

# 論說報告

土木學會誌 第九卷第二號 大正十二年四月

## 水壓管ノ彎曲點ニ働ク外力ニ就テ

准員工學士 增谷悠

### 内 容 梗 概

發電水力用水壓管支臺ノ大キサヲ決定スルタメノ外力ノ取り方が從來屢々不合理ニ考ヘラレタルニアラズヤトノ疑問ヨリ出發シテ著者ノ思考シテ斯ク無カレヘカラズトスル諸點ヲ開陳シ合ハセテ圖式解法ヲ導入シテ問題ヲ可及的容易ナラシメシゴトヲ試ミタリ尙水壓管ノ垂直水平兩方向ニ彎曲スル場合ニモ圖式解法ヲ適用セリ

### 一 緒 言

私ハ茲ニ此ノ標題ヲ掲ゲテ次ノ點ニ關シ私ノ考ヲ述ベタイト思フ

(イ) 從來鐵管支臺ノ設計ニ當ツテ屢々考ヘラレテ來タ外力ノ取り方が其最モ重大ナ影響ヲ及ボス點ニ於テ根本的ナ誤謬アルコトヲ信ゼネバナラナクナツタコト

(ロ) 彎曲點ニ働ク外力ハ圖上ニ於テ結合スルコトガ最モ便利デアアルコト

從來鐵管支臺ガ如何様ナ方法デ設計サレテ來タカハ淺學ナル私ノ知悉スル所デハナイガ尠クトモ私ノ知り得タ範圍内デ實際ニ設計ノ準據トナツタ實例ガアリ尙今後モ利用セラレルカモ知レナイ鐵管支臺ノ計算法(例ヘバ E. Koehn 氏著 Der Wasserbau ニ載レルモノ、如キ)ニ就テハ其外力ノ取り方が過大デ從テ支臺ヲ大ニ失セシメハシナカツタカヲ恐レルノデコノ點ニ關シ切ニ先輩諸士ノ御此正ヲ仰ギ度イト思ヒ敢テ拙文ヲ草シタ次第デアアル

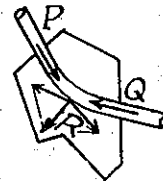
### 二 從來ノ方法ニ對スル批判

凡ソ支臺ニ働ク外力トシテ次ノ如キモノガ考ヘラレテ居ル

論說報告 水壓管ノ彎曲點ニ働ク外力ニ就テ

- (一) 水 壓 管 ノ 傾 斜 ニ ヨ リ 生 ズ ル 諸 種 ノ 力
- (二) 管 内 流 水 ノ 磨 擦 力 ガ 管 ニ ヨ リ テ 支 臺 ニ 傳 ヘ ラ レ ル コ ト
- (三) 管 ノ 彎 曲 部 ニ 於 ケ ル 管 内 流 水 ノ 衝 動

第 一 圖



- (四) 管 ノ 彎 曲 部 ニ 於 ケ ル 水 壓 ノ 合 成 力  
即 ち 鐵 管 ノ 彎 曲 部 ニ 水 壓  $P$ 、 $Q$  ノ 合 成 力  $R$  ヲ 外 力 ト 考 フ ル コ ト
- (五) 管 ノ 彎 曲 部 ニ 於 テ 彎 曲 ノ 外 側 ノ 鐵 管 壁 ノ 面 積 ガ 内 側 ノ ソ レ ヨ リ 大 ナ ル タ メ ニ 起 ル 水 壓 ノ 不 平 均

- (六) 水 壓 管 ノ 彎 曲 ス ル タ メ ニ 生 ズ ル も ー め ん と
- (七) 溫 度 ノ 變 化 ニ 由 リ テ 生 ズ ル 水 壓 管 ノ 伸 縮 應 力

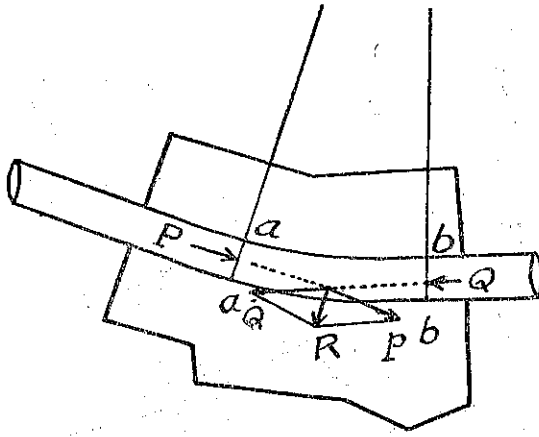
以上ノ七項目ヲ概觀スルニソレツレノ値ハ水頭ノ多小ニ依ツテ支臺ニ對スル影響ニ變化ハアルケレドモ普通ノ場合一番大キナ値ヲ持ツモノハ(四)項及ビ(五)項デアツテ(一)項コレニ次ギ其他ノ(二)(三)(六)項ノ如キハコレヲ省略スルモ大勢ニ影響シナイ程小サイ(七)項ハ管ニ伸縮接合ヲ作レバ著シク輕減セラレルカラ鐵管支臺ノ大キサハ結局殆んど(一)(四)(五)ノ三項ニ依テ決定サレルモノト見ラレル(四)項トハ其働ク方向ガ一致シテ居ルタメニ其影響ハ特大キイ然ルニ今少シ深く立チ入ツテ考察シテ見ルト(一)項ニ於テ既ニ根本的ナ誤謬ガアルコトヲ指摘スルコトガ出來ルガ最重要ナノハ上ノ如ク(四)項ト(五)項トヲ別箇ノ外力トシテ相重ネルコトノ誤リナル事デアル(四)項ト(五)項トノ値ニタマタマ些少ノ差異ヲ生ズルノハ其ノ基本ノ算式ノ出シ方ガ理論上ノ嚴密ヲ缺ク結果ニ外ナラヌノデ此等ハ元來全ク同一ノモノニ外ナラヌコトヲ知ルノデアアル

斯ク考ヘテ見ルト從來支臺ハ本來ソレガ要求サレル大キサヨリ遙カニ過大ニ設計サレ然カモソレニ相當シタダケ安全率ハ昇テ居ナイト云フコトガ考ヘラレルコレハ鐵管支臺ノ莫大ナ工費トソレガ使命トヨリ考ヘテ決シテ輕々ノ問題デハナ

イ少シ冗長ヲ忍ンデ頂イテ私ノ此點ニ就テノ考ヲ明カニシタイト思フ

最初極ク達觀的ニ鐵管内部ノ水壓ガ如何ニシテ支臺ニ傳ヘラレルカノ經路ヲ考ヘテ見ル元來水壓ハ接觸面ニ垂直ニシカ働カナイモノデアアルカラ水壓ノ關スル限リハ外力ハ管壁ニ垂直ナル壓力ノ總和デアアルベキデコノ壁ニ垂直ナル壓力ヲ外ニシテハ支臺ニ影響ヲ及ボス如何ナル力モ存在シ得ナイ筈デアアル鐵管ノ直線部ハ支臺ニ働ク外力トシテ何物ヲモ附加シナイカラコレヲ考慮ノ外ニ置キ彎曲部即チ  $a-b$  斷面間ニ吾人ノ注意ヲ限ルコト、スレバ彎曲部ノ鐵管壁ハ彎曲ノ内側ト外側トデ水壓ヲ受ケル面積ニ相違ガアルカラコレガ水壓不平均ヲ招致シソノ値ダケガ彎曲部ニ於テ實際ニ支臺ニ外力ト

第二圖



シテ働クノデアツテコノ上ニ尙  $P, Q$  ナル水壓ノ合成力  $R$  ノ如キモノヲ考ヘ

ルコトハ水壓傳達ノ經路カラ見テ到底許シ得ナイコトデアアル

元來  $P, Q$  ナル水壓ガ支臺ニ對シ間接ノ外力ノ原因トナリウルノハ上述ノ水壓不平均ナル形ヲ通ジテ初メテ可能デアアルノデ外力ニ對スル直接原因タル水壓ノ不平均ヲ考ヘル以上ハ  $P, Q$  ナル水壓ヲ尙其上ニ考ヘルノハ謂ハレノナイコトデアアル

兩者ガ全ク同一ノモノデアアルコトハ我々ガ水壓ノ不平均カラ出發シテ  $P, Q$  ナル水壓カラ出發シテモ全ク同一ナル外力ヲ支臺ニ及ボスコトカラモ推定

ガ出來ル

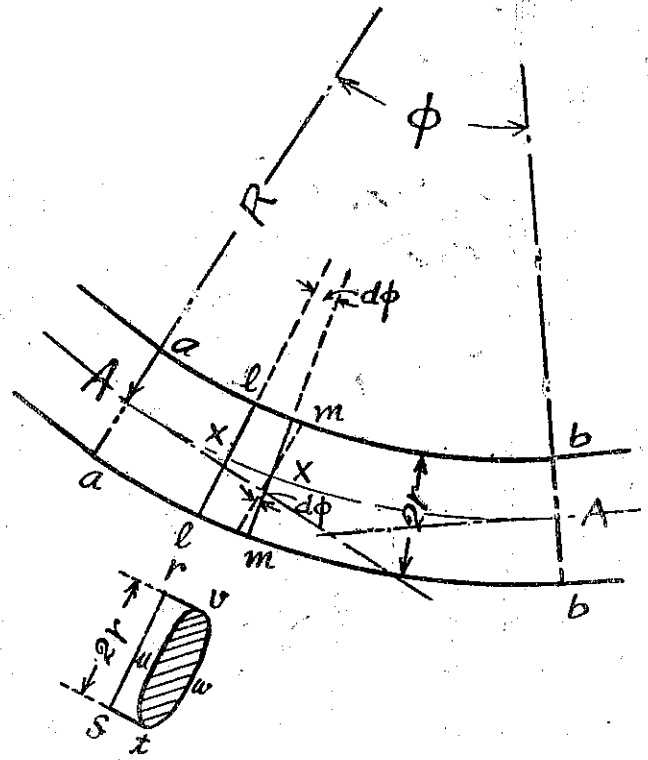
次ニコノ事ヲ數量的ニ證明シテ見ヤウ

今彎曲部ニ於テ  $d\phi$  ナル角ヲナスニツノ鐵管軸ノ垂直斷面  $ll$   $mm$  ニ夾マレタ微小部分ヲトリコレニ就テ水壓ノ不平均ヲ考ヘル

今第三圖ニ於テ  $l-l$  直角ニ二等分スル線分  $a-x$  ヲ含ミ紙面ニ垂直ナル如キ面ニ依テコノ微小部分ヲ兩分シ各部ヲコノ面上ニ

投影シテ見ル茲ニ斷面  $mm$  ハコノ面ニ對シ微小角  $d\phi$  ダケ垂直カラ傾イテ居ルコトニ注意スル

第 三 圖



彎曲ノ内側ノ部分ノ投影ハ圖ノ如ク  $r s t u v$  デ  
 彎曲ノ外側ノ部分ノ投影ハ  $r s t w v$  トナリニツ  
 ノ投影面ノ差ハ橢圓  $u t w$  トナルカラ水壓ノ不  
 平均ノ大キサハコノ橢圓ノ面積ニコノ點ノ水壓強  
 度ヲ乗シタルモノニナル

コノ橢圓ノ長短軸ハ各々及  $r d\phi$  ニ等シイカラ  
 微小部分ニ於ケル水壓ノ不平均  $= p \cdot \pi r^2 d\phi$   
 コノ値ヲ角間ニ積分スレバ

放射線狀ニ働ク全水壓ノ不平均  $= p \cdot \pi r^2 \phi$   
 コノ放射線狀ノ水壓ノ合成力ハ

$$2R \sin \frac{\phi}{2} = 2p\pi r^2 \sin \frac{\phi}{2}$$

然ルニ今初メニ歸リ水壓  $P, Q$  カラ出發スレバ  $P$  ト  $Q$  トハ相等シク各  $p\pi r^2$  ニ等シイト假定シテ差支ナイカラ其ノ合成  
 力ハハ明カニ

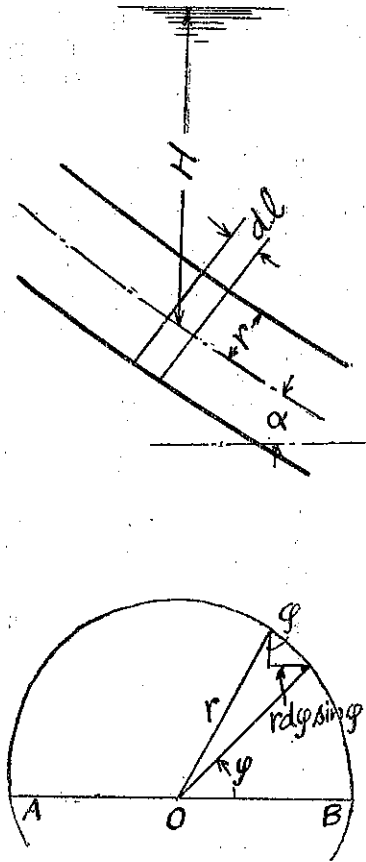
$$2p\pi r^2 \sin \frac{\phi}{2}$$

デ即チ前述ノ如ク(四)項及ビ(五)項ハ全く同一ノモノヲ見方ヲ變ヘタノニ過ギナイト云フ結果ニナル(水壓ノ不平均ナル  
 項ニ關シテ Der Wasserkraft ニハ前出ト少シ異ツタ値カ出テ居ルケレドモコレニハ理論上ノ嚴密ヲ缺ク點ガアルノデコ  
 ノ點ニ就テハ私ノ出シタ値ノ方ガ正シイト信ズル)  
 ソコデ私ハ(四)項カ(五)項カノドチラカ一項ハ省略セネバ重大ナル過誤ノ原因トナルコトヲ主張シタイ

次ニ重大ナル影響ヲ有スルモノトシテ第一項ニ就テ考ヘテ見ヤウ  
 結果カラ先ニ言ヘバ次ノ如クナラネバナラヌ水平ニ對シ $\alpha$ ナル角ヲナス水壓管ノ單位長ニ働ク力ハ其中ニアル水ノ重量  
 ヲ $W$ 管自身ノ重量ヲ $S$ トスレバ管軸ト直角ナ方向ニハ

$$(W+S)\cos\alpha$$

第 四 圖



管軸ノ方向ニハ $\alpha$ ニ對シ $\alpha$ ノ力ガ働クダケデアアル今平均水頭 $H$ ナル點ニ於テ $dl$ ナル幅ヲ有スル鐵管軸ニ直角ナ部分ニ就キ  
 水壓ノ合成力ヲ考ヘテ見ル

$$\text{水壓ノ合成力} = \int_0^{2\pi} (H - r \sin \phi \cos \alpha) w \cdot dl \cdot r d \phi \sin \phi$$

$$= \int_0^{2\pi} r w \cdot dl \left[ H \cos \phi - r \left( \frac{1}{2} \phi - \frac{1}{4} \sin 2\phi \right) \cos \alpha \right]$$

$$= \int_0^{2\pi} r^2 w \cos \alpha \cdot d\phi$$

然シテ $w$ ハ鐵管ノ單位長ニアル水ノ重量 $W$ デアアル鐵管軸ノ方向ニハ水ハ何等ノ影響ヲモ及ボサナイコトハ無論デア  
 ル依テ結果ハ上述ノ通りニナラネバナラヌ此等ノ點ニ關シテモ從來多少ノ混淆ガアツタ様ニ思ハレル

尙私ハ第三項「管ノ彎曲部ニ於ケル管内流水ノ衝動」ナル項ヲ「流水ノ彎曲部ニ於ケル遠心力」ニ置キ換ヘタガ正シクハナイカト思フ實際ニ算式ヲ出シテ見レバ明瞭デアル通り「管内流水ノ衝動」ハ實ハコノ遠心力ノ一鐵管軸ノ方向ノ分力ニ過ギナイコトヲ知り得ルノデアル然シ實際上下チラニシテモ全體ニ對スル影響ハ僅少デアル

第二項ハ圖式解法ニ當ツテハ殆ド線分トシテ現ハレ得ナイ程小サイカラ初メカラ省略シテ掛ル事ニスル

第六項ハ支臺全體ニ働ク作用トシテハ互ニ相殺スル傾向ガアリ其影響モ比較的尠ナイカラ同様ノ理由ニヨリ省略スル斯クノ如クシテ我々ノ考フヘキ支臺ニ對スル外力ハ次ノモノニ節約サレルデアラウ

- (一) 水壓管ノ傾斜ニヨリテ生スル諸種ノ力
  - (二) 溫度ノ變化ニ依ル水壓管ノ伸縮應力
  - (三) 管ノ彎曲部ニ於ケル流水ノ遠心力(コノ項モ省略シテ可ナリ)
  - (四) 管ノ彎曲部ニ於ケル水壓ノ不平均
- 私ハ次ニ順ヲ追フテ之等各項ニ相當スル値ヲ出シテ見ヤウ

### 三 外力ノ大キサ

- (一) 水壓管ノ傾斜ニヨリテ生ズル諸種ノ力

水壓管ノ單位長ノ重量ヲ $\delta$ 、其中ニ充タサレタル水ノ重量ヲ $W$ トスレバ

(イ) 水壓管軸ニ直角ナル力ノ影響

$\alpha'$ ニ支臺ヨリ上方ニアル鐵管ニ就テ其軸カ水平面トナス角度

$\alpha_1$ ニ下方ノ鐵管ニ就テ 同上

$l_1$ ニ上部鐵管ニ就テ問題ノ支臺ヨリ隣リノ小支臺ノ中心マデノ管ノ長さ

$l_2$ ニ下部鐵管ニ就テ 同上

トスレバ支臺ノ反力ハ

上部鐵管ニ就テハ 
$$\frac{(W+S) l \cos \alpha}{2} \dots \dots \dots (1)$$

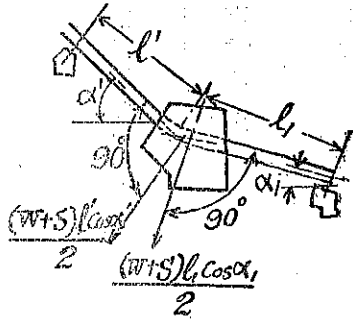
下部鐵管ニ就テハ 
$$\frac{(W+S) l \cos \alpha_1}{2} \dots \dots \dots (1)'$$

之等ハ彎曲點ニ於テ各鐵管軸ニ垂直ニ作用スル

ロ鐵管軸ニ平行ナル力ノ影響

コレハ普通摩擦力ヲ超過シ得ナイノデ實際ニ支臺ニ對シ推力トシテ能働的ニ作用スル  
コトハナイカラ次ノ溫度ニヨル鐵管ノ伸縮應力ノ中ニ含マセル方ガ便利ダト思フ

第五圖



(二) 溫度ノ變化ニ依ル水壓管ノ伸縮應力

イ鐵管ニ伸縮接合アル場合

$L_1$  = 上部鐵管ニ就テ彎曲點カラ伸縮接合マデノ管ノ長サ

$L_2$  = 下部鐵管ニ就テ 同上

$f$  = 鐵管ト小支臺トノ摩擦係數

トスレバ

溫度上昇ニヨリ鐵管カ膨脹スル時ノ推力ハ

上部鐵管ニ就テハ

$$L_1 \{ S \sin \alpha' + f(W + S) \cos \alpha' \} \dots \dots \dots (2)$$

下部鐵管ニ就テハ

$$L_2 \{ S \sin \alpha_1 - f(W + S) \cos \alpha_1 \} \dots \dots \dots (2)'$$

溫度下降ニヨル鐵管ノ收縮スルトキノ張力ハ

上部鐵管ニ就テハ

$$L \{ S \sin \alpha' - f(W + S) \cos \alpha' \} \dots \dots \dots (3)$$

下部鐵管ニ就テハ

$$L_1 \{ S \sin \alpha_1 + f(W + S) \cos \alpha_1 \} \dots \dots \dots (3)$$

(ロ) 鐵管ニ伸縮接合ナキ場合

水壓管ノ彈性係數ヲ  $E$

溫度變化ノ程度ヲ  $t$

水壓管ノ斷面積ヲ  $F$

水壓管ノ伸縮係數ヲ  $\beta$

トスレバ一ツノ水壓管ノ伸縮應力ハ

$$\beta E F t \dots \dots \dots (4)$$

トナルコノ場合ニハ應力ハ鐵管ノ長サニ無關係デアツテ鐵管ノ重量ヤ水ノ重量ノ如キハイノ場合ノ如ク支臺ニ對シ推力又ハ張力ニ關係シナイコトハ容易ニ推論ガ出來ル

(三) 彎曲部ニ於ケル流水ノ遠心力

鐵管内ノ流水斷面積ヲ  $A$

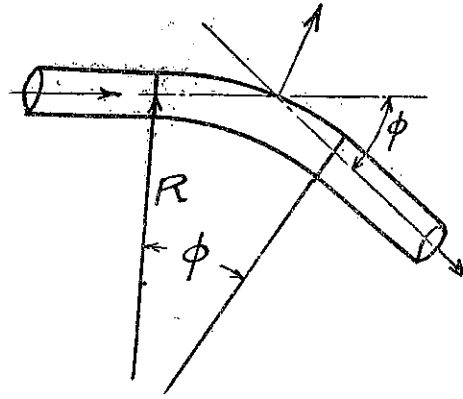
單位立積ノ水ノ重サヲ  $w$

鐵管ノ彎曲ノ中心角ヲ  $\phi$

水ノ最大流速ヲ  $V$



第六圖



彎曲部全體ニアル水ノ質量ハ

$$\frac{A_w R \phi}{g}$$

デアツテ流速  $V$  ナルトキノ遠心力ハ

$$\frac{A_w R \phi}{g R} V^2 = \frac{A_w \phi}{g} V^2$$

遠心力ハコノ場合ニハ放射線狀ニ働ク様ニ考ヘタグコレヲ彎曲點ニ働ク合力ニ組合ハスレバ次ノ如クニナル

$$\frac{A_w \phi}{g} V^2 \times \frac{2 R \sin \frac{\phi}{2}}{R \phi} = 2 \frac{W}{g} V^2 \sin \frac{\phi}{2} \dots \dots (5)$$

コレハ明ニ中心角ノ二等分線上ニ彎曲ノ外方ニ向テ働ク  
(今コノ遠心力ノ上部鐵管ノ方向ノ分力ヲ求ムレバ

(四) 管ノ彎曲部ニ於ケル水壓ノ不平均

$$\frac{2 A_w V^2 \sin^2 \frac{\phi}{2}}{g} = \frac{A_w V^2 (1 - \cos \phi)}{g} = \frac{Q_w}{g} V (1 - \cos \phi) \quad \text{トナリ即チ衝動ノ算式トナルノデアアル}$$

コレハ前述ノ通り  $2 p w r^2 \sin^2 \frac{\phi}{2}$  デアル

水頭 (water hammer) ノ作用ヲモ加ヘテ) ヲ  $H$  トスレバ右式ハ次ノ如クニナル

$$2 W \cdot H \sin \frac{\phi}{2} \dots \dots (6)$$

働ク方向ハ(三)ノ場合ト同ジイ

鐵管支臺ノ設計ハコレヲ個々ノ外力ノ總代力ヲ求メ假設シタル支臺ニ付キ

(イ) 支臺ハ剪斷セラル、コトナキカ

(ロ) 滑動スルコトナキカ

(ハ) 轉倒スルコトナキカ

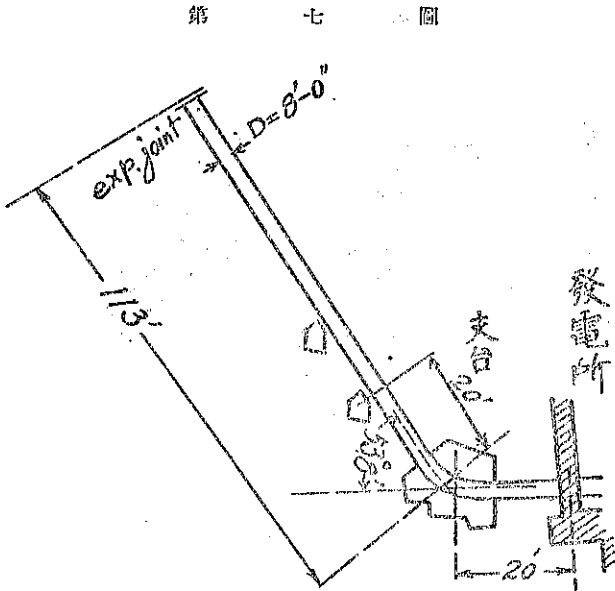
(ニ) 地盤ノ支持力充分ナリヤ

ノ四條件ヲ考査シテ許容範圍ニ支臺ノ大キサヲ決スルコトデア  
私ハ次ニ例題ヲ設ケテ外力ノ圖式結合法ヲ説テ見ヤウ

四 外力ノ圖式結合法

(A) 鐵管ガーツノ垂直面内ニテ彎曲スル場合

例題一、垂直面内デ彎曲スル次ノ如キ鐵管路ニ於ケル支臺



$D = 8' - 0''$

$t = \text{鐵管ノ厚サ} = \frac{1}{16}''$

$\alpha' = 53^\circ - 8'$

$\alpha_1 = 0$

$\phi = 53^\circ - 8'$

$L = 113'$

$r = r_1 = 20'$

$f = 0.45$

$H = 165.5'$

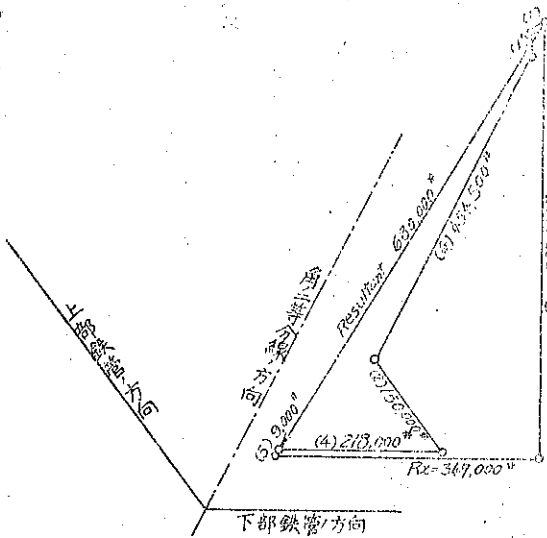
$V = 10.6 \text{ ft/sec}$

$W = 50.27 \times 62.5 = 3,142\#$

$S = 17.85 \times 25.2 = 450\#$

第 七 圖

第八圖



$$W + S = 3,142 + 450 = 3,592\#$$

$$(1) \frac{(W + S)l \cos \alpha'}{2} = \frac{3,592 \times 20 \times 0.600}{2} = 21,550\#$$

$$(1) \frac{(W + S)l \cos \alpha_1}{2} = \frac{3,592 \times 20 \times 1,000}{2} = 35,920\#$$

$$(2) E \{ S \sin \alpha' + l (W + S) \cos \alpha' \} = 113 \{ 450 \times 0.800 + 0.45 \times 3,592 \times 0.600 \} = 150,000\#$$

$$(4) \beta E F = 0.0000055 \times 30,000,000 \times 10 \times 132 = 218,000\#$$

$$\text{但し } l = 10^6 (F)$$

$$E = 30,000,000 \# / sq. in$$

$$\beta = 0.0000055$$

$$F = 132 \text{ sq. in}$$

$$(5) \frac{2}{g} W^2 \sin^2 \phi = 2 \times \frac{3142}{32.2} \times 10.6^2 \times 0.4472 = 9,000\#$$

$$(6) 2W \cdot l \sin \phi = 2 \times 3,142 \times 165.5 \times 0.4472 = 454,500\#$$

コレ等ノ外力ヲ其方向ヲ考ヘテ第八圖ノ如ク逐次結合シテ合力ノ大キサト其方向トヲ知ルコトガ出來ル着力點ハ彎曲ノいんたー・せくしよん・ぼんといニ取レバヨイ

伸縮應力ハ支臺ニ對シ推力ヲ取タカガ安全ノ例ニナル水壓ノ不平均ガ重大ナル要素デアアルコトハ前述ノ通りデアツテ流水ノ遠心力ノ如キハ殆ド問題ニナラナイ

外力ヲ結合スル順序ハ全く任意デアアル

次ニ起ル問題ハ假設シタル支臺ノ重量ヤ重心ヲ求メルコト支臺ノ重量ト上述ノ合力トヲ結合シテ安定ノ條件ヲ考査スルコト等デアルカコレハ普通ノ方法ト變リナイカラ敢テ省略スルコト、スル

(B) 鐵管ガ同時ニ垂直、水平兩方向ニ彎曲スル場合

鐵管ノ方向ハ平面圖ト側面圖トニテ與ヘラレテ居ルモノト假定スルコト場合ニハ先ツ次ノ如キモノヲ見出シテ置クコトヲ要スル

(イ) 上下兩鐵管ノ間ノ角ノ大キサ

(ロ) 其角ノ二等分線ノ方向

(ハ) 各鐵管軸ヲ含ム垂直面ニアツテ鐵管軸ニ直角ナル方向

以上ハスベテ投影法ノ問題ニナルノデアルガイ(上下兩鐵管ノ間ノ角ハ解折法ニ依テ求メタ方が便利ノ様デアアル即チ彎曲點ヲ原點トスル直角座標軸ヲトリ兩鐵管ノ他端ノ點ノ座標  $x_1, y_1, z_1$  及  $x_2, y_2, z_2$  ヲ平面圖及側面圖カラ拾ヒ出セバ

兩鐵管ノ間ノ角ハ次ノ式カラ計算スルコトガ出來ル

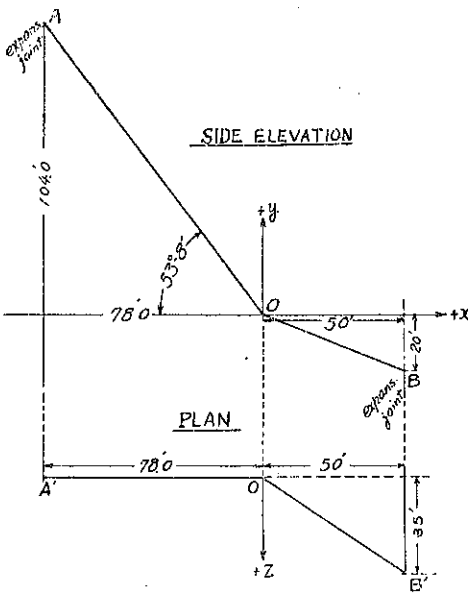
$$\cos(\gamma\gamma') = \frac{x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2}{r_1r_2}$$

但シ角  $(\gamma\gamma')$  ハ求ムル兩鐵管ノ間ノ角  $\gamma_1, \gamma_2$  ハソレゾレノ鐵管ノ實長デアアル

(ロハ) 圖上カラ見出すコトニシヤウ

例題二 第九圖ノ如キ垂直水平兩方向ニ同時ニ彎曲シタル鐵管ノ支臺但シ鐵管ノ直徑厚サ  $h, H, W, S, \alpha'$  等ハ例題一ト同ジモノヲ取ルコトニスル

第 九 圖



$$\begin{cases} a_1 = -78 \\ y_1 = 104 \\ z_1 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} a_2 = 50 \\ y_2 = -20 \\ z_2 = 35 \end{cases}$$

$$r_1 = L_1 = \sqrt{78^2 + 104^2} = 130 \text{ ft}$$

$$r_2 = L_2 = \sqrt{50^2 + 20^2 + 35^2} = 64.23 \text{ ft}$$

$$\cos(r_1 r_2) = \frac{a_1 a_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2}{r_1 r_2} = \frac{-78 \times 50 - 10 \times 20}{130 \times 64.23} = -0.7166$$

$$\text{角 } (\theta_1, \theta_2) = 134^\circ 30' = 181^\circ - \phi$$

$$\phi = 45^\circ 30' \quad \frac{1}{2} \phi = 22^\circ 45' \quad \sin \frac{\phi}{2} = 0.387$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{-y_2}{r_2} = \frac{20}{64.23} = 0.3114$$

$$\alpha_1 = 18^\circ 8'$$

$$\cos \alpha_1 = 0.9505$$

$$(1) \quad \frac{(W+S)y \cos \alpha_1}{2} = \frac{3592 \times 20 \times 0.600}{2} = 21,550 \#$$

$$(1)' \quad \frac{(W+S)y \cos \alpha_1}{2} = \frac{3592 \times 20 \times 0.9503}{2} = 34,100 \#$$

$$(2) \quad L \{ S \sin \alpha' + f(W+S) \cos \alpha' \} = 130 \{ 450 \times 0.800 + 0.45 \times 3,592 \times 0.600 \} = 150,000 \#$$

$$(2)' \quad L \{ S \sin \alpha_1 - f(W+S) \cos \alpha_1 \} = 64.23 \{ 450 \times 0.3114 - 0.45 \times 3,592 \times 0.9505 \} = -89,660 \#$$

(5) 省略

379

(6)  $2W \cdot F \sin \frac{\phi}{2} = 2 \times 3,142 \times 165.5 \times 0.3867 = 402,200\#$   
 (第十圖ノ説明)

$AOB$  ト  $A'O'B'$  トハ鐵管ノ側面圖ト平面圖

(イ) 角ノ二等分線ノ方向

角  $4\theta_1$  ノ兩鐵管ノ間ノ眞ノ角  $132^{\circ}30'$  ニ  $\theta_1$  ノ下部鐵管  $OB$  ノ實長  $64.28'$  ニ取リ  $O_1 \parallel O_2 \parallel OB_1$  トシテ平行四邊形  $O_2, O_1, O_2, O_1$  ノ作レバ其對角線  $O_1O_2$  ハ角  $\theta_1$  ノ二等分線トナル次ニ  $OB$  ト  $O_1O_2$  トニヨリテ平行四邊形  $O_1B, O_2, O_1, O_2$  ノ作レバ其對角線  $OO_1$  ハ側面圖上ニ表ハレル角ノ二等分線ノ方向ヲ示ス

スベテ  $OO_1$  上ニ働ク力ハ其實値カラ  $\frac{OO_1}{O_1O_2}$  ノ比ニ縮小セラレテ立面投影ニ表ハルヘキデアアル平面圖ニ表ハル、角ノ二等分線ノ方面ハ  $O'O'$

(ロ) 各鐵管軸ヲ含ム各ノ垂直面内ニアツテ鐵管軸ニ直角ナル方向

鐵管  $OA$  ニ就テハ  $OA$  ニ直角ナル  $OE$  ガ側面圖ニ表ハレルソレデアツテ平面圖ニ於テハ  $A'O'$  ノ方向ヲトル

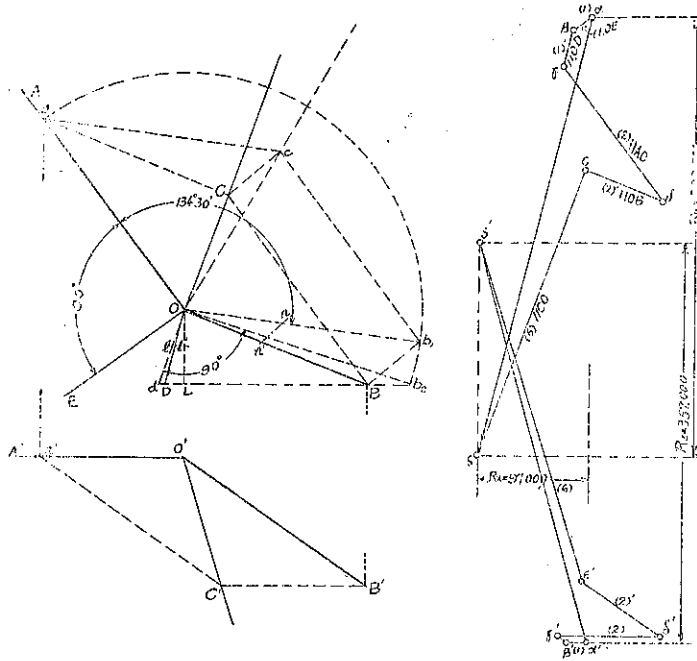
次ニ  $B$  ノ通スル水平線  $O_1B, O_1D, O_1E$  ノ作リ  $O_1B_1$  ノ鐵管  $OB$  ノ實長ニ  $O_1d$  ノ  $O_1B_1$  ニ直角ニトリ  $\frac{O_1D}{O_1B} = \frac{O_1E}{O_1B_1}$  ナル如キ  $D$  點ヲ求ムレバ  $OD$  ハ垂直面内ニアツテ  $OB$  鐵管ニ直角ナル方向ヲ示ス  $OD$  上ノ力ハ立面投影ニ表ハレル所デハ其實値カラ  $\frac{OD}{O_1D}$  ノ比ニ縮小セラレル  $OD$  ハ平面圖ニアリテハ  $B'O'$  ノ方向ヲ取ル

下部鐵管  $OB$  ノ上ニ働ク力ハ實値カラ  $\frac{OB}{O_1B_1}$  ノ比ニ縮小セラレテ立面投影ニ表ハレル

斯クノ如クニシテ立面投影デハ各力ノ働ク方向ト其立面投影ニ表ルヘキ縮小比ガ與ヘラレルカラ是等ヲ方向ト見掛ケノ大キサニ從テ順次ニ結合シテ總代力ノ立面投影ヲ得ル

平面投影ニ於テハ各力ノ方向ガ與ヘラレルカラ大キサハ立面投影ノモノト對比シテ決定シ同様ニ逐次結合シテ總代力ノ平面投影ヲ得ル

第十圖



第十圖ニ於テ總代力ノ兩面ノ投影カラ各軸ノ方向ノ總代力ハ次ノ如ク決定サレル

$$R_x = -9,700\#$$

$$R_y = -393,000\#$$

$$R_z = -357,000\#$$

五 結 論

鐵管支臺ニ働ク外力ノ如クソレガ多數ノ情況ニヨツテ相反スル方向ヲ取り得ヘキ因子ヨリ成ル場合ニハ上述ノ如キ圖式

解法ハ唯ニ問題ヲ簡單ニスルノミデナク各力ノ方向ヲ判別スル上ニ於テ便利ダト思フ

總代力ノ大キサニ就テハ最初ニ述べタル如キ方法ニヨ

ルモノヨリモ其ノ總代力ノ大キサガ著シク減少セラレ

シコトヲ知ル此ノ點ヨリ考フレバ支臺ノ大キサハ殆ド

從來ノ計算ニヨルモノノ半ニシテ足ルヲ思ハシメル

彎曲點ニ於ケル鐵管破裂ノ如キハ其實ヲ全部支臺ニ歸

スベキデハ無クシテヨリ多クノ弱點ハ寧ろ彎曲部ニ於

ケル鐵管自身ニ生ジ易キニアラスヤト疑ヒ得ラレルト

思フ (完)