

論說報告

土木學會誌 第六卷 第四號 大正九年 八月

載荷セル構造物ノ振動並ニ其耐震性ニ就テ

會員 工學博士 物 部 長 穗

目次

第一節	載荷セル構造物ノ振動ニ關スル理論的研究ノ必要	二
第二節	楔狀柱體ノ振動週期	三
第三節	載荷セル檣體ノ振動週期	八
第四節	多數ノ荷重ヲ載スル柱體ノ振動週期	一一
第五節	載荷セル檣體ノ固有振動及ヒ之ニ伴フ彎曲力率	一四
第六節	載荷柱體ノ強迫振動竝ニ之ニ因ル彎曲力率	一六
第七節	從來ノ方法ニヨル彎曲力率	二二
第八節	極メテ急激ナル地動ノ影響	二七
第九節	彎曲力率ノ算定ニ採用スヘキ加速度	三一
第十節	橋脚ノ振動週期	三三
第十一節	井筒 (well) ヲ基礎トスル橋脚ノ振動週期	四二
第十二節	走行荷重ノ橋脚ニ及ボス影響	五二

第十三節	橋脚ノ耐震性ニ就テ	五九
第十四節	構柱 (Pier) 及ヒ架構ノ振動週期	六七
第十五節	數層ヨリナル構柱及ヒ架構ノ振動週期	六九
第十六節	實測セル振動週期ト公式トノ比較	七七
第十七節	構柱ノ強迫震動	八一
第十八節	強迫震動ニ際シテ發生スル彎曲力率	八四
第十九節	理論上ヨリ算出シタル彎曲力率ト從來ノ算定法ニヨル彎曲力率トノ比較	八七
第二十節	構柱ノ震害ニ就テ	九一
第廿一節	結論	九七
附 第一編第六節	截頭中空錐體 (Truncated hollow cones) ノ振動ニ就テ補遺	一〇一

第一節 載荷セル構造物ノ振動ニ關スル理論的硏究ノ必要

嚮ニ本誌第五卷第三號(以下該論ヲ第一編ト稱ス)ニ於テ塔狀構造物ノ振動並ニ耐震性ニ關シテ理論的解決ヲ試ミタリシカ其取扱ヒタルハ單ニ自體ヲ支持スル細長ナル構造物即チ烟突塔燈臺等ニ限ラレタリ然ルニ高キ構造物ニシテ自體ノ外重大ナル荷重ヲ支持スルノ職責ヲ有スルモノ極メテ多ク例ヘハ橋桁ヲ支持スル橋脚水槽ヲ支持スル構脚ノ類ニシテ其震動並ニ耐震性ハ自體以外ノ荷重ノ影響ヲ受クルヲ以テ塔狀構造物ノ夫レニ比シ尙一層複雜ニシテ之ニ對スル理論的硏究ハ未ダ試ミラレタルヲ聞カス

然ルニ此等構造物ハ高位置ニ著大ナル質量ヲ支持スルヲ以テ水平加速度ノ作用ニ由リテ發生スル應力ハ頗ル重大ニシテ例ヘハ高置水槽ニ於テ水槽ハ其質量之ヲ支持スル構脚ニ比シ著シク大ニシテ之レニ水平加速度ノ作用スルトキハ脚底ニ

恐ルヘキ彎曲力率ヲ發生スヘシ一方風壓モ亦水平力ニシテ同様ノ影響ヲ生スヘシト雖モ其壓力ハ曝露面積ニ比例スルヲ以テ水槽ノ大ナル事ハ彎曲力率ヲ増大セシムル事前者ノ如ク顯著ナラス一方橋脚ニ於テハ地震ノ場合ハ勿論平時ト雖モ走行列車ノ直接間接ノ作用ニ由リ著シキ振動ヲ爲スモノナルヲ以テ其振動ノ性質竝ニ耐震力ノ研究ハ最も重要ナル事項ナリ

本邦ニ於テ高置水槽ヲ使用シ始メタルハ近年ノ事ニ屬シ未タ著シキ震災ノ經驗ヲ有セスト雖モ橋脚ハ種々ノ地方ニ於テ大地震ニ際會シ被害ノ例モ極メテ多數ナリ殊ニ濃尾大地震ニ際シテハ激震地方ノ橋脚ハ大多數破損シ交通ニ非常ナル障礙ヲ來ラシメタリシハ勿論其修繕費モ亦多額ニ上レリ大森理學博士ハ夙ニ橋脚耐震性研究ノ必要ヲ認メラレ今日迄本邦各地ニ亘リテ大橋梁ノ橋脚振動ヲ實測研究セラレ其結果ニ依リ今ヤ橋脚橋桁ノ構造ニ多大ノ改善ヲ施シ其耐震性ヲ著シク増進セシメ得タリ

而シテ橋脚ノ振動ハ自己ノ構造ハ勿論其上ニ架セル橋桁其他ノ狀況ニ依リテ極メテ複雑ナルモノニシテ殊ニ走行列車ニ因ル振動ノ場合ハ列車ノ各部重量、走行速度、桁ノ徑間、構造等ト微妙ナル關係ヲ有シ其詳細ニ亘リテ一々理論的ニ算定セン事ハ到底不可能ナリト雖モ此等ハ一系ヲナセル彈性構造物ノ振動タル以上必ス力學上ノ法則ニ遵フヘク之ヲ理論的ニ取扱フ事ノ必スシモ不可能ナラサルト同時ニ理論的ノ解決ハ實驗的研究ニ並行セサルヘカラサルハ勿論ニシテ且ツ實驗的研究ニ一般性ヲ附與シ其ノ應用ノ範圍ヲ著シク擴張セシメ或場合ニ於テハ却テ之ヲ指導スルコトナキニアラス然ルニ今日迄該方面ノ研究ノ全ク其緒ニ就カサリシハ一ニ問題ノ解決困難ニシテ一朝一夕ノ業タラサルニ歸因セサルヘカラス余ハ本編ニ於テ載荷柱體ノ振動並ニ其耐震性ニ就キ一般的ノ解決ヲ試ミ更ニ各種構造ニ就キ理論上並ニ實驗ノ結果ヨリ其耐震性ヲ論セントス而テ理論上ノ解決ニ當リ頗ル煩雜ナル數學上ノ取扱ヒト多大ノ時日勞力ヲ要セシト雖モ其ノ結果ハ簡單ナル公式ニ現ハシ且ツ圖表等ニ由リテ工學上ノ應用ニ困難ナカラン事ヲ期セリ

第二節 楔狀柱體ノ振動週期

普通煉瓦、石材、混凝土等ヲ以テ築造スル橋脚ハ上部程其厚サヲ減シ稍楔狀ヲ呈ス依テ本節ニ於テ厚キ一端固定サレタ
ル楔狀柱體ノ振動週期ノ算定法ヲ提案セントス先ヅ楔ノ厚サノ方向ノ振動ヲ考フルニソノ方向ノ縦斷面ハ第一圖ニ示ス
カ如ク尖リタル三角形ヲナス其ノ頂點ヲ座標ノ原點トシ及₂軸ヲ圖ノ如ク定ム凡テノ記號ハ第五卷第三號ニ於テ錐體
ノ振動ヲ論スル場合ト等シク

其ノ運動ノ方程式ハ

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + \rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$



此場合ハ完全楔體即チ柱ノ上端カ楔ノ頂點ニ一致スルヲ以テ既ニ Kirchhoff 教授
ノ解アリ (同氏 Abhandlungen p. 339.....) 之ヲ解キテ主振動週期(T)ヲ求

ムニ

$$\therefore T = \frac{2\pi}{p} = 1.183 L^2 \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_1}} \dots \dots \dots (2)$$

然ルニ實際ノ構造物ハ完全ナル楔形ニアラスシテ其截頭セルモノ即チ縦斷面ハ三
角形ヲナスシテ梯形ヲナセリ此場合ノ振動週期ハ已ニ截頭錐體ノ場合ニ於テ述
ヘタルカ如ク頗ル煩雜ナル算法ヲ要ス

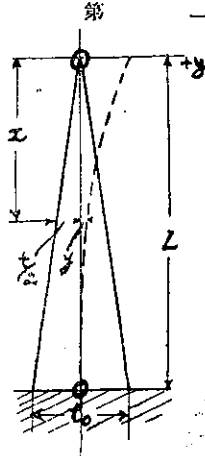
$$v \frac{d^2 u}{dt^2} + 2 \frac{du}{dt} + u = 0$$

$$u = v^{-\frac{1}{2}} \{ A J_1(2v^{\frac{1}{2}}) + B Y_1(2v^{\frac{1}{2}}) \}$$

$$v \frac{d^2 u}{dt^2} + 2 \frac{du}{dt} - u = 0$$

ヲ解ケハ

次ニ



ヲ解ケハ

$$u = e^{-\frac{1}{2}\omega t} \{ C_1(2e^{\omega t}) + DK_1 + (2e^{\omega t})^3 \}$$

故ニ運動ノ方程式ノ完全ナル解ハ

$$u = e^{-\frac{1}{2}\omega t} \{ A_1(2e^{\omega t}) + BY_1(2e^{\omega t}) + C_1(2e^{\omega t}) + DK_1(2e^{\omega t}) \} \dots \dots \dots (3)$$

茲ニJYIK等ハ既ニ第一編第六節ニ掲ケタル如キ圓嚮函數ナリABC及ヒDハ共ニ常數ナリ

此uノ値ニ諸條件式ヲ入レ各場合ニ對スル振動週期ノ係數Cヲ求ムル事ヲ得ヘシト雖モ既ニ第一編第七節ニ於テ提案シタル方法カ實用上充分ナルヲ知レルヲ以テ茲ニ再ヒ煩雜ナル計算ヲ繰リ返ス事ヲ省キ直チニ該方法ニ由リテ係數ヲ算出セントス

第一編 (15)ニ依リ

$$\frac{P_1}{I_1} = \frac{p_2}{p_1} \sqrt{\frac{\int E_2 I_2 \left(\frac{d^2 u_2}{dx^2} \right)^2 dx}{\int \rho_2 A_2 u_2^2 dx}} \cdot \frac{\int \rho_1 A_1 u_1^2 dx}{\int E_1 I_1 \left(\frac{d^2 u_1}{dx^2} \right)^2 dx}$$

$$u_1 = u_2 \left(1 - \sin \frac{\pi}{2l} x \right)$$

先ツ角嚮ノ場合ヲ既知トシテ楔形ノ場合ノCヲ求ムルニ楔形ニ對シ

$$\int EI \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)^2 dx = 0.541 I_0 l C E$$

$$\int \rho A u^2 dx = 0.173 \rho A_0 C$$

茲ニI₀A₀ハ下端ニ於ケル慣性能率及斷面積ニシテCハ係數ナリ故ニ楔體ニ對スル振動週期ノ係數ハ

$$C' = 1.787 \sqrt{\frac{0.173}{0.541}} = 1.010$$

$$\text{誤差補正} = \frac{1.183 - 1.010}{1.010} = 0.171$$

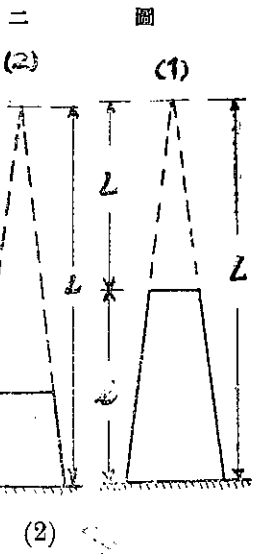
(1) $I = \frac{L}{2}$ ノ 場 合

Weighted mean $\rho A = 0.586 \rho A_0$

Weighted mean $I = I_0 \frac{3.352}{4.500} = 0.745 I_0$

$\therefore C = 1.787 \sqrt{\frac{0.586}{0.745}} = 1.585$

$C = 1.585 \times \left(1 + 0.171 \times \frac{1}{2}\right) = 1.725$



$I = \frac{3}{4} L$ ノ 場 合

Weighted mean $\rho A = 0.795 \rho A_0$

Weighted mean $I = 0.862 I_0$

$\therefore C = 1.787 \sqrt{\frac{0.795}{0.862}} = 1.720$

$C = 1.720 \times \left(1 + 0.171 \times \frac{1}{4}\right) = 1.785$

(3) $I = \frac{L}{4}$ ノ 場 合

Weighted mean $\rho A = 0.380 \rho A_0$

Weighted mean $I = 0.631 I_0$

$$\therefore C = 1.787 \sqrt{\frac{0.380}{0.631}} = 1.381$$

$$C = 1.381 \times \left(1 + 0.171 \times \frac{3}{4}\right) = 1.560$$

次ニ楔狀柱體ノ其幅ノ方向ノ振動ヲ考フルニ振動ノ方向ノ幅ハ等一ニシテ之ニ直角ノ方向ノ厚サノミ變化ス今任意ノ楔狀體ニ就テ考フルニ A_0 及 I_0 ヲ下端ニ於ケル斷面積及慣性能率トスレハ

$$A = A_0 \frac{z^2}{l} \qquad I = I_0 \frac{z^2}{l}$$

故ニ Bending's Hypothesis ヲ用フニハ

$$\frac{\partial^4 y}{\partial z^4} + \frac{\rho A_0}{EI_0} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t} = 0$$

ニシテ即チ下端ト同一ノ斷面ヲ有スル角礫ノ振動ト全ク同一ナリ

尙ホ上記ノ計算ノ結果ヲ總合シテ楔體ノ其厚サノ方向ノ振動ニ對スル週期ノ係數 (C_2) ヲ現ハス簡單ナル公式ヲ求ムレハ

$$C_2 = 1.788 - 0.605 \left(1 - \frac{I_1}{I}\right)^3 \dots \dots \dots (4)$$

而シテ

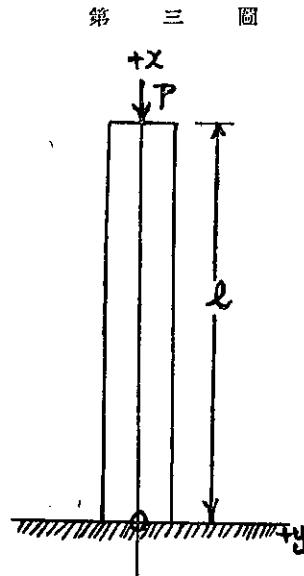
$$T = C_2^2 \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} \quad (\text{附圖第一圖})$$

茲ニ l ハ柱ノ長サ

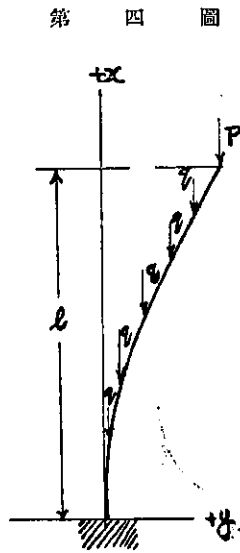
A_0, I_0 ハ下端ニ於ケル斷面積及慣性能率

第三節 載荷セル墻體ノ振動週期

斷面均等ナル柱體カ下端固定サレ上端ニ荷重(P)ヲ支フル場合トハ全ク異ナリ(P)ノ大ナル程週期ハ著シク延長サル此場合ニ於テ柱軸ノ運動ヲ現ハス微分方程式ハ荷重ナキ場合即チ第一編第四節ニ掲ケタル式(7)ト全ク同一ニシテ唯此場合自由端ニ於テ彈性力ハ零ナラスシテ荷重 P ノ質量ニ其點ノ加速度ヲ乘シタルモノニ等シ而シテ斯ル場合ニ於ケル振動ノ理論的研究ハ未タ發表セラレタルヲ聞カス Lord Rayleighノ "Theory of Sound" Vol. I. ニハ P



第三圖



第四圖

ノ質量カ柱ノ質量ニ比シ極メテ大ナルカ又ハ非常ニ小ナル場合ノ近似的算法ヲ掲ケタルモ (p. 289—290) 實際ノ構造物ニ於テハ多ク其中間ニ相當スルヲ以テ之ニ由リテ振動ノ真相ヲ究メ彎曲率ノ配置強迫振動等ヲ解決スル事ハ全ク不可能ナリ然シテ本節ニテ述フル所ノ理論的解決ハ其算出頗ル複雑ナルモ此等構造物耐震性研究ノ論據タルモノナリ

記號 (第三圖)

A_0 ハ柱體ノ斷面積

I_0 ハ振動ノ方向ニ直角ナル軸ニ對スル慣性能率

ρ ハ材料ノ密度

E ハ材料ノ彈性率

l ハ柱ノ長サ

W ハ柱ノ重量

柱軸運動ノ方程式ハ第一編第四節(7)ニ依リ

$$F I_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^4} + p A_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \dots \dots \dots (i)$$

故ニ $y = u \cos m^2 x \sqrt{\frac{E I_0}{\rho A_0}}$ ト置ク事ヲ得茲ニ m ハ環境條件ニ依リテ定マル常數ニシテ u ハ柱軸ノ極限位置ヲ示ス數

式ニシテ u ノ三ツノ函數ナリ然ル時ハ方程式ハ次ノ如クナル

$$\frac{d^4 u}{dx^4} - m^4 u = 0$$

$$\therefore u = A \cos x m + B \sin x m + C \sin m x + D \cos m x \dots \dots \dots (ii)$$

茲ニ $A B C D$ ハ常數ニシテ諸種ノ條件ニ依リテ決定サルヘキモノナリ
 下端即チ $x = 0$ ニ於テ柱軸ハ固定サルヲ以テ

$$u = 0 \quad \text{及} \quad \frac{du}{dx} = 0$$

故ニ $C = -B, \quad D = -A$ ナルヲ要ス

Elastic force = Mass \times Acceleration

$$E I_0 \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)_{x=1} = \frac{P}{g} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right)_{x=1}$$

且ツ彎曲率ハ零ナルヲ以テ

$$\left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)_{x=1} = 0$$

然ルニ下端ノ條件ニヨリ u ハ

$$u = A (\cosh mx - \cos mx) + B (\sinh mx - \sin mx) \dots \dots \dots (5)$$

$$\therefore \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_{x=1} = m^2 A (\cosh ml + \cos ml) + m^2 B (\sinh ml + \sin ml) = 0 \dots \dots \dots (iii)$$

及ヒ

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial x} (EI_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}) \right\}_{x=1} = EI_0 m^3 \cos m^2 \sqrt{\frac{EI_0}{\rho A_0}} t \{ A (\sinh ml - \sin ml) + B (\cosh ml + \cos ml) \}$$

一方

$$\frac{P}{g} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right)_{x=1} = - \frac{P}{g} m^4 \frac{EI_0}{\rho A_0} \cos m^2 \sqrt{\frac{EI_0}{\rho A_0}} t \{ A (\cosh ml - \cos ml) + B (\sinh ml - \sin ml) \}$$

故ニ

$$A \left\{ \sinh ml - \sin ml + \frac{P}{g \rho A_0} m (\cosh ml - \cos ml) \right\} + B \left\{ \cosh ml + \cos ml + \frac{P}{g \rho A_0} m (\sinh ml - \sin ml) \right\} = 0 \dots \dots (iv)$$

(iii) 及 (iv) ヨリ A B ヲ消去シ尙之ヲ簡單ニスレハ次ノ關係ヲ得

$$ml = \frac{W}{P} \cdot \frac{1 + \cosh ml \cos ml}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml} \dots \dots \dots (6)$$

是即チ ml ノ値ト W/P トノ關係ヲ與フルモノニシテ W/P ヲ知レル時ハ試算ニ由リテ ml ノ値ヲ求メ依テ以テ振動ノ週期ヲ算出シ得ヘシ由テ余ハ W/P ノ種々ノ値ニ對シ上式ヲ解キ以テ振動週期ヲ與フル公式ヲ求メントス

ml =	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
(6) 式ノ右邊 × $\frac{P}{W}$	290	50.0	13.7	5.61	3.92	2.72	1.93	1.45	1.055	0.762	0.531

即チ P/W = 1 ノ場合ニハ上式ヲ満足スル ml ハ 1.2 ト 1.3 トノ中間ニ在リ之ヲ算出センニ ml ヲ横距トシ上式ノ右邊 (三/P) 1) ヲ縦軸トシテ曲線ヲ引キ其ノ曲線上ニ於テ 懸吊ノ距離 ナル點ヲ求メ其横距ハ求ムル所ノ ml ノ値ナリ
 斯ノ如キ曲線ヲ 三/P ノ種々ノ値ニ對シテ畫キ以テ夫等ニ相等スル ml ヲ求メタルカ其詳細ハ附圖第一ニ示セリ
 而シテ其結果ハ

$\frac{W}{P} =$	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	∞
$mI =$	0.733	0.868	1.02	1.118	1.19	1.247	1.29	1.323	1.34	1.375
$\sigma =$	11.7	8.31	6.10	5.01	4.44	4.07	3.76	3.58	3.48	1.788

茲ニ

$$T = c^2 \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}}, \quad c = \frac{2\pi}{(mI)^2} \quad (\text{附圖第II圖}) \dots \dots \dots (7)$$

第四節 多數ノ荷重ヲ載スル柱體ノ振動週期

荷重カ多數アリテ種々ノ點ニ作用スル時柱體ノ振動ヲ理論上完全ニ解決スル事ハ困難ナリ然レトモ柱軸ノ極限位置ノ形即チ此ノ數式ヲ知レハ其振動週期ヲ算出スルコトヲ得ヘシ

今柱ノ上端ニPナル荷重ヲ受ケ尙中間ニ多數ノ荷重アリテ其質量ト柱體ノ質量トノ和ノ單位長ニ割リ當テタルモノカ“ ρA_0 ”ニ等シトスレハ運動體ノ微區間 δx ノ有スル位置ノ勢力 (δE_p) 及運動ノ勞力 (δE_k) ハ次ノ如シ

$$\delta E_p = \frac{1}{2} EI_0 \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)^2 \delta x$$

$$\delta E_k = \frac{1}{2} \rho A_0 \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 \delta x$$

運動ニ對スル抵抗ヲ無視スルトキハ柱體ノ全勢力ハ不變ナリ而シテ此場合ハ荷重Pノ運動ノ勞力ヲモ加算セサルヘカラス即チ

$$\frac{1}{2} \int_0^l EI_0 \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)^2 \delta x + \frac{1}{2} \int_0^l \rho A_0 \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 \delta x + \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{g} \cdot \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2_{x=l} = \text{const.} = E_{p+e}$$

今 $l=0$ ニ於テ $\frac{\partial y}{\partial t} = 0$ ナリト定ムレハ

$$y = u \sin pt \quad \therefore \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \sin pt$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = u p \cos pt$$

此關係ヲ ∇_{x^2} ノ 數 式 ニ 入 レ テ 之 ヲ t ニ 就 テ 微 分 ス レ ハ 次 ノ 關 係 ヲ 得

$$EI_0 p \sin pt \cos pt \int_0^l \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)^2 dx - \left(\rho A_0 \int_0^l u^2 dx + \frac{P}{g} u_0^2 \right) p^2 \cos pt \sin pt = 0$$

故ニ

$$p^2 = \frac{EI_0 \int_0^l \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)^2 dx}{\rho A_0 \int_0^l u^2 dx + \frac{P}{g} u_0^2} \dots \dots \dots (8)$$

u ハ 近 似 的 ノ 値 ヲ 用 ヒ テ モ p ノ 誤 差 ハ 小 ナリ 由 テ 上 端 ニ P ヲ 水 平 ニ 加 ヘ タル 場 合 ノ 柱 軸 ノ 形 ヲ 用 ヒ テ 分 母 子 ヲ 算 出 ス レ

$$p^2 = \frac{P^2 \rho}{3EI_0} \frac{11}{420} \frac{\rho A_0 P^2 l^2 + \frac{P^2 \rho}{9E^2 I_0^2}}{P} \dots \dots \dots \frac{12EI_0}{l^2 \rho A_0 (1 + \frac{4}{15} \frac{P}{W})} \dots \dots \dots (9)$$

即チ是ニ由リテ視レハ上端ニ加ヘタル荷重ハ之ヲ四倍トシテ全長ニ割リ當ツレハ柱體ノ自重ト同様ニ取扱フ事ヲ得而テ
同様ニシテ下端ヨリ $z_1, z_2, z_3, \dots, z_l$ ノ位置ニ $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ ナル多數ノ荷重存在スル時ハ

$$p^2 = \frac{3EI_0}{l^2} \left(\frac{z_1^2}{l} q_1 + \frac{z_2^2}{l} q_2 + \frac{z_3^2}{l} q_3 \dots \dots \dots + \frac{l^2}{l} P \right) \dots \dots \dots (10)$$

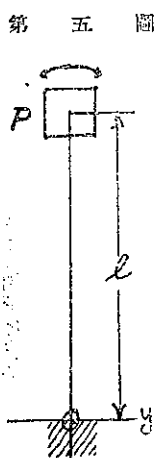
然ルニ荷重ハ柱體ノ重量ヨリ著シク大ニ其寸法モ亦巨大ナルトキハ振動ニ際シ自體ノ廻轉運動モ亦稍著シキ影響ヲ生スルモノナリ

此影響ヲ算定スル近似的方法ハ Lord Rayleigh, — Theory of Sound Vol. I, p. 289 — ニ記載セリ今支柱ノ質量ヲ微少ナリト考ヘテ之ヲ無視シ振動ニ際シ柱軸ノ形狀ハ上端ニ單位水位荷重ヲ加ヘタル場合ト同一ナリト假定シ P ノ重心ノ變位 u 及 $\frac{v}{R}$ ヲ夫レ夫レ δ 及 θ ヲ以テ現セハ柱軸ノ形ハ

$$u = \frac{3\delta - lu}{l} x^2 + \frac{lu - 2\delta}{l} x^3$$

ニシテ彎曲ノ爲メニ生スル位置ノ勢力 (E_p) ハ

$$E_p = \frac{2EI_0}{l^3} (3\delta^2 - 3\delta lu + lu^2)$$



ニシテ運動ノ勢力 (E_k) ハ

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{g} \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)_{x=l}^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{g} R^2 \left(\frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{dy}{dx} \right)_{x=l}^2$$

茲ニ R ハ柱ノ振動ニ直角ナル中軸ノ廻リノ P ノ環動半径ナリ

然ルニ抵抗ヲ無視スルトキハ $E_p + E_k$ ハ不變ナルヲ以テ第一編第二節ト同様ニシテ主振動ニ對スル P 即 $\frac{2\pi}{l}$ ヲ求ム

$$P^2 = \frac{3gEI_0}{P^2 \left(1 + \frac{9}{4} \cdot \frac{R^2}{l^2} \right)} \dots \dots \dots (11)$$

$$T = \frac{2\pi}{p} = 2\pi \sqrt{\frac{Pp^3}{3gEI_0} \left(1 + \frac{9}{4} \frac{I_0^2}{l^2}\right)} \dots \dots \dots (12)$$

第五節 載荷セル塔體ノ固有振動及ヒ之ニ伴フ彎曲力率

載荷柱體ノ固有振動ニ關シテハ僅カニ週期ノ略算法以外何等ノ研究ヲ有セザリシカ余ハ第三節ニ於テ振動ノ微分方程式ヨリ直接其週期ヲ算出セリ而テ本節ニ於テハ更ニ進ミテ振動中ノ柱軸形狀ヲ求メ振動ニ由リテ發生スル彎曲力率ノ配置等ヲ研究セントス尤モ地震ニ際シテ下端固定點カ振動スル場合ニハ一ノ強迫振動ニシテ自ラ其性質ヲ異ニスト雖モ固有振動ハ強迫振動研究ノ基礎トシテ重要ナルノミナラス橋脚ノ如キハ其上端ニ於テ週期的外力ヲ受ケ固有振動ト同性質ノ振動ヲナシ自體ニ重大ナル應力ヲ發生スルモノナルヲ以テ茲ニ之ヲ論セントスルモノナリ

第三節式(6)ニ依リ固有振動ヲナス塔ノ軸ノ極限ノ形狀ハ

$$w = A(\cosh mx - \cos mx) + B(\sinh mx - \sin mx) \dots \dots \dots (13)$$

ニシテA B ハ次ノ二式ヨリ算定サル

$$A \left\{ \sinh ml - \sin ml + \frac{P}{g} \cdot \frac{m}{PA_0} (\cosh ml - \cos ml) \right\} + B \left\{ \cosh ml + \cos ml + \frac{Pm}{g\mu \cdot A_0} (\sinh ml - \sin ml) \right\} = 0$$

$$A \{ \cosh ml + \cos ml \} + B \{ \sinh ml + \sin ml \} = 0$$

故ニ上端ニ於ケル最大變位ヲδトスレハ

$$A = \frac{(\sinh ml + \sin ml) \delta}{(\sinh ml + \sin ml) (\cosh ml - \cos ml) - (\cosh ml + \cos ml) (\sinh ml - \sin ml)} \dots \dots \dots (i)$$

$$B = - \frac{\cosh ml + \cos ml}{\sinh ml + \sin ml} A \dots \dots \dots (ii)$$

故ニ

$$u = \lambda \left[\cos l m x - \cos m x - \frac{\cosh ml + \cos ml}{\sinh ml + \sin ml} (\sinh m x - \sin m x) \right] \dots \dots \dots (14)$$

次ニ彎曲力率 M ハ $-\frac{EI}{Qa^2} \frac{d^2 u}{dx^2}$ ニシテ其極限位置ニ於ケル値ハ

$$M = + m^2 EI_0 \lambda \left[-(\cosh m x + \cos m x) + \frac{\cosh ml + \cos ml}{\sinh ml + \sin ml} (\sinh m x + \sin m x) \right] \dots \dots \dots (15)$$

茲ニ ml ハ

$$ml = \frac{W}{P} \frac{1 + \cosh ml \cos ml}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml}$$

ニシテ W/P ノ値ニ依リテ定マリ其關係ハ既ニ第三節ニ算出セリ今 W/P ノ次ノ如キ値ニ對シテ及 M ノ値ヲ算定セントス

$W/P=0.1$	0.5	1.0	1.5	∞ (no load)
$ml=0.73$	1.07	1.25	1.34	1.875

$u = \eta_j$ $M = \zeta m^2 \delta EI_0$ ト置キテ及 η ヲ求ム

(1) $W/P=0.1$ $ml=0.73$

$\lambda = 2.723 \delta$ $B = -1.38 \times 2.725 \delta = -3.76 \delta$

$\frac{x}{l} = 0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$m x = 0.0$	0.146	0.292	0.438	0.584	0.73
$\eta = 0.0$	0.050	0.206	0.426	0.681	1.000
$\zeta = -5.44$	-4.35	-3.25	-2.15	-1.075	0.00

(2) $W/P=0.5$ $ml=1.07$

$\lambda = 1.34 \delta$ $B = -0.973 \times 1.34 \delta = -1.30 \delta$

$\frac{x}{l} = 0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$m x = 0.00$	0.214	0.423	0.619	0.856	1.070
$\eta = 0.00$	0.081	0.211	0.438	0.701	1.000
$\zeta = -2.68$	-2.13	-1.57	-1.02	-0.491	-0.00

(3) $W/P=1.0$ $ml=1.25$

$\lambda = 0.99 \delta$ $B = -0.862 \times 0.99 \delta = -0.854 \delta$

(4) $W/P=1.5$ $ml=1.31$

$\lambda = 0.865 \delta$ $B = -0.823 \times 0.865 \delta = -0.712 \delta$

$\frac{x}{l} = 0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	$\frac{x}{l} = 0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$\frac{y}{l} = 0.00$	0.23	0.50	0.75	1.00	1.25	$\frac{y}{l} = 0.0$	0.263	0.536	0.811	1.072	1.340
$\eta = 0.00$	0.037	0.213	0.353	0.708	1.000	$\eta = 0.00$	0.058	0.212	0.436	0.707	1.000
$\zeta = -2.02$	-1.584	-1.155	-0.822	-0.346	0.000	$\zeta = -1.730$	-1.560	-1.125	-0.701	-0.325	0.000

(5) $1177 = \infty$ $m = 1.875$

$A = 0.5712$ $B = -0.428$

$\frac{x}{l} = 0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$\frac{y}{l} = 0.00$	0.375	0.750	1.125	1.50	1.875
$\eta = 0.00$	0.064	0.230	0.511	0.73	1.000
$\zeta = -1.142$	-0.825	-0.53	-0.26	-0.07	0.00

第六節 載荷柱體ノ強迫振動並ニ之ニ因ル彎曲力率

即チ第一編ニ於テ述ヘタル如ク地震ニ際シテ柱體ノ爲スヘキ振動ハ地震ノ週期振幅ト柱自身ノ構造週期等ノ關係ニヨリテ振幅ハ次第二増大シテアル程度ニ到レハ最早増加セスシテ振動ヲ繼續スヘシ此場合ニ於ケル柱ノ運動及彎曲力率ノ算定ハ荷重ナキ場合ニ於テモ煩雜ナリシカ載荷セル場合ニハ更ニ一層複雑ナル計算ヲ要ス

此場合柱軸ノ運動ヲ現ハス微分方程式ハ固有振動ノ場合ト同一ニシテ地盤ノ運動ヲ $e \sin pt$ ヲ以テ現ハシ得ルモノトスレハ其解ハ茲ニ e ハ地動振幅ノ二分ノ一ナリ

$$y = (A \cosh mx + B \sinh mx + C \sin me + D \cos me) e \sin pt = u \sin pt$$

$A B C D$ 等ハ常數ニシテ此等ヲ決定スル諸條件ハ

下端 $x = 0$ ニ於テ $y = e \sin pt$, $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$ or $\frac{du}{dx} = 0$

上端 $x=l$ に於て $M=0, \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=0$

而て此場合上端に於ける弾性力ハ荷重 P ノ質量ニ其重心ノ加速度ヲ乗シタルモノニ等シキヲ以テ

$$\frac{d}{dx} \left(EI_0 \frac{d^2 u}{dx^2} \right) = \frac{P}{g} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right)_{x=l, \cos ml=1}$$

$$\left(\frac{du}{dx} \right)_{x=0} = 0 \quad \text{及} \quad C = -B$$

$$u_{x=0} = l \quad \text{及} \quad C = e - A$$

$$\therefore u = A (\cos mx - \cosh mx) + B (\sinh mx - \sin mx) + e \cos mx$$

$$\therefore \frac{d^2 u}{dx^2} = 0 \quad \text{故} \quad A (\cosh ml + \cos ml) + B (\sinh ml + \sin ml) - e \cos ml = 0$$

$$\therefore B = \frac{e \cos ml - A (\cos ml + \cosh ml)}{\sinh ml + \sin ml} \quad \dots \dots \dots (i)$$

$$EI_0 \left(\frac{d^3 u}{dx^3} \right)_{x=l} = EI_0 m^3 \{ A (\sinh ml - \cos ml) + B (\cosh ml + \cos ml) + e \sin ml \}$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\omega y^2 \sin pt \quad \text{及} \quad d = \omega^2 \sqrt{\frac{EI_0}{\rho A_0}}$$

$x=l$ に於て

$$\left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right)_{x=l} = -p^2 \{ A (\cosh ml - \cos ml) + B (\sinh ml - \sin ml) + e \cos ml \}$$

$$\therefore \frac{1}{\frac{P}{m} \frac{1}{\rho A_0}} = \frac{W}{ml P} = K = - \frac{A (\cosh ml - \cos ml) + B (\sinh ml - \sin ml) + e \cos ml}{A (\sinh ml - \sin ml) + B (\cosh ml + \cos ml) + e \sin ml} \dots \dots \dots (ii)$$

(i) 及 (ii) ヨリ

$$A = \frac{\frac{K}{2}(1 + \cosh ml \cos ml + \sinh ml \sin ml) + \sinh ml \cos ml}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml - K(1 + \cosh ml \cos ml)} e$$

$$\therefore u = e \cos mxc + \frac{e}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml - K(1 + \cosh ml \cos ml)} \left[\begin{aligned} & -\frac{K}{2}(1 + \cosh ml \cos ml + \sinh ml \sin ml) \\ & - \sinh ml \cos ml \end{aligned} \right] \times (\cosh mxc - \cos mxc) \times \left[\begin{aligned} & \cosh ml \cos ml + \frac{K}{2}(\cosh ml \sin ml + \sinh ml \cos ml) \end{aligned} \right] \times (\sinh mxc - \sin mxc)$$

$$\therefore M = EI_0 m^2 e^2 \left[\begin{aligned} & \cos mxc - \frac{1}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml - K(1 + \cosh ml \cos ml)} \times \left[\begin{aligned} & -\frac{K}{2}(1 + \cosh ml \cos ml + \sinh ml \sin ml) \\ & - \sinh ml \cos ml \end{aligned} \right] (\cosh mxc + \cos mxc) + \\ & \left\{ \cosh ml \cos ml + \frac{K}{2}(\cosh ml \sin ml + \sinh ml \cos ml) \right\} (\sinh mxc + \sin mxc) \end{aligned} \right] \dots \dots \dots (16)$$

..... (17)

若シ

$$A_1 = \frac{-\frac{K}{2}(1 + \cosh ml \cos ml + \sinh ml \sin ml) - \sinh ml \cos ml}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml - K(1 + \cosh ml \cos ml)}$$

ト置ケハ

$$B_1 = \frac{\cosh ml \cos ml \frac{K}{2} (\cosh ml \sin ml + \sinh ml \cos ml)}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml - K(1 + \cosh ml \cos ml)}$$

$$u = c_1 \cos mx + A_1 (\cosh mx - \cos mx) + B_1 (\sinh mx - \sin mx)$$

$$M = EI_0 \frac{d^2 u}{dx^2} = c_1 \cos mx - A_1 (\cosh mx + \cos mx) - B_1 (\sinh mx + \sin mx)$$

茲ニ
$$K = \frac{W}{mlP}$$

此等ノ公式ヨリMノ配置ヲ算定セントス

$$P = \frac{m^2}{\rho A_0} \sqrt{\frac{EI_0}{\rho A_0}} \quad ; \quad \therefore T_0 = \frac{1}{m^2 P} \quad ; \quad \frac{T^2}{T_0^2} = \frac{m^2 \rho A_0}{m^2 P^2}$$

今柱體カ荷重ヲ支フル場合ノ固有週期ヲT₀地震ノ週期ヲTトシテT₀/Tノ種々ノ値ニ對シテm₀ノ値ハ異ナルヲ算出スレハ次表ノ如シ

$T^2/T_0^2 =$	ml ノ値	ml ノ値	ml ノ値	ml ノ値	ml ノ値
0.1	0.516	0.533	0.80	0.89	1.03
0.5	0.757	1.145	1.17	1.31	1.51
1.0	0.884	1.563	1.37	1.53	1.77
1.5	0.948	1.796	1.47	1.64	1.90
∞	1.327	3.516	2.05	2.30	2.65

600 今 $M = C B_1 \omega^2$ トシテ種々ノ場合ニ對スル ξ ノ値ヲ算定スル

(1) $T_V/T = 1/2$	$K=0.1$	$mI=0.516$							
	$A_1 = +5.30$	$B_1 = -9.53$							
$x/l =$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
$m\omega =$	0.00	0.1032	0.2064	0.3096	0.4128	0.516			
$\xi =$	-9.60	-7.64	-5.70	-3.74	-1.86	1.00			
(3) $T_V/T = 1/2$	$K=1.0$	$mI=0.884$							
	$A_1 = +1.308$	$B_1 = -1.228$							
$x/l =$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
$m\omega =$	0.00	0.1768	0.3536	0.5304	0.7072	0.884			
$\xi =$	-1.74	-1.33	-0.94	-0.59	-0.27	0.00			
(5) $T_V/T = 2/1$	$K=\infty$	$mI=1.327$							
	$A_1 = +1.06$	$B_1 = -0.7925$							
$x/l =$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
$m\omega =$	0.00	0.2654	0.5308	0.7952	1.0616	1.327			
$\xi =$	-1.12	-0.735	-0.419	-0.190	-0.123	0.00			
(7) $T_V/T = 1.5$	$K=0.5$	$mI=1.31$							
	$A_1 = -1.72$	$B_1 = +1.53$							
$x/l =$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
$m\omega =$	0.00	0.262	0.524	0.788	1.048	1.31			
$\xi =$	+4.44	+3.62	+2.71	+1.81	+0.89	0.00			
(2) $T_V/T = 1/2$	$K=0.5$	$mI=0.757$							
	$A_1 = +1.78$	$B_1 = -1.905$							
$x/l =$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
$m\omega =$	0.00	0.1514	0.303	0.4512	0.606	0.757			
$\xi =$	+2.55	-1.98	-1.43	-0.93	-0.45	0.00			
(4) $T_V/T = 1/2$	$K=1.5$	$mI=0.948$							
	$A_1 = +1.23$	$B_1 = -1.01$							
$x/l =$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
$m\omega =$	0.00	0.1896	0.3792	0.5688	0.7584	0.948			
$\xi =$	-1.44	-1.08	-0.74	-0.45	-0.20	0.00			
(6) $T_V/T = 1.5$	$K=0.1$	$mI=0.89$							
	$A_1 = -2.72$	$B_1 = +3.48$							
$x/l =$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
$m\omega =$	0.00	0.178	0.356	0.534	0.712	0.89			
$\xi =$	+6.44	+5.18	+3.91	+2.59	+1.30	0.00			
(8) $T_V/T = 1.5$	$K=1.0$	$mI=1.53$							
	$A_1 = -1.415$	$B_1 = +1.10$							
$x/l =$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
$m\omega =$	0.00	0.308	0.612	0.918	1.224	1.530			
$\xi =$	+3.88	+3.11	+2.33	+1.48	0.71	0.00			

(9) $\gamma'/T=1.5$	$K=1.5$	$mI=1.64$							
	$A_1=-1.42$	$B_1=+1.04$							
	$a/l=0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
	$m\alpha=0.00$	0.328	0.656	0.984	1.312	1.640			
	$\zeta=+3.84$	+3.11	+2.38	+1.45	+0.66	+0.00			
(11) $\gamma'/T=2.0$	$K=0.1$	$mI=1.03$							
	$A_1=-1.43$	$B_1=+1.69$							
	$a/l=0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
	$m\alpha=0.00$	0.206	0.412	0.618	0.824	1.03			
	$\zeta=+3.86$	3.14	2.39	1.60	0.80	0.00			
(13) $\gamma'/T=2.0$	$K=1.0$	$mI=1.77$							
	$A_1=-0.33$	$B_1=+0.191$							
	$a/l=0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
	$m\alpha=0.00$	0.354	0.708	1.062	1.416	1.77			
	$\zeta=+1.66$	1.362	1.058	0.772	0.366	0.00			
(15) $\gamma'/T=2.0$	$K=\infty$	$mI=2.65$							
	$A_1=+0.184$	$B_1=-0.273$							
	$a/l=0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
	$m\alpha=0.00$	0.53	1.06	1.59	2.12	2.65			
	$\zeta=+0.632$	0.782	0.701	0.526	0.160	0.00			
(10) $\gamma'/T=1.5$	$K=\infty$	$mI=2.30$							
	$A_1=-0.246$	$B_1=+0.0658$							
	$a/l=0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
	$m\alpha=0.00$	0.46	0.92	1.38	1.84	2.30			
	$\zeta=1.491$	1.328	0.989	0.573	0.198	0.00			
(12) $\gamma'/T=2.0$	$K=0.5$	$mI=1.51$							
	$A_1=-0.489$	$B_1=+0.394$							
	$a/l=0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
	$m\alpha=0.00$	0.302	0.604	0.906	1.208	1.51			
	$\zeta=+1.93$	1.70	1.33	0.90	0.45	0.00			
(14) $\gamma'/T=2.0$	$K=1.5$	$mI=1.90$							
	$A_1=-0.266$	$B_1=0.1163$							
	$a/l=0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
	$m\alpha=0.00$	0.38	0.76	1.14	1.52	1.90			
	$\zeta=+1.532$	1.373	1.087	0.718	0.331	0.00			
(16) $\gamma'/T=0.87$	$K=\infty$	$mI=1.675$							
	$A_1=+2.29$	$B_1=-1.74$							
	$a/l=0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
	$m\alpha=0.00$	0.335	0.670	1.005	1.340	1.675			
	$\zeta=-3.58$	-2.47	-1.50	-0.925	-0.56	0.00			

601 次ニ載荷セル柱體カ強迫振動ヲ爲ス場合ニ柱軸ハ如何ナル形狀ヲ爲スカヲ知ランカ爲メ

$u \parallel \eta e$ ト 置 キ ヲ ノ 値 ヲ 種 々 ノ 場 合 ニ 就 キ 算 定 セ ン ト ス

$$\eta = \cos ma + A_1 (\cos l ma - \cos m^2) + B_1 (\sin l ma - \sin ma)$$

而 シ テ A_1 及 B_1 ハ 彎 曲 力 率 ノ 場 合 ト 同 一 ナ リ 算 出 ノ 結 果 ハ 次 表 ノ 如 シ

		$a/l =$					
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$T^*/T = 1/2$	$K=0.1$	1.000	1.651	1.164	1.367	1.581	1.841
	$= 1.0$	1.000	1.027	1.095	1.188	1.296	1.400
	$= \infty$	1.000	1.034	1.122	1.237	1.371	1.506
$T^*/T = 2$	$K=0.1$	+1.000	+0.923	+0.702	+0.402	+0.022	-0.30
	$= 1.0$	+1.000	+0.898	+0.617	+0.190	-0.336	-0.905
	$= \infty$	+1.000	+0.902	+0.588	+0.117	-0.537	-1.195

即チ一般ニ荷重 P ノ大ナル場合即 K ノ小ナル時程上端ノ運動ハ小ナリ而シテ P カ柱ノ重量 W ニ比シ非常ニ大ニシテ W/P カ殆ント零ナル時ハ $K \neq 0$ ニシテ公式 (16) ニ依リ $u_{x=1}$ ハ

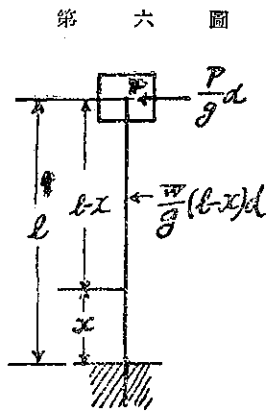
$$u_{x=1} = e \cos ml + \frac{\cos l ml \sin ml - \sin l ml \cos ml}{\sin l ml \cos ml - \cos l ml} \{ -\sin l ml \cos ml (\cos l ml - \cos m^2) + \cos l ml \cos ml (\sin l ml - \sin m^2) \} = 0$$

即チ地動カ余程大ナル時ト雖モ上端ハ不動ナリ然レトモ茲ニ注意スヘキハ荷重 P ノ不動ヨリシテ柱ニ作用スル彎曲力率ノ小ナルコトヲ推定スル事ニシテ之ハ非常ナル誤解ニシテ P ノ不動ト柱ニ作用スル彎曲力率トハ直接斯ル關係ナシ即此場合彎曲力率ハ決シテ小ナルニアラス此理ハ理論上ヨリモ亦事實上ヨリモ充分ニ證明シ得ル所也

第七節 從來ノ方法ニ由ル彎曲力率

構造物ニ作用スル地震ノ影響ヲ算定スル從來ノ方法トハ即チ大森理學博士カ震災豫防調査會報告第二十八號第九頁乃至

十二頁ニ發表セラレタルモノニシテ現今ニ於ケル構造物ノ耐震性ノ研究ハ一ニコノ原則ニ立脚スルモノナリ而テ該原則ハ構造物ノアル斷面(x)ニ作用スル彎曲力率ハソレヨリ上部ノ凡テノ質量ニ地動ノ加速度ト等シキ均等加速度力作用シテ生スル水平荷重ニ依リテ起ルモノト同一ナリト云フニアリ之ヲ數式ヲ以テ現ハセハ(第六圖)



然ルニ地盤ノ運動ヲ $e \sin pt$ or $e \sin \frac{2\pi}{T} t$ ヲ以テ表ハセハ

$$a = -e \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 = -e \left(m^2 \sqrt{\frac{EI_0}{\rho l A_0}} \right)^2$$

故ニ $m'_a = -e m^2 m^2 l^2 \frac{EI_0}{2} + \frac{P}{W} m^2$ 茲ニ $m = \frac{l-a}{l}$

依リテ理論的解法ニ由ルMト上記ノMトノ比ヲ求ムルニ

$$\frac{M_s}{M'_s} = \frac{e m^2 EI_0 e}{-e m^2 m^2 l^2 \frac{EI_0}{2} + \frac{P}{W} m^2} = \frac{e}{-m^2 l^2 \left[\frac{m^2}{2} + \frac{P}{W} m \right]} \dots \dots \dots (18)$$

$$m^2 l^2 - \left[\frac{m^2}{2} + \frac{P}{W} m \right] = e'$$

而シテe'ノ値ハ P/Wトmノ値トニヨリテ異ナル由テ先ツ各場合ニ對シe'ノ値ヲ算定シ次テ(18)ノ値ヲ求メントス

K =	0.1	0.5	1.0	1.5	8
$m^2 l^2$ ノ値					

6.4

$T^n = \frac{T}{2}$	0.2665	0.5725	0.781	0.898	1.758
$T^n = T$	0.5830	1.145	1.563	1.796	3.516
$T^n = 1.2 T$	0.640	1.376	1.88	2.155	4.22
$T^n = 1.5 T$	0.800	1.720	2.35	2.69	5.28
$T^n = 2.0 T$	1.066	2.29	3.126	3.592	7.032

$$\frac{n^2}{2} + \frac{P}{W} n$$

$K =$	0.1	0.5	1.0	1.5	∞	$\frac{x}{l}$
$\frac{P}{W} = \frac{1}{m l K} =$	13.70	1.87	0.800	0.498	0.0	
$n = 1, \frac{n^2}{2} + \frac{P}{W} n =$	14.20	2.37	1.30	0.998	0.50	0
$n = 0.8$	11.38	1.816	0.96	0.718	0.32	0.2
$n = 0.6$	8.40	1.302	0.66	0.479	0.18	0.4
$n = 0.4$	5.55	0.828	0.40	0.279	0.08	0.6
$n = 0.2$	2.76	0.394	0.18	0.120	0.02	0.8
$n = 0.0$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0

ζ 値

$\frac{x}{l} =$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

$T^w = \frac{T^p}{2}$	$K=0.1$	3.79	3.01	2.24	1.48	0.735	0.00	
	0.5	1.36	1.04	0.75	0.475	0.226	0.00	
	1.0	1.02	0.761	0.517	0.314	0.141	0.00	
	1.5	0.896	0.644	0.430	0.250	0.108	0.00	
	∞	0.879	0.561	0.316	0.140	0.035	0.00	
	$K=0.1$	7.59	6.02	4.49	2.97	1.48	0.00	
		0.5	2.71	2.08	1.49	0.95	0.451	0.00
		1.0	2.04	1.50	1.03	0.638	0.231	0.00
		1.5	1.79	1.29	0.86	0.59	0.216	0.00
		∞	1.76	1.13	0.633	0.282	0.070	0.00
	$T^w = T^p$	$K=0.1$	9.10	7.22	5.39	3.56	1.77	0.00
		0.5	3.25	2.49	1.79	1.135	0.54	0.00
1.0		2.45	1.80	1.24	0.750	0.339	0.00	
1.5		2.15	1.55	1.03	0.60	0.26	0.00	
∞		2.11	1.35	0.76	0.338	0.084	0.00	
$T^w = 1.2 T^p$	$K=0.1$	9.10	7.22	5.39	3.56	1.77	0.00	
	0.5	3.25	2.49	1.79	1.135	0.54	0.00	
	1.0	2.45	1.80	1.24	0.750	0.339	0.00	
	1.5	2.15	1.55	1.03	0.60	0.26	0.00	
	∞	2.11	1.35	0.76	0.338	0.084	0.00	

$$\frac{a}{l} =$$

2) 値ノ續キ

$K=0.1$	11.36	9.01	6.73	4.45	2.21	0.00
---------	-------	------	------	------	------	------

		$T = 1.5 T'$									
		0.5	1.0	1.5	∞	$K = 0.1$	0.5	1.0	1.5	∞	
		4.06	3.06	2.68	2.64	15.16	5.42	4.06	3.58	3.52	
		3.13	2.26	1.93	1.69	12.02	4.16	3.00	2.58	2.25	
		2.25	1.555	1.29	0.95	8.98	2.98	2.07	1.72	1.165	
		1.41	0.94	0.75	0.423	5.93	1.90	1.25	1.00	0.563	
		0.678	0.424	0.322	0.106	2.95	0.90	0.562	0.431	0.141	
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		$T = 2.0 T'$									
		0.5	1.0	1.5	∞	$K = 0.1$	0.5	1.0	1.5	∞	
		4.06	3.06	2.68	2.64	15.16	5.42	4.06	3.58	3.52	
		3.13	2.26	1.93	1.69	12.02	4.16	3.00	2.58	2.25	
		2.25	1.555	1.29	0.95	8.98	2.98	2.07	1.72	1.165	
		1.41	0.94	0.75	0.423	5.93	1.90	1.25	1.00	0.563	
		0.678	0.424	0.322	0.106	2.95	0.90	0.562	0.431	0.141	
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

即チゴトゴトノ場合ニ依リ著シク異ナルヲ見ル依テニ著ノ比ヲ求ムルニ

$$\mu_s = \frac{M_s}{M'_s} = \frac{C}{T'} \quad \text{ノ 表}$$

	$\frac{x}{l} =$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$T' = \frac{T}{2}$	$K = 0.1$	2.54	2.54	2.55	2.53	2.53	—
	$K = 0.5$	1.88	1.90	1.91	1.96	1.98	—
	$K = 1.0$	1.70	1.76	1.82	1.88	1.93	—
	$K = 1.5$	1.60	1.62	1.71	1.72	1.78	—
	$\frac{W}{P} = 0.052$	1.27	1.30	1.33	1.35	3.48	—
	$\frac{W}{P} = 0.380$	1.27	1.30	1.33	1.35	3.48	—
	$\frac{W}{P} = 0.890$	1.27	1.30	1.33	1.35	3.48	—
	$\frac{W}{P} = 1.42$	1.27	1.30	1.33	1.35	3.48	—
	$\frac{W}{P} = \infty$	1.27	1.30	1.33	1.35	3.48	—

$T^p = 1.5 T$	$K = 0.1$	$\frac{W}{P} = 0.089$	0.566	0.575	0.581	0.582	0.590		
	$K = 0.5$	"	0.653	1.09	1.15	1.21	1.26	1.31	
	$K = 1.0$	"	1.52	1.25	1.38	1.50	1.58	1.54	
$T^p = 2 T$	$K = 1.5$	"	2.44	1.42	1.56	1.84	1.86	1.97	
	$K = \infty$	"	∞	0.565	0.805	1.044	1.34	1.90	
	$K = 0.1$	$\frac{W}{P} = 0.104$	0.255	0.262	0.267	0.270	0.271		
$T^p = 2 T$	$K = 0.5$	"	0.76	0.366	0.409	0.445	0.472	0.500	
	$K = 1.0$	"	1.78	0.410	0.454	0.512	0.615	0.660	
	$K = 1.5$	"	2.84	0.426	0.517	0.632	0.690	0.732	
$K = \infty$	"	∞	0.179	0.348	0.555	0.945	1.136		

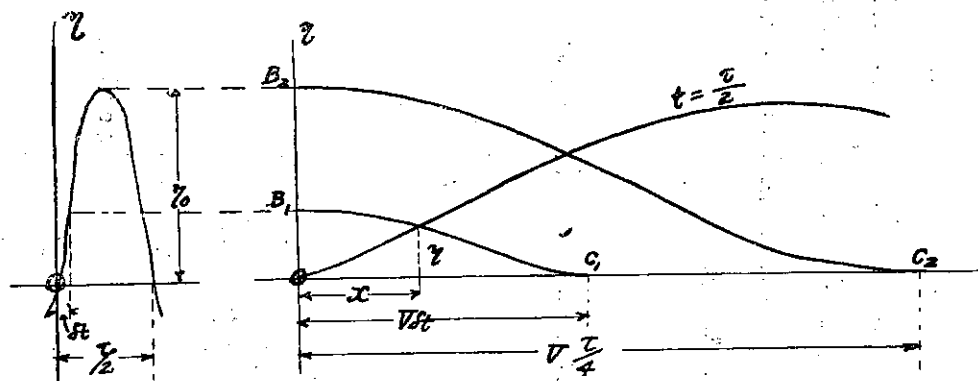
故ニ下端ヨリ 點ニ於ケル彎曲力率ヲ求メントスレハ地盤ノ加速度 u ノ代リニ $\frac{W}{g}$ ヲ用ヒサルヘカラス即

$$M_x = \mu_x \frac{u}{g} (l-x) \left\{ P + \frac{W}{l} \cdot \frac{(l-x)}{2} \right\} \dots \dots \dots (19)$$

第八節 極メテ急激ナル地動ノ影響

上來論セシ所ハ地盤ノ振動カ一定ノ週期ヲ以テ暫時繰リ返シテ作用シ構造物ハ略定狀振動 (Stationary vibrations) ヲ爲ス場合ニ對スルモノニシテ普通存在シ得ル最モ危險ナル場合ニ對スルモノナリ然ルニ振源ニ極メテ接近シタル地方ニ於テ地動ハ忽然トシテ起リ構造物ノ振動カ尙ホ未タ定狀々態ニ達セスシテ既ニ破折スル場合アルヘシ此場合ハ振本ニ加ヘラレタル瞬力 (Impulse) ニ依リテ發生スル變位ハ柱ヲ傳ハリテ上方ニ傳播スヘシ實際問題トシテハ瞬間的ニ作用スル瞬力モ其作用ニハ短少ナル期間ヲ要シ其間ニ變位及内部ノ應力ハ上方若干ノ距離ニ傳播シ居ル次第ニシテ即チ作用ノ期

第七圖



論說報告 載荷セル構造物ノ振動並ニ其耐震性ニ就テ

間ヲ週期トスル單獨波カ柱ヲ傳ハリテ上方ニ傳播スルモノト考ヘテ可ナリ
然ルニ彈性柱體ニ於テハ此波ノ傳播速度ハ波長ニ關係スルヲ以テ充分理論的ニ此
問題ヲ解決スル事ハ不可能ナリ

今 Impulse ノ力 (F) カ $\tau \parallel 0$ ニ於テ零ニシテ之レヨリ次第ニ増大シテ $\tau \parallel \frac{1}{4}$ ニ
於テ最大トナリ之レヨリ漸時減少シテ $\tau \parallel \frac{1}{2}$ ニ於テ再ヒ零ニ歸スルモノト考フ
レハ大體次ノ式ニヨリテ現ハシ得

$$|F| = F_{max} \sin \frac{2\pi}{\tau} t$$

今 O ヲ柱體ノ下端トシ O α ヲ其軸ト ヲ以テ各點ノ變位ヲ現ハセハ下端ニ於ケル
y ノ値即チ y ハ

$$y_0 \sin \frac{2\pi}{\tau} t$$

然ルニ柱體ノ彈性力ト變位トノ 關係ヲ現ハス微分方程式ハ第一編第四節ト同
一ニシテ

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{pA_0}{EI_0} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$

今 $\frac{p}{E} \parallel \frac{1}{b^2}$, $\frac{A_0}{I_0} \parallel \frac{1}{r^2}$ ト置ケハ此方程式ハ次ノ關係ヲ以テ満足スルコトヲ
得

$$y = B \sin \frac{2\pi}{\lambda} (V_1 - x) \quad \text{及} \quad V = \frac{2\pi r^2}{\lambda}, \quad \lambda = V_0$$

然ルニ $y = 0$ ニ於テ $y = \eta_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} t$ ナルヲ以テ

$$y = \eta_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (V_1 - x)$$

而テ x ニ於ケル彎曲力率ハ

$$M_x = -EI_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

然ルニ η_0 ハ微少ニシテ $B_1 C_1$ 及 $B_2 C_2$ 等ノ曲線ハ完全ナル Sine curve ヲナサス而モ C_1 及 C_2 等ノ點ニ於テハ $y = 0$; $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$; $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$; ... ナルヲ要スルヲ以テ上記ノ理論ヲ其儘採用スル事能ハサルモ近似的ニ $B_1 C_1$ 及 $B_2 C_2$ 等ヲ Sine curve ノ一部ト見做シテ之ヲ x 及 t ノ函數トシテ現ハセン

$$\text{for } B_1 C_1, \quad y = \sqrt{OB_1} \cos \frac{\pi}{2V_0 t} x$$

$$\text{for } B_2 C_2, \quad y = \sqrt{OB_2} \cos \frac{\frac{1}{2}\pi}{V_0 t} x$$

故ニ一般ニ

$$y = \eta_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} t \cos \frac{\pi}{2V_0 t} \cdot \frac{x}{\lambda} \quad \text{for } 0 < t < \frac{t}{4}$$

故ニ $y = 0$ ニ於ケル最大彎曲力率ハ

$$M_0 = EI_0 \gamma_0 \left(\frac{2\pi}{V\tau} \right)^2$$

然ルニ一方柱體ノ全質量ニ地動ノ加速度ノ作用スル場合ニ下端ニ生スル彎曲力率ハ第九節ニ依リ

$$M = c \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{\rho A_0 l^2}{2} \quad T = \text{地震之週期}$$

$$\therefore \frac{M_0}{M} = \frac{2\gamma_0}{e} \left(\frac{T}{V\tau} \right)^2 \frac{EI_0}{\rho A_0 l^2}$$

然ルニ柱體ノ固有週期ヲ T トスレバ

$$V = \frac{2\pi v}{\lambda}, \quad v \gamma m^2 = \frac{2\pi}{T^2} \quad \therefore V\lambda = 2\pi \frac{2\pi}{m^2 T^2}$$

$$\therefore (V\tau)^2 = \frac{4\pi^2 \tau}{m^2 T^2} \quad \therefore \left(\frac{2\pi}{V\tau} \right)^2 = \frac{m^2 T^2}{\tau^2}$$

且ツ

$$T^2 = \frac{2\pi^2 l^2}{m^2 l^2} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} \quad \therefore \frac{EI_0}{\rho A_0} = \frac{(2\pi)^2}{m^2 \tau^2} \cdot \frac{l^4}{T^2}$$

$$\therefore \frac{M_0}{M} = \frac{2\gamma_0 T^2}{l \tau T^2 m^2 l^2}$$

今柱體カ T ナル週期ヲ以テ強迫振動ヲ爲ス場合ニハ

$$T^2 = \frac{2\pi}{m_1^2 l^2} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} \quad \text{ニシテ從テ}$$

$$\frac{T^2}{T^2} = \frac{m_1^2 l^2}{m^2 l^2}$$

$$\therefore \frac{M_0}{M} = \frac{2\gamma_0}{e} \cdot \frac{T}{\tau} \frac{1}{m^2 l^2} \dots \dots \dots (20)$$

$\frac{M_0}{M}$ の値ハ $\frac{1}{V/P}$ の値ニ依リテ異ナリ後ニ $\frac{M_0}{M}$ の値トシテ表示セルモノアリ長キ柱ニ於テハ $\frac{M_0}{M}$ 大ニシテ
 $\frac{M_0}{M}$ ハ小ナリ短カキ柱ニ於テハ $\frac{M_0}{M}$ 即チ $\frac{1}{4} \sqrt{\frac{4M_0^2 P^2}{m_0^2 L^2 T^2}}$ ヨリ遙カニ小ナルヲ以テ O 點カケタケ變位スル以前
 ニ上端ハ運動ヲ起シ M_0 ハ斯ク大トナル能ハス而テ e カ微小ナル時ハ $\frac{M_0}{M}$ ニ比シテ微小ニシテ即チ瞬間的ニ作用スル振
 動ノ振幅ハ一秒乃至一・五秒ヲ週期トスル大振動ノ振幅ニ比シ微小ナリ而テ e モモ極端ニ大ナル場合ヲ想像シ $\frac{M_0}{M}$
 $\frac{M_0}{M}$ トスルハ $\frac{M_0}{M}$ ノ荷重ナキ場合ニ於テ

$$\frac{T}{m_0^2 P} = \frac{1}{3.516} \cdot \frac{T}{T'} \quad \therefore \frac{M_0}{M} = \frac{2M_0}{e} \cdot \frac{1}{3.516} \cdot \frac{1}{T'} = \frac{2}{3.516 T'}$$

ニシテ T' 小ナル時ハ稍大ナル値トナルモ斯ク e ノ大ナル場合ハ O カケタケノ最大變位ヲ爲ス以前波ハ上端ニ達シテ其運
 動ヲ起ス即チ $\frac{M_0}{M}$ ヨリ遙カニ小ナリ依テ結局急激ナル振動ニ依リテ生スル彎曲力率ハ M' ノ二分ノ一以下ニシテ且ツ
 柱體ノ固有週期大ナル程次第ニ減少スルモノナリ

第九節 彎曲力率ノ算定ニ採用スヘキ加速度

然ルニ前節ニ於テ算出セル μ ノ値ハ地震カ充分長ク繼續シタル場合ニ對スルモノニシテ普通ノ大地震ニ於テハ強キ振動
 ハ數回繰リ返サル、ニ過スシテ從テ振動ノ累積スル現象ハ斯ク著シカラサルヘシ即チ固有振動週期ト地震ノ週期ト近似
 シ算出ノ結果著シク大ナル μ ヲ與フル場合ニ於テハ算出値ハ實際ニ作用スルモノニ比シ明カニ過大ニ失スルモノナリ而
 テ週期ノ差著シキ場合ハ地震ノ繼續ニ依リ振動ノ累積スル事少ナキヲ以テ算出値ハ實際ニ比シテ大ナラサルノミナラス
 週期長キ柱體ニ於テハ第八節ニ於テ論セシ急激ナル地動ノ影響ハ却テ第六節ニ示セシ強迫振動ノ作用ヨリモ大ナル應力
 ヲ發生スル事アルヘキヲ以テ第七節ニ算出ノ μ ヨリ却テ大ナル値ヲ使用セサレハ充分安全ナリト云フヲ得ス而テ實際ノ
 構造物ノ震害ヨリ見ルモ上部ニ作用セシ加速度ハ地盤ノ夫レノ一・五倍乃至二・〇倍ヲ超エサルモノ、如シ而テ μ ノ値ハ
 上部程次第ニ大トナリ其増加ノ割合ハ荷重ノ大ナル程即チ R ノ小ナルモノ程徐々ニシテ荷重ナキ場合ニ於テ増加率最モ

大ナリ且ツ $\frac{P}{W}$ カ大ナル程即チ固有振動週期カ地震ノ週期ニ比シ大ナル程該增加率大ナリ此等ノ事實ヨリシテ構造物ノ耐震力ヲ算定スル爲メニ採用スヘキ加速度ヲ簡單ニ現ハサンニハ大體次ノ公式ヲ使用スレハ妥當ナル結果ヲ得ヘシト信ス

(1) 荷重アル場合

$$\left. \begin{aligned} T^n \equiv T \quad \mu_s &= \left\{ 1 - \frac{W}{4P} \left(1 - 2 \frac{T^n}{T} \right) \right\} \left\{ 1 + \frac{W}{8P} \left(\frac{T^n}{T} \right)^2 \frac{x}{l} \right\} \\ T^n \equiv T \quad \mu_s &= \left(1 + \frac{W}{4P} \right) \left(\frac{T^n}{T} \right)^3 \left\{ 1 + \frac{W}{8P} \left(\frac{T^n}{T} \right)^2 \frac{x}{l} \right\} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (21)$$

(2) 荷重ナキ場合

$$\left. \begin{aligned} T^n \equiv T \quad \mu_s &= \left(1.6 - 0.4 \frac{T^n}{T} \right) \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{T^n}{T} \right)^2 \frac{x}{l} \right\} \\ T^n \equiv T \quad \mu_s &= 1.2 \left(\frac{T^n}{T} \right)^3 \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{T^n}{T} \right)^2 \frac{x}{l} \right\} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (21')$$

茲ニ

T^n = 構造物ノ振動週期(秒)

T = 地震ノ振動週期(秒)

μ_s = 下端ヨリ x ナル高サノ断面ニ作用スル彎曲力率ヲ算定スルタメニ其上部ノ凡テノ質量ニ作用セシムヘキ加速度ヲ地震ノ夫レニテ除ソタルモノ

W = 構造物自體ノ總重量

P = 構造物ノ上端ニ載セタル荷重

l = 構造物ノ高さ

而シテ α 断面ニ作用スル彎曲力率ハ

$$M_{\alpha} = \mu_{\alpha} \frac{d}{g} (1-\alpha) \left\{ P + \frac{W}{l} (1-\alpha) \frac{1}{2} \right\}$$

W/P 及 W/P ノ種々ノ値ニ對シテ上ノ公式ヨリ算出セル μ_{α} 。即チ根本ニ於ケル係數 μ ノ値ハ次表ノ如シ

(公式21ノ値ハ附圖第三第四圖ニ線ヲ以テ現ハシタリ)

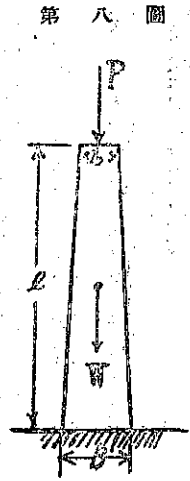
W/P T/P	$\mu_{\alpha=0}$ ノ 値								W/P T/P	$\mu_{\alpha=1}$ ノ 値							
	0.1	0.5	1.0	1.5	2.0	8	0.1	0.5		1.0	1.5	2.0	8				
1/2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.04	1.06	1.08	0.90				
0.8	1.02	1.08	1.15	1.23	1.30	1.10	0.8	1.02	1.12	1.24	1.38	1.51	1.45				
1.0	1.03	1.13	1.25	1.38	1.50	1.20	1.0	1.04	1.20	1.41	1.63	1.88	1.80				
1.2	0.78	0.86	0.95	1.03	1.14	0.83	1.2	0.79	0.93	1.12	1.33	1.55	1.43				
1.5	0.56	0.61	0.68	0.75	0.82	0.53	1.5	0.58	0.70	0.83	1.07	1.28	1.13				
2.0	0.39	0.32	0.35	0.39	0.43	0.30	2.0	0.31	0.40	0.53	0.68	0.85	0.90				

上記ノ公式ハ構造物ニ對スル地震ノ作用カ全ク不明ナル今日便宜上簡單ヲ旨トシテ提案セル所ニシテ他日本題ノ充分ナル研究ヲ待チ漸次改良スヘキモノトス

第十節 橋脚ノ振動週期

堅固ナル地盤又ハ杭打工ヲ基礎トナス橋脚ハ其形四面共ニ傾斜シ大體厚サノ方向ニ振動スル楔狀柱ト見做シ得ルヲ以テ其振動週期ノ算定ニハ第二節ヲ應用セハ可ナリ然レトモ橋脚ハ常ニ重キ橋桁ヲ支持シ列車通行ノ際ハ直接又ハ間接ニ其重量ヲモ負載スルヲ以テ載荷セル柱體トシテ取扱ハサルヘカラス依テ楔狀柱ノ週期ヲ與フル公式(5)ト載荷セル橋體ノ公式(8)トヲ結合シテ橋脚ニ對スル週期ノ公式ヲ求メントス

楔狀柱體ノ振動週期



荷重ヲ負ヒタル柱體ノ振動週期

$$T = C_2 P \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}}$$

$$C_2 = 1.788 - 0.605 \left(1 - \frac{L}{L'}\right)^3$$

$$T = C_3 P \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}}$$

$$C_3 = \frac{2\pi}{(ml)^2}$$

茲ニ \$C_3\$ ハ第三節ニ算出セル所ニシテ附圖第二圖ニ示セリ此等二式ヨリ楔狀體ニシテ載荷セル場合ノ振動週期ヲ求ムルニ

$$T = \frac{C_3 C_2 P^2}{1.788} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} \dots \dots \dots (22)$$

又ハ第三節近似法ヲ用ヒ載荷柱體ニ於テ

$$T = 1.788 P \sqrt{1 + \frac{4P}{W}} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}}$$

$$T = C_2 \sqrt{1 + \frac{4P}{W}} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} \dots \dots \dots (22')$$

今試ミニ兩式ノ係數ヲ比較セムニ \$W/P\$ ノ値ニヨリテ異ナリ大體次表ノ如シ

\$W/P\$	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
公式(22)ノ與フル\$T'\$	1.95	2.12	2.27	2.48	2.81	3.38	4.68
公式(22')ノ與フル\$T\$	1.92	2.08	2.24	2.45	2.77	3.32	4.58

即チ公式(22)ノ與フルモノハ稍小ナルモ其誤差ハ實用上何等支障ナキ程度ナリ次ニ二三例ノ實例ニツキ上記公式ノ與フル

週期ト實測セルモノトヲ對比シ併テ橋脚ノ振動現象ヲ論セントス

(1) 山陰線高屋川橋脚

(Bulletin of the Imperial Earthquake Investigation Committee Vol. IV. No. 2. p. 35 以下ニ該橋檢測ノ報告アリ)

該橋脚ハ岩盤ヲ基礎トシ基礎上面上ノ高サ約 78.5 呎ノリ上階構桁及鉄桁ヲ支持ス

74'-3" 鉄桁ノ重量 = 27 ton 1,450 lbs.

204'-0" 構桁ノ重量 = 155 ton 19 lbs.

橋脚下端ノ斷面積 (A_0) = $17.55 \times 29.5 = 520 \text{ 呎}^2$

橋脚上端ノ斷面積 = $7.0 \times 24.0 = 168 \text{ 呎}^2$

橋梁ノ方向ニ於ケル厚サ(下端) = 2×8.78

同 上 (上端) = 2×3.5

故ニ 下端斷面ノ振動半徑 = $\sqrt{\frac{I_0}{A_0}} = 5.03$

$$\frac{I_1}{L} = \frac{b}{B} = \frac{3.5}{8.78} \approx 0.40$$

而テ橋脚ハ表面煉瓦積ニシテ内部ハ玉石混凝土ナリ依テ平均シテ $\sqrt{\frac{P}{E}}$ ハ上等ノ煉瓦工ト 1:3:6 混凝土ノ中間約

1.5×10^{-4} トシ公式(5)ヲ用ル

$$T = C_2 P \sqrt{1 + \frac{4P}{W}} \cdot \sqrt{\frac{PA_0}{EI_0}}$$

自體ノ重量 (W) = $\frac{1}{2}(530 + 168)78.5 \times 145 \approx 3,920,000 \text{ lbs.}$

支持スル荷重 (P_1) = $\frac{1}{2}(27 \text{ ton } 1,450 \text{ lbs.} + 155 \text{ ton } 19 \text{ lbs.}) \approx 2^4,440 \text{ lbs.}$

故ニ

$$T = 1.66\sqrt{1 + 0.208 \times 78.5^2} \times \frac{1.5}{5.03 \times 10^4} = 0.33 \text{ sec.}$$

而シテ試験ニ採用セル列車ハ機關車一臺車輛ニヨリ組織セルモノ及ヒ機關車二臺車輛ニヨリ成ルモノト二種ニシテ其重量ハ

$$P_1' = 1 \text{---Locomotive} + 2 \text{---wagons} = 118 \text{ ton}$$

$$P_2' = 2 \text{---Locomotive} + 2 \text{---wagons} = 196 \text{ ton}$$

故ニ橋桁ヨリ來ル重量ニ此等ヲ加ヘテ

$$P_1 = 204,440 + 264,000 = 468,440 \text{ lbs.}$$

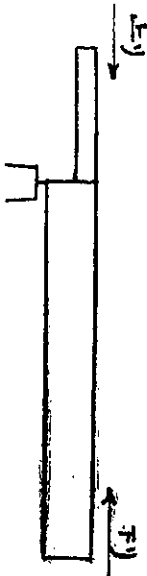
$$P_2 = 204,440 + 439,000 = 643,440 \text{ lbs.}$$

$$\therefore \sqrt{1 + \frac{4P_1}{W}} = 1.22, \quad \sqrt{1 + \frac{4P_2}{W}} = 1.29$$

$$\therefore T_1 = 0.37 \text{ sec.} \quad T_2 = 0.40 \text{ sec.}$$

而テ T_1 及 T_2 ハ共ニ全列車重量カ懸案ノ橋脚上ニ載ルモノトシテノ計算ナルヲ以テ實際列車カ走過スル場合ニハ活荷重ハ0ヨリ P_1' 又ハ P_2' 迄テノ間ニ在ルヲ以テ橋脚ノ振動週期ハ $T_1 = 0.33 \text{ sec.}$ ト $T_1 = 0.37$ 又ハ $T_2 = 0.40$ トノ中間ニ存スヘシ而

第 九 圖



示セリ

$$(I) \quad 1 \text{---Locomotive} + 2 \text{---Wagons}$$

テ活荷重ナキ場合ノ振動週期ハ列車カ左右二桁ノ上ニ存セサル場合他ノ橋桁又ハ橋脚ノ振動ノ影響ヲ受ケテ振動スル場合カ又ハ左右二桁ニ列車ノ小部分カ載ル場合ノ週期ト見做シテ可ナリ依テ實際ノ檢測ニ於テ列車通過ニ依ル振動週期ノ變遷ヲ次表ニ

検測番號 列車速度(哩/時) 橋脚振動週期(秒)

No. 1.

3.9	← 0.24 →	← 0.32 →	← 0.35 →	← 0.40 →	← 0.38 →	← 0.29 →		
2.	10.0	↔ 0.27 ↔	→ 0.30 →	→ 0.35 →	→ 0.40 →	→ 0.37 →	→ 0.29 →	↔ 0.27 ↔
3.	11.0	← 0.29 →	← 0.32 →	← 0.41 →	← 0.26 →			

(II) 2—Locomotives + 2—Wagons

No. 5.

3.5	← 0.26 →	← 0.29 →	← 0.33 →	← 0.38 →	← 0.37 →	← 0.35 →	← 0.30 →			
6.	4.0	↔ 0.28 ↔	→ 0.29 →	→ 0.33 →	→ 0.40 →	→ 0.38 →	→ 0.29 ↔			
7.	7.0	← 0.27 →	← 0.28 →	← 0.40 →	← 0.47 →	← 0.26 →	← 0.27 →	← 0.28 →		
8.	9.0	↔ 0.28 ↔	→ 0.27 →	→ 0.29 →	→ 0.32 →	→ 0.45 →	→ 0.39 →	→ 0.28 ↔		
9.	20.0	← 0.25 →	← 0.28 →	← 0.28 →	← 0.40 →	← 0.31 →	← 0.30 →	← 0.32 →		
10.	23.0	↔ 0.28 ↔	→ 0.29 →	→ 0.40 →	→ 0.33 →	→ 0.30 →	→ 0.28 ↔			
11.	15.0	← 0.29 →	← 0.32 →	← 0.42 →	← 0.43 →	← 0.31 →	← 0.27 →			
12.	13.7	↔ 0.30 ↔	→ 0.37 →	→ 0.28 ↔						
13.	19.5	← 0.25 →	← 0.29 →	← 0.30 →	← 0.39 →	← 0.30 →	← 0.26 →			
14.	21.0	↔ 0.26 ↔	→ 0.27 →	→ 0.30 →	→ 0.26,	0.35 →	0.25,	0.41 →	0.33 →	0.29 ↔

即チ荷重ナキ場合ニ近キ状態ニ於テ週期ハ 0.25 秒乃至 0.32 秒ナレトモ列車ノ重心カ 20' 桁ノ中央附近ニ存スル場合ニ 0.40 秒以上ノ週期ヲ示セリ是レ桁ノ振動ノ爲メニ橋桁カ強迫振動ヲ爲スニ由ルナラン而テ週期 0.2 秒以下ニシテ振幅小ナル振動ノ時々現ハレタルハ(上表ニハ主要ナルモノ、ミヲ掲ケタルヲ以テ之ヲ缺ク)明カニ 70' 桁ノ振動ニ由ルモノナルヘシ

(2) 質美川橋脚

(引用書同上 p. 85 以下)

此橋脚ハ基礎上ノ高サ七十九呎ニシテ大體ハ煉瓦積ニシテ下部ハ其内部ニ 1:3:9 混凝土ヲ詰メ込ミタルモノナリ而テ
 兩側ノ桁ハ共ニ二百四呎九吋徑間ノモノナリ

$$\text{上端ノ斷面積} = 8'5 \times 24'0 = 204 \text{ 呎}^2$$

$$\text{下端ノ斷面積} = 18'416 \times 30'416 = 559 \text{ 呎}^2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{b}{B} = \frac{85}{18.416} = 0.46$$

橋脚ノ重量 = 3,870,000 lbs.

橋桁ノ重量 = 155 tons = 347,400 lbs.

下端ノ斷面ハ外側煉瓦ニシテ内部混凝土ナルヲ以テ煉瓦ノ彈率ヲ $\frac{10^6}{10^6}$ #/sq. 混凝土ノ彈力ヲ $10^6 \times 10^6$ #/sq. トシ煉
 瓦積ノ慣性能率ヲ I_0 混凝土ノソレヲ I_1 トスレハ

$$I_0 = 10,681 \text{ 呎}^4, \quad I_1 = 5,090 \text{ 呎}^4$$

故ニ全體トシテノ

$$I_0 E = 10,681 \times 4 \times 10^6 \times 144 + 5,090 \times 144 \times 25 \times 10^6 = 169,974 \times 12 \times 10^6$$

同様ニシテ

$$pA_0 = (115 \times 183.6 + 145 \times 338) \frac{1}{32.2} = \frac{1}{32.2} \times 70,100$$

故ニ

$$\sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} = 0.288 \times 10^{-4}$$

故ニ列車荷重ナキ場合ノ橋脚ノ振動週期ハ

$$T = 1.69 \sqrt{1 + \frac{4P}{W}} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}}$$

$$= 1.46 \sqrt{1 + 0.359} \times \frac{0.288 \times 79}{10^4} = 0.36 \text{ 秒}$$

試験ニ使用セシ列車ハ機關車二臺制動車一輛空貨車一臺二十噸積載ノ貨車七臺ニシテ其重量ハ次ノ如シ

2—Locomotives = 2 × 78.2 ≡ 156.4 tons

1—Break van = 10.4

1—Empty Wagon = 8.0

7—Loaded Wagons = 7 × 28 ≡ 196.0 tons

Σ = 370.8 tons

故ニ橋桁及列車ヲ合セテ

$$P_2 = 347,400 + 830,000 = 1,177,400 \text{ lbs.}$$

$$\sqrt{1 + \frac{4P_2}{W}} = 1.49$$

故ニ列車ノ全重量カ懸案ノ橋脚ニ載ルモノトシテ振動週期ヲ算定スレハ

$$T = 0.47 \text{ 秒}$$

即チ列車通過ニ際シ橋脚ノ固有週期ハ 0.33 秒乃至 0.47 秒ノ間ニアルヘシ而テ 204.9% 橋桁ノ固有振動週期ハ列車荷重ナキ場合ニ 0.25 秒ニシテ之レヨリ列車ヲ積載セル場合ノ週期ヲ算出スレハ

次ニ列車通過ニ際シ橋脚ノ振動週期ノ變遷ヲ表示ス

$$T = 0.25 \times \sqrt{\frac{155 \times 370.8}{155}} = 0.46 \text{ 秒}$$

振動番號	列車速度	週 期 (秒)
1	3.0 哩/時	0.29 → 0.35 → 0.36 → 0.41 → 0.35 → 0.31 → 0.32
2	4.0	0.30 → 0.34 → 0.41 → 0.31 → 0.38 → 0.33
3	17.0	0.28 → 0.29 → 0.53 → 0.33 → 0.32
4	9.0	0.30 → 0.35 → 0.40 → 0.32 → 0.32 → 0.29
5	22.0	0.31 → 0.35 → 0.33
6	27.0	0.30 → 0.35 0.30
7	25.0	0.33 → 0.62 → 0.32
8	27.0	0.32 → 0.30 → 0.29

即チ荷重ノ微小ナル場合ノ振動週期ハ 0.29 秒乃至 0.33 秒ニシテ荷重ノ影響最大ナル場合ニ於テ 0.35 秒乃至 0.41 秒ニシテ其最長ナルモノハ 0.62 秒ニ達セリ然ルニ荷重滿載ノ場合ノ構桁ノ週期ハ 0.45 秒(計算ノ結果)位ナルヲ以テ此場合兩者ノ振動週期ハ近似セルモノナリ

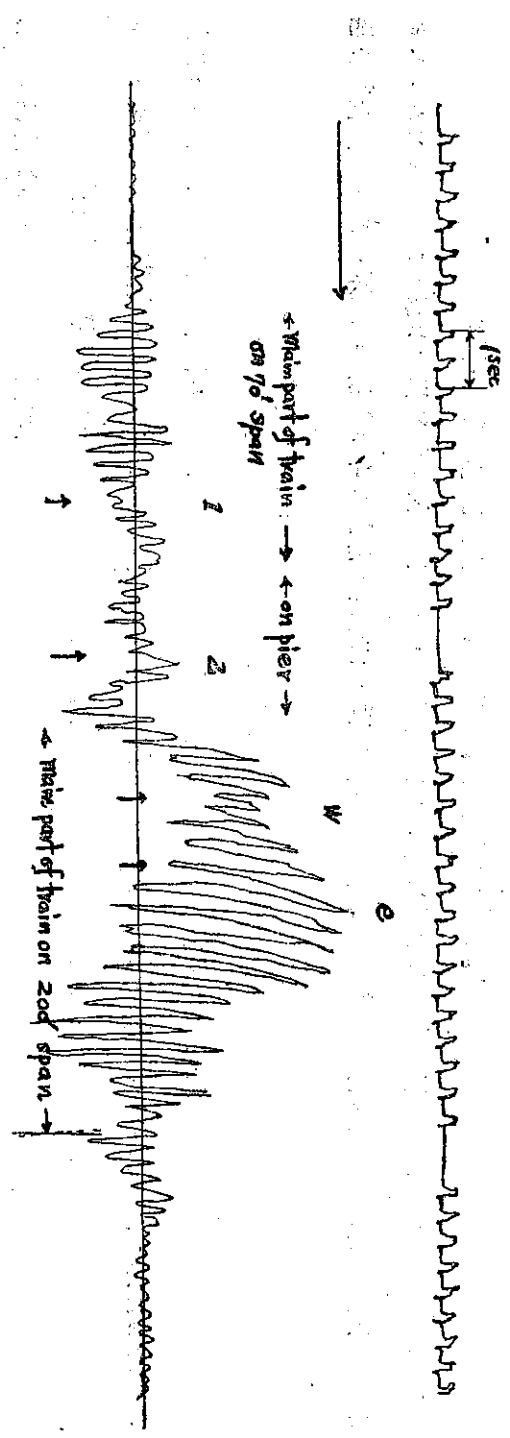
週期ハ走行荷重ノ位置ニ由リテ 0.30 秒位ヨリ次第ニ大トナリ 0.35 秒乃至 0.50 秒ニ至リソレヨリ次第ニ小トナリテ 0.30 秒位ニ減シ其間最大振幅ヲ現ハス週期ハ 0.35 秒乃至 0.53 秒ナリ

然ルニ一方構桁 (204' 9" 徑間)ノ振動週期ハ 0.25 秒乃至 0.46 秒ニ亘リ兩者ノ週期ハ殆ント同一範圍ニアルヲ以テ兩者ノ振動ハ互ニ共鳴シテ其累積ヲ來ス即前二例ノ如キ寸法ノ橋脚ハ 200' 位ノ徑間ヲ支持スル場合ニ最モ顯著ナル振動ヲナス高屋川ノ橋脚ニ就テ視ルニ其振動ノ主ナル部分ハ列車カ 204' 9" 桁上ニ存スル場合ニ發生セリ該脚上ニ於テ兩側

(機關車一輛車輛二)

高屋川橋脚振動圖(實動ノ三十倍)

列車速度 23 mile/hour



ノ桁ハ共ニ固定サル、ヲ以テ桁ノ振動ハ直ニ橋脚ノ振動ニ影響シ荷重ヲ積載スル場合桁ノ週期ハ 0.338 秒 (荷重ハ機關車ニ臺貨車二輛ナリ) ニシテ橋脚ノソレハ平均約 0.39 秒ニシテ共鳴シ易シキ場合ナリ然ルニ 70' 桁ニ於テハ列車ヲ積載スル場合ト雖モ其振動週期ハ 0.30 秒位ニシテ橋脚ノ固有振動週期ト著シク異ナルヲ以テ共鳴現象發生セス從テ列車ノ主要部カ 70' 桁上ニ在ル間ハ橋脚ノ振動ハ輕微ナリ(第十圖)然ルニ質美川橋梁ニ於テハ懸案ノ橋脚上ニ於テ兩側ノ桁ハ何レモ輾子ヲ有スル可動端ナルヲ以テ桁ノ振動ハ直接橋脚ニ傳ハラサルヲ以テ其振動ハ高屋川ノ場合ニ比シ何レモ微少ニシテ兩側共 300' 桁ナルヲ以テ荷重カ何レノ桁ニ在ルモ橋脚ノ振幅ニ著シキ差ナシ

而シテ第十圖ニ於テモ明カナル如ク列車ノ主要部カ橋脚ノ直上ニ存スル間ハ振動ハ却テ小ナリ是レ橋脚ノ振動ヲ誘起ス

ルモノハ直接列車ニアラス列車カ橋脚上ニ來ル時ハ桁ノ振動ハ著シク小ナルヲ以テ橋脚ノ振動モ亦小トナリ一方列車ノ主要部カ直接橋脚上ニ載ルヲ以テ桁ノ振動週期ハ極小ニシテ橋脚ノ振動週期ハ反對ニ最大ナルヲ以テ兩者共鳴ヲ起サ、ルナリ

要スルニ橋脚ニ對スル走行荷重ノ作用ハ其走行ニ由ル週期的外力(機關車ノ對重作用ノ如キ)ノ週期ト桁ノ振動週期ト橋脚ノ週期トカ互ニ接近スル程著シク高屋川橋脚ニ於テハ振動ノ最大振幅 1.07 m ニシテ制動ノタメニ生スル振動ノ最大振幅 0.44 m ニ比シ遙カニ大ナリ依テ之ニ靜力的ノ撓 $\delta = 1.5 \text{ m}$ ヲ加フル時ハ走行荷重ニ由ル橋脚頂ノ最大撓ミハ約 3.0 m ニシテ是ヨリ下端ニ生スル緣維應力 (S) ヲ求ムルニ約 $f = 40 \text{ lbs/sq. in.} = 1.3 \text{ tons/sq. ft.}$ 然ルニ基礎面ニ作用スル總垂直荷重ハ

橋脚ノ重量 (3,920,000 lbs) + 桁ノ重量 (204,400 lbs) + 列車ノ重量 (439,000 lbs) = 4,563,400 lbs

ニシテ基礎面一平方呎當リ 3.9 tons ナルヲ以テ列車走行ニ際シ $3.9 + 1.3 = 5.2 \text{ ton/ft}^2$ トナリ基礎上ノ最大壓度ハ著シク増大セリ而テ之ト同一水平撓ミヲ生スル爲メニ橋脚頂ニ作用セシム可キ水平荷重ヲ算出スルニ

$$P = \frac{3EI\delta}{l} = 23,600 \text{ lbs}$$

即チ列車重量ノ約 0.5% ナリ然ルニ今日橋梁ノ設計ニハ動荷重ノ 30% 位ヲ軌條面ニ於テ橋梁ノ方面ニ水平ニ作用スルモノト考フルヲ普通ト爲スヲ以テ若シ之ニ由リテ橋脚ヲ設計スルニ於テハ多クノ場合充分安全ナリト云フ事ヲ得

第十一節 井筒 (Well) ヲ基礎トスル橋脚ノ振動週期

橋脚カ井筒ヲ基礎トナス場合ハ其振動ヲ理論的ニ解決スル事頗ル困難ナリ是レ橋脚ノ主要部ヲナス井筒ハ深ク土砂中ニ埋没スルヲ以テ振動ニ際シ固定點ト見做スヘキ點ノ判然セサル事井筒ヲ圍繞スル土砂ノ振動ニ對スル影響ノ複雑ナル事等ノ爲メナリ然レトモ適當ナル假定ノ下ニ實用上有對ナル解決ヲ得ル事ハ必スシモ不可能ニアラス先ツ最初ニ全體土砂

中ニ埋没セル墻體ノ振動ヲ考フ而シテ土砂カ墻體ノ撓ミノ爲メニ壓セラレテ生スル反力ハ墻體ノ撓ミノ大サニ比例スルモノト考フ(一般ノ道床又ハ基礎ニ於テ其沈下カ壓度ニ比例スト考フルト同様ナリ)

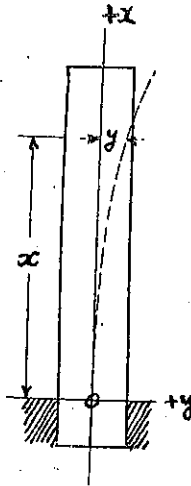
然ルトキハ墻體ノ單位長ニ對スル土砂ノ反力 q ハ

$$q = C_y \quad (C_y \text{ハ墻ノ直徑、土質等ニ由ル係數})$$

然ルトキハ墻體ノ運動ノ微分方程式ハ第一編第四節ニ由リ

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) + C_y u + \rho A \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \dots \dots \dots$$

第 十 一 圖



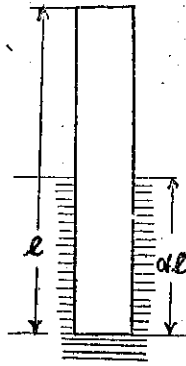
而シテ C_1 ハ土質ニ由リテ異ナリ土質ハ通常深キニ從ツテ堅固ニシテ C_1 ノ値モ亦次第ニ大トナルヘシト雖モ近似的ニ之ヲ一様ト見做シ C_1 ノ値ハソノ平均ヲ現ハスモノト定ム

今墻ノ運動ハ矢張り Harmonic ナリト假定スレバ

$$y = u \sin pt, \quad u \text{ハ} \omega \text{ノ} \sin \text{ノ 函 數}$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \sin pt, \quad \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = - \frac{\rho A_0}{EI} u p^2 \sin pt$$

第 十 二 圖



$$\therefore \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} \sin pt + \frac{C_1}{EI} u \sin pt - \frac{\rho A_0}{EI} u p^2 \sin pt = 0$$

$$\therefore \frac{d^4 u}{dx^4} - \left(\frac{\rho A_0 p^2}{EI} - \frac{C_1}{EI} \right) u = 0 \dots \dots \dots$$

然ルニ ω ニテ固定サル、墻體ノ自由ナル振動ニ於テハ

$$\frac{d^4 u}{dx^4} - \frac{\rho A_0}{EI} u = 0$$

ニシテ即チ土砂中ノ振動ニ於テハ ρA_0 ニ代フルニ $\frac{\rho A}{p^2} C_1$ ヲ以テセルモノナリ故ニソノ主振動週期ハ

$$T = 1.788 T^2 \sqrt{\frac{\rho A}{EI} \left\{ 1 - \frac{C_1}{\rho A} \left(\frac{T_1}{2\pi} \right)^2 \right\}} \dots \dots \dots (23)$$

T_1 ハ自由振動ノ場合ニシテ

$$p^2 = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \text{ ナルモ } \rho A - \frac{C_1}{p^2} \text{ 中ノ } \frac{C_1}{p^2} \text{ ハ補正ノタメノ項ト見做シ得ルヲ以テ之レニ略値ヲ與ヘ } T \text{ ノ代リニ}$$

T_1 ヲ使用セルモノナリ依テ土砂中ニ於テ長サノナル櫛ノ週期ハ l ナル長サノ櫛ノ自由ナル振動ノ週期ト同一ナリ而テ l ノ値ハ

$$l_1 = l \left\{ 1 - \frac{C_1}{\rho A} \left(\frac{T_1}{2\pi} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (24)$$

之ト同様ノ結果ハ振動體ノ勢力ノ關係ヨリモ求メ得ヘシ此場合振動體ト土砂トノ間ニ著シキ摩擦消費アリト雖モ之ヲ無視スル事ハ週期ノ値ニ大ナル誤差ヲ生スル事ナキヲ以テ總勢力ハ不變ナリト假定ス

$$\text{位置ノ勢力} = E_s = \int_0^l \left\{ \frac{EI}{2} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)^2 + \frac{C_1}{2} y^2 \right\} dx$$

$$\text{運動ノ勢力} = E_k = \int_0^l \frac{\rho A_0}{2} \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 dx$$

然ルニ $y = u \sin pt$ ナルヲ以テ $\frac{\partial}{\partial t} (E_s + E_k) = 0$ ナル方程式ニ此關係ヲ挿入スレハ

$$p^2 = \frac{\frac{EI}{2} \int_0^l \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)^2 dx + \frac{C_1}{2} \int_0^l u^2 dx}{\frac{\rho A}{2} \int_0^l u^2 dx} \dots \dots \dots \text{iii}$$

由テ

$$u = 1 - 3la^2 + a^3$$

ト置キ諸項ヲ計算スレハ

$$\int_0^l \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)^2 dx = 12 P$$

$$\int_0^l u^2 dx = \frac{33}{35} l^3$$

$$\therefore p^2 = \frac{140}{11} \frac{EI}{\rho A} \frac{1}{l^2} + \frac{C_1}{\rho A} \quad \text{及} \quad \frac{11}{140} \neq \left(\frac{1.788}{2\pi} \right)^2$$

$$\therefore T \neq 1.788 l^2 \sqrt{\frac{\rho A}{EI} \left\{ 1 - \frac{C_1}{\rho A} \left(\frac{T_1}{2T_1} \right)^2 \right\}}$$

然ルニ實際ノ橋脚ニ於テハ地中ニ埋設スルハ其全部ニアラスシテ一部ナリ依テ此影響ヲ考慮セサルヘカラス式(三)ヲ見ルニ土砂ノ影響ハ只分子ノ第二項ノミナリ而テ土砂ニ埋設スル部分カ下端ヨリ \$2l\$ ノ長サナリトスレハ

$$C_1 \int_0^{2l} u^2 dx = C_1 \frac{33}{35} (2l)^2$$

即チ式(23)及(24)ニ於テ \$C_1\$ ノ代リニ \$2^2 C_1\$ ヲ用フレハ可ナリ即チ

$$l_1 = l \left\{ 1 - \frac{2^2 C_1}{\rho A} \left(\frac{T_1}{2\pi} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots (24)$$

若シ頂部ニ \$P\$ ナル荷重ヲ有スル時ハ

$$p^2 = \frac{140}{11} \frac{1}{l^2} \cdot \frac{EI \left(1 + \frac{11}{140} \frac{\rho A}{EI} \cdot \frac{C_1 l^2}{\rho A} \right)}{\rho A \left(1 + \frac{4P}{W} \right)}$$

$$\begin{aligned} \therefore F &= 1.788 P \left\{ \frac{1 + \frac{4P}{W}}{1 + \frac{a^2 G_1 \left(\frac{T_1}{2\pi}\right)^2}{\rho A}} \right\}^{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{\rho A}{EI}} \\ \therefore l_2 &= l \left\{ \frac{1 + \frac{4P}{W}}{1 + \frac{a^2 G_1 \left(\frac{T_1}{2\pi}\right)^2}{\rho A}} \right\}^{\frac{1}{2}} = K_2 l \end{aligned} \quad \dots (25)$$

而テ井筒ノ直徑(但シ振動ニ直角ナル方向)ヲDトスレハ

$$G_1 = CD$$

茲ニCハ土質ノミニヨリテ定マル係數ニシテ大體次ノ如キ程度ノモノナリ

軟キ泥砂

$$C = 100,000 \text{ lbs/}\rho \text{ ——— } 200,000 \text{ lbs/}\rho$$

砂礫層

$$C = 300,000 \text{ lbs/}\rho \text{ ——— } \text{以上}$$

即チ前者ニ於テハ一平方呎ニ一噸ノ荷重ヲ載スレハ約一分八厘ノ沈下ヲ生シ後者ニ於テハ約九厘ノ沈下ヲ生スヘシ然レトモ式(23)及(24)ハ、 $\sqrt{\quad}$ ノ内ニ(一)符號アルヲ以テ a, G_1, E_1 等ノ大ニシテ第二項カ第一項ヨリ大ナル場合ニハ適用不能ナリ此時ハ式(25)ヲ用フ

(實例一)常盤線取手驛南方ノ利根川橋第七橋脚

(Publication of Earthquake Investigation Committee in Foreign Languages No. 12. p. 40 以下參照)

該地點ハ沖積層細砂質ニシテ井筒ハ橢圓形ヲナシ長サ6呎86ヲ有シ其上部29.55ノ間ハ煉瓦積ナリ其形狀寸法ハ大體第十三圖ニ示スカ如シ

橋脚ノ總重量 $\approx 4,040,000 \text{ lbs}$

橋桁(200')ノ重量=150×2,240 lbs.

井筒ハ外部煉瓦積ニシテ内部ニ混凝土ヲ填充セルモノナリ今尾字〇ヲ附スルモノヲ煉瓦積尾字〇ヲ附スルモノヲ混凝土トスレハ

$$I_0 = \frac{\pi}{64} (24 \times 12^3 - 19.4 \times 7.4^3) = 1,650 \text{ Ft}^4$$

$$I_c = \frac{\pi}{64} \times 19.4 \times 7.4^3 = 386 \text{ Ft}^4$$

今煉瓦積ノ彈率ヲ $4 \times 144 \times 10^6 \text{ #/sq}$ 混凝土ノソノヲ建築鋼ノ $\frac{1}{20}$ トスレハ

$$IE = I_0 E_0 + I_c E_c = 1,650 \times 4 \times 144 \times 10^6 + 386 \times 15 \times 144 \times 10^6 = 12,390 \times 12^2 \times 10^6$$

$$A_0 = \frac{\pi}{4} 24 \times 12 - \frac{\pi}{4} 19.4 \times 7.4 = 116 \text{ Ft}^2$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} 19.4 \times 7.4 = 110 \text{ Ft}^2$$

$$\therefore \rho A = \frac{1}{g} (115 \times 116 + 145 \times 110) = 910$$

$$\therefore \sqrt{\frac{\rho A}{EI}} = 0.71 \times 10^{-4} \text{ (lbs-ft unit)}$$

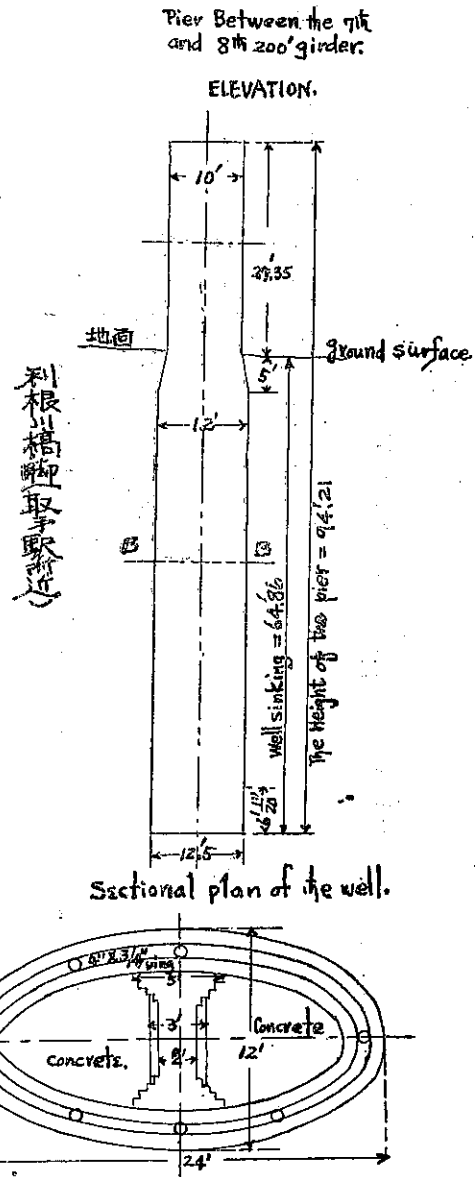
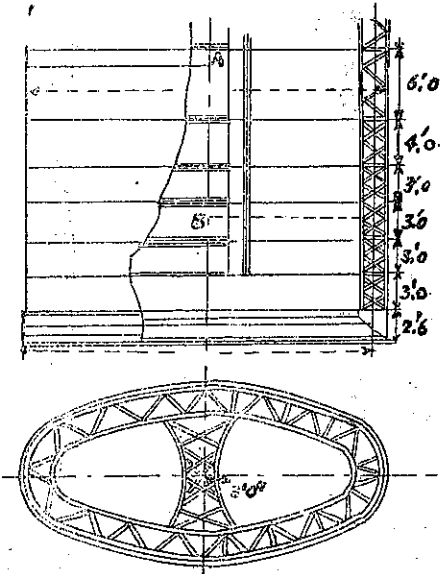
$$\frac{L_1}{L} = \frac{10}{12.5} = 0.8$$

$$\therefore C_1 = 1.78$$

故ニ下端固定トシテ振動週期(T₁)ヲ算出スレハ

$$T_1 = 1.78 \frac{94.21 \times 0.71}{10^4} = 1.12 \text{ (秒)}$$

第十四圖 第三圖



論説報告 載荷セル構造物ノ振動並ニ其耐震性ニ就テ

(實例二)同上橋脚 第一 (參考書目同上)

前例ト同形状ニシテ唯井筒ハ長サ 95.57 アリ上部ハ長 95.62
 フ有シ兩側ニ 200' 桁ヲ支持ス而テ地質ハ前者ヨリ著シク軟弱

$$\therefore \frac{d^2 C_1 \left(\frac{T_1}{2\pi} \right)^2}{\rho A} = 11.2 \quad \therefore l_1 = l \left(\frac{1 + \frac{4P}{W}}{12.2} \right)^{\frac{1}{4}} = \frac{l}{1.79}$$

$$\therefore T = \frac{T_1}{(1.79)^2} = 0.35 (\text{秒})$$

$$a = 64.86 = 0.69 \quad , \quad C_1 = CD = 24 \times 200,000$$

$$94.21$$

ナリ

$$\text{橋脚ノ總重量} = 7,250,000 \text{ lbs} \quad , \quad \frac{P}{W} = \frac{150 \times 2,240}{7,250,000} = 0.062$$

$$\frac{L_1}{L} = \frac{10}{12.5} = 0.8 \quad \therefore C_2 = 1.78$$

$$\therefore T_1 = 1.78 \frac{121.2 \times 0.71}{10^4} = 1.84 \text{ 秒}$$

$$a = \frac{95.57}{121.2} = 0.79 \quad C = 150,000 \quad \therefore \frac{a^2 C_1}{pA} \left(\frac{T_1}{2\pi} \right) = 37.6$$

$$l_1 = l \left(\frac{1 + 4 \times 0.062}{1 + 37.6} \right)^{\frac{1}{4}} = \frac{l}{2.37}$$

$$T = \frac{T_1}{(2.37)^2} = 0.37 \text{ 秒}$$

即チ全體ノ長サハ前例ヨリ著シク大ナルモ土砂中ニ埋設セル部分大ナルヲ以テ振動ノ週期ハ殆ント同程度ナリ而テ實測ノ結果ハ第七橋脚 0.35 秒第一橋脚 0.38 秒 (但シ何レモ平均値ニシテ場合ニヨリ多少ノ相異アリ)

(實例三) 關西線揖美川鐵道橋第四橋脚

沖積層泥土質ニシテ極メテ軟弱ナル地盤ナリ井筒ハ外側ニ鐵骨ヲ挿入セル混凝土ニシテ其寸法ハ大體第十四圖ノ如シ

$$I = \frac{\pi}{64} (30 \times 15)^3 = 4,960 \text{ ft}^4$$

$$A = \frac{\pi}{4} 30 \times 15 = 354 \text{ ft}^2$$

井筒ノ内部ハ粗質ノ混凝土ナルヲ以テ平均ノ彈率ヲ建築鋼ノ $\frac{1}{20}$ ト見做セハ

$$\sqrt{\frac{\rho A}{EI}} = \sqrt{\frac{145 \times 354}{32.2 \times 4,960 \times 15 \times 144 \times 10^6}} = \frac{1}{2.6 \times 10^4}$$

$$l = 102' \quad \therefore T_1 = 1.788 \frac{102^2}{2.6 \times 10^4} = 0.72 \text{ 秒}$$

$$a = \frac{84.5}{102} = 0.83, \quad C_1 = 30 \times 100,000$$

$$\frac{P}{W} = \frac{336,000}{2,360,000} = 0.117$$

$$\therefore \frac{a^2 C_1 \left(\frac{E}{2\pi}\right)^2}{\rho A} = 23.2 T_1^2 = 9.0$$

$$l_1 = l \left(\frac{1 + 4 \times 0.117}{1 + 9.0} \right)^{\frac{1}{4}} = 0.62 l$$

$$T = T_1 \left(\frac{l_1}{l} \right)^2 = 0.72 \times 0.62^2 = 0.23 \text{ 秒}$$

然ルニ實測ハ $T = 0.37$ 秒 位ニシテ算出値ハ過少ナリ是ハ主トシテ混凝土ノ彈率 E ト土砂ノ剛性係數 C_1 ノ撰定安全ナラサルニ由ル可シ今日ノ場合一層精確ニ算出スル事困難ナリ

(實例四)同上第五橋脚 (參照書目同上)

此橋桁ノ井筒ハ其寸法略前者ト同一ナルモ井筒ハ煉瓦積ニシテ内部ニ粗質混凝土ヲ填充セル普通ノ構造ナリ

橋脚ノ全長 = 91' 井筒ノ長サ = 72.5'

橋脚ノ重量 = 2,100,000 lbs 橋桁ノ重量 = 150 tons

故に

$$\sqrt{\frac{\rho A}{EI}} = 0.63 \times 10^{-4} \quad E_0 = 4 \times 144 \times 10^9 \text{ #/ft}^2$$

$$T_1 = 1.788 \times 91^2 \times 0.63 \times 10 = 0.93 \text{ 秒}$$

$$\frac{d^2 C_1}{\rho A} \left(\frac{T_1}{2\pi} \right)^2 = 8.44 T_1^2 = 7.30$$

$$\therefore l_1 = l \left(\frac{1 + 4 \times 0.16}{1 + 7.3} \right)^{\frac{1}{4}} = 0.67 l$$

$$\therefore T = T_1 \times 0.67 = 0.42 \text{ 秒}$$

而シテ實測ノ結果ハ平均〇.45秒ニシテ大體近似セルヲ見ル

(實例五) 兩毛線利根川橋第一橋脚 (參照書目同上)

梁橋位置ハ利根川ノ上流部ニシテ地質ハ砂礫層ナリ井筒ハ煉瓦積ニシテ内部ニ粗質混凝土ヲ填充セリ其形狀寸法ノ大體ハ第十五圖ニ示スカ如シ

橋脚ノ全重量 $\approx 4,250,000$ lbs

橋脚ノ長さ $= 78.75$ ft.

橋桁ノ重量 $\approx 150 \times 2,240$ lbs

井筒ノ長さ $= 38.0$ ft.

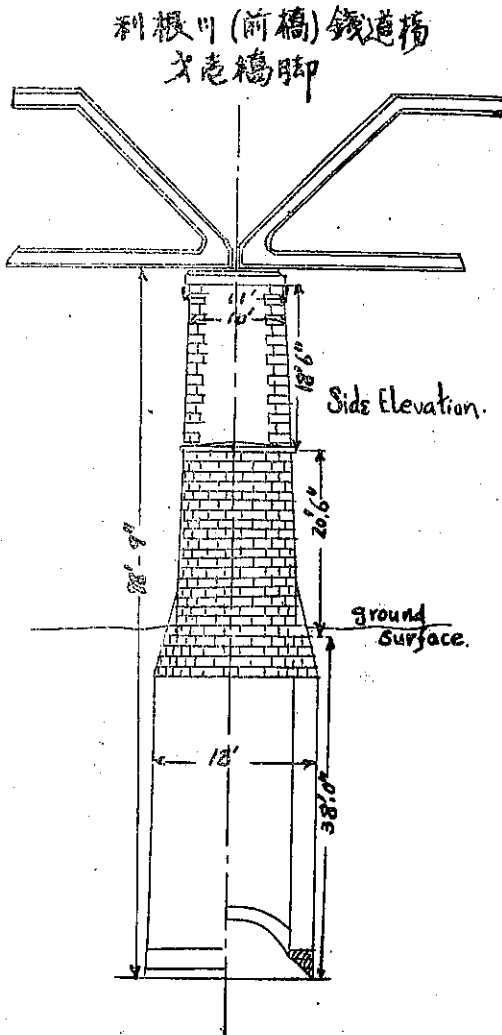
煉瓦工及混凝土ノ彈率及比重ヲ第一例ト同一ニ採ル

$$\sqrt{\frac{\rho A}{EI}} = \frac{0.405}{10^4} \quad \frac{L_1}{L} = \frac{10}{18}$$

$$\therefore C = 1.73$$

$$\therefore T = 1.73 \frac{78.75^2 \times 0.405}{10^4} = 0.43 \text{ 秒}$$

第十五圖



然ルニ實測ノ結果ハ 0.94 乃至 0.40 秒ニ亘リテ頗ル不規則ナリ之ヲ要スルニ井筒ヲ基礎トスル橋脚ノ振動週期ハ橋桁ノ振動ニ由リテ影響サル、ノ外多ク二種ノ材料ヲ併用セルヲ以テ彈率ヲ適當ニ定ムルコト難ク而シテ井筒ノ埋設スル土質ハ其状態ヲ想定スル事困難ニシテ從テ剛性ヲ現ハス係數Cヲ適當ニ選定スル事不可能ナリ故ニ他ノ場合ノ如ク其固有週期ヲ算定スル事容易ナラ

サルヲ以テ今日ニ於テハ極メテ大體ノ數値ニ満足セサルヘカラス此場合ニ於テモ橋桁ト橋脚トカ荷重ヲ積載スル場合ニ近似セル振動週期ヲ有スル時ハ走行荷重ノ影響最モ激烈ニシテ兩者共ニ危険ナル場合ナリ

第十二節 走行荷重

$$a = \frac{38}{78.75} = 0.485,$$

$$C_1 = 36 \times 5 \times 10^5$$

$$\frac{d^2 C_1}{\rho A} \left(\frac{T_1}{2\pi} \right)^2 = 0.46$$

$$l = l \left(\frac{1 + 4 \times 0.079}{1 + 0.31} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{l}{1.07}$$

$$T = \frac{T_1}{(1.07)^2} = 0.38 \text{ 秒}$$

ノ橋脚ニ及ホス影響

列車ノ走行ニ伴フテ發生スル橋脚ノ震動ハ一ノ強迫振動ニシテ走行荷重自身ノ振動軌道ノ振動及橋桁ノ全體並ニ各部ノ振動等種々雜多ノ振動ニ因ル週期的外力ノ作用ニ基ツクモノナリ從テ自體ノ振動及ヒ荷重ノ狀況等ノ關係ニヨリ甚々複雜ナル運動ヲ起スモノトス

今第十六圖ニ於テ \$O\$ ナル軸ヲ有スル橋脚カ \$A\$ ニ於テ固定サレ上端 \$O\$ ニ於テ週期的外力ヲ受クルモノトスレハ

運動ノ微分方程式ハ

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{pA_0}{EI_0} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$



此場合ノ環境條件ハ

$$x=l \quad \text{ニ於テ} \quad y=0, \quad \frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

$$x=0 \quad \text{ニ於テ} \quad y_{max} = \delta, \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$$

故ニ $y = u \sin pt, \quad u = A \cosh mx + B \sinh mx + C \sin mx + D \cos mx$

$$x=0 \quad \text{ニ於テ} \quad \frac{d^2 u}{dx^2} = 0 \quad \text{ナルヲ以テ} \quad A = D$$

$$x=l \quad \text{ニ於テ} \quad u = \delta \quad \text{ナルヲ以テ} \quad \frac{A}{2}$$

$$\therefore u = \frac{\delta}{2} (\cosh mx + \cos mx) + B \sinh mx + C \sin mx = 0$$

次ニ $x=l$ ニ於テ

論說報告 載荷セル構造物ノ振動並ニ其耐震性ニ就テ

$$u = \frac{\delta}{2} (\cosh mx + \cos mx) + B \sinh mx + C \sin ml = 0$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{\delta}{2} m (\sinh ml - \sin ml) + B m \cosh ml + \cos ml = 0$$

$$\therefore B = \frac{\delta}{2} \frac{1 + \cosh ml \cos ml - \sinh ml \sin ml}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml}$$

$$C = -\frac{\delta}{2} \frac{1 + \cosh ml \cos ml + \sinh ml \sin ml}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml}$$

$$\therefore y = \frac{\delta}{2} \left\{ (\cosh mx + \cos mx) + \frac{(1 + \cosh ml \cos ml - \sinh ml \sin ml) \sinh mx}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml} \right.$$

$$\left. - \frac{(1 + \cosh ml \cos ml + \sinh ml \sin ml) \sin mx}{\cosh ml \sin ml - \sinh ml \cos ml} \right\} \times \sin pl$$

茲ニ $m^2 = p \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$, $p = \frac{2\pi}{T}$, $T =$ 上端ニ作用スル力ノ週期

上式ハ上端ニ荷重ヲ支ヘサル場合ニ對スルモノニシテモシ載荷セル場合ニハ環境條件ハ

$$x=0 \quad \text{ニ於テ} \quad y_{max} = \delta \quad \text{ニ代フルニ}$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{EI}{\rho A} \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = + \frac{P}{g} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right)_{\sin pt=1} \quad \text{ナル條件ヲ以テス}$$

其他上端ニ極メテ短週期ノ外力カ突然作用スル場合ニハ第八節ノ如ク一ツノ波動トナリテ下端ニ傳ハリ又上方ニ反射シ來リ複雑ナル振動ヲ生スヘシト雖モ之ニ基ク彎曲力率ハ重大ナラスシテ只局部的ニ作用點附近ニ大ナル力ヲ作用セシムヘシ

實際列車カ橋上ヲ走行スル時ニ發生スル週期的作用ヲ觀察スルニ列車ノ速度不變ナル間ハ其週期不變ナルモノアリ即チ

機關車ノ過平衡對重 (Overbalanced counter weights) ノ作用軌條接合點ニ於ケル衝擊ノ爲メニ生スル振動彈機ニ由ル車輪ノ振動等是レナリ他ハ走行ニ伴フテ負載スル荷重ノ増減スルニ依リテ週期ヲ變スルモノニシテ橋桁ノ振動ノ如キ之レナリ何レニシテモ橋脚ノ固有振動週期ト近似セル週期ヲ有スル外力カ繼續シテ作用スルトキハ橋脚ノ振動ヲ増大セシメ危險ヲ惹起スヘシ就中最モ重要ナルハ橋桁ノ上下振動ト橋脚ノ橋ノ長サノ方向ニ於ケル振動トノ關係ナリ是レ一般ニ橋脚ハ橋ノ方向ニ薄ク耐力最モ小ナルニ係ラス桁ノ上下振動ハ此方向ニ最モ重大ナル週期的力ヲ作用セシムルカ爲メナリ次ニ實例ニ就テ此等ノ現象ヲ論センニ檢測ハ凡テ大森理學博士ノ行ハレタル所ニシテ震災豫防調査會ノ諸報告書中ヨリ引用セシモノナリ

(一) 橋脚ノ固有振動週期ト橋桁ノ振動週期トノ關係

橋脚ノ橫振動 (即橋梁ノ長サノ方向ニ於ケル振動) ヲ視ルニ列車荷重ノ主要部カ橋脚ノ直上附近ニ在ル場合ニハ直接ノ衝擊作用カ最強ナルヘキ振動ハ却テ小ナリ而テ荷重カ橋脚上ニ離レテ橋桁上ヲ走行スル間ニ振幅ハ次第ニ大トナル (此事實ハ大森博士カ己ニ指摘セラレタル所ナリ) 是レ橋脚ノ振動ハ主トシテ橋桁ノ上下振動ニ依リテ橋脚ヲ曳キ或ハ押ス爲メニ其振動ヲ勵マスニ依ルナリ而シテ兩者ノ振動週期ヲ參酌シテ之ヲ研究セハ一層明瞭ニ説明スル事ヲ得ヘシ例ヘハ山陰線高屋川橋脚 (第十圖參照) 第一號ニ於テ綾部側ハ 70% 鉸桁ニシテ其振動週期ハ載荷セル場合ト雖モ僅カニ 0.20 秒位ニシテ橋脚ノ週期ニ比シテ頗ル小ナリ (橋脚ノ週期ハ荷重アル場合ニ 0.25 秒 内外) 然ルニ京都側ハ 30% ノ鉸桁ニシテ其振動週期ハ載荷セル場合ニ於テ平均 0.35 秒位ニシテ橋脚ノ夫レト一致シ兩者ノ振動ハ互ニ共鳴スルヲ以テ振幅ノ累積モ頗ル著明ナリ而テ檢測ノ結果ヲ見ルニ列車カ 30% 桁ヲ走行スル場合ノ最大振幅ハ 70% 桁ヲ走行スル場合ノ平均 2.5 倍ニ達ス而テ斯クノ如キ現象ハ振幅週期ト無關係ニ唯通過時間ノ長短ニ由ルモノト考フル事ヲ得ヘキモ下リ列車ノ場合ノ振動ヲ檢スレ其ハ誤ナルヲ知ルヘシ即チ下リ列車ニ於テハ列車ハ先 30% 桁ヲ走過シ次ニ 70% 桁ニ移ル此場合機關車カ 30% 桁ヲ過キ橋脚上ヲ過キ其間ニ橋脚ノ振動ハアル振幅ニ達スヘク更ニ 70% 桁ヲ走行スル間モ外力ハ引キ續キ作

用シ居ルヲ以テ振幅ノ漸増ヲ期待セサルヘカラス然ルニ事實ハ却テ其反對ニシテ機關車カ橋脚上ヲ通過シテヨリ振幅ハ次第二縮少ス是即チ 70' 桁ノ週期ト橋脚ノ夫レトノ間隔餘リニ大ニシテ振動ハ互ニ干渉シ衰微スルニ外ナラス

橋脚ノ最大振動

→ 列車ノ主要部カ 200' 桁上ニアル場合	0.5 mm.	→ 同ツク 70' 桁上ニアル場合
検測 No. 7.		0.3 mm.
No. 9.	0.81 mm.	0.3 mm.

而テ今日我國ニ於テ使用サル、200' 徑間ノ構桁ハ列車ヲ載フ場合ニ於テ其振動週期 0.35—0.40 秒ニシテ之ヲ支持スル橋脚ノ週期ハ 0.35—0.45 秒ノ間ニ在リテ兩者相一致ス此ノ事實ハ偶然ノ結果ナリト雖モ技術上頗ル不利益ナリト云ハサルヘカラス一般ニ橋脚ノ高サト桁ノ徑間トハ互ニ相伴フテ増減スルモノニシテ高キ橋桁ヲ要スル地形ニハ必然大ナル徑間ヲ架セサルヘカラサルヲ以テ自然振動週期ノ一致スル如キ構造トナル然レトモ此不利ヲ避ケンカタメ橋脚ノ寸法ヲ變スル事モ徑間ヲ増減スル事モ共ニ經濟上不可能ナルヲ以テ充分是等走行荷重ノ影響ヲ參酌シテ安全ナル構造ノ橋脚ヲ築造セサルヘカラス

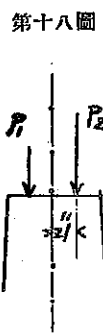
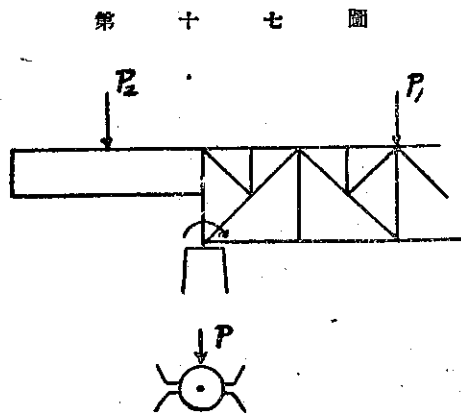
(二) 桁端ノ構造ノ影響

橋桁ハ其端ニ於テ固定サル、カ又ハ輾子又ハ滑動面ニ依リテ支持セラル而テ若シ輾子又ハ滑動面ニ全ク摩擦ノ存在セサル時ハ自由端ニ於テハ桁ノ振動ハ全々橋脚ニ傳ハラサル可ク固定端ニ於テモ他端ノ運動自在ナルヲ以テ桁ノ振動ノ橋脚ニ及ホス影響ハ微少ナルヘキモ之ヲ實際ニ視ルニ固定端ハ勿論自由端ニ於テモ橋桁振動ノ影響ノ頗ル顯著ナルヲ見ル尤モ其影響ハ兩者ニ於テ著シキ懸隔アリ高屋川第一橋脚ニ於テハ 70' 桁及 200' 桁共ニ橋脚上ニ固定サレ橋脚振動ノ最大振幅 1.07 mm. ニ達スルモ賀美川第五橋脚ニ於テハ兩者共 300' 徑間ナルニ共ニ自由端ナルヲ以テ其最大振幅 0.53 mm. ニ過キス此現象ハ凡テノ橋脚振動ニ見ル所ニシテ例ヘハ大森博士ノ檢測ニ依ルニ富士川鐵道橋第七橋脚ニ於テ列車カ固定桁(桁ノ端カ該橋脚上ニ於テ固定サレタル桁)上ニ在ル場合ハ稍著シキ振動現ハレ其振幅 0.17 mm. ニ達スルモ機關車カ他側ノ自由桁(自由端ヲ有スル桁)ニ移リタル後ハ橋脚ノ振動極メテ微少ニシテ最大 0.03 mm. ニ達スルニ過キス而テ斯ク輾子

端ニ於テモ尙多少桁ノ振動ノ影響ヲ受クルハ輾子ノ運動ニ若干ノ摩擦抵抗ノ作用スル爲メニシテ一般ニ輾子端ノ影響ハ
 固定端ノ夫レノ約 $\frac{1}{3}$ 乃至 $\frac{1}{2}$ ニ過キサレモノ、如シ

(三) 橋脚上端ノ撓ミ

列車走行ニ際シ車輪ト軌條トノ間ニ若干ノ滑動アルモノトスレハ列車ハ其運行ト反對ノ方向ニ桁及橋脚ヲ引クヘク其爲



メニ生スル橋脚ノ撓ミハ列車進行ノ方向ニ依リテ反對トナルヘシ然ルニ高屋川橋脚ノ檢測ニ徴スルニ列車ノ上リ下リ兩方面ノ場合共ニ $200'$ ノ桁ノ方ニ著シク撓メルヲ見ル而テコノ撓ミハ稍大ニシテ到底僅少ノ滑動作用ニ依ルモノト考フル能ハス利根川其他ノ下路桁ニ於テハ一般ニ橋脚ノ撓ミハ小ニシテ滑動ニ基因スルモノト考ヘ得ル程度ナルノミナラス其方向ハ大體ニ於テ列車ノ方向ニ由リテ一定シ常ニ進行ト反對方向ニ傾ク依テ高屋川ノ場合ニ於テ原因ヲ他ニ求ムルニ此場合兩側ノ桁ノ徑間ハ著シク異ナリ若シ $200'$ 桁ノミニ列車載ル場合ハ諸重量ノ固定點ノ圍リノ力率ハ頗ル大ナルモノニシテモシカ完全ニ固定サル、場合ハ橋脚ノ上端ニ著大ナル彎曲力率作用シテ之ヲ $200'$ 桁ノ方ニ撓ムヘシ然ルニ實際ハ端鉗ヲ用ヒテ此危險ヲ防止セリト雖モ摩擦抵抗ノタメニ彎曲力率ノ一部ハ事實存在スヘシ今彎曲力率ヲ概算スルニ

$$\text{鉗ニ掛ル全重量} = \frac{1}{2} (155^{\text{ton}} 19^{\text{lbs}} + 27^{\text{ton}} 1,450^{\text{lbs}} + 196^{\text{ton}}) = 643,440^{\text{lbs}}$$

$$\text{鉗ノ表面ニ作用スル摩擦力} = fP = 0.2 \times 643,440 = 128,688^{\text{lbs}}$$

$$\text{彎曲力率} = E' \delta = 128,688 \times \frac{10}{2 \times 12} = 53,600^{\text{lb-in}}$$

$$\text{彎曲力率} = \text{相當ナル水平力}(q) = \frac{M}{l} = 682 \text{ lbs}$$

實際靜力の撓ミニ相等スル水平力ハ、17,600 lbs ニシテ頗ル大ナリ

而シテ兩側ニ同一徑間ノ桁ヲ支フル場合ニ於テモ一方ノミ列車荷重存在スル場合ハ矢張彎曲力率ヲ發生スヘシ質美川ニ於テ

兩桁荷重ノ差ニ400,000 lbs

$$\text{彎曲力率} = \frac{21}{12} \times 400,000 = 525,000 \text{ lb-ft-lbs}$$

$$\text{彎曲力率} = \text{相當ナル水平力}(q) = \frac{M}{l} = \frac{525,000}{79} = 6,600 \text{ lbs}$$

而テ此橋脚ニ於テハ上部ノ撓ミハ列車主要部カ其上ヲ通過スルト共ニ撓ミノ方向ヲ變シ而モノノ大サハ上記ノ彎曲力率ニヨルモノト同程度ノモノナルヲ以テ斯ノ如キ説明ノ可能ナルヲ見ル然ルニ高屋川ノ場合ニ於テハ算出ノ彎曲力率ハ質美川ノ場合ヨリ著シク小ナルニ拘ラス實際ノ撓ミハ後者ニ比シテ著シク大ナリ之ニ依リテ考フルニ高屋川橋脚ノ場合ニ上端ノ撓度ノ特殊ナルハ其構造ニ基因スルカ如シ

(四) 列車速度ト橋脚ノ振動トノ關係

橋脚ノ支持スル桁ノ振動ノ振幅ハ列車ノ勵振力 (Exciting force) ト桁自身ノ振動週期ノ近似セル程大ナルハ勿論ニシテ勵振力カ機關車ノ働輪軌條接合等ニ起因スルモノトスレハ其週期ハ列車ノ速度ニ由リテ一定スヘク從テ桁振動ノ振幅ハ列車ノ速度ニ由リテ相異アルヘキハ明カナリ然レトモ速度急速ナル程必ス大ナリト推定スルヲ得ス小徑間ニテハ其固有週期短少ナルヲ以テ勵振力ノ週期ノ小ナルホト即急速ナル列車程大ナル振動ヲ發生セシムヘシト雖モ長徑間ニ於テハ固有週期大ナルヲ以テ緩速列車ノ週期ト共鳴シ大ナル振動ヲ起スヘシ而テ橋脚ノ振動ハ橋桁ノ振動ニ誘發セシメラルハ

以テ兩者ノ固有週期ノ近似ナル程振幅ヲ増大シ易ク且ツ桁ノ振幅大ナル程橋脚ノ振動モ亦大ナリ從テ列車ノ起振力ト橋桁ト橋脚トカ互ニ近似セル振動週期ヲ有スル場合ニ振動ハ著シク増大スヘク速度大ナル程必然的ニ大ナル振動ヲ生スヘキ性質ノモノニアラス高屋川及質美川ノ兩橋脚ニ於テハ試驗ニ採用セシ速度最モ大ナル場合ニ最大ノ振動ヲ生セリ而シテ前者ニ於テハ 23 區 後者ニ於テハ 27 區 兩橋脚ノ荷重ヲ積載セル場合ノ振動週期ヲ 0.40 秒 機關車働輪ノ直徑ヲ 5' トスレハ其ノ一廻轉ニ要スル時間カ 0.40 秒タルヘキ列車ノ速度ハ約 27 區 兩橋脚ニシテ兩場合共ニ此附近ノ速度ニ於テ最大ノ振動ヲ生スヘク故ニ列車速度カ尙一層高キ場合ト雖モ振動ハヨリ以上強大トナルコトナカルヘシ尙桁ノ振動ト列車速度トノ關係ニ就キテハ後章コレヲ詳論スル所アラン事ヲ期ス

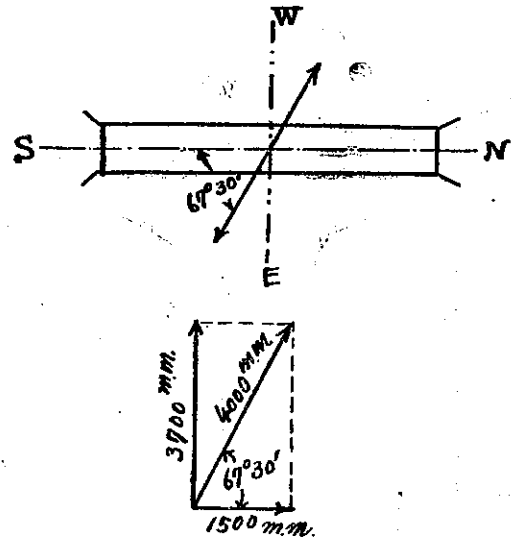
第十三節 橋脚ノ耐震性ニ就テ

激烈ナル地震ニ際會シテ橋脚ノ損害ヲ被リシ實例ハ頗ル多ク就中二本ノ圓臺形井筒ヲ基礎トシテ築造サレタルモノハ被害最モ甚シ而テ此種橋脚ハ地震地帯ニ不適當ナリト決定サレ鐵道橋トシテハ餘リ採用セラレサルニ到レリ然レトモ此種橋脚ノ耐震性ニ乏シキハ如何ナル故ニシテ且ツ耐震力ノ程度幾何ナルヤニ就キテハ未タ解決セラレサル所多シ而テ適當ナル構造ニ依リテ震害ヲ輕減スルノ道ナキヤ否ヤニ就キテハ既ニ大森理學博士ハ "Publications of the Earthquake Investigation Committee No. 4. p. 111—p. 117" ニ於テ解説セラレタリト雖モ尙耐震性ノ真相ヲ解明スルニ不適當ナルヲ以テ以下ニ數種ノ説明ヲ掲ケテ此ヲ論セントス

(一) 從來ノ方法

大森理學博士カ上記報告書ニ發表セラレタル所ニシテ其要旨ハ橋脚ノ最モ弱キ方向即チ橋梁ノ方向ノ耐震力ヲ考ヘ該地點ノ加速度ノ該方向ノ成分カ上部ノ全質量ニ一様ニ作用スルモノト假定シテ最弱斷面ノ安定ヲ計算ス博士ノ用ヒラレシ實例ハ濃尾大地震ニ於ケル東海道木曾川橋脚ニシテ該地點ハ震動最モ激烈ナリシ地方ニシテ最大 4,000 倍ニ及ヒ其方向ハ橋梁ノ方向ト約 67°30' ノ角度ヲナセリ

第十九圖



橋脚ハ外徑十二呎ノ圓形井筒一雙ノ上ニ煉瓦ヲ以テ高約三十呎ノ上體ヲ築造シ以テ二百呎徑間ノ橋桁ヲ支持セリ(附圖第五圖參照)橋脚ノ最弱斷面ハ井筒ト上體トノ接合點ニシテ第廿圖ニ示スカ如シ而テ博士ノ計算ニ依レハ該斷面ニ於テ

$$\text{慣性モーメント} = 2.577 \times 10^7 \text{ in}^4$$

$$\text{上部ノ總重量} = 1.052 \times 10^8 \text{ lbs}$$

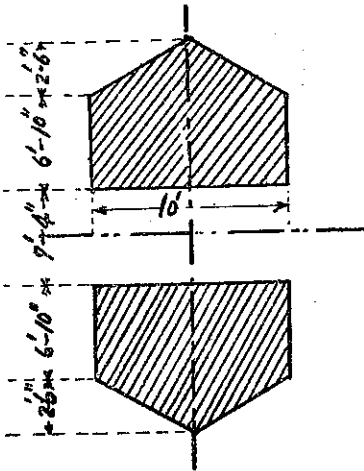
$$\text{重心點ノ高さ} = 294'$$

$$\text{煉瓦積ノ耐張強} = 62.4 \text{ lbs}/\text{sq}''$$

此等ニヨリテ耐抗シ得ヘキ加速度

$$a_g = 830 \text{ mm}/\text{sec}^2$$

第二十圖



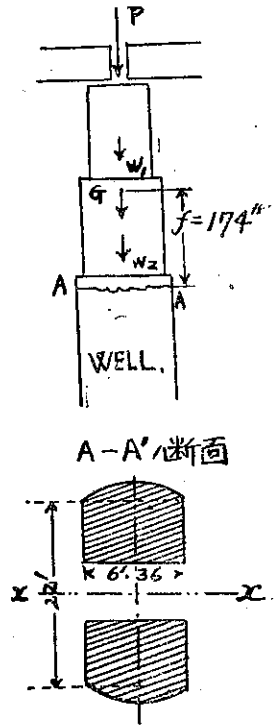
ヲ得ラレ若シ單一ナル橢圓井筒ヲ用ヒナハ $a_g = 1,270 \text{ mm}$ ニ増大スヘキヲ説カレタリ而テ若シ上體ノ重量ノ爲メニ該斷

面ニ作用スル應壓力 $45 \text{ lbs}/\text{sq}''$ ヲ加算スレハ有効抗張強ハ $107.4 \text{ lbs}/\text{sq}''$ ニ

シテ $a_g = 1,460 \text{ mm}/\text{sec}^2$ ニシテ地震加速度ノ該方向ノ成分 $1,500 \text{ mm}/\text{sec}^2$ ニ

殆ント相似タルモノナリ今明治卅八年六月二日ニ於ケル藝豫地震ニ際シ損害ヲ被リシ太田川鐵道橋々脚(廣島市ノ北隅)ノ耐震力ヲ算定センニ橋脚ノ構造ニ二種アリ即常水路中ニ在ルモノハ外徑八呎十吋ノ井筒ヲ基礎トセル煉瓦積ニシテ(第廿一圖)洪水敷ニ在ルモノハ杭打基礎上ニ煉瓦ヲ以テ築造セリ而テ橋梁地點ノ最大加速度ハ $2,000 \text{ mm}/\text{sec}^2$ 内外ニ達セシト雖モ其方向ハ橋梁ノ方向ニ殆ント直角ヲナスヲ以テ橋脚ノ厚サノ方向ノ

第二十一圖



成分ハ僅少ニシテ 500 mm ヲ越エサリシハ明カナリ
 今大森博士ノ計算法ニ依リ井筒ヲ基礎トセル場合ノ
 耐震力ヲ算定スルニ

$$P = 70' \text{ 鋼筋ノ重量} = 27 \text{ tons} = 1,450 \text{ lbs} = 6.19 \times 10^6 \text{ lbs}$$

$$W_1 = 5.6 \times 10,42 \times 22 \times 115 = 1.48 \times 10^6 \text{ lbs}$$

$$W_2 = 6.36 \times 12.25 \times 22 \times 115 = 1.98 \times 10^6 \text{ lbs}$$

A-A' 断面ノ慣性能率 = 6.7×10^6

$$f = 174'$$

$$a_g = \frac{9,800 \times 6.7 \times 10^6 \times 60}{4.08 \times 10^6 \times 174 \times 3.18 \times 12} = 1,480 \text{ mm/sec}^2$$

煉瓦積ノ抗張強ヲ一平方吋當リ六十封度ニ取レリ然ルニ上部ノ重量ヨリ來ル應壓力ヲ探算スレハ有効抗張強ハ一平方吋
 當リ八十封度トナルヲ以テ

$$a_g = 1,970 \text{ mm/sec}^2$$

然ルニ一方杭打基礎ノ橋脚ニ對シテ之ヲ計算スルニ (第二十二圖)

$$W_3 = 6.36 \times 19.38 \times 22 \times 115 = 3.12 \times 10^6$$

$$h = \frac{0.619 \times 29.8 + 1.48 \times 24.59 + 3.12 \times 9.69}{0.619 + 1.48 + 3.12} = 196'$$

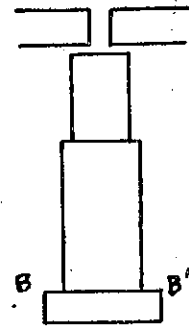
$$I = B-B' \text{ 断面ノ慣性能率} = 9.8 \times 10^6 \text{ in}^4$$

$$a_g = 1,500 \text{ mm/sec}^2 \quad (\text{抗張強} = 60 \text{ lbs/} \square \text{ノ場合})$$

$$a_g = 2,150 \text{ mm/sec}^2 \quad (\text{,,} = 60 + 26 \text{ ノ場合})$$

即チ從來ノ計算法ニ依レハ此場合イツレノ橋脚モ損害ヲ被ラサルヘキ筈ナリ若シ萬々一ノ方向ノ加速度カ千五百耗乃

第二十二圖



(内部ハ混凝土ナラン) 桁ハ徑間七十五呎有効幅員約二十一呎ノ板張り鐵橋ニシテソノ大體ハ第廿三圖ニ示スカ如シ

至二千耗ニ達セシモノトスレハ兩種ノ橋脚共ニ被害ヲ免ル、能ハサル筈ナリ然ルニ事實ハ此レニ反シテ井筒ヲ基礎トセルモノハ全部損害ヲ被リ杭打ヲ基礎トセルモノハ一モ被害ヲ受ケシモノナシ余ハ更ニ該地震ニ於ケル廣島市道路橋本川橋橋脚ノ例ヲ舉ケンニ該橋脚ハ外徑八呎十吋ノ井筒一隻ヲ基礎トシ上體ハ石造ナリ

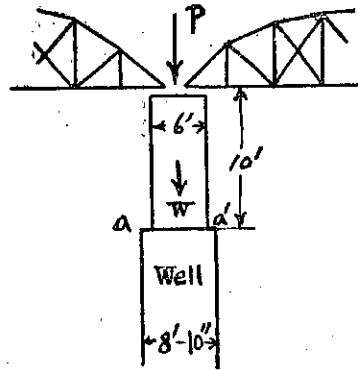
$$P = 40 \text{ ton} = 8.96 \times 10^4 \text{ lbs}$$

$$W = 8.6 \times 6 \times 10' \times 150 \text{ lbs} = 7.74 \times 10^4 \text{ lbs}$$

$$h = \text{重心ノ高キ} = 100'' \cdot 8$$

$$a_x = \frac{9,800 \times 7.465 \times 10^3 \times 50}{16.68 \times 10^4 \times 100.8 \times 36} = 5,400 \frac{\text{mm}}{\text{sec}^2}$$

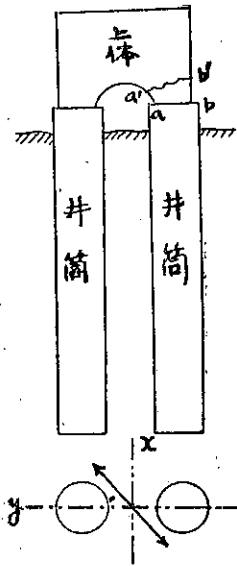
第二十三圖



橋脚ハ二本共罅裂ヲ生セリ此ニ於テ井筒ヲ基礎トスル橋脚ノ耐震力ハ何等カ他ノ算法ニ依リテ之ヲ決定スルノ必要アルヲ視ル

抗張強ハ煉瓦積ヨリ少シク低ク一平方吋當リ五十封度ニ定メタリ即チ斯ノ如ク強大ナル耐震力ヲ有スル橋脚ハ該地震ニ於テ決シテ破損スヘキ理ナシ然ルニ實際ハ

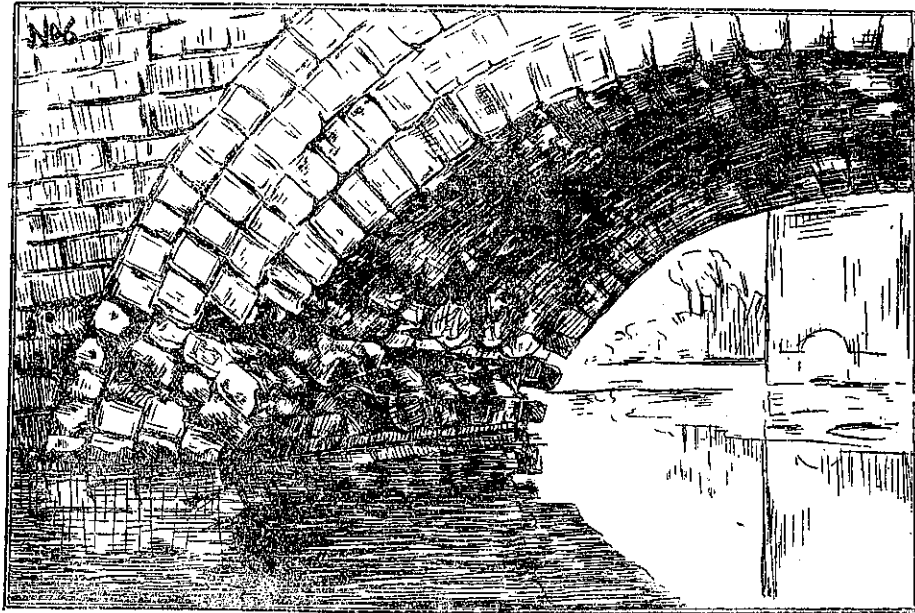
第二十四圖



(二) 二井筒ノ振動相一致セサル爲メノ作用
井筒ハ深ク土砂中ニ浸入シ上部ニ於テ質量大ナルため、そんりヲ以テ之ヲ結合ス若シ地震カ斷面ノ主軸ニ斜ニ作用スル時ハ橋脚ハ之ト同一方向ノ單一ナル振動ヲ行フ事能ハスシテ、 α ノ方向トシノ方向トノ二振動ノ混合セル複雑ナル運動ヲ爲ス而モ橋脚ノ兩方向

的ニ算定スルコトヲ得ヘシ

論 說 報 告 載 荷 セ ル 構 造 物 ノ 振 動 並 ニ 其 耐 震 性 ニ 就 テ



ニ於ケル振動週期ハ著シク異ナルヲ以テニ井筒ノ振動ハ互ニ一致スルコト能ハスシテ多少ノ位相ノ差ヲ生スルコトアル

ヘシ此爲メニ上體ニハ柱力ヲ作用セシム而テ柱力ノ大サハ位相ノ差ヲ知ラサレハ之ヲ算定スル能ハス故ニ此解説ニ依リテ具體的ニ橋脚ノ耐震力ヲ計算スル事ハ困難ナルモ此作用ニ依レハ最小斷面 σ_{10} ノ上方 σ_{10} ニ於テハ彎曲力率ト柱力ト同時ニ作用スルヲ以テ材料ノ性質ニヨリテハ此附近ニ最弱點ヲ發生スル事モ有リ得ヘク又上體ハ割合ニ低クシテ拱頂上ノ厚サ小ナル時ハ扭力ニヨリテ σ_{10} 部ニ罅裂ヲ發生スヘク σ_{10} 及 σ_{10} ノ中間ニ斜方向ノ罅裂ヲ生シ易スカルヘク以テ此種橋脚ノ震害ヲ説明スルニ足ルヘシ

山陽鐵道廣島市太田川橋

(三)橋脚ヲ構柱 (Beam) トシテ考フル方法
然ルニ(二)ノ説明ノ尙不充分ナルハ σ_{10} ノ附近ノ罅裂ハ拱ノ内側ニ於テ極メテ大ニシテ外側ニ到ルニ從ヒ細小トナリ σ_{10} ニ於テ罅裂スルコト少ナク多クノ場合 σ_{10} ノ如キ斜方向ニ生ス而テ σ_{10} 等ニ於テ罅裂ハ一様ノ幅ヲ以テ上體ノ厚サ全體ニ亘ルヲ常トス(第廿五圖太田川橋梁震害寫真參照)而テ斯ノ如キ橋脚ヲ一ノ構柱トシテ考フル時凡テノ震害狀況ヲ説明シ得ルノミナラス其耐震力ヲモ具體

一 雙 ノ 井 筒 ヲ 基 礎 ト ス ル 橋 脚 ニ 於 テ ハ 二 本 ノ 井 筒 ハ 上 部 ニ 剛 性 大 ナ ル 水 平 桁 ヲ 以 テ 結 合 サ ル、ヲ 以 テ 橋 梁 ト 直 角 ナ ル 方 向 ノ 地 震 ニ 際 會 ス レ ハ 構 柱 ト シ テ 強 迫 振 動 ヲ 起 ス ヘ シ

而 シ テ 井 筒 ハ 軟 質 ノ 土 砂 ヲ 以 テ 圍 繞 サ ル、ヲ 以 テ 振 動 ニ 際 シ テ ハ 恰 モ 中 間 ノ 點 A 及 B ニ テ 固 定 サ ル、假 想 的 ノ 構 柱 ト 考 フ ル 事 ヲ 得 A B 點 ノ 位 置 ハ 公 式 (35) ニ 依 リ

$$h = l \left\{ \frac{1}{1 + \frac{d^2 C}{pA} \left(\frac{\pi}{2\pi} \right)^2} \right\}^{\frac{1}{4}}$$

而 シ テ 後 節 ニ 於 テ 論 ス ル カ 如 ク 此 場 合 彎 曲 力 率 ハ A B 及 C D ニ 於 テ 最 大 ニ シ テ 之 レ ヲ 理 論 上 ヲ リ 算 定 ス レ ハ (第 二 編 第 十 九 節 參 照)

$$M = H \mu \omega \left(\frac{P}{2g} l + \frac{W}{2g} \cdot \frac{l}{2} \right)$$

茲 ニ μ ハ 係 數 ナ リ 今 木 曾 川 橋 脚 ニ 於 テ 井 筒 ノ 有 効 長 ヲ 六 十 呎 ト シ テ 之 ヲ 算 定 セ ン

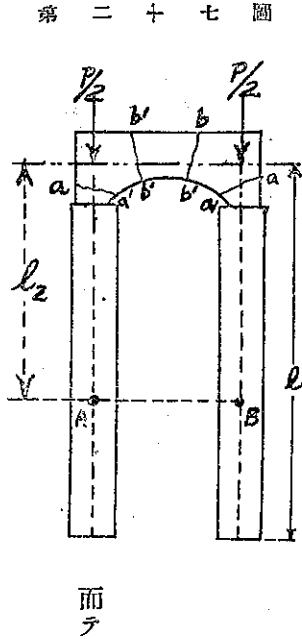
$$P_1 = 3.71 \times 10^4 \text{ lbs.}$$

$$P_2 = 6.70 \times 10^4 \text{ lbs.}$$

$$\frac{W}{2} = \frac{113 \times 60' \times 130 = 8.81 \times 10^4 \text{ lbs.}}{2}$$

$$\frac{P_1 + P_2}{W} = \frac{3.7 + 6.7}{17.62} = 0.59 \quad \text{ナ ル ヲ 以 テ}$$

$$\mu = 0.4 \quad (\text{公 式 (32) 參 照})$$

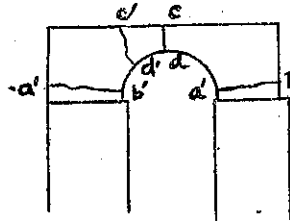


第 二 十 七 圖

C 點 ニ 於 ケ ル 彎 曲 力 率

$$M_c = 0.4 \frac{3,700}{9,800} \left(\frac{3.71}{2} \times 100 + \frac{6.7}{2} \times 75 + 8.81 \times \frac{60}{2} \right) \times 10^4 = 10.6 \times 10^4 \text{ ft-lbs}$$

第 二 十 六 圖



リ 算 定 ス レ ハ (第 二 編 第 十 九 節 參 照)

故ニ C-D 断面ニ於ケルモノハ

$$M_{act} = 10.6 \times 10^5 \times \frac{60}{75} = 8.0 \times 10^5 \text{ ft-lbs}$$

$$I_{act} = 6.627 \times 10^8 \text{ in}^4$$

$$\text{最大線維應力} = \frac{M}{I} = \frac{60 \times 12 \times 8.0 \times 10^5}{6.627 \times 10^8} = 770 \text{ #/sq}$$

モシ A ノ位置カ一層上方ニアリテ井筒ノ有効長カ三十呎ナリトスレバ

$$M_c = 0.4 \frac{3,700}{9,800} \left(\frac{3.71}{2} \times 70 + \frac{6.7}{2} \times 45 + 8.81 \times \frac{30}{4} \right)$$

$$\times 10^5 = 5.24 \times 10^5 \text{ lbs}$$

$$\therefore M_{act} = 5.24 \times 10^5 \times \frac{30}{45} = 3.5 \times 10^7 \text{ ft-lbs}$$

$$\therefore \text{最大線維應力} = \frac{60 \times 12 \times 3.5 \times 10^5}{6.627 \times 10^8} = 337 \text{ lbs/sq}$$

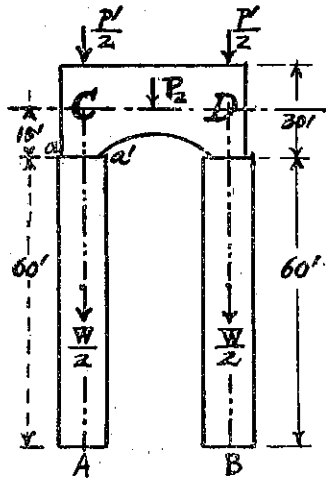
即チ (一) ノ考ヘ方ニ比シ非常ニ危険ナルモノナル事ヲ知ル

次ニ (一) ノ計算法ニ依レハ損害ヲ受クルノ理由ナキ太田川鐵道橋々脚ニ就キテ同様ノ計算ヲ施セハ

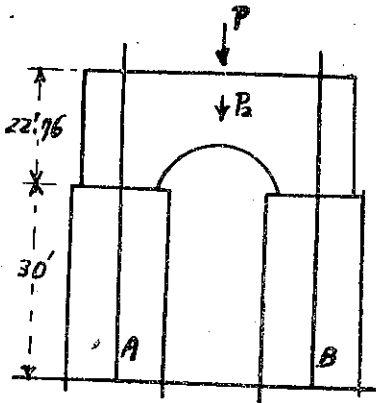
$$P_1 = 6.19 \times 10^4 \text{ lbs}, \quad P_2 = 1.48 \times 10^5 \text{ lbs}, \quad P_3 = 1.98 \times 10^5 \text{ lbs}$$

$$W = 2 \times \frac{\pi}{4} \times 8.83^2 \times 30 \times 130 = 4.78 \times 10^5$$

第二十八圖



第二十九圖



$$\frac{P_1 + P_2 + P'_1}{W} = \frac{0.619 + 1.48 + 1.98}{4.78} = 0.85$$

公式 (32) = 依リ $\mu = 0.35$

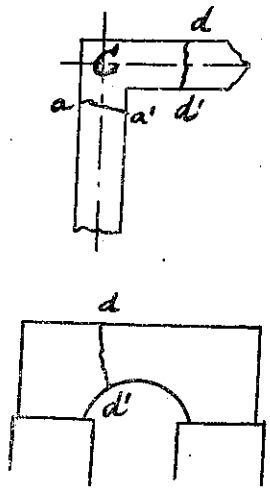
$$M_{act} = M_c \times \frac{30}{30 + 11.38}$$

$$M_c = 0.35 \times \frac{2,000}{9,800} \left(\frac{0.62}{2} \times 55.76 + \frac{1.48}{2} \times 47.46 + \frac{1.98}{2} \times 36.13 + \frac{4.78}{2} \times \frac{30}{2} \right) \times 10^5 = 8.85 \times 10^5 \text{ ft-lbs}$$

$$M_{act} = 6.43 \times 10^5 \text{ ft-lbs} \quad I_{act} = 4.63 \times 10^9 \text{ in}^4$$

$$\therefore \text{最大線維應力} = \frac{M}{I} \cdot y = \frac{6.43 \times 10^5 \times 12}{4.63 \times 10^9} \times \frac{6.35}{2} \times 12 = 64 \#/\text{sq.}$$

第 三 十 圖



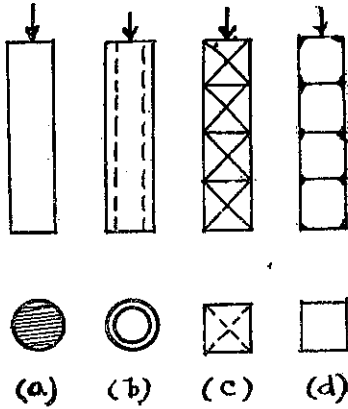
即チ該橋脚モ亦キハメテ危険ナル状態ニアリシヲ以テ井筒ト上體トノ結合點ニ於テ多ク皸裂ヲ生セルハ當然ノ事ナリ而テ構柱ニ於テハ a-a' 断面ニ作用スル彎曲力率ハ d-d' 断面ニ作用スルモノト殆ント相等シキヲ以テ若シ結合拱上ノ厚サカ小ナル時ハ d-d' ニ於テモ亦皸裂ヲ發生スヘシ廣島地震ニ於テ道路橋本川橋ノ震害ハコノ事實ヲ證明スルモノナリ之ヲ要スルニ一雙ノ井筒ヲ基礎トスル橋脚ニ於テハ上體ノ結合體ヲ充分大ナラシムレハ其結合點ニ於テ破壞シ若シ結合體ヲ輕少ナルモノトスレハ結合體ニ損害ヲ生スルヲ以テ鐵道橋ノ場合ノ如ク充分剛強ナル橋脚ヲ要スル場合ニハ到底不適當ニシテ橢圓形單一井筒ヲ使用スルニ如カス而テ道路橋ニ於テ大地震

ニ際シ多少ノ損害ヲ受クルモ尙建設費ヲ節約スルノ有利ナル場合ハ二井筒ノ結合ヲ彈性ニ富メル輕ルキ構造トシ井筒ノ振動ヲアル程度迄自由ナラシメ各井筒ハ直徑ヲ大ニシ張力ニ耐ユルタメ鐵筋混凝土ノ如キ材料ヲ使用スルヲ可トス普通道路橋ニ於テハ幅員大ナル爲メ單一ナル井筒ヲ用フル事困難ナルヲ以テ上記ノ事項ニ留意シ一雙ノ井筒ヲ採用スルヲ有利トスヘシ

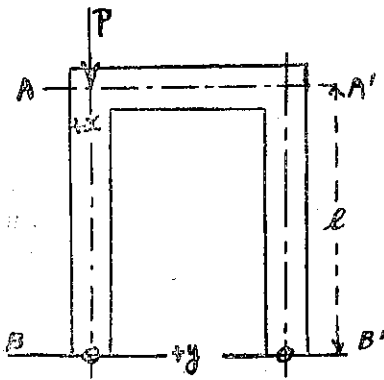
第十四節 構柱 (Bent) 及ヒ架構ノ振動週期

茲ニ構柱又ハ架構ト稱スルハ鉛直ナル柱ヲ水平桁ニ依リテ互ニ連結セル 造ニシテ重大ナル荷重ヲ支持スルモノヲ構柱ト呼ヒ自重以外大ナル荷重ヲ支持セサルモノヲ架構ト名ツケタリ而テ振 ヲ論スルニ當リテハ便宜上兩者ヲ一括シテ取扱ハントス是迄論シ來リシ所ノ柱體ハ荷重ヲ支持スル柱ノ各部カ水平剪力ニ完全ニ耐抗シ得ル如キ腹部 (Web) ヲ有シ彎曲力率ニ對シテ全斷面カ一體ヲ爲シテ耐抗スルモノニシテ橋脚ノ如キ内部充實セル柱體 (第卅一圖) (a) 又ハ中空ナル

第三十一圖



第三十二圖



モ外圍ニ連續セル壁ヲ有シ安全ニ剪力ニ耐抗シ得ルモノ (b) 即チ水塔又ハ建築物ノ如シ (b) 又ハ多クノ柱ヲ橫斜材等ニヨリテ結合シ完全ニ結構ノ作用ヲ爲シ得ルモノ即構脚又ハ水槽脚ノ一種 (c) 等ヲ包含スルモノナリ然ルニ多クノ支柱カ聯合シテ荷重ヲ支持スル場合ニ周壁又ハ斜綾構ヲ有セサルモノ例ヘハ鐵

骨建築物ノ骨組構脚又ハ水槽脚ノ一種等 (d) ニ於テハ各支柱ハ單一水平桁ニヨリテ不完全ニ結合サレ水平剪力ニ耐ユル腹材ヲ有セサルヲ以テ支持ハ自ラコレニ耐抗セサルヘカラサルヲ以テ各柱ハ個々ニ彎曲シ上記ノ柱體ト全ク異ナレル彈性

變形ヲ爲ス從テソノ振動週期モ亦異ナルヲ以テ特別ナル研究ヲ要ス先ツ最モ簡單ナル構柱即チ二本ノ鉛直柱ト其上端ニ於テ此等ヲ結合スル水平桁トヨリ成ル構造ヲ採リ其振動ヲ研究セントス今構柱ヲ構成スル水平桁ノ慣性能率カ充分大ニシテ柱ノ振動ニ際シ彎曲セサルモノト假定スレハ二本ノ柱ノ振動ハ個々別々ニ考究スル事ヲ得ヘシ此場合第卅二圖ノ如ク座標軸ヲ撰定セハ振動ノ微分方程式ハ第一篇第四節式(7)ト同一ニシテ η ノ値ハ

$$y = u \sin pt$$

$$u = A \cosh mx + B \sinh mx + C \sin mx + D \cos mx$$

A, B, C, D 等ノ常數ヲ定ムル爲メノ環境條件ハ

$$x = 0 \quad \text{ニ於テ} \quad y = 0 \quad \dots \dots \dots (i)$$

$$\text{及ヒ} \quad \frac{\partial y}{\partial x} = 0 \quad \dots \dots \dots (ii)$$

$x = l$ ニ於テ水平桁 AA' ハ變形セサルヲ以テ

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x=l} = 0 \quad \dots \dots \dots (iii)$$

次ニ水平桁ノ重量及構柱ノ支持スル荷重ノ和ノ二分ノ一ヲ P トスレハ $\frac{P}{g}$ ナル質量ハ A 點ト同一ノ加速度ヲ以テ運動スルヲ以テ

$$x = l \quad \text{ニ於テ} \quad \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{EI}{\partial x^2} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) = \frac{P}{g} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right) \quad \dots \dots \dots (iv)$$

條件(i)及ヒ(ii)ヨリ

$$\therefore u = A (\cosh mx - \cos ma) + B (\sinh mx - \sin ma)$$

$$(iii) \text{ニ依リ} \quad A (\cosh ml - \cos ml) + B (\sinh ml - \sin ml) = 0 \quad \dots \dots \dots (v)$$

(iv) に依リ

$$A \left[\sin h ml - \sin ml + \frac{Pml}{\rho A g l} (\cosh ml - \cos ml) \right] + B \left[\cosh ml + \cos ml + \frac{Pml}{\rho A g l} (\sinh ml - \sin ml) \right] = 0 \quad \dots \dots \dots (v)$$

今 (AB) 柱ノ重量ヲ W トスレバ $W = g \rho A l$ ナルヲ以テ (v) 及 (vi) ヨリ次ノ關係ヲ得

$$ml = \frac{W}{P} \frac{\cosh ml \sin ml + \sinh ml \cos ml}{1 - \cosh ml \cos ml} \quad \dots \dots \dots (27)$$

若シ $P = 0$ ナル時ハ (v) 及 (vi) ヨリ

$$\cosh ml \sin ml + \sinh ml \cos ml = 0 \quad \dots \dots \dots (27')$$

式 (27) 及式 (27') ヲ満足スル如キ ml ヲ見出し得レハ構柱ノ振動週期 T ハ次ノ式ニヨリテ算出セラル

$$T = \frac{2\pi}{m^2} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} = \frac{2\pi}{m^2} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI}} = \frac{2\pi}{m^2} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}}$$

而シテ W/P ノ種々ナル値ニ對シテ式 (27) 及式 (27') ノ方程式ヲ解キ ml 及 C ノ値ヲ算出スレハ次表ノ如シ

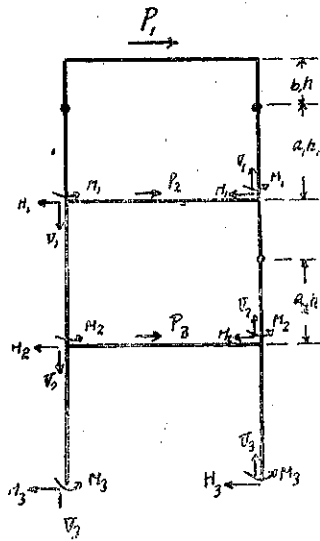
		ml 及 C ノ値							
$W/P=0.1$		0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	1.0	1.0	∞
$ml=1.04$		1.21	1.5)	1.72	1.92	2.14	2.24	2.24	2.353
$(ml)^2=1.08$		1.46	2.25	2.96	3.686	4.58	5.02	5.02	6.40
$C=5.71$		4.29	2.79	2.12	1.71	1.37	1.25	1.25	1.14

而シテ此等 W/P ト m 及 C トノ關係ハ附圖第五圖ニ曲線ヲ以テ示セリ

第十五節 數層ヨリ成ル構柱及架構ノ振動週期

數層ヨリ成ル構柱及ヒ架構ニ於テモ荷重ニ對スル其彈性變形並ニ各部材ノ應力ヲ算定スルノ方法ハ既ニ學界周知ノモノナリト雖モ層數多キ場合ニハ其計算頗ル複雑ナリ然ルニ振動ヲ論究スルニハ各部變位ノ數式ヲ以テ更ニ煩雜ナル計算ヲ施サ、ルヘカサルヲ以テ此方法ニ依テ振動週期ヲ算定セン事ハ極メテ困難ナリ故ニ問題ヲ一般的ニ取扱ヒ應用ニ便ナラシメン爲メニハ勢ヒ合理的ナル假定、適當ナル省略等ヲ爲サ、ルヘカラス先ツ第一ニ必要ナルハ柱ノ各區間ノ反曲點(Point of inflection)即チ作用彎曲力率ノ零ナル點ノ位置ナリ數層ヨリ成ル架構ニ於テ之ヲ定ムル算式ハ頗ル複雑ニシテ今最モ便利ニ書キ現ハサレタル佐野工學博士ノ形式(家屋耐震構造論(乙) p. 39 以下參照)ヲ用ヒテ三層以上ノ場合ヲ

第三十三圖



論セントス而テ上端ニ重大ナル荷重ヲ支持スル水槽ノ如キ場合ニハ $P_1 \gg P_2 \gg P_3 \dots$ ニ比シ頗ル大ニシテ且ツ最上部ノ水平桁ハ支柱及ヒ下層ノモノニ比シ極メテ大ナル剛性ヲ有ス試ニ東京市下水道三河島汚水處分場ニ於ケル高置給水槽ニ就テ慣性能率ヲ算定スルニ

最上部ノ桁及水槽壁 = 1,760,000 in⁴

支柱 = 7,800 in⁴

故ニ $n = \frac{\text{桁ノ慣性能率}}{\text{支柱ノ慣性能率}} = 226$

而テ最上層以下ニ於テハ(n)ハ殆ト(1)ニ近ク P_2, P_3 等ハ P_1 ニ比シ之ヲ無視スル事ヲ得ヘク尙各層ニ於テ幅員(b)ト高(h)ト相等シト考フレハ

$\frac{b}{h} = m = 1$

$H_2 = \frac{P_1}{2}$

$V_3 = 3P$

$V_1 = \frac{36}{55} P$

$$\therefore V_2 = \frac{87}{55}P, \quad M_1 = \frac{Ph - V_1b}{2} = \frac{19}{110}hP$$

$$\therefore a_1h_1 = \frac{2M_1}{P} = 0.345h$$

$$\therefore M_2 = \frac{33}{55} \cdot \frac{hP}{2}, \quad \therefore a_2h_2 = \frac{33}{110}h$$

次に最上層ノ荷重モ下層ノ荷重モ凡テ一様ニシテ各水平桁ノ慣性能率モ亦同一ナリトスルニ $n=1, n=1$ ニシテ

$$a_1 = \frac{1}{3}, \quad a_2 = \frac{1}{3}$$

若シ $m = \frac{1}{2}, n = 1$ ナル時ハ

$$V_1 = \frac{114}{103}P, \quad V_2 = \frac{46}{103}P, \quad M_1 = \frac{23}{103}Ph$$

$$\therefore a_1h_1 = \frac{2M_1}{P} = \frac{46}{103}h, \quad \therefore a_1 = \frac{46}{103}$$

$$M_2 = \frac{90}{103}Ph, \quad a_2h_2 = \frac{180}{103}h$$

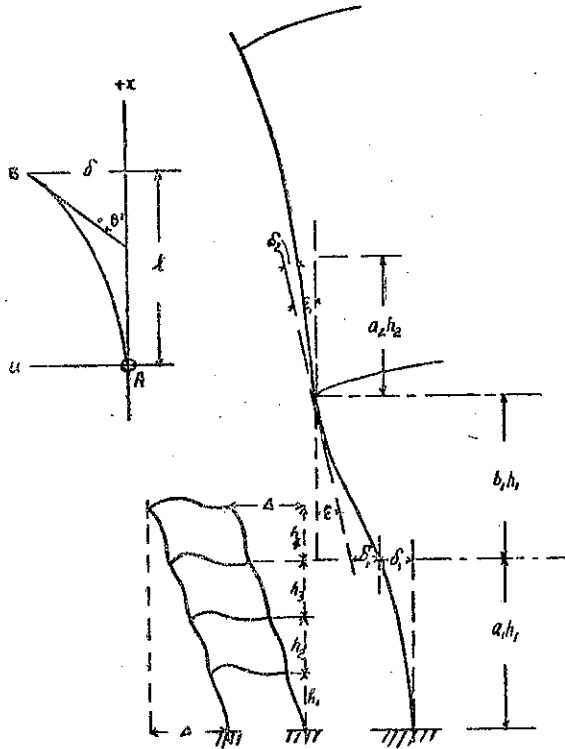
$$\text{次に } m = \frac{1}{2}, n = \frac{1}{2} \quad \text{ハ } V_1 = \frac{9}{7}P, \quad V_2 = \frac{30}{7}P$$

$$M_1 = \frac{5}{24}Ph, \quad a_1 = \frac{5}{12}$$

$$M_2 = -\frac{1}{14}Ph, \quad a_2h_2 = -\frac{1}{7}h$$

即チ $\approx \frac{1}{3}b$ カ(1)ニ近キ値ヲ有スル場合ニハ(n)ノ値ニ多少ノ變動アリテモ(u)ノ値ハ略 $\frac{1}{3}$ ニシテ即チ反曲點ハ層ノ高サノ $\frac{1}{3}$ ノ高サニアリ而シテm及nノ値及層ノ位置ニ依リテ反曲點ノ位置モ一々異ナルト雖モ架構ノ變位即チ撓ミヲ求メントスル場合ニハ其平均ヲ用ヒ上下層ヲ通シテuノ値ヲ同一ナリト假定シテ大ナル誤ナシ今各層ノ反曲點ノ位置ヲ知レリトシテ構柱ノ撓ミヲ求メンニ

第 三 十 四 圖



$$\Delta = \delta_1 + b_1 h_1 \tan \epsilon_1 + \delta_1'$$

$$+ a_2 h_2 \tan \epsilon_2 - \delta_2'$$

$$+ b_2 h_2 \tan \epsilon_2 - \delta_2'$$

$$+ a_3 h_3 \tan \epsilon_3 + \delta_3'$$

$$+ b_3 h_3 \tan \epsilon_3 - \delta_3'$$

然ルニ $u = \mu(3l^2 - x^2)$

$$\therefore \delta = 2\mu l^2 \quad \therefore \mu = \frac{\delta}{2l^2}$$

ABノBニ於ケル方向變化ハ

$$\theta = 3\mu l^2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{\delta}{l}$$

$$\therefore \delta_1 = C(a_1 h_1)^2 \dots \dots \delta_m = C(a_m h_m)^2 \dots \dots \text{故ニ } C \text{ハ係數}$$

$$\delta_1' = C(b_1 h_1)^2 \dots \dots \delta_m' = C(b_m h_m)^2$$

$$\epsilon_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{\delta_1}{a_1 h_1} - \frac{3}{2} \cdot \frac{\delta_1}{b_1 h_1} = \frac{3}{2} C(a_1 h_1)^2 - \frac{3}{2} C(b_1 h_1)^2 = \frac{3C}{2} \frac{a_1^2 h_1^2 - b_1^2 h_1^2}{a_1 h_1 - b_1 h_1}$$

$$\epsilon_2 = \frac{3}{2} C(a_1 h_1)^2 - \frac{3}{2} C(b_1 h_1)^2 - \frac{3}{2} C(a_2 h_2)^2 + \frac{3}{2} C(b_2 h_2)^2$$

$$\epsilon_3 = \dots$$

此等ノ値ヲΔノ式ニ入レテ

$$\Delta = C(a_1 h_1)^3 + C(b_1 h_1)^3 + b_1 l_1 \frac{3C}{2} (a_1 h_1 - b_1 h_1)^2$$

$$- C(a_2 h_2)^3 + a_2 h_2 \frac{3C}{2} (a_1 h_1 - b_1 h_1)^2$$

$$- C(b_2 h_2)^3 + b_2 l_2 \frac{3C}{2} (a_1 h_1 - b_1 h_1)^2 - a_2 h_2 + c$$

$$+ C(a_3 h_3)^3 + a_3 h_3 \frac{3C}{2} (a_1 h_1 - b_1 h_1)^2 - a_2 h_2 + b_2 h_2^2$$

$$+ C(b_3 h_3)^3 + b_3 l_3 \frac{3C}{2} (a_1 h_1 - b_1 h_1 - a_2 h_2 + b_2 h_2 + a_3 h_3 - b_3 h_3)^2$$

今 $h_1 = h_2 = \dots$ $b_1 = b_2 = \dots = \frac{2}{3}$, $a_1 = a_2 = \dots = \frac{1}{3}$

ト置ケハ

$$(a_1 h_1)^3 = \frac{l^3}{27}$$

$$(b_1 h_1)^3 = \frac{8}{27} l^3$$

$$\frac{l^2}{9}$$

$$b_1 h_1 = \frac{4}{9} l^2$$

$$\frac{\Delta}{Ch^3} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{27} + \frac{8}{27} + \frac{1}{9} - \frac{4}{9} \\ 0 + \frac{3}{2} \left(\frac{1}{9} - \frac{4}{9} \right) \\ \frac{1}{27} + \frac{8}{27} - \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{9} - \frac{4}{9} \right) \\ -\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{3} \\ 0 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \\ \dots \\ \dots \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0 \dots \dots \dots \text{最下層} \\ -\frac{1}{2} \dots \dots \dots \text{第二層} \\ -\frac{1}{2} \dots \dots \dots \text{第三層} \\ -1 \dots \dots \dots \text{第四層} \\ -1 \dots \dots \dots \text{第五層} \\ -\frac{3}{2} \dots \dots \dots \text{第六層} \\ -\frac{3}{2} \dots \dots \dots \text{第七層} \\ -2.0 \dots \dots \dots \text{第八層} \end{array} \right.$$

故ニ架構ノ層數ヲ N ヲ テ ハセハ其上端ノ位變 Δ ハ

$$\Delta = \frac{N}{4} Ch^3 \dots \dots \dots (28)$$

而シテ

$$a = \frac{1}{4}, \quad b = \frac{3}{4} \quad \text{ノ 場 合 ニ 於 テ ハ}$$

$$EI \int_0^l \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)^2 dx = \frac{h^3}{3EI_0} \cdot \frac{N}{3}$$

$$\therefore P^2 = \frac{h^3 N}{9EI_0} \cdot \frac{3}{\rho A_0} \cdot \frac{1}{Nh \Delta^2}$$

然ルニ

$$\Delta = C \frac{N}{h^3}$$

$$C = \frac{1}{3EI_0}$$

$$\Delta^2 = \frac{1}{9EI_0^2} \cdot \frac{N^2}{h^6}$$

ナルヲ以テ

$$P = 3\sqrt{3} \sqrt{\frac{EI_0}{\rho A_0}} \cdot \frac{1}{Nh^2}$$

$$\therefore T = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} \times \frac{Nh^2}{1}$$

$$\therefore T = \frac{0.687}{N} T'$$

$$\text{故ニ } T' = C \sqrt{Nh^3} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} \dots \dots \dots (29)$$

$Nh = l$ の 荷 重 ナ キ 場 合 ン 1.788 荷 重 ア ル 場 合 ン 第 十 四 節 ノ 値 即 チ 架 構 ノ 振 動 週 期 (T') 一 本 ノ 柱 カ 單 獨 ニ 振 動 ス
 ル 場 合 ノ 週 期 (T') $\parallel \frac{0.687}{N}$ ヲ 乘 シ タ ル モ ノ ニ ミ テ 層 數 ニ 逆 比 例 ス
 次 ニ $a = \frac{1}{4}$ ト ス ル 場 合 ン

$$\Delta = \frac{3}{8} NCh^3$$

$$P \Delta \int_0^l u^2 dx = \frac{\rho A_0 Nh}{3 \times 64 EI_0^2}$$

$$\therefore T = 0.675 \frac{T'}{N} \dots \dots \dots (29')$$

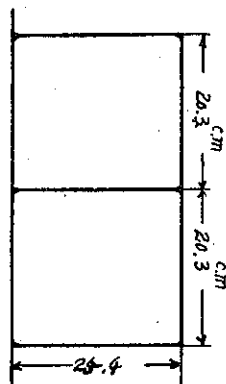
第十六節 實測セル振動週期ト公式トノ比較

前節ニ於テ提案セル架構ノ振動週期ノ公式ハ素ト大企模ナル實際構造物ノ振動週期ヲ算定セン目的ナルヲ以テ其照査シタル實驗モ亦實際ノ構造物ニ就キテ行フヲ至當ナリトスレトモ未タ此種ノ構造物ニ就キテ振動週期ヲ實測セル例ナク又手近カニ檢測ニ適當ナル構造物モ存在セサルヲ以テ止ムナク模型ノ振動週期ヲ檢測シテ其缺ヲ補ヒタリ該模型ハ震災豫防調査會ノ備品ニシテ第卅五乃至第四十一圖ニ示ス如ク七種ノ簡單ナル構造ナリ材料ハ斷面 $19\text{mm} \times 0.407\text{mm}$ ノ時計用 Spring ニシテ各結合點ハ他ノ鐵物ヲ以テ充分堅固ニ取付ケタリ

(1) 一層二格間構柱

振動回数	所要時間	初振幅	週期
30	7.2 秒	60 mm	0.26 秒
30	7.4	60	0.27

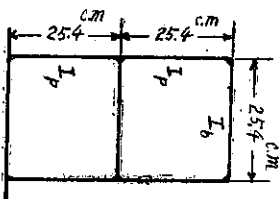
第三十五圖



(2) 二層一格間 ($I_p = I_b$)

振動回数	所要時間	初振幅	週期
20	9.5 秒	40 mm	0.475 秒
30	14.6	60	0.487
平均			0.481

第三十六圖

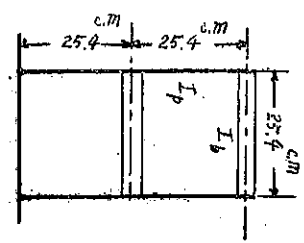


(2') 二層一格間 (I_b ハ I_p ニ比シ極メラ大ナル場合)

829

振動回数	所要時間	初振幅	週期
30	11.2 秒	140 mm	0.373 秒
20	7.2	60	0.360
20	7.8	160	0.390
平均			0.374

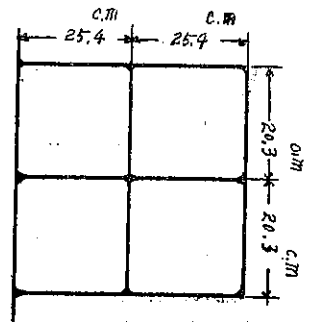
第三十七圖



(3) 二層二格間

振動回数	所要時間	初振幅	週期
20	9.5 秒	50 mm	0.475 秒
30	15.0	20	0.500
平均			0.488

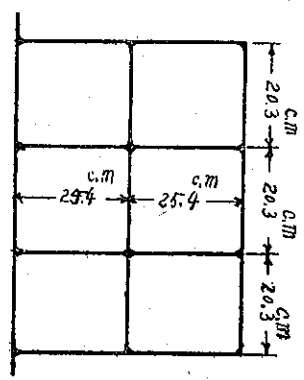
第三十八圖



(4) 二層三格間

振動回数	所要時間	初振幅	週期
20	10.2 秒	50 mm	0.51 秒
30	15.0	60	0.50
平均			0.505

第三十九圖



(5) 三層一格間

振動回数	所要時間	初振幅	週期
30	16.0 秒	140 mm	0.533 秒
20	10.4	60	0.520
平均			0.527

(6) 四層一格間

振動回数	所要時間	初振幅	週期
20	7.5 秒	160 mm	0.375 秒
30	12.0	20	0.400
30	11.1	140	0.370
20	7.8	60	0.390
平均			0.384

依テ此等ノ固有週期ヲ公式 (29) ニ由リテ算出セントス

柱ノ環動半徑 = 0.117 m = 0.0117 cm

材料ノ $\sqrt{\frac{E}{\rho}} = 5.14 \times 10^5$ (C. G. S. units)

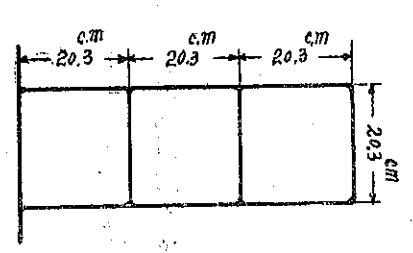
(1) 一層二格間ノ場合

三柱ノ重量 = $\frac{3 \times 25.4}{2 \times 20.3} = 1.88$

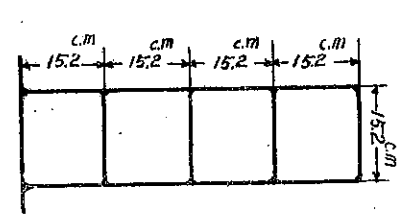
$\therefore C = 3.2$

$\therefore T' = 3.2 \frac{25.4}{0.0117 \times 5.14 \times 10^5} = 0.33$ 秒

第十四圖



第十四圖



$$\therefore T = 0.687 \times 0.33 = 0.227 \text{ 秒}$$

即チ實測値 0.265 ニ比シ稍小ニ過ク而テ一層ノ場合ハ第十四節ニ於テ理論的ニ研究シ係數ノ値ヲ求メタリシカ(附圖第七圖)之ニ依リハ $C = 1.75$ ニシテ $T = 0.18$ 秒ニシテ一層小ナリ之レ本例ハ二格間ニシテ第十四節ト異ナル爲メナラ

(2) 二層一格間ノ場合

$$\frac{W}{P} = \frac{4}{1 + \frac{1}{2}}$$

$$\therefore \frac{2\pi}{C} = 2.19 \left(\because \text{公式 41 由リ } \frac{2\pi}{C} = \sqrt{\frac{3}{\frac{P}{W} + \frac{1}{4}}} \right)$$

$$T = CNh \sqrt{\frac{PA_0}{E I_0}} = \frac{2\pi}{2.19} \cdot \frac{2^2 \times 25.4^2}{0.0117 \times 5.14 \times 10^6} = 1.26 \text{ 秒}$$

$$\therefore T = \frac{0.687}{N} T' = 0.44 \text{ 秒}$$

而テ實測ニ由レハ(2)ノ場合ハ $T = 0.481$ 秒ニシテ(2')ノ場合ハ 0.374 秒ナリ即チ公式(29)ハ(2)ト(2')ノ場合ノ略中間ノ狀況ニ相當スルモノナルヲ知ル而テ實際ノ構造物ハ此兩極端ノ模型ノ中間ノ性質ヲ有スルヲ以テ其振動週期ノ算定ニ該公式ヲ使用シテ太過ナカラント信ス

(3) 二層二格間ノ場合及ヒ(4) 二層三格間ノ場合

$$\frac{W}{P} = \frac{1}{1.88}$$

$$\therefore C = 3.2$$

$$\therefore T' = 1.38 \text{ 秒}$$

$$T = \frac{0.687}{N} \quad T = 0.47 \text{ 秒}$$

而テ實測ノ結果ハ(3)ノ場合 0.488 秒(4)ノ場合 0.505 秒ニシテ公式ノ與フル値ハ稍小ナリ

(5) 三層一格間ノ場合

$$\frac{P}{W} = \frac{1}{2}, \quad C = \frac{2\pi}{2.0}$$

$$\therefore T = \frac{2\pi}{2.0} \cdot \frac{(3 \times 20.3)^2}{0.0117 \times 5.14 \times 10^5} = 1.96 \text{ 秒}$$

$$\therefore F = \frac{0.687 \times 1.96}{3} = 0.445 \text{ 秒} \quad (\because N=3)$$

然ルニ實測ノ結果ハ 0.527 秒ニシテ稍大ナリ

(6) 四層一格間ノ場合

$$T = 1.96 \frac{4^2}{3^2} \times \left(\frac{15.2}{20.3} \right)^2 = 1.96 \text{ 秒}$$

$$\therefore T = 1.96 \times \frac{0.687}{4} = 0.335 \text{ 秒} \quad (\because N=4)$$

即チ公式(29)ノ與フル値ハ實測値ニ比シ一般ニ小ナリ而テ模型ノ多クハ桁ノ慣性能率ハ柱ノ夫レニ等シト雖モ實際ノ構造ニ於テハ一般ニ前者カ著シク大ナルヲ以テ振動週期モ模型ノ如キ形狀ノモノヨリ短小ニシテ公式(29)ノ與フルモノニ接近スヘシ

第十七節 構柱ノ強迫震動

地震ニ際シテ構柱ノ爲ス振動ハ一ノ強迫振動ニシテ地動カアル期間一樣ナル振幅ヲ以テ繰リ返サル、カ又ハ極メテ徐々

ニ其振幅ヲ變化スル場合ニハ構柱ノ振動ヲ理論的ニ解決スル事困難ナラス
此場合柱軸ノ運動ヲ現ハス微分方程式ハ固有振動ノ場合ト全ク同一ニシテ從テ其一般の解答ハ

$$y = (A \cosh mx + B \sinh mx + C \sin mx + D \cos mx) l \sin pt = u \sin pt$$

茲ニ ABCD 等ハ常數ニシテ l ハ地動最大振幅ノ二分ノ一 p ハ $\frac{2\pi}{T}$ T ハ地震ノ週期ナリ
然ルニ固定點ニ於テハ地動ト同一運動ヲ爲スヲ

$$x=0 \text{ニ於テ}$$

$$y = e \sin pt$$

及ヒ $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$

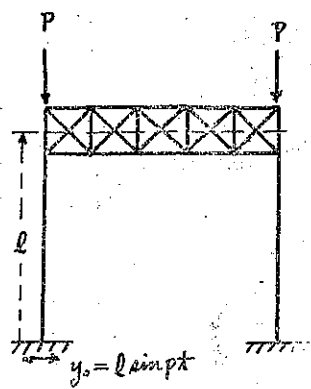
故ニ

$$u = A (\cosh mx - \cos mx) + B (\sinh mx - \sin mx) + e \cos mx$$

今水平桁ハ柱ニ比シ剛性極メテ大ナリトスレハ柱上端ニ於テ軸ハ常ニ鉛直ノ方向
ヲ保ツヘシ由テ

$$x=l \text{ニ於テ} \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x=l} = 0 \dots \dots \dots (1)$$

第 四 十 二 圖



次ニ一柱カ上端ニ於テ支持スヘキ重量ヲ P トスレハ柱軸上端ニ於テ $\frac{P}{g}$ 加速度ト柱ノ彎曲ニ由ル彈性力トハ相等シキ
ヲ要スルヲ以テ

$$x=l \text{ニ於テ} \frac{d}{dx} \left(EI_0 \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = \frac{P}{g} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right) \sin pt = 1 \dots \dots \dots (2)$$

條件(i)ニ依リ

$$m A (\sinh ml + \sin ml) + m B (\cosh ml - \cos ml) - em \sin ml = 0$$

$$\therefore B = \frac{e \sin ml - A (\sinh ml + \sin ml)}{\cosh ml - \cos ml}$$

條件(ii)ニ依リ

$$-m^2 \frac{EI_0}{\rho A_0} \times \frac{P}{gEI_0} \left[A \left\{ (\cosh ml - \cos ml) - \frac{\sinh ml + \sin ml}{\cosh ml - \cos ml} (\sinh ml - \sin ml) \right\} + e \left\{ \cos ml + \frac{\sin ml}{\cosh ml - \cos ml} (\sinh ml - \sin ml) \right\} \right]$$

$$= m^3 A \left\{ (\sinh ml - \sin ml) - \frac{\sinh ml + \sin ml}{\cosh ml - \cos ml} (\cosh ml + \cos ml) \right\} + m^3 e \left\{ \sin ml + \frac{\sin ml}{\cosh ml - \cos ml} (\cosh ml + \cos ml) \right\}$$

此ノ關係ヲ簡單ニスレハ

$$2A (1 - \cosh ml \cos ml) + e (\cosh ml \cos ml + \sinh ml \sin ml - 1)$$

$$= \frac{\rho A_0 g}{mP} \{ 2A (\sinh ml \cos ml + \cosh ml \sin ml) - 2e \cosh ml \sin ml \}$$

$$\frac{\rho A_0 g}{mP} = \frac{\rho A_0 g}{mP} = \frac{W}{mP} = K \quad \text{茲ニ } W = \text{柱ノ重量ト置ケル}$$

663

常數Aノ値ハ

今

論 說 報 告 載荷セル構造物ノ振動並ニ其耐震性ニ就テ

$$A = \frac{K \cosh ml \sin ml + \frac{1}{2}(-1 + \cosh ml \cos ml + \sinh ml \sin ml)}{-1 + \cosh ml \cos ml + K(\sinh ml \cos ml + \cosh ml \sin ml)} e \dots \dots (30)$$

而 シテ
$$u = e \cos mx + e \left\{ \frac{\sin ml - A(\sinh ml + \sin ml)}{\cosh ml - \cos ml} (\sinh mx - \sin mx) + A(\cosh mx - \cos mx) \right\}$$

茲ニ

$$\frac{2\pi}{T} = m^2 \sqrt{\frac{EI_0}{\rho A_0}}$$

T = 地震ノ週期

今 構 柱 ノ 固 有 振 動 週 期 ヲ T ト シ テ $\frac{T''}{T}$ ノ 種 々 ノ 値 ニ 對 シ K ml 等 ヲ 算 出 ス ン ハ 次 表 ノ 如 シ

(1) T' = T			(2) T' = 0.2T		
W/P = 0.1	0.5	1.0	0.5	1.0	∞
ml = 1.04	1.50	1.72	0.671	0.769	1.050
K = 0.0961	0.333	0.581	0.745	1.30	∞
(3) T' = 0.5T			(4) T' = 0.8T		
W/P = 0.1	0.5	1.0	0.5	1.0	∞
ml = 0.736	1.06	1.22	1.34	1.54	2.115
K = 0.138	0.472	0.880	0.374	0.65	∞
(5) T' = 1.5T			(6) T' = 2T		
W/P = 0.1	0.5	1.0	0.5	1.0	∞
ml = 1.27	1.84	2.11	2.12	2.43	3.33
K = 0.079	0.272	0.474	0.236	0.411	∞

第十八節 強迫振動ニ際シテ發生スル彎曲力率

強迫振動ニ際シテアル断面ニ作用スル最大彎曲力率ハ

$$M_x = -EI_0 \frac{d^2 u}{dx^2}$$

故ニ式(30)ニ依リ

$$M_x = EI_0 m^2 \{ \cos m x - A (\cosh m x + \cos m x) + B (\sinh m x + \sin m x) \}$$

茲ニ

$$A = \frac{K \cosh m l \cos m l + \frac{1}{2} (-1 + \cosh m l \cos m l + \sinh m l \sin m l)}{-1 + \cosh m l \cos m l + K (\sinh m l \cos m l + \cosh m l \sin m l)}$$

$$B = \frac{A (\sin m l + \sinh m l) - \sin m l}{\cosh m l - \cos m l}$$

... (31)

今 $M_x = I_0 E I_0 m^2 e^{-\rho x}$ ト置キテ $\frac{P}{P}$ 及ヒ K ノ種々ノ値ニ對シテ M_x ノ値ヲ算出スルニ次ノ如シ

(1) $T^2/T^2 = 0.2$

$W/P = 0.1$

$A = +1.125$	$B = +2.76$				
$x/l = 0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$m x = 0.0$	0.094	0.188	0.282	0.376	0.470
$h_x = -1.25$	-0.73	-0.23	+0.28	+0.76	+1.23

(2) $T^2/T^2 = 0.2$

$W/P = 0.5$

$A = 0.803$	$B = +1.01$				
$x/l = 0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$m x = 0.0$	0.134	0.268	0.403	0.537	0.671
$h_x = -0.61$	-0.35	-0.11	+0.12	+0.32	+0.50

(3) $T^2/T^2 = 0.2$

$W/P = 1.0$

$A = +0.68$	$B = +0.598$				
$x/l = 0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$m x = 0.0$	0.154	0.304	0.462	0.616	0.770
$h_x = -0.36$	-0.198	-0.039	+0.071	+0.185	+0.259

(4) $T^2/T^2 = 0.2$

$W/P = \infty$ or $P = 0$

$A = +0.698$	$B = +0.535$				
$x/l = 0.0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$m x = 0.0$	0.210	0.420	0.630	0.840	1.05
$h_x = -0.37$	-0.167	-0.007	+0.103	+0.170	+0.236

666

(5) $T'/T=0.5$ $W/P=0.1$

$A=+2.375$ $B=+5.21$

$x/l=$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$mz=$	0.0	0.147	0.295	0.441	0.590	0.736
$h_z=$	-3.75	-1.83	-0.72	+0.75	+2.22	+3.47

(7) $T'/T=0.5$ $W/P=1.0$

$A=+1.32$ $B=+1.56$

$x/l=$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$mz=$	0.0	0.244	0.488	0.732	0.976	1.220
$h_z=$	-1.64	-0.91	-0.243	+0.355	+0.91	+1.344

(9) $T'/T=0.8$ $W/P=0.1$

$A=+6.74$ $B=+13.58$

$x/l=$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$mz=$	0.0	0.1864	0.3728	0.5592	0.7456	0.932
$h_z=$	-12.48	-7.42	-2.40	+2.53	+7.39	+12.15

(11) $T'/T=0.8$ $W/P=1$

$A=+3.18$ $B=+3.85$

$x/l=$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$mz=$	0.0	0.308	0.616	0.924	1.232	1.54
$h_z=$	-5.38	-3.06	-0.83	+1.24	+3.05	+4.87

(6) $T'/T=0.5$ $W/P=0.5$

$A=+1.52$ $B=+2.12$

$x/l=$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$mz=$	0.0	0.212	0.424	0.636	0.848	1.06
$h_z=$	-2.01	-1.16	-0.384	+0.445	+1.172	+1.83

(8) $T'/T=0.5$ $W/P=\infty$

$A=+1.09$ $B=+1.015$

$x/l=$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$mz=$	0.0	0.332	0.664	0.996	+1.328	1.66
$h_z=$	-1.18	-0.56	-0.05	+0.375	+0.547	+0.79

(10) $T'/T=0.8$ $W/P=0.5$

$A=+3.69$ $B=+5.09$

$x/l=$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$mz=$	0.0	0.368	0.536	0.804	1.072	1.340
$h_z=$	-6.38	-3.64	-1.09	+1.39	+3.73	+5.89

(12) $T'/T=0.8$ $W/P=\infty$

$A=+2.35$ $B=+2.29$

$x/l=$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$mz=$	0.0	0.423	0.846	1.269	1.692	2.115
$h_z=$	-3.70	-1.83	-0.246	+1.04	+1.87	+3.20

(13) $T^2/T=1.5$		$W/P=0.1$	
$A=-2.90$	$B=-5.20$		
$x/l=0.0$	0.2	0.4	0.6
$x/l=0.0$	0.254	0.508	0.762
$h_x=+6.80$	+4.12	+1.88	-1.84
			-3.83
			-6.78

(14) $T^2/T=1.5$		$W/P=0.5$	
$A=-1.094$	$B=-1.44$		
$x/l=0.0$	0.2	0.4	0.6
$x/l=0.0$	0.368	0.736	1.104
$h_x=+3.19$	+2.06	+0.94	-0.45
			-1.69
			-2.83

(15) $T^2/T=1.5$		$W/P=1$	
$A=-0.767$	$B=-0.988$		
$x/l=0.0$	0.2	0.4	0.6
$x/l=0.0$	0.422	0.844	1.266
$h_x=+2.53$	+1.62	+0.54	-0.55
			-1.61
			-2.66

(16) $T^2/T=1.5$		$W/P=2$	
$A=-0.350$	$B=-0.352$		
$x/l=0.0$	0.2	0.4	0.6
$x/l=0.0$	0.578	1.156	1.734
$h_x=+1.17$	+1.129	+0.326	-0.516
			-1.136
			-1.392

第十九節 理論上ヨリ算出シタル彎曲力率ト從來ノ算定法ニ依ル彎曲力率トノ比較

從來ノ方法ニ由リテ算出シタル彎曲力率ヲ M_x トスレハ第七節ト同様ニシテ

$$|M_x| = cm^2 m^2 l^2 EI_0 \left\{ \frac{w^2}{2} + \frac{P}{W} n \right\}, \quad n = \frac{l-x}{l}$$

理論上ヨリ算出シタル彎曲力率ヲ M_x トスレハ兩者ノ比ハ

$$\frac{|M_x|}{|M_x|} = \frac{h m^2 EI_0 l}{e m^2 m^2 l^2 EI_0 \left\{ \frac{w^2}{2} + \frac{P}{W} n \right\}} = \frac{h}{m l} \frac{m^2 l^2 \left\{ \frac{w^2}{2} + \frac{P}{W} n \right\}}{e m^2 m^2 l^2 \left\{ \frac{w^2}{2} + \frac{P}{W} n \right\}} = \frac{h}{e m l}$$

$$N = m^2 l^2 \left\{ \frac{w^2}{2} + \frac{P}{W} n \right\}$$

668 而 テ $\frac{T'}{P}$ 及 $\frac{W}{P}$ ノ 種 々 ノ 値 ニ 對 シ テ $m^2 P^2$, $\left(\frac{m^2}{2} + \frac{P}{W}n\right)$ 及 n ノ 値 ヲ 算 出 ス レ ハ 次 ノ 如 シ

$\frac{T'}{P}$	$m^2 P^2$ ノ 値					$\left(\frac{m^2}{2} + \frac{P}{W}n\right)$ ノ 値					
	0.2	0.5	0.8	1.0	1.5	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$\frac{T'}{P} = 0.1$	0.216	0.541	0.863	1.08	1.622	$\frac{W}{P} = 0.1$	10.5	8.32	6.13	4.08	2.02
0.5	0.450	1.125	1.80	2.25	3.38	0.5	2.5	1.92	1.38	0.88	0.42
1.0	0.902	1.480	2.37	2.96	4.45	1.0	1.5	1.12	0.73	0.43	0.22
∞	1.108	2.77	4.47	5.54	8.31	∞	0.5	0.32	0.18	0.08	0.02

$\frac{T'}{P}$	n ノ 値					$\frac{W}{P}$ ノ 値						
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$\frac{T'}{P} = 0.2$	0.0	-2.27	-1.80	-1.34	-0.89	-0.44	0.00	-5.69	-4.52	-3.35	-2.21	-1.09
0.5	-1.13	-0.865	-0.621	-0.396	-0.189	0.0	0.5	-2.82	-2.16	-1.56	-0.99	-0.474
1.0	-0.89	-0.668	-0.463	-0.285	-0.130	0.0	1.0	-2.22	-1.66	-1.16	-0.71	-0.326
∞	-0.561	-0.353	-0.199	-0.088	-0.022	0.00	∞	-1.38	-0.88	-0.496	-0.22	-0.063
$\frac{T'}{P} = 0.3$	0.0	-7.22	-5.36	-3.54	-1.75	0.0	0.0	-17.02	-13.50	-10.0	-6.64	-3.28
0.5	-4.50	-3.46	-2.48	-1.58	-0.756	0.0	0.5	-8.45	-6.50	-4.66	-2.97	-1.42
1.0	-3.55	-2.65	-1.85	-1.14	-0.52	0.0	1.0	-6.69	-4.99	-3.47	-2.14	-0.98
∞	-2.24	-1.43	-0.803	-0.358	-0.089	0.0	∞	-4.18	-2.67	-1.50	-0.67	-0.167

$$u_c = \frac{M_x}{M'_x}$$

表

		$\alpha/l =$															
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	$\alpha/l =$									
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0				
$T' = 0.2T$	$W/P = 0.1$	0.551	0.322	0.102	0.134	0.335	0.543	0.660	0.322	0.125	0.132	0.380	0.611				
	0.5	0.540	0.310	0.097	0.106	0.283	0.443	0.5	0.722	0.411	0.118	0.158	0.415	0.649			
	1.0	0.394	0.212	0.044	0.080	0.208	0.291	1.0	0.740	0.411	0.110	0.160	0.441	0.608			
	∞	0.671	0.303	0.013	0.187	0.308	0.700	∞	0.856	0.406	0.036	0.272	0.396	0.445			
$T' = 0.8T$	$W/P = 0.1$	1.37	0.818	0.264	0.278	0.810	1.335	0.400	0.242	0.081	0.079	0.225	0.399				
	0.5	1.42	0.808	0.242	0.309	0.828	1.310	0.5	0.377	0.214	0.099	0.053	0.200	0.335			
	1.0	1.52	0.861	0.234	0.350	0.860	1.38	1.0	0.379	0.213	0.081	0.082	0.241	0.399			
	∞	1.66	0.818	0.110	0.465	0.837	1.43	∞	0.406	0.370	0.078	0.124	0.271	0.333			

次ニ理論上ヨリ算出シタル各點ノ彎曲力率 M_x ト從來ノ計算法ニ由ル下端ノ彎曲力率 ($M_{x=0}$) トノ比即 $k_x/k_0 = M_x/M_0$ ノ値ヲ求ムルニ次表ノ如シ

$$M_0 = \frac{M_x}{M_{x=0}}$$

		$\alpha/l =$															
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	$\alpha/l =$									
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0				
$T' = 0.2T$	$K = 0.1$	0.551	0.322	0.101	0.134	0.335	0.543	0.660	0.322	0.127	0.133	0.391	0.611				
	0.5	0.540	0.310	0.097	0.106	0.283	0.442	0.5	0.722	0.411	0.118	0.158	0.416	0.650			
	1.0	0.394	0.211	0.044	0.080	0.208	0.290	1.0	0.740	0.410	0.110	0.160	0.410	0.608			
	∞	0.671	0.303	0.013	0.186	0.308	0.700	∞	0.856	0.406	0.036	0.272	0.396	0.444			
$T' = 0.8T$	$K = 0.1$	1.37	0.815	0.264	0.278	0.810	1.335	0.400	0.242	0.081	0.079	0.225	0.398				
	0.5	1.42	0.810	0.242	0.309	0.830	1.310	0.5	0.377	0.243	0.099	0.053	0.200	0.335			
	1.0	1.52	0.861	0.234	0.350	0.860	1.37	1.0	0.379	0.243	0.081	0.082	0.241	0.399			
	∞	1.66	0.818	0.110	0.465	0.836	1.43	∞	0.406	0.270	0.078	0.123	0.271	0.333			
$T' = 0.5T$	$K = 0.1$	0.660	0.322	0.127	0.133	0.391	0.611	0.400	0.242	0.081	0.079	0.225	0.398				
	0.5	0.722	0.411	0.118	0.158	0.416	0.650	0.5	0.377	0.243	0.099	0.053	0.200	0.335			
	1.0	0.740	0.410	0.110	0.160	0.410	0.608	1.0	0.379	0.243	0.081	0.082	0.241	0.399			
	∞	0.856	0.406	0.036	0.272	0.396	0.444	∞	0.406	0.270	0.078	0.123	0.271	0.333			

此等算出ノ結果ヲ視ルニ上下兩端ニ於ケル彎曲力率ハ殆ント相等シク唯柱自身ノ質量ノ關係ニ由リ下端ノモノ少シク大ナルヲ常トス而テ柱各部ノ彎曲力率ハ中央ニ對シテ殆ント對稱的ニ配置サレ其ノ變化ノ割合ハ略一樣ナルヲ見ル而テ柱ノ固有振動週期ト地震ノ週期トカ近似セル場合程作用スル彎曲力率ハ大ニシテ理論上ヨリ云ヘハ兩者一致スル場合極メテ大ナル振動ヲ發生シ之ニ由テ生スル彎曲力率モ亦非常ニ大ナリ而テ此等ハ地動カ充分長キ期間繼續スルモノト假定セラル結果ニシテ共鳴ノ影響ヲ擴大セルモノナルヲ以テ實際ノ應用ニ際シテハ少シク加減スル必要アリ而テ構柱ノ場合ハ單一ナル柱體ノ場合ト異ナリ $\frac{W}{P}$ ノ μ 値ニ及ホス影響ハ微々タルモノニシテ實用上之ヲ無視シテ差支ナシ今或斷面ノ耐震力ヲ算定スルニ當リ便宜上從來ノ方法即チ其斷面以上ノ凡テノ質量ニ一樣ナル加速度ノ作用スルモノト考フル場合ニ採用スヘキ加速度ハ μl ニシテ μ ノ値ヲ上記ノ算定値ニ依リ適當ニ撰定スレハ可ナリ此目的ノ爲メニ簡單ニ μ ノ適當ナル値ヲ與フル公式ヲ求ムルニ (附圖第八圖參照)

$$\left. \begin{aligned} \frac{T'}{5} &\leq T' \leq T & \mu_s &= \left(\frac{T'}{T}\right)^{\frac{1}{3}} \left(1 - \frac{2\alpha}{l}\right) \\ 3T' &\leq T'' \leq T & & \dots \dots \dots \\ & & & \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (32)$$

而テ上式ノ與フル $\mu_s=0$ ノ値ハ次ノ如シ

$\frac{T'}{T} = 0.2$	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0
$\mu_s = 0.58$	0.79	0.93	1.0	0.67	0.50	0.33

此等ノ公式ハ構柱耐震性ノ真相全ク不明ナル今日便宜上提案セル所ニシテ若シ技術者ニシテ本問題ヲ輕視セサルニ於テハ寧ロ懸案ノ構造ニ就キ本編ノ方法ニ依リ理論的ニ M 又ハ μ ヲ算出シ共鳴作用ノ跨大サレタル事實ニ對シテハ材料ノ許容應力ヲ適當ニ増大スルノ方法ヲ採用スルヲ優レリト信ス

第二十節 構柱ノ震害ニ就テ

濃尾大地震以前ニハ鐵道橋ニ於テ螺旋杭ノ橋脚ヲ使用セシ箇所頗ル多カリシカ該地震ニ際シテ震動激烈ナリシ地方ニ存
 在セシ此種橋脚ハ殆ント全部破壞サレタリシヲ以テ以來次第ニ之ヲ改築シ今日ニ於テハ道路橋又ハ棧橋ノ橋脚トシテ採
 用サル、ニ過キス而テ此等橋脚ノ震害ノ状態ヲ視ルニ上端ニ近キ綾構ノ下端カ又ハ河底若干尺ノ所ニ於テ鐵管ノ繼手附
 近ニ於テ破折セルモノナリ而テ綾構下端ノ點ハ構柱カ其ノ面ニ並行ナル振動ヲ爲ス場合最大ナル彎曲力率ノ發生スル所
 ニシテ後者ハ構柱カ其面ニ並行又ハ直角ナル振動ヲ爲スニ當リ固定點ノ如キ作用ヲ爲シ最大ナル彎曲力率ヲ發生スル所
 ナリ而テ繼手附近ニ於テ破折スルハ其構造彎曲ニ對シテ極メテ薄弱ナリシヲ以テナリ而テ此等橋脚ハ耐震力小ナリトノ
 理由ニ由リ以來鐵道ニハ全ク採用サレサルニ到リシト雖モ其弱點ニ作用スル彎曲力率及ヒ自身ノ耐力等ニ關シテハ何等
 科學的ニ論究サレタルヲ聞カス然ルニ螺旋杭ノ構柱ハ地質軟弱ナル地方ニ於テ輕便ナル橋脚トシテ頗ル有利ナルモノニ
 シテ今日道路橋棧橋等ニ廣ク使用セラル、ヲ以テ其耐震性ノ真相ヲ研究シ其耐力ヲ増大スルノ方法ヲ考究セントス
 先ツ濃尾大地震ニ慘害ヲ被リタル境川鐵道橋ニ就キ破折ノ原因ヲ考究センニ該橋ハ40'乃至70'徑間ノ鈹桁數連ヨリ
 成リ橋脚ハ凡テ二本ノ螺旋杭ヲ上端ニ於テ綾構ヲ以テ連結セル一ノ構柱ナリ(附圖第九圖參照)而テ桁ノ總重量ハ

徑	40	50	60	70
重	17,816	28,532	35,820	51,617

次ニ各橋杭ノ破折點ノ位置ヲ上端ヨリノ距離ヲ以テ現ハセハ次表ノ如ク茲ニLハ下端ノ破折點ハ綾構下ノ破折點ニ對
 スルモノナリ

橋	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	北橋臺
	L = 16.75						

橋 脚

南橋脚	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	北橋脚
上流杭	$l_1 = 8.2$	—	—	—	—	—	8.1
	$l_1 = \text{—}$	17.0	16.5	14.4	—	—	13.3
	$l_2 = 8.2$	—	—	—	—	8.0	—

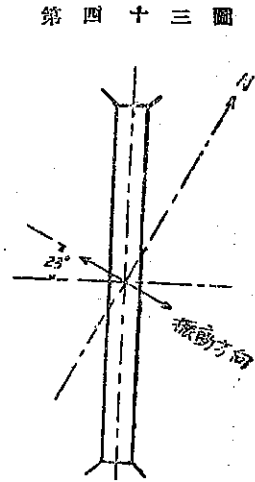
即チ破折點ニ二種アリ一ハ l_1 ヲ以テ示セルモノニシテ凡テ河床下ニ於テ鐵管ノ繼手附近ニ在リ之レ構柱カ其面ニ直角ナル(即チ橋梁ノ方向)方向ノ振動ヲナス場合彎曲力率ノ最モ大ナル部分ニシテ其構造上ノ弱點タル繼手附近ニ於テ破折セルハ極メテ合理的ナリ l_1 ノ值即チ破折ノ位置ニ多少ノ差アルハ各杭ニ於テ繼手ノ位置河床ノ高サ地質荷重等ノ狀況同一ナラサルニ由ルモノナリ第二ハ l_2 ヲ以テ示セルモノニシテ上部綫構ノ下端ニ存ス之ハ構柱カ其面ニ平行ナル振動ヲ爲ス場合最大彎曲力率ノ作用スル點ナリ而テ破折セル杭ニ於テ荷重最モ少ナク從テ發生セル彎曲力率モ亦最モ小ナルヘカリシハ兩橋臺ニ於ケルモノナリト雖モ其主要部ハ土中ニ埋設セルヲ以テ振動ノ作用不明瞭ニシテ計算不可能ナルヲ以テ次ニ荷重少ナキ橋脚 No. 6 及ヒ荷重最大ナリシ No. 2 及 3 ニ就キ作用彎曲力率ヲ算出セントス先ツ第一ニ該橋地方ノ地震ノ方向及振幅ヲ推定セサルヘカラス大森理學博士カ種々ノ物體ノ轉倒ノ方向ニ由リテ推定セラレタル所ニ依レハ振動ノ方向ハ岐阜ニ於テ $E \rightarrow N \rightarrow W \rightarrow S \rightarrow W$ 、笠松ニ於テ $E \rightarrow S \rightarrow E \rightarrow W \rightarrow N \rightarrow W$ ニシテ境川橋ハ兩地ノ中間ニ在ルヲ以テ大體 \rightarrow ニト視テ可ナラン次ニ地震ノ加速度ハ笠松ニ於テ約 $4,000 \frac{m}{sec^2}$ 、岐阜ニ於テ約 $3,000 \frac{m}{sec^2}$ ナリシヲ以テ同地ニ於テハ略 $3,500 \frac{m}{sec^2}$ 位ニ達セシナル可シ而シテ橋梁ノ方向ハ北ヨリ西ニ約 25° 位偏セルヲ以テ橋脚ニ作用セシ地震ノ加速度ハ

構柱ニ直角ナル加速度 = $3,500 \times \sin 25^\circ = 1,480 \frac{m}{sec^2}$

構柱ニ並行ナル加速度 = $3,500 \times \cos 25^\circ = 3,170 \frac{m}{sec^2}$

杭ノ主體ハ鑄鐵製ノ鐵管ヲ連結セルモノニシテ外徑 300mm 厚サ 10mm 有シ内部ハ粗質混凝土ヲ以テ充填セリ其一呎當

リノ重量ハ



鐵管 $2\pi \times \frac{15'}{12} \times \frac{1'}{12} \times 450 \text{ lbs} = 282 \text{ lbs}$

混凝土 $\frac{\pi}{2} \times \frac{2.33}{2} \times 145 \text{ lbs} = 620 \text{ lbs}$

次ニ構柱ノ固有振動週期ヲ算定センニ螺旋杭ノ根入り不明ニシテ從テ固定點ヲ想定スル事困難ナリト雖モ今第一種ノ破折點ヲ以テ固定點ト假定シ構柱面

ニ直角ナル振動週期ヲ求ムルニ(次ノ記號中尾字イヲ附スルハ鑄鐵ニ對スルモノニシテ尾字ロヲ附スルハ混凝土ニ對スルモノナリ)

$$EI_0 = E_c I_c + E_s I_s = E_c \left(\frac{I_c}{10} + I_s \right) = 0.331 E_c I_c$$

$$\rho A_0 = \frac{1}{g} (620 + 282) \text{ 斤單位}$$

$$\therefore \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} = \frac{1}{4 \times 10^3}$$

依テ No. 2. No. 3 及ヒ No. 6. ノ振動週期ヲ算定スレハ次表ノ如シ

	No. 2.	No. 3.	No. 6.
支持スル荷重	21,859 lbs	25,808 lbs	11,562 lbs
l_1	16.5	14.4	13.3
自體ノ重量	19,940 lbs	13,020 lbs	12,030 lbs
W/P	0.91	0.505	1.04

論 說 報 告 載 荷 セ ル 構 造 物 ノ 振 動 並 ニ 其 耐 震 性 ニ 就 テ

	No. 2.	No. 3	No. 6.
<i>m</i>	1.22	1.07	1.255
<i>C</i>	4.22	5.50	3.96
<i>T</i>	0.29 ^{sec}	0.28 ^{sec}	0.13 ^{sec}

$$\left(C = \frac{2\pi}{m^2 T} \right)$$

然ルニ當時地震ノ觀測充分ナラスシテ其振動週期ハ明瞭ナラス大森博士ハ名古屋地方ニ對シテ約 1.3^{sec}ト推定セラレタル外ニ他ニ依ルヘキ所ナシト雖モ大體上記ノ柱固有週期 *T* ハ地震ノ夫レ (*T*) ノ 1/5 位ナリシナルヘシ依テ公式 (21) ニ依リ採算スヘキ加速度ヲ定ムルニ

$$W/P = 0.91 \qquad 0.505 \qquad 1.04$$

$$\mu = 0.86 \qquad 0.90 \qquad 0.84$$

依テ各柱ニ作用スル彎曲力率ヲ求ムルニ

$$M' = \mu \left(\frac{W L}{2} + p l_1 \right) \frac{a}{g}$$

- No. 2. $M = 0.86 \left(\frac{19,940}{2} + 21,859 \right) + 16.5 \times \frac{1,480}{9,800} = 63.4$ $f = \text{kips}$
- No. 3. $M = 0.90 \left(\frac{13,020}{2} + 25,808 \right) \times 14.4 \times \text{''} = 63.4$ $f = \text{kips}$
- No. 6. $M = 0.84 \left(\frac{12,030}{2} + 11,562 \right) \times 13.3 \times \text{''} = 29.4$ $f = \text{kips}$

依テ鐵管ニ於ケル最大緣維應力ヲ求ムルニ

$$f = \frac{M}{I} \cdot y$$

No. 2. $f_{\text{max}}/d'' = \pm 2,280$ No. 3. $\pm 21,20$ No. 6. ± 980

之ニ直壓應力 $230 \text{ lbs}/\text{sq. in.}$ 乃至 $420 \text{ lbs}/\text{sq. in.}$ ヲ加フルモ良質ナル鑄鐵ニ對シテハ危險ナル應壓力ト云フヲ得ス
 次ニ繼手ノ構造ヲ見ルニ凡テ衝頭接合ニシテ直徑 $\frac{1}{4}$ ノ鍊鐵ぼゝると十二本ヲ使用セリ故ニ直張力又ハ彎曲ニ於ケル
 張力測ニ於テハ之ニ抵抗スルモノハ只ぼゝるとノミナリ此場合ノ應力ヲ算定スル事ハ困難ナルモ試ミニ極端ナル場合ヲ
 考ヘ單ニぼゝるとノミニ依リテ彎曲力率ニ耐抗スルモノト假定シ其應力ヲ算定スレハ

$$I = \frac{1.28}{100} f^2 \quad , \quad f = \frac{1}{144} \cdot \frac{M}{I} \quad y = \frac{M}{1.84} \quad \text{lbs}/\text{sq. in.}$$

故ニぼゝるとニ作用スル最大應力ヲ求ムルニ

No. 2. $f_{\text{max}}/d'' = \pm 37,300$ No. 3. $\pm 34,500$ No. 6. $\pm 16,000$

而テ下端ニ於テハ上ニ算出セルモノ以外構柱ニ並行ナル振動ニ因ル彎曲力率モ同時ニ作用スルモノナリ
 次ニ構柱面ニ並行ナル即チ橋梁ノ方向ニ直角ナル振動ヲ考フ此場合ノ固有週期ハ第十五節ニ依リテ算出スルヲ得ヘク

No. 2.	No. 3.	No. 6.
$W/P = 0.91$	0.505	1.04
$C = 2.25$	2.80	2.10
$T'' = 0.153$	0.146	0.10

即チ固有週期 T ハ地震ノ週期 T' ノ約十分ノ一ニシテ μ ハ約 0.46 ナリ而テ此方向ニ於ケル地震加速度ハ $3,170 \text{ mm}/\text{sec}^2$ ナル
 ヲ以テ各柱ニ作用スル彎曲力率ハ前場合ト同様ニシテ算出スルヲ得ヘク即チ次表ノ如シ

$M_2 (H=100ps)$

No. 2. 78.1

No. 3. 69.5

No. 6. 34.8

之ニ由テ最大應力度ヲ算出スレハ次ノ如シ

No. 2.

No. 3.

No. 6.

鑄鐵管ニ於テ

 $\pm 2,600^{1/2} / \text{cm}^2$ $\pm 2,330$ $\pm 1,160$

即チ前場合ニ比シ少シク大ナリ而テ此場合ノ彎曲力率ハ上下兩端ニ作用スルヲ以テ下端ニ於テハ前場合ノ彎曲力率ト同時ニ發生スルヲ以テ合成緣維應力ハ上端ニ於ケルモノヨリ稍大ナルヘシト雖モ一方下部ハ土砂中ニ入り居ルヲ以テ其反力ニ由リ彎曲力率ヲ幾分輕減スルノ傾向アリ何レニシテモ此等ノ彎曲力率ニ因ル緣維應力ハ鑄鐵ニ對シテ危險ナル程度ニ達セス即チ破折ハ全ク繼手ノ薄弱ナルニ依ルモノニシテ螺旋杭其物ノ缺點ニアラス若シ充分彎曲力率ニ耐抗シ得ル構造トナスカ鋼筒ヲ用ヒ繼手ヲ充分張力ニ耐エ得ル構造タラシムルカ又ハ鐵筋混凝土ヲ應用シタランニハ震害ハ恐ラク唯多少ノ傾斜又ハ橋桁ノ變位等ニ止マリ破折ノ慘害ヲ免レ得タルヘシト推察サル該震災後鐵道ニ於テハ全部井筒又ハ杭打工ヲ基礎トスルめゝそんり一橋脚ニ改築シ以來此種ノ構造ヲ採用セサルニ到リシカ鐵道橋ノ如ク橋脚ノ傾斜桁ノ變位等カ直ニ列車運轉ニ重大ナル危險ヲ及ホス場合ニハ螺旋杭橋脚ノ不適當ナル事勿論ナリト雖モ精圓井筒ヲ用フル場合ニ比シ經濟上著大ナル利益ヲ有スルヲ以テ輕易ナル道路橋ニ對シテハ必スシモ排斥スヘキニアラス要スルニ其地方ニ於テ豫期スヘキ最強地震ヲ考慮シ充分合理的ナル方法ヲ以テ應力ヲ算定シ之ニ對シテ安全ナル構造ヲ採用スルヲ可トス

第二十一節 結論

凡テノ構造物ハ地震ニ際シテ其固定點即チ地盤ノ振動ニ因リテ強迫振動ヲ惹起ス而テ此強迫振動ノ爲ニ構造物ノ各部ニ彎曲力率作用シ斷面薄弱ニシテ此力率ニ耐ユル態ハサル時ハ茲ニ破折ヲ生スヘシ細長ナル塔狀ノ構造物又ハ高位置ニ大荷重ヲ支持スル構造物ニ於テハ作用スル彎曲力率大ニ耐力薄弱ナルヲ以テ最モ震害ヲ被リ易シ而テ地震ニ際シテ此種構

造物ニ作用スル彎曲力率ノ算定法トシテ今日普ネク採用セラル、ハ大森理學博士ノ原理ニシテ即チアル断面ニ作用スル彎曲力率ハ其断面ヨリ上部ノ全質量其ノ重心點ノ高サ及ヒ地盤ノ加速度トノ相乘積ニシテ

$$\text{彎曲力率} = \text{作用水重力} \times \text{断面ヨリ作用點迄ノ高サ}$$

$$= \text{質量} \times \text{地盤ノ加速度} \times \text{重心點ノ高サ}$$

此原理ハ極メテ簡單ニシテ應用ニ便ナリト雖モ其與フル彎曲力率ハ強迫振動又ハ底部ニ加ヘタル衝擊ニ依リテ實際ニ發生スルモノト必スシモ一致スル能ハス殊ニ彎曲力率ノ配置最弱點ノ位置等ニ關シテハ實情ヲ知ル事困難ニシテ構柱ノ如キ構造物又ハ壁床肋木其他ノ部分的構造ノ耐震力ヲ算定スル上ニ於テハ不充分ナル點少ナカラス抑構造物ノ耐震性研究ハ之ヲ二大別スルヲ得ヘク一ハ地震ニ際シテ各部ニ作用スル應力即チ地震應力ヲ決定セントスルモノニシテ二ハ與ヘラレタル應力ニ對シ如何ニシテ構造ヲ安全ナラシムヘキカヲ研究スルモノナリ而テ今日ノ耐震構造學ハ主トシテ第二ノ方面ニ發達シツ、アルモノ、如ク第一ノ問題タル地震應力ニ就キテハ未タ科學的ナル解決ヲ得サリキ第二種ノ研究ハ素ヨリ夫レ自身ノミヲ以テ重要ニシテ價值アルモノナリト雖モ地震應力ノ研究ト兩々相俟ツテ進マサルニ於テハ耐震性ノ研究トシテハ遺憾ナカラ其根底ニ不安ヲ感セサル能ハス而テ今ニシテ尙此根底的研究ノ發達漸ク遅々タルノ所以ハ一ニ該問題研究ノ困難ニ歸セサルヘカラス依テ本論ニ於テハ此缺ヲ補ハンカ爲メ全ク新タル研究法ニ依リ地震ニ際シテ高キ構造物ニ作用スル應力ヲ決定シ併セテ諸種ノ構造物ニ於ケル震害ノ性質ヲ解明シ其耐震性ヲ改善スルノ方法ヲ研究セント企テタルモノナリ而テ強迫振動ニヨル彎曲力率ハ主トシテ構造物自身ノ固有振動週期ト地震ノ夫レトノ關係ニ依リテ定マリ兩者相接近スル程愈々振動ヲ累積セシメ構造物ノ危險ヲ惹起スルヲ以テ地震應力ノ研究ハ先ツ構造物自身ノ固有振動週期ノ決定ヨリ始メサルヘカラス大森理學博士ハ既ニ久シキヨリ其必要ニ着眼サレ煉瓦鐵筋混凝土等ノ材料ヨリ成ル烟突塔橋脚等各範ノ構造物ニ就キ多數ノ實測ヲ行ハレ斯界ノ爲メニ多大ノ光明ヲ投セラレタリシカ實際ノ構造物ニ於テハ其斷面均等ナラサルヲ以テ週期ノ算定頗ル困難ニシテ其築造前ニ之ヲ算定セントスル事ハ未タ適當ナル方法ノ發見

セラレタルヲ聞カス

依テ著者ハ第一編ニ於テ塔狀構造物ノ振動及其耐震性ニ就テ考究シタリシカ高キ構造物ニシテ自體以外ノ重大ナル荷重ヲ支持スル職責ヲ以テ築造サレタルモノ頗ル多シ例ヘハ橋脚高置水槽脚構柱等ノ如シ此等構造物ニ於テハ其形狀ノ細長ナルノミナラス高位置ニ重大ナル荷重ヲ支持スルヲ以テ地震ノ際シテ受クル所ノ應力ハ頗ル著大ナルモノナリ依テ著者ハ本編ニ於テ其振動週期並ニ耐震性ニ就テ理論的研究ヲ遂ケタリ

先ツ第一ニ必要ナルハ此等構造物ノ振動週期ニシテ其算定ハ Lord Rayleigh's "Theory of Sound" Vol. 1. 及ハ Morley's "Strength of material" 等ニ嚮體ニ對シ近似法ニ依リテ振動週期ヲ算出スルノ方法ヲ記載セルノ外未タ合理的解決ノ發表サレタルヲ聞カス依テ著者ハ先ツ橋脚ニ類似セル楔狀體ノ振動週期ヲ理論的ニ解決シ之ニ對スル公式(第二節公式(5)及ヒ附圖第一圖參照)

$$T = C^2 \sqrt{\frac{P \cdot L}{EI}}, \quad C_2 = 1.788 - 0.605 \left(1 - \frac{I_1}{L}\right)^3$$

ヲ得次テ載荷セル嚮體ノ振動並ニ其週期ヲ理論的ニ研究シ荷重ト自體ノ重量トノ關係如何ナル場合ニ於テモ其振動週期ハ勿論各部ノ運動及ヒ彎曲力率等ヲ明カニシ其固有週期ヲ與フル公式ヲ考案セリ(第三節及ヒ附圖第二圖參照)以テ在來ノ近似法ニ依リテ多數ノ荷重ヲ支持スル場合ノ振動週期ヲ算定スルノ方法ヲ述ヘ更ニ進ンテ載荷セル嚮體ノ強迫振動ヲ論シ煩雜ナル數學上ノ取扱ヒニ依リテ其運動ノ詳細ヲ解キ自重ト荷重及ヒ地震ト自體トノ週期ノ種々ナル關係ニ對シ各部ノ運動及ヒ作用彎曲力率ヲ算出シ得タリ而テ既ニ記述セシカ如ク此場合ノ算出彎曲力率ハ振動累積ノ事實ヲ誇張セルノ傾キアルノミナラス忽然トシテ發生スル地動ノ際シテハ構造物ノ固定端ニ衝擊ヲ加フルカ如キ現象ヲ生シ其上體ニ對スル作用ハ強迫振動ノ場合ト異ナルヲ以テ適當ナル假定ノ下ニ此種ノ地動ノ影響ヲ算定シ構造物ノ振動週期カ著シク大ナル場合ニ於テハ其影響ハアル部分ニ於テハ強迫振動ヨリ一層危險ナル應力ヲ發生シ得ヘキヲ知レルヲ以テ此等ノ結

果ヲ總合シテ實用上適當ナル加速度ヲ定メ之レト地盤ノ加速度トノ比 μ_s ヲ與フル公式ヲ提案セリ即チ

$$\frac{T}{g} \equiv T' \equiv T \quad \mu_s = \left\{ 1 - \frac{W}{4P} \left(1 - 2 \frac{T'}{T} \right) \right\} \left\{ 1 + \frac{W}{8P} \left(\frac{T''}{T} \right)^2 \frac{x}{l} \right\}$$

$$2T \equiv T' \equiv T \quad \mu_s = \left(1 + \frac{W}{4P} \right) \left(\frac{T}{T'} \right)^{\frac{2}{3}} \left\{ 1 + \frac{W}{8P} \left(\frac{T''}{T} \right)^2 \frac{x}{l} \right\}$$

$$M\mu_s = \frac{a}{g} (l-x) \left\{ P + \frac{W}{l} \cdot \frac{l-x}{2} \right\}$$

(第九節公式(21)及ヒ附圖第三圖第四圖參照)

次ニ橋脚ノ振動週期ヲ算定センカ爲メ楔狀體ニシテ載荷セル場合ノ振動週期ヲ與フル公式ヲ求メ(第十節公式(22)參照)

$$T = C_s \sqrt{1 + \frac{4P}{W}} \cdot \sqrt{\frac{I A_0}{EI}}$$

ヲ得其與フル數値ヲ實際構造ニ就キテ檢測セル結果ト對照シ列車ノ走過ニ際シ荷重 P ノ變動ニ依ル振動週期ノ變遷ヲ說明セリ而テ井筒ヲ基礎トスル橋脚ニ於テハ土砂中ニ埋沒スル部分ノ狀況不明ニシテ理論的ニ振動週期ヲ算出スル事困難ナルモ若干ノ假定ノ下ニ之ヲ算定スルノ方法ヲ案シ公式(25)ヲ得(第十一節參照)實測ノ結果ニ照シテ略實用ニ耐ユル事ヲ述ヘタリ續イテ走行荷重ノ橋脚ニ及ホス影響ヲ理論上並ニ實測ノ結果ニ就キテ論述セリ

本邦ニ於テハ數回ノ大震ニ際シ二井筒ヲ基礎トセル橋脚ノ震害ハ頗ル多數ニ上リシヲ以テ近來ハ多ク橢圓形ノ單一井筒ヲ使用スルニ至リシト雖モ其耐震性ノ真相ハ未タ明瞭ナラサル點多キヲ以テ著者ハ上述ノ理論的研究ノ結果ニ基キテ震害ノ最大因ハ橋梁ニ直角ナル方向ノ強迫振動ナル事ヲ力説シ併セテ其耐震強ヲ算定スルノ方法ヲ例示シ此種橋脚ヲ採用スルニ就テノ注意ヲ述ヘタリ

構柱及ヒ架構ニ於テハ未タ其振動ヲ研究セルモノヲ聞カスト雖モ重キ荷重ヲ支持スル構造物トシテ又ハ高層建築物ノ骨

組トシテ殊ニ鐵筋混凝土ヲ用フル場合ニ最モ多ク使用セラル、モノナルヲ以テ著者ハ第十四節以下ニ於テ其振動週期強迫振動ノ作用彎曲力率等ニ就キテ理論的研究ヲ遂ケタリ此爲メニ第一ニ載荷セル構柱ノ自由振動ヲ論シ其振動週期ヲ與フル公式(第十四節及ヒ附圖第七圖參照)

$$T = C l^2 \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}} \quad C = \frac{2\pi}{(m l)^2}$$

ニ於テ係數Cノ値ト荷重及自重トノ關係ヲ曲線ヲ以テ現ハシ週期算出ヲ容易ナラシメ次テ數層ヲ有スル構柱架構ノ振動週期ヲ算定シタルカ此等ハ水平外力ニ對スル應力又ハ撓度ヲ決定スルタニ頗ル煩雜ナル計算ヲ要スルモノナルヲ以テ適當ナル假定ヲ設ケテ之ヲ簡省シ以テ週期ヲ與フル公式(第十五節公式(29)參照)

$$T = \frac{0.687}{N} T^m \quad T = C N^{\frac{1}{2}} h^{\frac{2}{3}} \sqrt{\frac{\rho A_0}{EI_0}}$$

ヲ得其效果ヲ檢センカ爲メ多數ノ模型ニ就キテ振動週期ヲ實測シ以テ其信賴スルニ足ルヘキヲ立證セリ

次ニ載荷セル構柱ノ強迫振動ヲ論シ地震ニ際シテ作用スヘキ彎曲力率ヲ算定シ之レヨリ載荷セル柱體ノ場合ト同様ニムヲ與フル公式ヲ提案シタリ即チ(第十九節公式(32))

$$\frac{T}{5} \leq T^m \leq T \quad \mu_s = \left(\frac{T}{T^m}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{2\alpha}{l}\right)$$

$$3T \leq T^m \leq T \quad \mu_s = \frac{T}{T^m} \left(1 - \frac{2\alpha}{l}\right)$$

而テ數本ノ螺旋杭ヲ其上部ニ於テ綾構ヲ以テ互ニ連結シテ成レル構柱ハ今日橋脚トシテ多ク使用セラル、所ニシテ其鐵道橋ニ使用セシモノハ濃尾大震ニ際會シテ甚シキ損害ヲ被リ爾來鐵道橋トシテ採用セル物ヲ見サルニ到リシカ其振害ハ未タ數量的ニ説明セラレス從テ此種構造物ノ耐震性ノ算定モ亦不能ナル狀態ナルヲ以テ著者ハ上述ノ理論ニ基ツキテ作

用應力ヲ算定シ其破折ハ一ニ繼手ノ不完全ニ由ルモノニシテ螺旋杭其物ノ缺點ニアラサル事ヲ知り適當ナル材料ヲ用ヒ繼手ノ工法ヲ改善スルニ於テハ道路橋棧橋其他ノ橋脚支柱トシテ頗ル經濟的構造ナル事ヲ説ケリ

附第一編 (第五卷第三號) 塔狀構造物震動並ニ其耐震性ニ就テ

第六節 截頭中空錐體 (Truncated hollow cones) ノ振動ニ就テ補遺

前節ニ祖述セシ所ハ變斷面柱ニ於テ可決可能ナル唯一ノ場合タリト雖モ中空ナラサル完全錐體ナルヲ以テ之ヲ實際ノ塔狀構造物ニ比スレハ其形狀ノ相異頗ル大ニシテ公式(11)ノ適用ハ不可能ナリ然ルニ普通ノ煙突ノ如キ場合ニハ其形殆ント中空ニシテ截頭セル錐體ニ類似スルヲ以テ若シ此場合ニ對シ振動ヲ解決シ得ハ其實用上ノ功果頗ル大ナルヘシ依テ第六圖ニ示ス如キ中空截頭ノ錐體ニシテ其内外兩壁共ニ軸ノ延長上ノ一點 O ニ集中スル如キ形狀ヲ考フ

L ハ底面ヨリ O ニ至ル高サ

L_1 ハ柱ノ上端ヨリ O ニ至ル高サ

l ハ柱ノ長サ

t_0 ハ底部ノ壁厚

t ハ x ニ於ケル壁厚

而テ R_0, A_0, I_0, R, A, I 等ハ前節同様ノ記號ナリトス然ル時ハ

$$R = \frac{x}{L} R_0, \quad t = t_0 \frac{x}{L}, \quad A = A_0 \frac{x^2}{L^2}, \quad I = I_0 \frac{x^4}{L^4}$$

即チ O ヲ原點トスル時ハ此等ノ關係ハ前節ノ場合ト全く同一ニシテ從テ微分方程式(10)ハ直チニ移シテ此場合ニ適用シ得ヘシ然ルニ前節ニ於テハ柱上端ハ原點 O ト一致セシヲ以テ其自由ナリト云フ條件ハ簡單ナル數式ヲ以テ表ハシ得依テ

以テ P 及 T ヲ算出シ得タリシト雖モ此場合ハ自由端ハ $\delta = 0$ ニ在ルヲ以テ T ヲ算出スルコト容易ナラス故ニ(10)式ノ解ヲ出來得ルタケ簡單ニ而モ既知ノ函數ヲ以テ表現スルノ必要アルヲ以テ Kirchhoff 氏ノ採用サレタル無限級數形ヲ捨テ普通取扱ハルノ圓筒函數 (Cylindrical function) ヲ用キントス式(10)ヲ二ツノ

二級微分方程式ニ分離スレシ

$$\left. \begin{aligned} v \frac{d^2 u}{dv^2} + 3 \frac{du}{dv} &= +u \\ v \frac{d^2 u}{dv^2} + 3 \frac{du}{dv} &= -u \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots$$

此二式ノ解ハソレソレ

$$\frac{1}{v} \left[AJ_2(2\sqrt{v}) + BY_2(2v^{\frac{1}{2}}) \right] \text{ 及 } \frac{1}{v} \left[CI_2(2v^{\frac{1}{2}}) + DK_2(2v^{\frac{1}{2}}) \right]$$

ナルヲ以テ

$$u = \frac{1}{v} \left\{ AJ_2(2v^{\frac{1}{2}}) + BY_2(2v^{\frac{1}{2}}) \right\} + \frac{1}{v} \left\{ CI_2(2v^{\frac{1}{2}}) + DK_2(2v^{\frac{1}{2}}) \right\} \quad (12)$$

茲ニ A, B, C 及ヒ D ハ積分常數

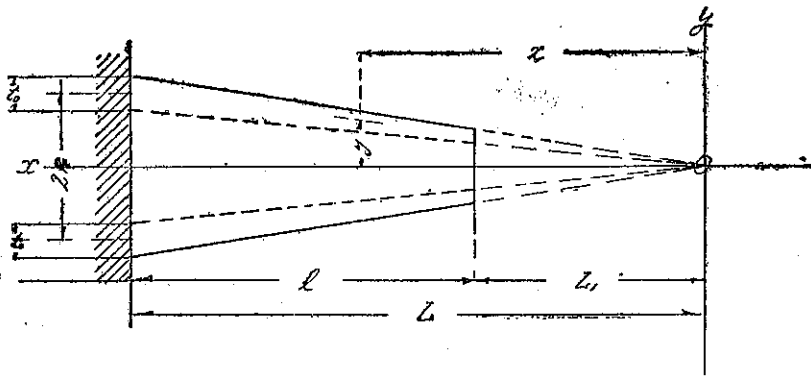
$$J_n(x) = \sum_{s=0}^{\infty} \frac{(-1)^s x^{n+2s}}{2^{n+2s} s! \Gamma(n+2s+1)} \dots \dots \dots \text{Bessels function}$$

$$Y_n(x) = \frac{1}{\sin n\pi} \left\{ \cos n\pi J_n(x) - J_{-n}(x) \right\}$$

$$I_n(x) = i^{-n} J_n(ix) \quad \text{茲ニ } i = \sqrt{-1}$$

$$K_n(x) = \cos n\pi \int_0^{\infty} e^{-x \cos h^2} \cos h(n\varphi) d\varphi \quad (R(x) > 0)$$

第 六 圖



今 $2\alpha_1^2 \parallel \alpha_1$ ト置キ $4A$ $4B$ $4C$ 及ヒ $4D$ ノ代リニ A B C D ト書ケル

$$u = \frac{1}{\alpha_1^2} \{ A J_2(\alpha_1) + B Y_2(\alpha_1) + C Y_2(\alpha_1) + D K_2(\alpha_1) \}$$

而シテ固定端即チ $\alpha = 0$ ニ於テハ ($\alpha_1 = \eta$)

變位ナキヲ以テ

$$u = 0 \quad \text{即チ} \quad 2\alpha_1 = \eta = 0 \quad \dots \dots \dots$$

$$\frac{du}{dx} = 0 \quad \text{即チ} \quad \left(\frac{du}{dx} \right)_{\alpha_1 = \eta} = 0 \quad \dots \dots \dots$$

軸ニ方向ノ變化ナキヲ以テ

自由端即チ $\alpha = L_1$ ニ於テハ ($\alpha_1 = \xi$)

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = 0 \quad \text{即チ} \quad \left\{ \frac{d^2 u}{dx^2} - \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{du}{dx} \right\}_{\alpha_1 = \xi} = 0 \quad \dots \dots \dots$$

弾性力零ナルヲ以テ

$$\frac{d}{dx} \left(\alpha^4 \frac{d^3 u}{dx^3} \right) = 0$$

即チ
$$\frac{d}{dx} \left\{ \alpha_1^3 \left(\frac{d^3 u}{dx^3} - \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{du}{dx} \right) \right\}_{\alpha_1 = \xi} = 0 \quad \dots \dots \dots$$

第一ノ條件ヨリ直チニ

$$A J_2(\eta) + B Y_2(\eta) + C I_2(\eta) + D K_2(\eta) = 0 \quad \dots \dots \dots$$

ニ ii ニ依リ

$$\frac{du}{dx} = A \left\{ \frac{2}{\alpha_1} J_2(\alpha_1) - J_1(\alpha_1) \right\} + B \left\{ \frac{2}{\alpha_1} Y_2(\alpha_1) - Y_1(\alpha_1) \right\} + C \left\{ \frac{2}{\alpha_1} I_2(\alpha) + I_3(\alpha) \right\}$$

$$+ D \left\{ \frac{2}{\alpha_1} K_2(\alpha_1) + K_3(\alpha_1) \right\} - 2\alpha_1 \left\{ A J_2(\alpha_1) + B Y_2(\alpha_1) + C I_2(\alpha_1) + D K_2(\alpha_1) \right\}$$

然ルニ α ハ 零ナル事ナキヲ以テ i ノ 關係ト結合スル時 α ii ノ 條件ハ

$$AJ_3(\alpha) + BY_3(\alpha) - CI_3(\alpha) - DK_3(\alpha) = 0 \dots \dots \dots ii'$$

$$\frac{d^2 J_2(\alpha)}{d\alpha^2} = \frac{2}{\alpha} \left\{ \frac{1}{2} J_2(\alpha) - J_3(\alpha) \right\} - \frac{2}{\alpha^2} J_2(\alpha) - \left\{ \frac{3}{\alpha} J_3(\alpha) - J_4(\alpha) \right\}$$

次ニ

$$\frac{d^3 u}{d\alpha^3} = A \left\{ -\frac{1}{\alpha^3} J_3(\alpha) + \frac{1}{\alpha^2} J_4(\alpha) \right\} + B \left\{ -\frac{1}{\alpha^2} Y(\alpha) + \frac{1}{\alpha} Y_4\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right\} + C \left\{ +\frac{1}{\alpha^2} I_3(\alpha) + \frac{1}{\alpha} I_4(\alpha) \right\} + D \left\{ +\frac{1}{\alpha^3} K_3(\alpha) + \frac{1}{\alpha^2} K_4(\alpha) \right\}$$

$$-\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{du}{d\alpha} = A \left\{ +\frac{1}{\alpha^2} J_3(\alpha) \right\} + B \left\{ \frac{1}{\alpha^2} Y_3(\alpha) \right\} + C \left\{ -\frac{1}{\alpha^2} I_3(\alpha) \right\} + D \left\{ -\frac{1}{\alpha^2} K_3(\alpha) \right\}$$

然ルニ

$$\left\{ \frac{d^3 u}{d\alpha^3} - \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{du}{d\alpha} \right\}_{\alpha_1 = \xi} = 0 \quad \text{トシテ}$$

$$AJ_4(\xi) + BY_4(\xi) + CI_4(\xi) + DK_4(\xi) = 0 \dots \dots \dots iii'$$

次ニ

$$\frac{d}{d\alpha_1} \left\{ \alpha_1^3 \left(\frac{d^2 u}{d\alpha_1^2} - \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{du}{d\alpha_1} \right) \right\} = \frac{d}{d\alpha_1} \left\{ A\alpha_1^3 J_4(\alpha_1) + B\alpha_1^3 Y_4(\alpha_1) + C\alpha_1^3 I_4(\alpha_1) + D\alpha_1^3 K_4(\alpha_1) \right\}$$

$$= A\alpha_1^4 J_3(\alpha_1) + B\alpha_1^4 Y_3(\alpha_1) + C\alpha_1^4 I_3(\alpha_1) + D\alpha_1^4 K_3(\alpha_1)$$

故ニ iii ノ 關係ヲ結合スレハ 第四條件トシテ

$$AJ_3(\xi) + BY_3(\xi) + CI_3(\xi) + DK_3(\xi) = 0 \dots \dots \dots iv'$$

此等ノ條件式ヨリ A, B, C 及 D ナル 常數ヲ消去スレハ

$J_2(\eta),$	$Y_2(\eta),$	$I_2(\eta),$	$K_2(\eta)$
$J_3(\eta),$	$Y_3(\eta),$	$-I_3(\eta),$	$-K_3(\eta)$
$J_4(\xi),$	$Y_4(\xi),$	$I_4(\xi),$	$K_4(\xi)$
$J_5(\xi),$	$Y_5(\xi),$	$I_5(\xi),$	$K_5(\xi)$
= 0			
... .. (13)			

條件方程式(13)ヲ満足スルタメニハリトシトハ特別ノ關係ヲ有スル値タラサルヘカラス若シ斯クノ如キ一組ノ η ヲ見出し得レハ

$$\frac{\eta^2}{4} = \mu L, \quad \frac{\xi^2}{4} = \mu L, \quad \mu = \sqrt{\frac{PA_0}{EL_0} p L}$$

$L - L_0 = l =$ 柱ノ長サ

ナルヨ以テ

$$T = \frac{2\pi}{P} = C^2 \sqrt{\frac{PA_0}{EL_0}}, \quad C = \frac{8\pi \eta^2}{(\eta^2 - \xi^2)^2} \dots \dots \dots (14)$$

而テ斯ノ如キ相當スル一組ノ η 及 ξ ヲ見出サンニハ先ツクニ或ル値ヲ與ヘ μ ノミノ方程式トナシニ種々ノ値ヲ入レテ試算ニ依リテ式(13)ヲ満足スルカ如キ値ヲ見出サノルヘカラス而テ η 及 ξ カ共ニ小(1以下)ナルカ又ハ共ニ大(20以上)ナル場合ニハ此等ノ圓嚮函數ハ稍簡單ナル數項ノ式ヲ以テ表ハシ得ト雖モ通常實在スル構造物ニ於テハ其形狀此等ノ中間ノ η 及 ξ ニ相當スルヲ以テ方程式(13)ヲ解クコトハ殆ント不可能ナリト云フヲ妨ケス而テ今日迄テ變斷面柱ノ振動ノ解決ヲ見サリシモ亦主トシテ此困難ニ因ル余ハ此問題ヲ解決センカタメ先ツ圓嚮函數ノ級ヲ2, 3及4ヨリ悉ク0及ヒ1ニ變形セントス先ツ式(13)ヲ書キ換フレン

$$\{J_2(\eta) Y_3(\eta) - J_3(\eta) Y_2(\eta)\} \{I_4(\xi) K_3(\xi) - I_3(\xi) K_4(\xi)\} + \{J_2(\eta) I_3(\eta) + J_3(\eta) I_2(\eta)\} \{Y_4(\xi) K_3(\xi) - Y_3(\xi) K_4(\xi)\}$$

論 說 報 告 載荷セル構造物ノ振動並ニ其耐震性ニ就テ

$$\begin{aligned}
 & - \{ J_2(\eta) K_3(\eta) + J_6(\eta) K_2(\eta) \} \{ Y_4(\xi) I_3(\xi) - Y_3(\xi) I_1(\xi) \} + \{ I_3(\eta) K_1(\eta) - I_1(\eta) K_3(\eta) \} \{ J_1(\xi) Y_3(\xi) - J_3(\xi) Y_1(\xi) \} \\
 & + \{ Y_2(\eta) K_3(\eta) + Y_3(\eta) K_2(\eta) \} \{ J_1(\xi) I_3(\xi) - J_3(\xi) I_1(\xi) \} + \{ Y_2(\eta) I_3(\eta) + Y_3(\eta) I_2(\eta) \} \{ J_3(\xi) K_1(\xi) - J_1(\xi) K_3(\xi) \} = 0
 \end{aligned}$$

$$\text{然ルニ} \quad J_2(\eta) Y_3(\eta) - J_3(\eta) Y_2(\eta) = -\frac{2}{\pi\eta}$$

$$J_4(\xi) Y_3(\xi) - J_3(\xi) Y_4(\xi) = +\frac{2}{\pi\xi}$$

$$I_4(\xi) K_3(\xi) - I_3(\xi) K_4(\xi) = -\frac{1}{\xi}$$

$$I_3(\eta) K_2(\eta) - I_2(\eta) K_3(\eta) = \frac{1}{\eta}$$

ナル關係アルヲ以テ上式ハ次ノ如ク變ス

$$\begin{aligned}
 & \{ J_2(\eta) I_3(\eta) + J_3(\eta) I_1(\eta) \} \{ Y_4(\xi) K_3(\xi) - Y_3(\xi) K_4(\xi) \} \\
 & - \{ J_2(\eta) K_3(\eta) + J_3(\eta) K_2(\eta) \} \{ Y_4(\xi) I_3(\xi) - Y_3(\xi) I_1(\xi) \} \\
 & + \{ Y_2(\eta) K_3(\eta) + Y_3(\eta) K_2(\eta) \} \{ J_1(\xi) I_3(\xi) - J_3(\xi) I_1(\xi) \} \\
 & + \{ Y_2(\eta) I_3(\eta) + Y_3(\eta) I_2(\eta) \} \{ J_3(\xi) K_1(\xi) - J_1(\xi) K_3(\xi) \} + \frac{4}{\pi\eta\xi} = 0
 \end{aligned}$$

次ニ $C_2(x)$ ヲ以テ $J_2(x)$ 又ハ $Y_2(x)$ ヲ代表シ

$F_n(x)$ ヲ以テ $I_n(x)$ 又ハ $K_n(x)$ ヲ代表ス

$$C_2(x) = \frac{2}{\alpha} C_1(x) - C_0(x), \quad F_2(x) = F_0(x) - \frac{2F_1(x)}{\alpha}$$

$$C_2(x) F_3(x) + C_3(x) F_2(x) = -C_0(x) F_1(x) - F_0(x) C_1(x) + \frac{4}{\alpha} C_1(x) F_1(x)$$

$$C_3(x)F_1(x) - C_4(x)F_3(x) = -\frac{192}{a^3}C_3(x)F_0(x) + \left\{ \frac{48}{a^2} \left(1 + \frac{8}{a^2}\right) - 1 \right\} C_0(x)F_1(x) \\ + \left\{ -\frac{48}{a^2} \left(1 - \frac{8}{a^2}\right) - 1 \right\} C_1(x)F_0(x) + \left\{ \frac{12}{a} \left(1 - \frac{64}{a^4}\right) + \frac{4}{\pi} \right\} C_1(x)F_1(x)$$

此等ノ關係式ヲ上式ニ入レ

$$\left\{ J_1(\eta)I_0(\eta) + J_0(\eta)I_1(\eta) - \frac{4}{\eta}J_1(\eta)I_1(\eta) \right\} \{ \alpha Y_0(\xi)K_0(\xi) + \beta Y_0(\xi)K_1(\xi) + \gamma Y_1(\xi)K_0(\xi) + \delta Y_1(\xi)K_1(\xi) \} \\ - \left\{ J_1(\eta)K_0(\eta) + J_0(\eta)K_1(\eta) - \frac{4}{\eta}J_1(\eta)K_1(\eta) \right\} \{ \alpha Y_0(\xi)I_0(\xi) + \beta Y_0(\xi)I_1(\xi) + \gamma Y_1(\xi)I_0(\xi) + \delta Y_1(\xi)I_1(\xi) \} \\ + \left\{ Y_1(\eta)K_0(\eta) + Y_0(\eta)K_1(\eta) - \frac{4}{\eta}Y_1(\eta)K_1(\eta) \right\} \{ \alpha J_0(\xi)I_0(\xi) + \beta J_0(\xi)I_1(\xi) + \gamma J_1(\xi)I_0(\xi) + \delta J_1(\xi)I_1(\xi) \} \\ - \left\{ Y_1(\eta)I_0(\eta) + Y_0(\eta)I_1(\eta) - \frac{4}{\eta}Y_1(\eta)I_1(\eta) \right\} \{ \alpha J_0(\xi)K_0(\xi) + \beta J_0(\xi)K_1(\xi) + \gamma J_1(\xi)K_0(\xi) + \delta J_1(\xi)K_1(\xi) \} \\ + \frac{4}{\pi\eta^2} = 0 \dots \dots \dots (14)$$

茲ニ

$$\alpha = -\frac{192}{a^3}, \quad \beta = \frac{48}{a^2} \left(1 + \frac{8}{a^2}\right) - 1, \quad \gamma = -\frac{48}{a^2} \left(1 - \frac{8}{a^2}\right) - 1, \quad \delta = \frac{12}{a} \left(1 - \frac{64}{a^4}\right) + \frac{4}{\pi}$$

次ニ I_0, I_1, K_0, K_1 等ニ於テ Argument a カ三ニ以上ナル時ノ誤差 $O(\frac{1}{a^3})$ 以下ニ於テ次ノ如キ漸近展開 (Asymptotic expansion) ヲ採用スル事ヲ得

$$I_0(x) = \frac{e^x}{\sqrt{2\pi x}} \left\{ 1 + \frac{1}{8x} + \frac{9}{128} \cdot \frac{1}{a^2} \right\}, \quad I_1(x) = \frac{e^x}{\sqrt{2\pi x}} \left\{ 1 - \frac{3}{8x} - \frac{15}{128} \cdot \frac{1}{a^2} \right\}$$

$$K_0(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2x}} e^{-x} \left\{ 1 - \frac{1}{8x} + \frac{9}{128} \cdot \frac{1}{x^2} \right\}, \quad K_1(x) = -\sqrt{\frac{\pi}{2x}} e^{-x} \left\{ 1 + \frac{3}{8x} - \frac{15}{128} \cdot \frac{1}{x^2} \right\}$$

方程式(14)ニ此等ノ關係ヲ挿入シ尚 $e^{-\alpha_0 \xi}$ ハ微小ナルヲ以テ之ヲ含ムニ項ヲ除外スレハ次ノ如キ形トナル

$$F(\eta, \xi) = \left\{ aJ_1(\eta) + bJ_0(\eta) - \frac{4}{\eta} bY_1(\eta) \right\} \left\{ C_\alpha Y_0(\xi) - d^3 Y_0(\xi) + C_\gamma Y_1(\xi) - d^3 Y_1(\xi) \right\}$$

$$- \left\{ aY_1(\eta) + bY_0(\eta) - \frac{4}{\eta} bY_1(\eta) \right\} \left\{ C_\alpha J_0(\xi) - d^3 J_0(\xi) + C_\gamma J_1(\xi) - d^3 J_1(\xi) \right\}$$

$$+ \frac{8}{\pi \sqrt{\eta \xi}} e^{-\eta + \xi} = 0 \dots \dots \dots (14'')$$

茲ニ

$$a = 1 + \frac{1}{8\eta} + \frac{9}{128} \cdot \frac{1}{\eta^2}, \quad b = 1 - \frac{3}{8\eta} - \frac{15}{128} \cdot \frac{1}{\eta^2}$$

$$d = 1 + \frac{1}{8\xi} + \frac{9}{128} \cdot \frac{1}{\xi^2}, \quad h = 1 - \frac{3}{8\xi} - \frac{15}{128} \cdot \frac{1}{\xi^2}$$

$$C' = 1 - \frac{1}{8\xi^2} + \frac{9}{128} \cdot \frac{1}{\xi^3}, \quad d' = 1 + \frac{3}{8\xi^2} - \frac{15}{128} \cdot \frac{1}{\xi^3}$$

而テ J_0, J_1, Y_0 及ヒ Y_1 ノ値ハ其 Argument カ一〇・〇以下ナル場合ニ Jahnke und Emde's "Funktionen tafeln" ヲ與ヘラン
 タリ而テ該表中ノ記號ハ $Y_0(x)$ 及ヒ $Y_1(x)$ ノ代リニ $N_0(x)$ 及ヒ $N_1(x)$ ヲ用ヒタリ Argument α カ一〇・〇以上ノ場
 合ニ於テハ J_0, J_1, Y_0 及ヒ Y_1 等ノ値ヲモ漸近展開ヲ用ヒサルハカラス即チ Argument カ13以上ナル場合ニ〇ニばへせんと
 以下ノ誤差ヲ許ス時ハ

$$J_0(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \left\{ \cos\left(x - \frac{\pi}{4}\right) + \frac{1}{8x} \sin\left(x - \frac{\pi}{4}\right) \right\}$$

$$J_1(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \left\{ \sin\left(x - \frac{\pi}{4}\right) + \frac{3}{8x} \sin\left(x - \frac{\pi}{4}\right) \right\}$$

$$Y_0(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \left\{ \sin\left(x - \frac{\pi}{4}\right) + \frac{1}{8x} \cos\left(x - \frac{\pi}{4}\right) \right\}$$

$$J_1(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \left\{ -\cos\left(x - \frac{\pi}{4}\right) + \frac{3}{8x} \sin\left(x - \frac{\pi}{4}\right) \right\}$$

$$\left\{ \left(1 - \frac{30}{8\eta} + \frac{3}{27\eta^2}\right) \sin\left(\eta - \frac{\pi}{4}\right) + \left(1 - \frac{3}{27\eta^2}\right) \cos\left(\eta - \frac{\pi}{4}\right) \right\} \left\{ (a - \beta - \frac{3\beta}{8\xi^2}) \sin\left(\xi - \frac{\pi}{4}\right) \right.$$

$$\left. + \left(-\gamma + \delta - \frac{\beta}{8\alpha} + \frac{2\delta}{8\xi^2}\right) \cos\left(\xi - \frac{\pi}{4}\right) - \left\{ \left(1 - \frac{3}{27\eta^2}\right) \sin\left(\eta - \frac{\pi}{4}\right) + \left(-1 + \frac{4}{\eta} - \frac{3}{27\eta^2}\right) \cos\left(\eta - \frac{\pi}{4}\right) \right\} \right.$$

$$\times \left\{ \left(\gamma - \delta - \frac{\beta}{8\alpha} - \frac{2\delta}{8\xi^2}\right) \sin\left(\xi - \frac{\pi}{4}\right) + \left(a - \beta - \frac{\beta}{8\xi^2} - \frac{6\delta}{8\xi^2}\right) \cos\left(\xi - \frac{\pi}{4}\right) \right\} - 2e^{-(\gamma-\delta)}$$

$$= F(\eta, \xi) = 0 \dots \dots \dots (14''')$$

即チ條件方程式ヲ著シク單化シテ式(14'')及ヒ(14''')ヲ得タリ然ルニ此等ノ方程式ハ尙餘リニ複雑ニシテ單純ナル試算ヲ以テシテハ到底之ヲ解決シ得ヘカラス因テ余ハ次節ニ提案セル如キ新方法ニ由リテ一ノヲニ對スル\xiノ略値ヲ求メ之ニ接近シテ\xi_1ノ二ツノ値\xi_1及ヒ\xi_2ヲ假定シ方程式ノ左邊ニ入レテ其ノ値ヲ算出シ次ノ關係ニ因リテ正シキ\xiノ値ヲ見出シタリ

$$F = \xi_1 - \frac{F(\eta, \xi_1)}{F(\eta, \xi_2) - F(\eta, \xi_1)} (\xi_2 - \xi_1)$$

此等ノ計算ノ結果ハ次表ノ如シ

$\eta =$	6.50	8.60	15.82
$\xi_1 =$	3.30	6.00	13.70

論 說 報 告

載荷セル樁造物ノ振動並ニ其耐震性ニ就テ

$\xi_2 =$	3.40	6.10	13.90
$F(\xi_1) =$	-0.0385	-0.075	-0.186
$F(\eta, \xi_2) =$	+0.0605	+0.009	+0.456
$\xi_1 =$	3.339	6.089	13.758

依リテ L_1/L ノ 種 々 ノ 値 ニ 對 スル C ノ 値 ヲ 算 出 ス

$L_1/L = 0$ (Perfect cone)	0.264	0.501	0.754	1.00 (Cylinder)
$C = 0.719$	1.101	1.368	1.695	1.788

次ニ此等ノ C ノ値ヲ實用上充分ナル程度ニ與フル數式ヲ求ム

$$C = 0.719 + 1.069 \frac{L_1}{L} + \left\{ 0.14 - 2.24 \left(\frac{1}{2} - \frac{L_1}{L} \right) \right\}^4$$

從フテ振動週期ヲ與フル公式ハ

$$T = C \frac{L^2}{\sqrt[3]{E}} = C r^2 \sqrt[3]{\frac{\rho A_0}{E I_0}}$$

茲ニ L = 柱體ノ長サ, r_0 = 根元ノ振動半徑, ρ = 材料單位容積ノ質量, E = 材料ノ彈率

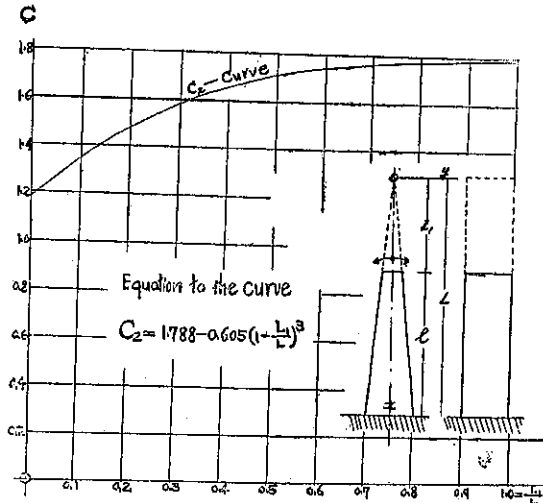
式(14)ハ第五卷第三號所載塔狀構造物ノ震動並ニ其耐震性ニ就テニ於ケル式(16)ニ相當スルモノナリ (完)

..... (14)

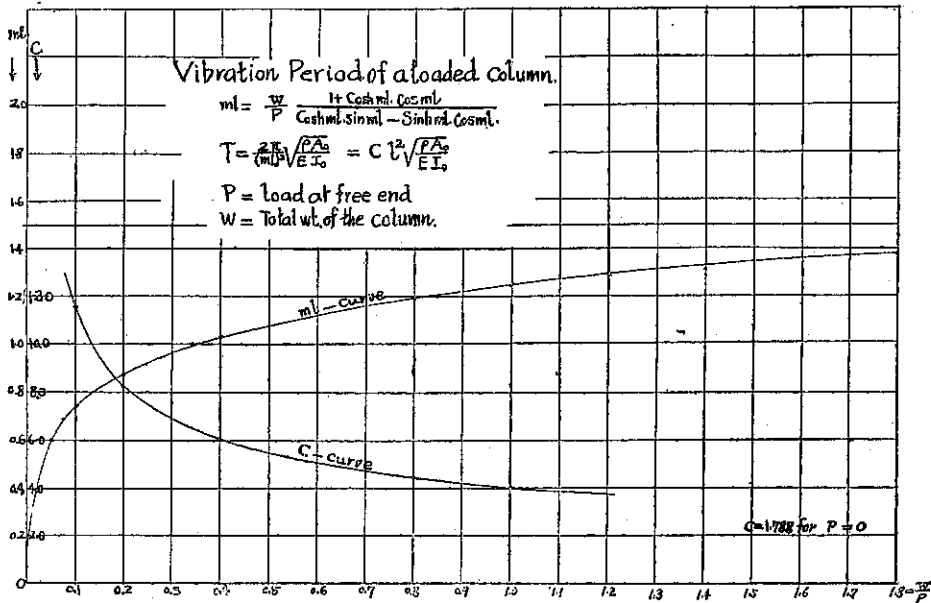
附圖第一

Values of C_2
for
a truncated wedge.

$$T = C_2 L^2 \sqrt{\frac{PA_0}{EI_0}}$$

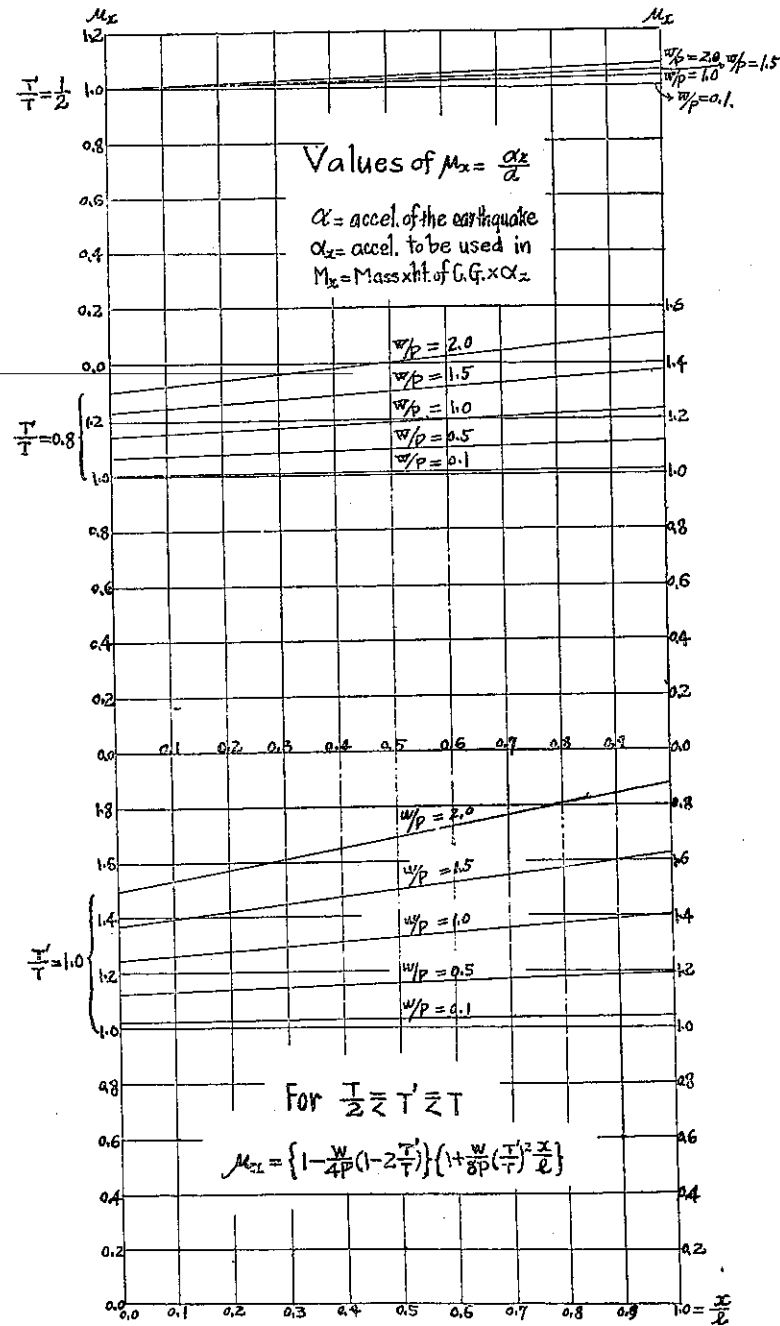


附圖第二

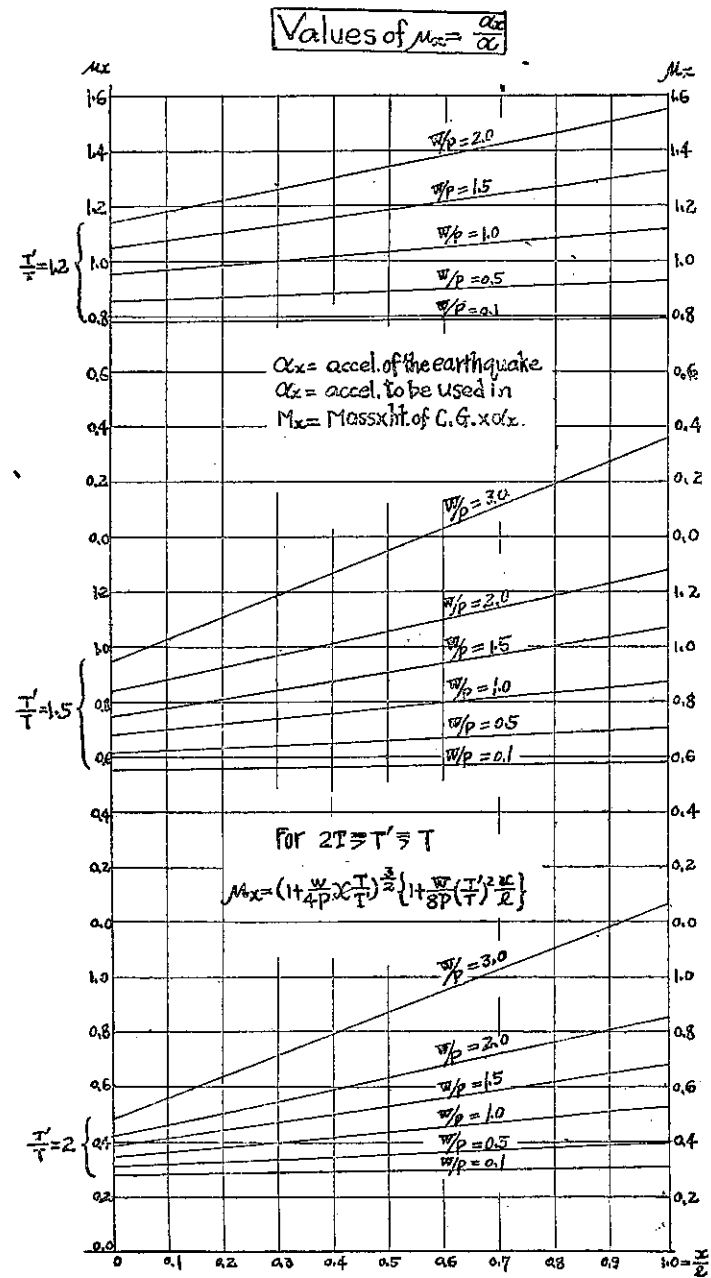


(土木學會誌第六卷第四號附圖)

附圖第三



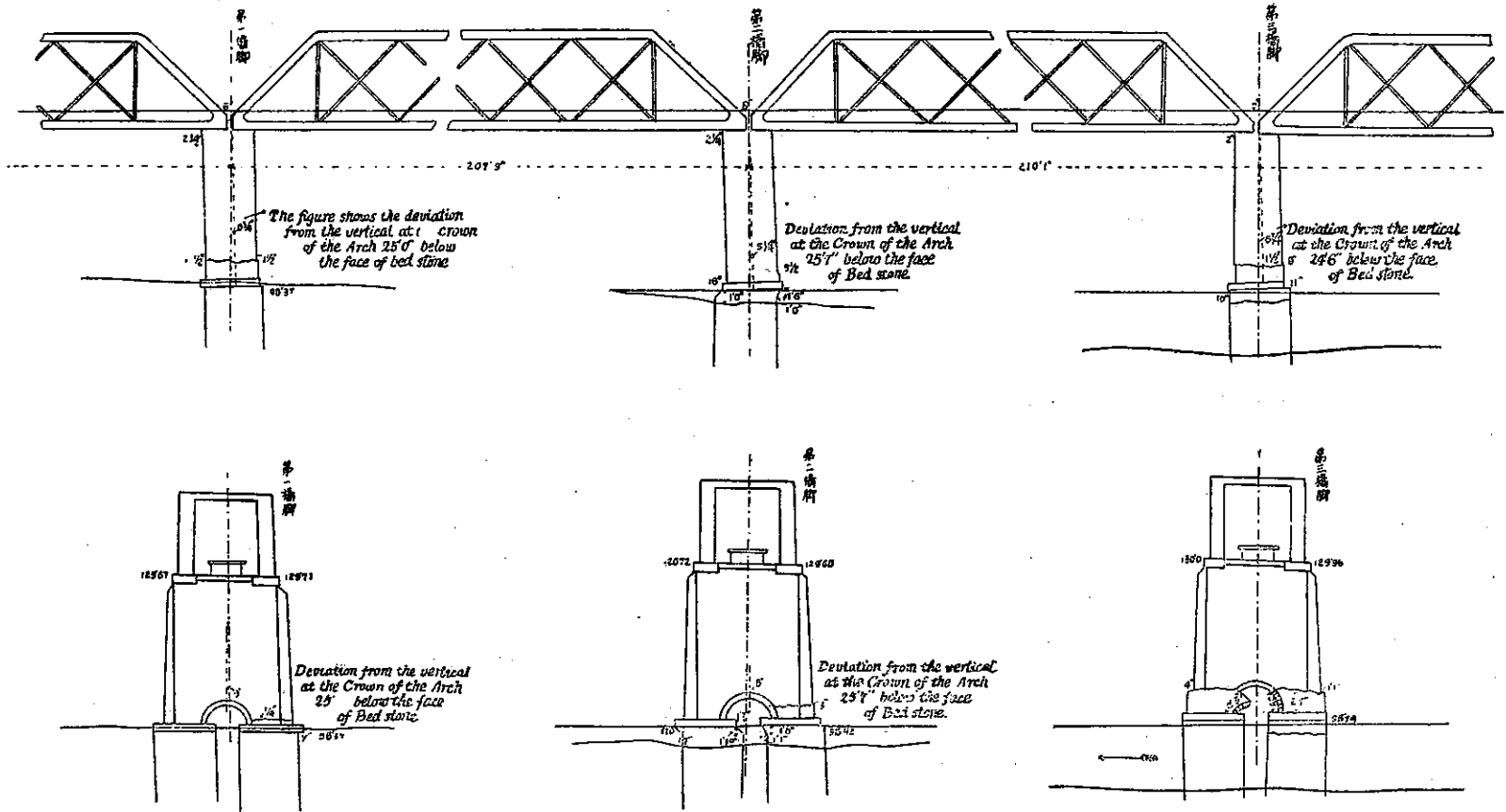
附圖第四



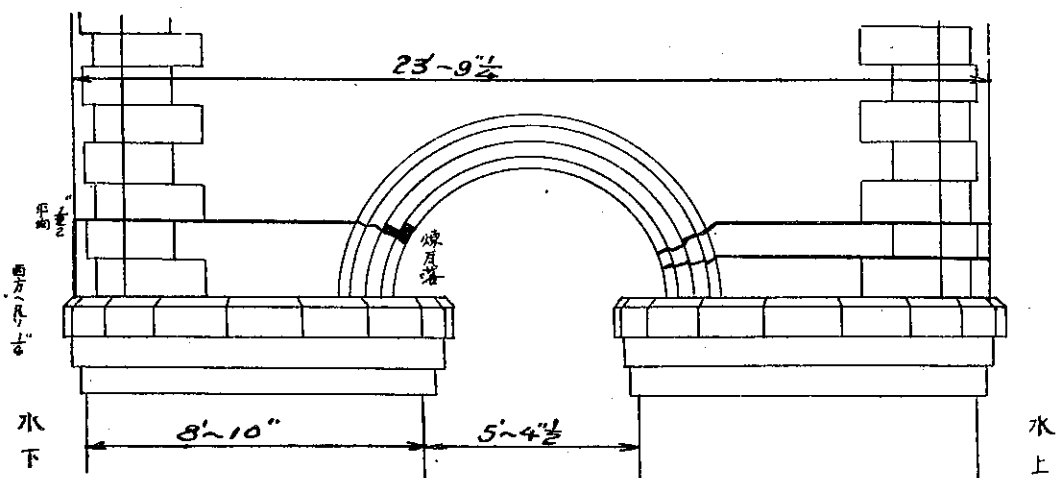
(圖) 土木學會建築部第四號附圖

附圖第五 木曾川鐵道橋脚震害圖

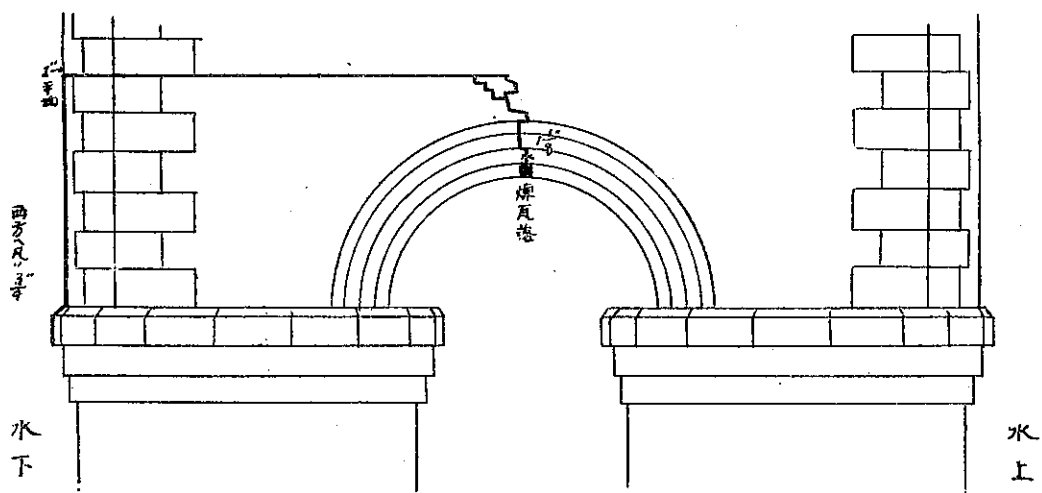
(震災豫防調査會報告第一號ヨリ轉載)



No. 6.



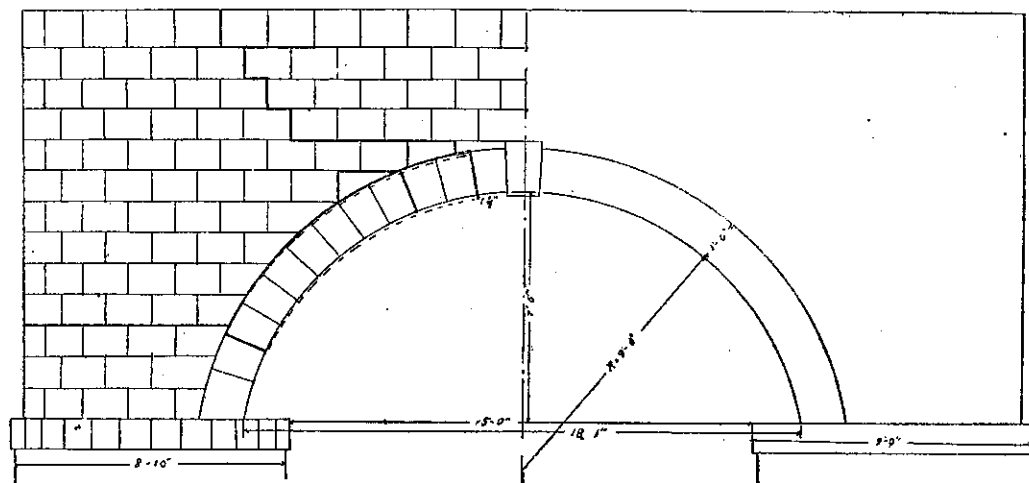
No. 8.



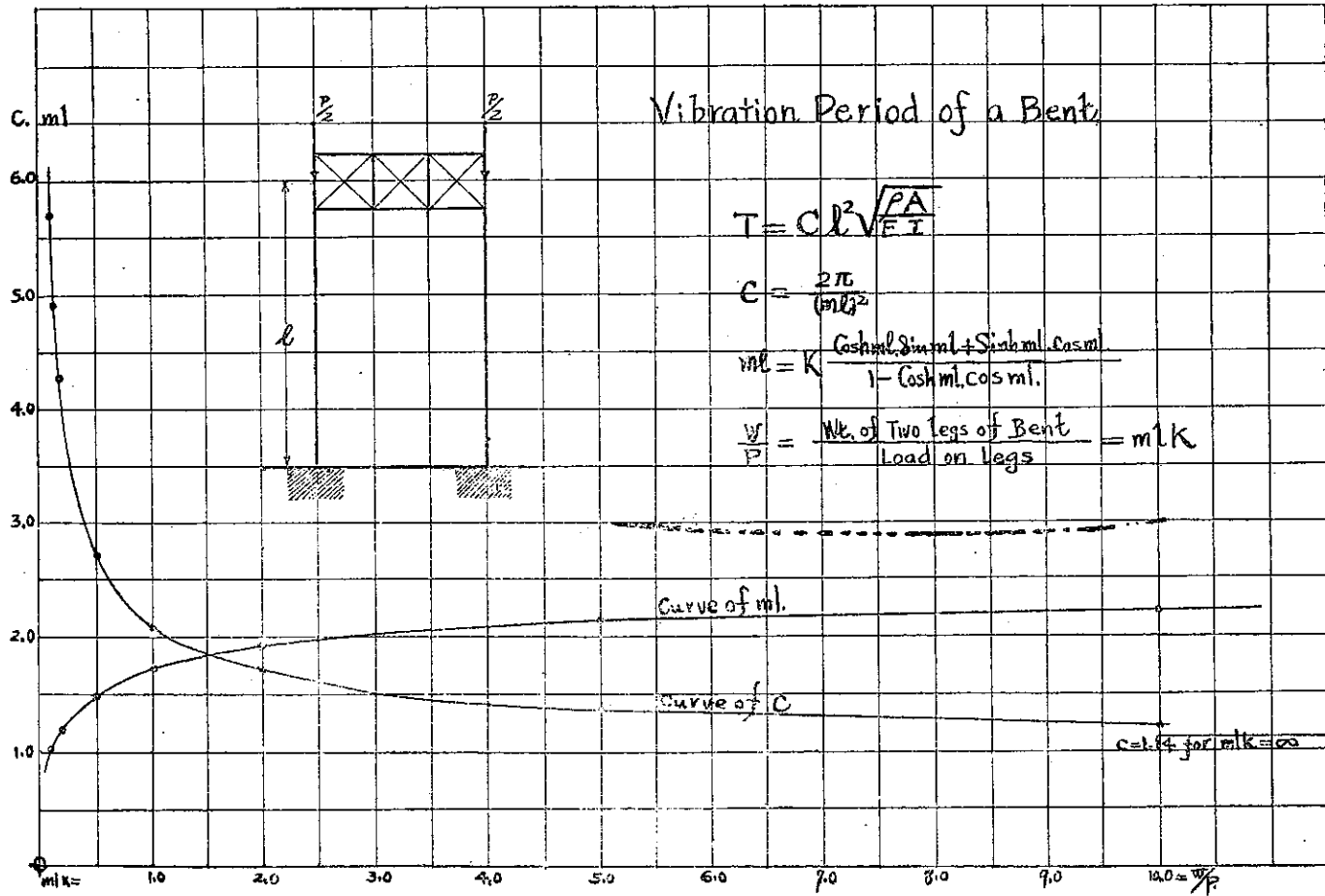
附圖第六 太田川橋梁橋脚震害圖

廣島市本川橋東橋脚之圖

(震災豫防調査會報告第五十三號ヨリ轉載)



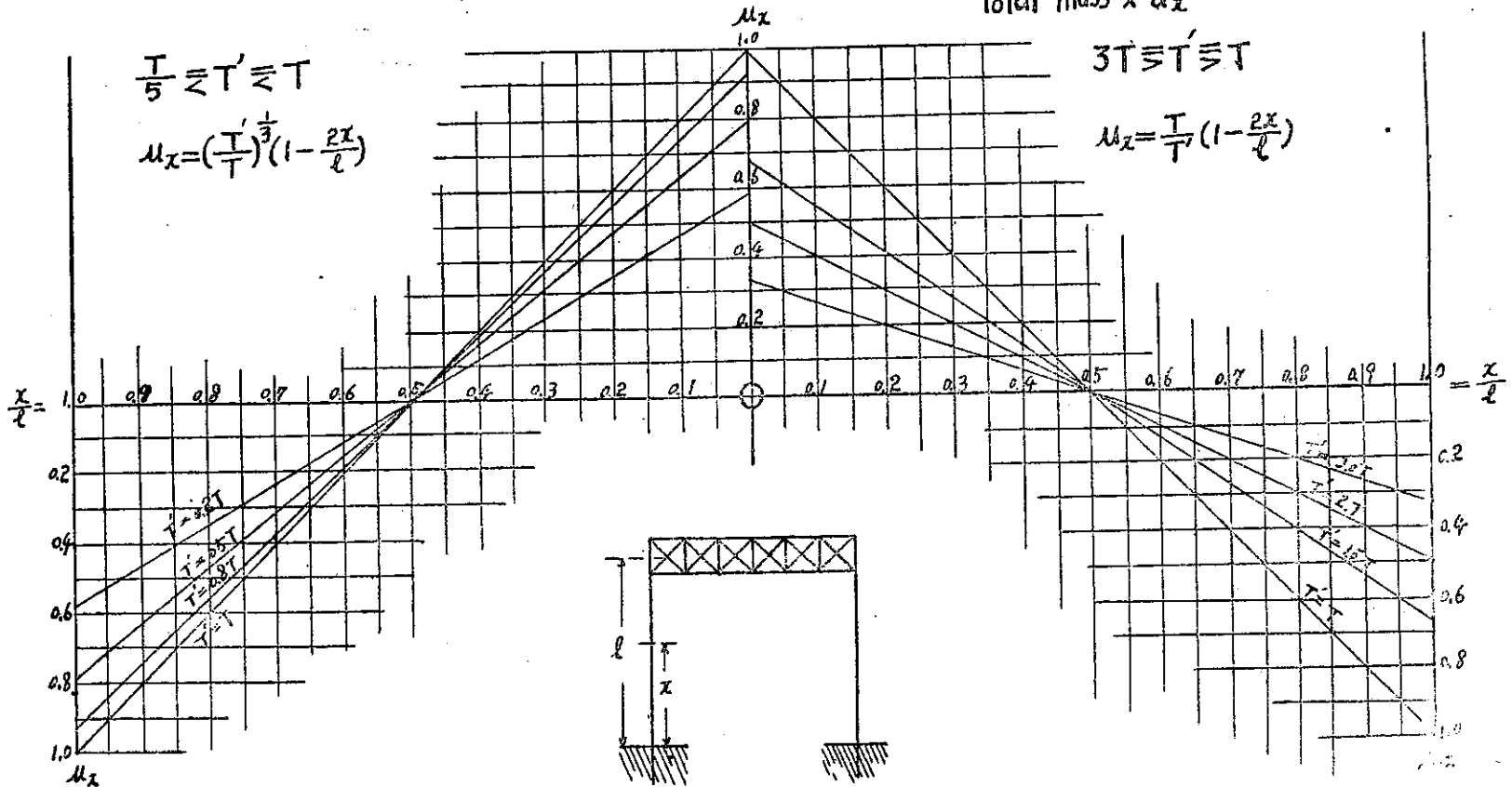
附 圖 第 七



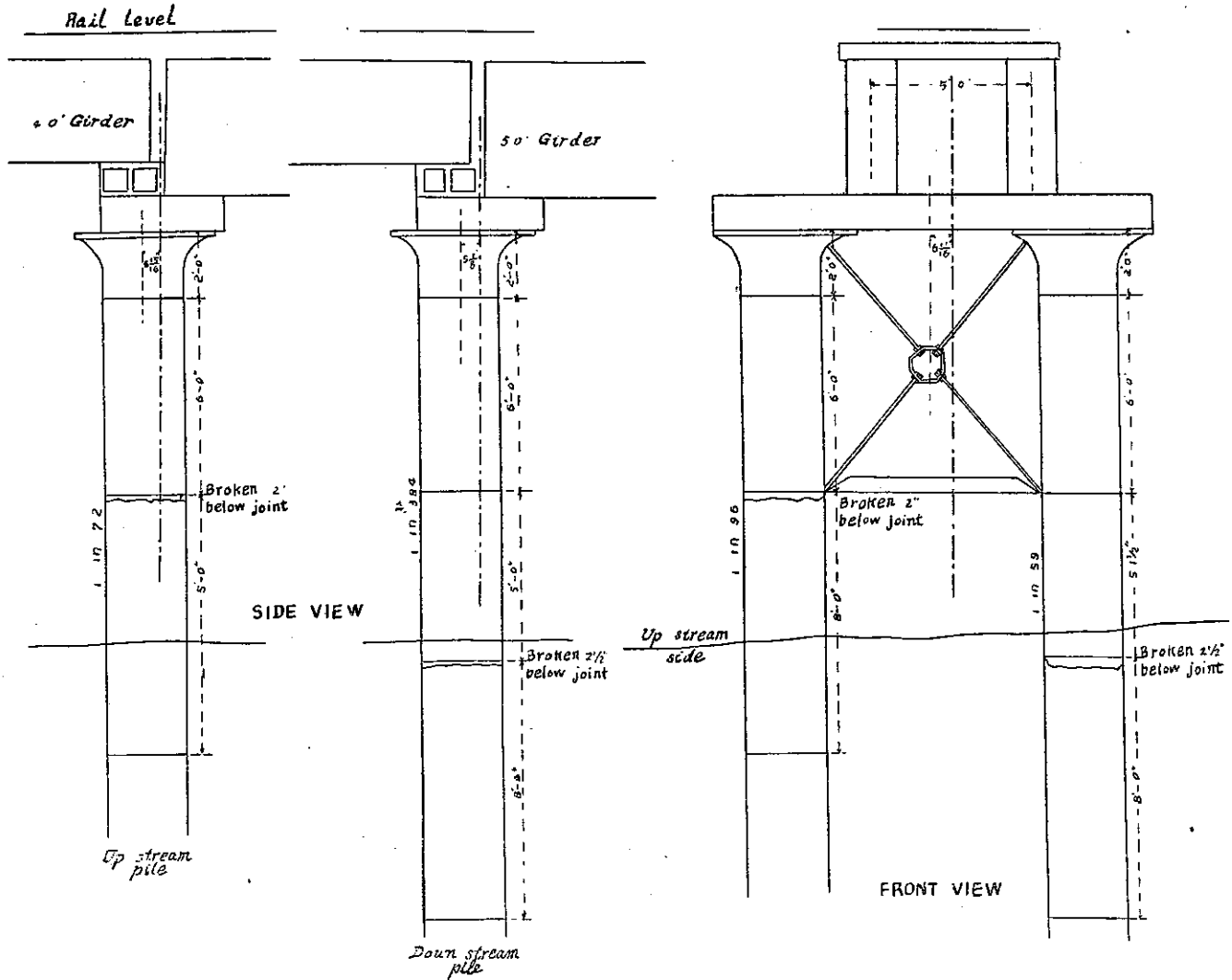
附 圖 第 八

Values of $\mu_x = \frac{a_x}{a}$

$a = \text{accel. of earthquake, } a_x = \text{accel. to be used in } M_x = \frac{\text{total mass} \times \text{ht. of C. of G. of the}}{\text{total mass}} \times a$



PIER No. 6.



附圖第九 境川鐵道橋橋脚

(土木學會誌第六卷第四號附圖)