$x=\frac{1}{3}\left(\frac{t}{d}\right)^2+\frac{1}{5}\left(\frac{t}{d}\right)^4+\frac{1}{7}\left(\frac{t}{d}\right)^6+\text{etc}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots。$$

曲材は直材 (straight member) と異なり、其の應力關係甚だ複雜であるが、要するに其の點に働く直力（張力又は壓力）より生ずる應力變形と、彎曲により生ずる應力變形とを理論的に求め、此等を合せ考へたる結果を數理的に式示するにある、其の方法種々あるが玆には獨逸國スツットガート工科大學敎授バッハ博士の曲桁原理 (Bach's curved beam theory, Elasticitat und Festigkeit, § 54 參照) を述べ、其の理論を管の計算に應用する方法を紹介しよう。

今第百四十六圖 (A) に於て ABC を曲材の一部分とし，A_1A_2 及び C_1C_2 兩斷面の延長が O に於て交叉すると假定せば、此點は部材中軸線 AC の曲率中心點である。攷究の便宜上今部材右半のみを考へ、且つ斷面を無限に接近せるものと見做し、從て B_1C_1，B_2C_2 を直線なりと假定す。今外力 P が斷面 C_1C_2 上に直角且つ一様に働く時は其の原長に應じ壓縮或は伸張せらる、假りに張力なりとせば

$$\frac{C_1C_1'}{B_1C_1}=\frac{C\,C'}{BC}=\frac{C_2C_2'}{B_2C_2}=\text{常數}$$

此の場合に於て移動後の斷面位置 $C_1'C_2'$ の延長は曲率中心 0 を通過すべし。

次ぎに斷面に直角に働く直力 P の外に同じ斷面に於て彎曲率 M が働いて居るものとし、此の M が曲材の曲率を增加する性質のものであると假定せば、初め直力 P の爲め $C_1'C_2'$ の位置を取れる斷面は更に $C_1''\,C_2''$ の新位置を取るに至るべし。從て曲率中心 O は O' に移動す、換言すれば初め兩斷面の狹角 $d\,\phi$ は $d\,\phi+\Delta\,d\,\phi$ に增加する。而して此れが爲め r なる曲率半徑は ρ に短縮される。

今 ds を以て原長 BC を表はし，Δds を以て P と M との爲め生じたる伸長 $C\,C''$ とせば其の單位伸長度は

$$e_0=\frac{\Delta ds}{ds}=\frac{C\,C''}{B\,C}$$

次ぎに中心線 BC より y 丈け離れたる位置の維長を DD_1，其の伸長を D_1D'' とせば單位伸長度は

$$e=\frac{D_1D''}{DD_1}$$

C_1C_2 に平行に $C''D_1'$ を畫いて

$$D_1D''=D_1D_1'+D_1'D''=CC''+D_1'D''$$

$$=e_0\,ds+y.\ 角\ D_1'C''D''=e_0\,ds+y.\ \Delta d\phi.$$

而して
$$DD_1=(r+y)\,d\phi$$

故に
$$e=\frac{e_0\,ds+y\,.\,\Delta d\phi}{(r+y)\,d\phi}=\frac{e_0\dfrac{ds}{d\phi}+y\dfrac{\Delta d\phi}{d\phi}}{r+y}$$

比 $\dfrac{\Delta d\phi}{d\phi}$ を表はすに ω を以てし, $ds=r\,d\phi$ なるにより上式は

$$e=\frac{e_0 r+\omega y}{r+y}=e_0+(\omega-e_0)\frac{y}{r+y},\ \dots\dots\dots\dots\ (a)$$

E を以て材料の彈性係數とせば e 丈けの應力變形に相當する應力 f は次式から求めらるる。

$$f=E\,.\,e=E\Big[e_0+(\omega-e_0)\frac{y}{r+y}\Big]\ \dots\dots\dots\dots\ (b)$$

斷面上に於ける應力は力學上の法則により外力 (P) と彎曲率 (M) を起す偶力 (couple) とに對し平衡を保たねばならぬ、今斷面上の微面積 (elemental area) を表はすに da を以てせば靜力學上の法則から

$$P=\int f\,da=\int E\left[e_0+(\omega-e_0)\frac{y}{r+y}\right]da\ \dots\dots\dots\dots\ (c)$$

$$M=\int y\,.\,f\,da=\int E\,y\left[e_0+(\omega-e_0)\frac{y}{r+y}\right]da\ \dots\dots\dots\ (d)$$

(c), (d) 兩式中に含まるる積分式は

$$\int da,\ \int y\,da,\ \int\frac{y}{r+y}da,\ \int\frac{y^2}{r+y}\,da$$

の四個であるが此の内 $\int da=A=$ 曲材横斷面積、又 y は常に斷面の重心より測るから

$$\int y\,da=0.$$

今計算の便宜上

$$\int\frac{y}{r+y}\,da=-x\,.\,A\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\ (e)$$

と假定せば

$$\int\frac{y^2}{r+y}\,da=\int\Big(y-r\frac{y}{r+y}\Big)\,da=-r\int\frac{y}{r+y}\,da=x\,.\,r\,.\,A$$

此等の値を (c) 及び (d) 式に代用せば

$$P=EA\left[e_0-(\omega-e_0)\,x\right]$$

$$M=EA(\omega-e_0)x.r\qquad 即ち\ \ \omega-e_0=\frac{1}{EA}\ \ \frac{M}{x.r}$$

即ち
$$e_0=\frac{1}{EA}\Big(P+\frac{M}{r}\Big)\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots(A)$$

$$\omega=\frac{1}{EA}\Big(P+\frac{M}{r}+\frac{M}{xr}\Big)\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots(B)$$

(A), (B) 兩式の値を (b) 式に代入し計算を遂ぐれば斷面上の任意點に於ける應力度は次式により表はす事が出來る、

$$f=\frac{P}{A}+\frac{M}{r\,A}+\frac{M}{x\,r\,A}\Big(\frac{y}{r+y}\Big)\dots\dots\dots\ (205)$$

本式の應用に當り特に注意すべきは各量に對する符號である。P は曲材に張力を起す時に正號を用ひ、壓力を生ぜしむる時に負號を用ふ、又 M は部材の曲率を增す (半徑を減ず) 時に正號、曲率を減ずる (半徑を增す) 時に負號を使用す。y は曲材の外方に測る時に正とし、內方即ち曲率中心の方向に測る時に負とす、而して (205) 式より定めたる f の値が正ならば應張力で負ならば應壓力である。

(e) 式に揭げたる函數 x 即ち

$$x=-\frac{1}{A}\int\frac{y}{r+y}\,da$$

は曲材横斷面の形狀如何により定むべき積分式である、今矩形斷面ならば (斷面の幅を b とし厚さを t とす)

$$x=-\frac{1}{A}\int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}}\frac{y}{r+y}da=\frac{b}{A}\int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}}\Big(-1+\frac{r}{r+y}\Big)\,dy$$

$$=\frac{b}{A}\Big[-y+r\log(r+y)\Big]_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}}=\frac{b}{A}\left\{-t+r\log_e\left(\frac{1+\frac{t}{d}}{1-\frac{t}{d}}\right)\right\}$$

$$=\frac{1}{3}\Big(\frac{t}{d}\Big)^2+\frac{1}{5}\Big(\frac{t}{d}\Big)^4+\frac{1}{7}\Big(\frac{t}{d}\Big)^6+\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\ (e')$$

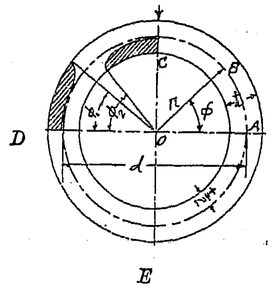
茲に $d=2r$ であるから圓管であれば其の直徑にして t は曲材の厚さである。

(b) 圓管の頂上に集荷重を加ふる場合[第百四十六圖 (B)]

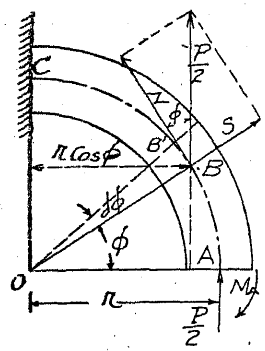
(1) 彎曲率の算定

第百四十六圖 (B) の (イ) に示せる如く管の頂上 C 點に P なる集荷重を加へたりとせば AC, CD, AE, 及び DE 共同一狀態に在るから、(ロ) 圖の如く AC の部分のみにつき考へて充分である。今 A 點を通ずる斷面上に働く外力は反力 $\frac{P}{2}$ と彎曲率 M_A とのみである。次ぎに AC 線上の任意の點 B を通ずる斷面上に働く外力を求めよう、A より C までの間に附加外力が無いから B 點に於ても直力 (direct force) は $\frac{P}{2}$ である、此の力を OB に平行なる方向と之に直角なる方向とに分解せば (一は壓力を示す)、

第百四十六圖 (B) (イ)



第百四十六圖 (B) (ロ)



剪力　$S=\frac{P}{2}\sin\phi,\qquad N=-\frac{P}{2}\cos\phi.$

又其の點に於ける彎曲率 (M) は,　$M=M_A-\frac{Pr}{2}(1-\cos\phi)$ ....(i)

バッハ氏曲桁公式 (205) によれば,　$f=\frac{N}{A}+\frac{M}{rA}+\frac{M}{xrA}\left(\frac{y}{r+y}\right)$

玆に y は斷面の重心より應力度を求めんとする纖維までの距離卽ち最外纖維ならば $y=+\frac{t}{2}$, 最內纖維ならば $y=-\frac{t}{2}$ である。

從て

$$f.A=N+\frac{M}{r}+\frac{M}{xr}\left(\frac{y}{r+y}\right)$$

$$=-\frac{P}{2}\cos\phi+\frac{1}{r}\left[M_A-\frac{Pr}{2}(1-\cos\phi)\right]$$

$$+\frac{1}{xr}\left[M_A-\frac{Pr}{2}(1-\cos\phi)\right]\frac{y}{r+y}$$

$$=\frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}+\frac{1}{x}\left(\frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}+\frac{P\cos\phi}{2}\right)\frac{y}{r+y}\ \ldots\ldots(ii)$$

玆に M_A は尙ほ未知量であるから之れを算定せねばならぬ。そこで四分管の中軸線 AC が應力の爲め如何に變形すべきかを考ふべし。今外力が加はつても AOC なる角度は常に直角である、又 B 點に無限に接近せる點 B' をとり、角 $BOB'=d\phi$ とせば應力變形に關し前に述べた假定より、

$$\frac{\Delta d\phi}{d\phi}=\omega,\quad \text{卽ち}\quad \Delta d\phi=\omega d\phi$$

$\Delta d\phi$ は應力變形から起る $d\phi$ の微少變化であるが、A から C までの間の其の總和は零であるが故に

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}}\omega\, d\phi=0.$$

然るに前に述べたる (B) 式より

$$\omega=\frac{1}{EA}\left(N+\frac{M}{r}+\frac{M}{xr}\right)$$

(ii)式より　$\omega=\frac{1}{EA}\left[\frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}+\frac{1}{x}\left(\frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}+\frac{P\cos\phi}{2}\right)\right]$

故に　$\int_0^{\frac{\pi}{2}}\omega\, d\phi=\frac{1}{EA}\left[\left\{\frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}+\frac{1}{x}\left(\frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}\right)\right\}\frac{\pi}{2}+\frac{P}{2x}\right]=0$

從て　$\left(\frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}\right)\left(1+\frac{1}{x}\right)\frac{\pi}{2}=-\frac{P}{2x}$

$$\left(\frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}\right)(1+x)\,\pi=-P,\quad \frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}=\frac{-P}{(1+x)\,\pi}\ \ldots.(iii)$$

$$M_A=\frac{P}{2}\left[1-\frac{2}{(1+x)\,\pi}\right]r=\frac{Pd}{4}\left[1-\frac{2}{(1+x)\,\pi}\right]\ ..(205.a)$$

今 (i) 式により　$M=M_A-\frac{Pr}{2}(1-\cos\phi)$

此內 M_A に (205.a) 式の値を代入すれば、

$$
\begin{aligned}
M &= \frac{Pd}{4}\left[1-\frac{2}{(1+x)\pi}\right]-\frac{Pd}{4}\left(1-\cos\phi\right)\\
&= \frac{Pd}{4}\left[\cos\phi-\frac{2}{(1+x)\pi}\right] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (205.b)
\end{aligned}
$$

本式は管の任意點（例へば B）に於ける彎曲率を與ふるベッハ氏式である。ϕ なる角度は OA より測り A 點の彎曲率ならば ϕ を零度と置きて求むる事が出來、又管頂 C 點の彎曲率 (M_c) ならば $\phi=90°$ と置きて求むる事が出來る、即ち

$$M_c=\frac{-Pd}{2\pi(1+x)}.$$

x は斷面の形狀により定めらるべき値であるが矩形斷面であれば前述の (e') 式から算出する事が出來る。

(2) 維應力 (Fiber stress) の算定

維應力は次ぎの如く算出する事が出來る、(ii) 式と (iii) 式とより、

$$
\begin{aligned}
fA &= \frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}+\frac{1}{x}\left(\frac{M_A}{r}-\frac{P}{2}+\frac{P\cos\phi}{2}\right)\frac{y}{r+y}\\
&= \frac{-P}{(1+x)\pi}+\frac{1}{x}\left[-\frac{P}{(1+x)\pi}+\frac{P\cos\phi}{2}\right]\frac{y}{r+y}
\end{aligned}
$$

$$
\left.
\begin{aligned}
f &= \left(\begin{matrix}\text{任意の斷面に}\\ \text{於ける維應力}\end{matrix}\right)=\frac{P}{2A}\left\{\frac{-2}{\pi(1+x)}+\frac{1}{x}\left[\frac{-2}{\pi(1+x)}+\cos\phi\right]\frac{y}{r+y}\right\}\\
f_c &= \left(\begin{matrix}\text{管頂 } C \text{ に於}\\ \text{ける維應力}\end{matrix}\right)=\frac{P}{2A}\left\{\frac{-2}{\pi(1+x)}+\frac{1}{x}\left[\frac{-2}{\pi(1+x)}\right]\frac{y}{r+y}\right\}\\
&= \frac{-P}{A\pi(1+x)}\left\{1+\frac{y}{x(r+y)}\right\}\\
f_A &= \left(\begin{matrix}A\text{ 點に於ける}\\ \text{維應力}\end{matrix}\right)=\frac{P}{2A}\left\{\frac{-2}{\pi(1+x)}+\frac{1}{x}\left[1-\frac{2}{\pi(1+x)}\right]\frac{y}{r+y}\right\}
\end{aligned}
\right\} \quad (206)
$$

以上の諸式は曲狀桁の原理を用ひし爲め複雜であるが近似計算法を取り、Straight beam theory を用ふればタルボット教授に從ひて、(Bulletin, No. 22, Univ. of Illinois Eng. Exp. Station 參照。)

$$
\left.
\begin{aligned}
M &= \frac{Pd}{4}\left(\cos\phi-\frac{2}{\pi}\right)\\
M_c &= \frac{-Pd}{2\pi}\\
M_A &= \frac{Pd}{4}\left(1-\frac{2}{\pi}\right)
\end{aligned}
\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (205')
$$

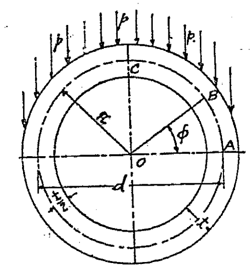
同樣に緣維應力 (Extreme Fiber Stress) を求むる公式は次の如し、

$$
\left.
\begin{aligned}
f &= \frac{P}{2A}\left\{\cos\phi+\frac{3\left(\cos\phi-\frac{2}{\pi}\right)}{\left(\frac{\pm t}{d}\right)}\right\}\\
f_c &= \frac{3P}{A\pi\left(\frac{\pm t}{d}\right)}\\
f_A &= \frac{P}{2A}\left\{1+\frac{3\left(1-\frac{2}{\pi}\right)}{\left(\frac{\pm t}{d}\right)}\right\}
\end{aligned}
\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (206')
$$

著者は (206) 式より管の抗張區域と抗壓區域とを定むること必要なるを認め、t と d との各種の場合に付き ϕ_1 及び ϕ_2（第百四十六圖 B. イ）の値を算定した結果は次ぎの如くである。

管の厚さ	ϕ_1	ϕ_2
$\frac{1}{20}d$	40°−50′	51°−15′
$\frac{1}{10}d$	48°−50′	52°−0′
$\frac{1}{6.67}d$	48°−0′	52°−50′
$\frac{1}{5}d$	47°−12′	53°−35′
$\frac{1}{4}d$	46°−20′	54°−20′

第百四十七圖



第百四十六圖 (B. イ) に於て陰線を施したる部分は管の四分圓に於ける抗張區域を示したものである。

(c) 管上に等布荷重を加ふる場合（第百四十七圖）。

管の全徑 ($d+t$) 上に p なる等布荷重を加ふるときは曲狀桁の原理を應用して次ぎの結果式を得べし、本公式は著者の定めたるもので使用符號は凡て (a) (b) の場合と同じ、

$$
\left.
\begin{aligned}
M &= \frac{pd^2}{16}\left(1+\frac{t}{d}\right)\left\{\left(6-\frac{8}{\pi}\right)-\left(1+\frac{t}{d}\right)\left(3-\frac{8}{\pi}\right)-\frac{2}{1+x}\right.\\
&\qquad \left.-2\left[2-\left(1+\frac{t}{d}\right)\left(1-\cos\phi\right)\right]\left(1-\cos\phi\right)\right\}\\
M_c &= \frac{pd^2}{16}\left(1+\frac{t}{d}\right)\left\{\left(6-\frac{8}{\pi}\right)-\left(1+\frac{t}{d}\right)\left(3-\frac{8}{\pi}\right)-\frac{2}{1+x}-2\left(1-\frac{t}{d}\right)\right\}
\end{aligned}
\right\} \quad (207)
$$

$$M_A=\frac{pd^2}{16}\left(1+\frac{t}{d}\right)\left\{\left(6-\frac{8}{\pi}\right)-\left(1+\frac{t}{d}\right)\left(3-\frac{8}{\pi}\right)-\frac{2}{1+x}\right\}$$

縦應力は次式により算定することを得、

$$\left.\begin{aligned}
f&=\frac{pd}{8A}\left(1+\frac{t}{d}\right)\Bigg[-4\cos^2\phi+\Bigg\{\left(6-\frac{8}{\pi}\right)-\left(1+\frac{t}{d}\right)\left(3-\frac{8}{\pi}\right)\\
&\quad-\frac{2}{1+x}-2\left[2-\left(1+\frac{t}{d}\right)(1-\cos\phi)\right](1-\cos\phi)\\
&\quad+\frac{1}{x}\Bigg\{\left(6-\frac{8}{\pi}\right)-\left(1+\frac{t}{d}\right)\left(3-\frac{8}{\pi}\right)-\frac{2}{1+x}\\
&\quad-2\left[2-\left(1+\frac{t}{d}\right)(1-\cos\phi)\right](1-\cos\phi)\Bigg\}\frac{y}{r+y}\Bigg]\\
f_c&=\frac{pd}{8A}\left(1+\frac{t}{d}\right)\left\{\frac{x-1}{x+1}+\left(\frac{8}{\pi}-1\right)\frac{t}{d}\right\}\left[1+\frac{1}{x}\left(\frac{y}{r+y}\right)\right]\\
f_A&=\frac{pd}{2A}\left(1+\frac{t}{d}\right)\left\{-1+\frac{1}{4}\left[\frac{1+3x}{1+x}-\left(3-\frac{8}{\pi}\right)\frac{t}{d}\right]\left[1+\frac{1}{x}\left(\frac{y}{r+y}\right)\right]\right\}
\end{aligned}\right\}\quad(208)$$

近似式 Straight beam theory により等布荷重を管の直徑卽ち d 上にのみ加へたる場合に對し解けばタルボット教授に從ひて

$$\left.\begin{aligned}
f&=\frac{pd}{2A}\left[\cos^2\phi\pm\frac{1.5}{\left(\frac{t}{d}\right)}\left(\frac{1}{2}-\cos^2\phi\right)\right]\\
f_c&=\frac{3pd}{8A\left(\frac{t}{d}\right)}\\
f_A&=\frac{pd}{2A}\left(1\mp\frac{3}{4\left(\frac{t}{d}\right)}\right)
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(209')$$

鐵筋混凝土管に於ては壁厚一般に薄きを以て等布荷重が直徑上 (卽ち d) にのみ加へらるゝものと假定せば (208) 式は次の如く簡約せらるべし。

$$\left.\begin{aligned}
f&=\frac{pd}{2A}\left\{-\cos^2\phi+\frac{1}{4}\left[\frac{3x+1}{x+1}-2(1-\cos^2\phi)\right]\left[1+\frac{1}{x}\left(\frac{y}{r+y}\right)\right]\right\}\\
f_c&=\frac{pd}{2A}\left\{\frac{x-1}{4(x+1)}\left[1+\frac{1}{x}\,\frac{y}{r+y}\right]\right\}\\
f_A&=\frac{pd}{2A}\left\{-1+\left[\frac{3x+1}{x+1}\right]\left[1+\frac{1}{x}\left(\frac{y}{r+y}\right)\right]\right\}
\end{aligned}\right\}\quad(209)$$

今バッハ氏曲狀桁の原理により解きたる式の數値とタルボット氏近似式數値とが幾何の差を實際上生ずるかを檢せんが爲め著者は第三十九表を計算せり。

第 三 十 九 表

バッハ氏式とタルボット氏式との應力係數比較表

荷重法		バッハ氏式 (Bach)					タルボット氏式 (Talbot)				
	$\frac{t}{d}$ の値	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
集中荷重(第百四十六圖)		第 (206) 式 $\frac{P}{2A}$ の係數					第 (206′) 式 $\frac{P}{2A}$ の係數				
	管頂 C 點 張應力	39.51	20.37	14.05	10.84	8.93	38.20	19.10	12.75	9.54	7.64
	管頂 C 點 壓應力	36.94	17.81	11.47	8.28	6.36	38.20	19.10	12.75	9.54	7.64
	管側 A 點 張應力	20.22	9.27	5.72	3.93	2.88	20.9	9.95	6.30	4.47	3.38
	管側 A 點 壓應力	23.69	12.75	9.23	7.46	6.45	22.9	11.95	8.30	6.47	5.38
等布荷重(第百四十七圖)		第 (209) 式 $\frac{pd}{2A}$ の係數					第 (209′) 式 $\frac{pd}{2A}$ の係數				
	管頂 C 點 張應力	15.52	7.97	5.49	4.18	3.45	15.0	7.50	5.00	3.75	3.00
	管頂 C 點 壓應力	14.50	6.98	4.48	3.21	2.45	15.0	7.50	5.00	3.75	3.00
	管側 A 點 張應力	13.53	6.07	3.62	2.39	1.67	14.0	6.50	4.00	2.75	2.00
	管側 A 點 壓應力	16.52	9.07	6.65	5.42	4.75	16.0	8.50	6.00	4.75	4.00

以上表示せる結果を比較するに管壁甚しく厚からざる限り兩氏の式値に大差を見ない。而して鐵筋混凝土管は壁厚概ね直徑の十分の一以內に在るを以て其の純理論値との差六パーセント內外に過ぎない、故に實用上タルボット氏近似式を使用するも差支ないと云ふことが出來る。

以上の如く各荷重法に對する彎曲率及び維應力等は (205) 式乃至 (209) 式に揭げて有るから，鐵筋混凝土管の理論的配筋法、所要鐵筋斷面積並に維應力等は第五章に揭げたる桁の理論により容易に算定する事が出來る。

(d) 管の垂直及び水平撓度

直徑の割合に厚さの薄き管の垂直並に水平撓度は次式により算定する事が出來る（タルボット教授による）。

(1) 管の上下より集荷重 P を加ふる場合〔第百四十六圖 (B)〕

$$\Delta y=\left(\begin{array}{c}\text{管の垂直撓度卽ち}\\ \text{垂直直徑の變化}\end{array}\right)=-0.15\,\frac{Pr^3}{EI}$$

$$\Delta x=\left(\begin{array}{c}\text{管の水平撓度卽ち}\\ \text{水平直徑の變化}\end{array}\right)=0.136\,\frac{Pr^3}{EI}.$$

(2) 管上に等布荷重 p を加ふる場合〔第百四十七圖〕

$$\Delta y=-\frac{pr^4}{6\,EI}$$

$$\Delta x=\frac{pr^4}{6\,EI}.$$

(第四) 以上の外鐵筋混凝土は電柱、枕木並に標木其他に應用せられて居るが此等に關する詳論は後日に讓る。

(e) 彎曲應力を受くる管の壁厚算定法。

水壓管の如く管內を通ずる水の壓力により、管の全體に一樣の張力 (Radial Tension) を生ずるものは、管の厚さとしては單に漏水せしめざる程度に止めて可なるも、今高き築堤其他の中に埋め込み、外部より垂直又は水平等の荷重を受くる管に於ては、彎曲率の爲め管壁に應壓力並に應張力を生ず、從て適當の厚さを理論的に定むる事必要である。今次ぎに其の算出法を述べん。

(1) 管の頂上に集荷重を加ふる場合。

第三十九表を見るに管の厚さが甚しく大ならざる限り Straight beam theory に因る公式の値と Curved beam theory による公式の値と比較するに著しき差を生じない、故に玆には前者により管壁の厚さを定むる公式を誘導せん。今 (206′) 式 (380c 頁) 中より管頂に於ける維應力 (f) は次ぎの如し、

$$f=\frac{3P}{\pi A\left(\frac{t}{d}\right)}$$

玆に A は管の頂部に於ける斷面積で有る、其の斷面の長さを b とせば $A=bt$,

從て
$$f=\frac{3Pd}{\pi bt^2}$$

或は
$$t=\sqrt{\frac{3Pd}{\pi bf}}$$

今 b を單位幅一呎とせば

$$t=\sqrt{\frac{3Pd}{\pi f}} \quad \cdots\cdots\cdots (212)$$

玆に、
- t=管の所要厚(呎)
- d=管の直徑(呎)
- f=混凝土上の可許應力(一平方呎に付き封度)
- P=管頂に働く集荷重(管長一呎に付き封度)

鐵筋を使用せざる管に在りては、f を混凝土上の可許應張力に取らねばならぬ。

(例) 鐵筋混凝土管の直徑を三呎とし、管頂に $P=2000$ 封度(每呎)の集荷重を加ふるものとす、今 $f=500$#/□″ とせば管の厚さを幾何とすべきや。

(解) $f=500$#/□″ なるにより一平方呎に對しては、$f=500\times144=72{,}000$ 封度なり、故に (212) 式より

$$t=\sqrt{\frac{3\times2000\times3.}{3.14\times72,000.}}=0.282\ 呎$$

鐵筋混凝土管に在りては鐵筋の外方に相當厚の混凝土を要す、其の厚さを六分とせば管壁の厚さを約三寸四分とするを可とす。

---

(2)　管上に等布荷重を加ふる場合。

等布荷重を管上に加ふる場合には、最大應壓力を生ずる點は管頂に非ずして管側(Side point of pipe)なる事は第三十九表より明瞭である。故に管壁の厚さは此の點より定めなければならぬ。依て(209′)式(380d頁)中の第三式より

$$f=\frac{pd}{2A}\left(1+\frac{3}{4\frac{t}{d}}\right).$$

玆に A は管壁の斷面積で有るから $A=bt$, 此の値を上式に代用し、更に t に關し之れを解けば次ぎの結果式を得べし。

$$t=\frac{pd}{4fb}\left(1+\sqrt{1+\frac{6fb}{p}}\right)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\ (213)$$

本式に於て今 b を單位長例へば 1 呎と假定せば次ぎの如し。

$$t=\frac{pl}{4f}\left(1+\sqrt{1+\frac{6f}{p}}\right)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\ (214)$$

玆に、
- t＝管の所要厚(呎)
- d＝管の直徑(呎)
- f＝混凝土上の可許應壓力(一平方呎に付き封度)
- p＝管頂上に働く等布荷重(管の直徑上一平方呎に付き封度)

以上は管壁を成せる混凝土の應壓力により定むる公式であるが、今管に鐵筋を有せず從て管の强度が混凝土の抗張力により支配せらるる時は次式を使用せなければならぬ。(209′)式より

$$f_t=\frac{pd}{2A}\left(1-\frac{3}{4\frac{t}{d}}\right)$$

前述の方法と同樣に解き t に關する結果式を得る事次ぎの如し。

$$t=\frac{pd}{4f_t}\left(1+\sqrt{\frac{6f_t}{p}-1}\right)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\ (215)$$

玆に、t, d 及 p 等は(214)式に同じ、但し

f_t＝混凝土(モルタル管の時はモルタル)上の可許應張力(一平方呎に付き封度)

(例一)　管の直徑三呎, $p=800$#/□′, $f=500$#/□″$=72,000$#/□′, 管壁の厚さを求む。

(解)　(214)式により

$$t=\frac{800\times3}{4\times72,000}\times\left(1+\sqrt{1+\frac{6\times72,000}{800}}\right)=0.202\ 呎$$

即ち鐵筋外方の混凝土厚五分を加へ壁厚約二寸五分とす。

(例二)　調合 1:2 モルタル製管の直徑二呎, $p=400$#/□′, f_t＝モルタルの可許應張力＝250#/□″＝36,000#/□′, 管壁の厚さを求む。

(解)　(215)式を使用す。

$$t=\frac{400\times2}{4\times36,000}\times\left(1+\sqrt{\frac{6\times36,000}{400}-1}\right)=0.135\ 呎$$

即ち壁厚約一寸四分とせば充分なり。

(第四)　鐵管混凝土管に關する計算例示。

(例一)　高さ二十呎の築堤下に直徑三呎の鐵筋混凝土管を埋設せんとす。管壁の厚さ及鐵筋量を算定せよ。但し混凝土の可許應壓力　$(f_c)=600$#/□″,　鐵筋上の可許應張力$(f_s)=16,000$#/□″, $n=15$　とす。

(解)　(1) 垂直土壓力の算定。第一に管上に來るべき築堤土砂の重量を定めんに、354頁末段の表より、$\frac{p_s}{p_v}=\frac{1}{3}$, f＝土砂の摩擦係數＝0.2　と假定せば、管上築堤の高さ二十呎の場合には、(354頁表參照)

$$垂直土壓力=p_v=1305\#/□′$$

(2)　管の厚さの算定。

管の厚さは(214)式より求むる事が出來る、即ち管の自重　45#/□′　と假定せば管上の等布垂直荷重 $p=1305+45=1350$#/□′ なるにより、

$$t=\frac{1350\times3}{4\times600\times144}\times\left(1+\sqrt{1+\frac{6\times600\times144}{1350}}\right)=0.241\ 呎$$

故に鐵筋外部混凝土厚六分を加へ管壁の厚さを 3 寸と假定す。次ぎに曲桁の理論により彎曲率を定めん。$\frac{t}{d}=\frac{0.3}{3.0}=\frac{1}{10}$. 故に 377 頁より

$$x=\frac{1}{3}\times\left(\frac{1}{10}\right)^2+\frac{1}{5}\times\left(\frac{1}{10}\right)^4+\frac{1}{7}\left(\frac{1}{10}\right)^6+\text{etc}\ldots\ldots=\frac{1}{300}+\frac{1}{50,000}+\&c\ldots\ldots\fallingdotseq 0.00335$$

(3) 管頂及管側部に起る彎曲率の算定。

管の頂部 (Crown point) に起る彎曲率は (207) 式 (380c 頁)より求め得べし。即ち、

$$M_c=\frac{1350\times3\times3}{16}\left(1+\frac{1}{10}\right)\left\{6-\frac{8}{\pi}-\left(1+\frac{1}{10}\right)\left(3-\frac{8}{\pi}\right)-\frac{2}{1+x}-2\times\left(1-\frac{1}{10}\right)\right\}$$

$$=-700\text{ 呎封度}=-8,400\text{ 吋封度}$$

又管の兩側點 (Side points) に起る彎曲率 (M_A) は、380d 頁第一行目の公式より、

$$M_A=\frac{1350\times3\times3}{16}\times\left(1+\frac{1}{10}\right)\left\{6-\frac{8}{\pi}-\left(1+\frac{1}{10}\right)\left(3-\frac{8}{\pi}\right)-\frac{2}{1+x}\right\}$$

$$=+803\text{ 呎封度}=+9,640\text{ 吋封度}$$

以上は曲桁の原理に從ひ彎曲率を算出したれども、今タルボット教授の直桁理論によれば、

$$M_c=\frac{-pd^2}{16}=-9110\text{ 吋封度},\qquad M_A=\frac{pd^2}{16}=+9110\text{ 吋封度}$$

(附言、曲桁原理によれば此等兩式は本例題の場合には次ぎの如し、

$$M_c=\frac{-pd^2}{16}\left(1+\frac{t}{d}\right)\times0.866,\qquad M_A=\frac{pd^2}{16}\left(1+\frac{t}{d}\right)\times0.968$$

即ち直桁式の數係數 1.0 が曲桁式では 0.866 又は 0.968 となる。故に曲桁式は理論が正確なる丈け彎曲率は減少し、從て材料は幾分經濟となる。)

(4) 鐵筋量の算定。

先づ管頂 (Crown) に於ける所要鐵筋斷面積を略定せんに近似式にて

$$A=\frac{M}{\frac{7}{8}f_s d}=\frac{8400}{0.875\times16,000\times3}=0.200\square''/\text{每呎}$$

今 $\frac{1}{4}''$ 丸棒を 0.24 呎間に使用すれば(但し有効管厚=3″)

$$A=0.205\square''/\text{每呎},\qquad p=\frac{A}{bd}=\frac{0.205}{12\times3}=0.57\%$$

從て $k=\sqrt{2np+(np)^2}-np\fallingdotseq0.339$ .... (4) 式による

$$j=1-\frac{k}{3}=0.887$$

故に $f_s=\frac{M}{Ajd}=\frac{8400}{0.205\times0.887\times3}=15,400\#/\square''$

$$f_c=\frac{2M}{kjbd^2}=\frac{2\times8400}{0.339\times0.887\times12\times3\times3}=517\#/\square''$$

即ち以上の計算により管の頂部に於ては其の内側に近く $\frac{1}{4}$ 吋丸棒を二寸四分の間隔に配置せば充分なるを知れり。

次ぎに管の側部に於ける鐵筋量を算定す可し。管頂と同樣の鐵筋を壁の外側(管の内面より 3 吋の位置)に近く配置し其の間隔を前同樣二寸四分とせば、$p=0.57\%$ なること前述の如し。

管側部に於ける最大彎曲率 $M=9640$ 吋封度にして、其の部分に於ける直壓力

$$N=1350\times\frac{3}{2}=2,025\text{ 封度}$$

故に $e=\text{偏倚}=\frac{M}{N}=\frac{9640}{2025}=4.76\text{ 吋}$

今管壁の全厚を h とせば $\frac{e}{h}=\frac{4.76}{3.6}=1.32$

此の場合は單鐵筋を有する斷面上に彎曲率と同時に直壓力を受くるを以て第五章第三十四節 (III)の項に述べたる公式(61)を使用して中軸線の位置を定めなければならぬ、

即ち $k^3+3k^2\left(\frac{e}{h}-\frac{1}{2}\right)+6np\left(\frac{e}{h}+\frac{a}{h}\right)k-6np\left(\frac{a}{h}+\frac{1}{2}\right)\left(\frac{a}{h}+\frac{e}{h}\right)=0.$

本問題に於ては $\frac{e}{h}=1.32$, $\frac{a}{h}=0.333$, $n=15$, $p=.0057$ なるにより、以上の三次方程式を解けば k の値は次ぎの如し。 $k=0.37$

次ぎに (62) 式より f_c の値を算定すべし。

$$f_c=\frac{2025}{12\times3.6}\left[\frac{0.37}{\frac{0.37^2}{2}-15\times.0057\times(0.833-0.37)}\right]=604\#/\square''.$$

從て管側部の鐵筋應張力は

$$f_s=nf_c\left(\frac{d}{kh}-1\right)=15\times604\times\left(\frac{3.0}{0.37\times3.6}-1\right)=11,330\#/\square''.$$

以上計算の結果を總合せば次ぎの如し、

$$\text{管頂部}\begin{cases}f_c=517\#/\square''\\ f_s=15,400\#/\square''\end{cases}\qquad \text{管側部}\begin{cases}f_c=604\#/\square''\\ f_s=11,330\#/\square''\end{cases}$$

管の壁厚 =0.30呎、鐵筋、$\frac{1}{4}''\phi$ を 0.24 呎の間隔とし管頂部にては管の内面に近く、管側部に於ては其の外面に近く配置す可し。又管の長手に用ゆる鐵筋は $\frac{1}{4}''\phi$、十本にて充分なり。