490gr.
19cm×26.5cm
(保存用)

土木試驗所報告

第二十八號

昭和九年　第三冊

地震動による土堰堤の變形
鎔着鋼引張試驗用小型試驗片
國產瀝青乳劑試驗成績
骨材及び類似材料の靱性に關する研究
鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計（1）

1934 — X

內務省土木試驗所

一、目方一部 四九〇瓦

二、本郷本文用紙 赤門 85斤

三、アート 四五丁

1300部

本文　198頁（内アート5J）

土木試驗所報告

第二十八號

序　言

本報告は「地震動による土堰堤の變形」「鎔着鋼引張試驗用小型試驗片」「國產瀝青乳劑試驗成績」「骨材及び類似材料の靱性に關する研究」「鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計（1）」等を輯錄せるものである.

地震動による土堰堤の變形　は地震動により土堰堤に生ずる變形を理論的竝に實驗的に研究し，地震作用が頭部と底部に於て如何なる差異を生ずるかを明にせるものである.

鎔着鋼引張試驗用小型試驗片　は現今使用せられつゝある鎔着鋼引張試驗片が其形狀大にして製作に多大の費用と時間とを要するに鑑み，之を小型試驗片に改め大型試驗片によるものと同樣の試驗成績を得んとせるものである.

國產瀝青乳劑試驗成績　は最近に於ける國產瀝青乳劑拾數種に就き鋪裝用材料としての試驗成績を分類輯錄して，其最近の傾向，進步の狀況を明にし，且つ新製品たる混合法用乳劑の出現發達に關し言及せるものである.

骨材及び類似材料の靱性に關する研究　は石材，コンクリート類，硝子等の如き脆性物質の衝擊外力に對する抵抗性を明かにする爲め，其一階程として靜的外力竝に衝擊外力に對する抵抗性の相互關係を考察し其一特性を明かにしたるものである.

鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟竝に耐震的設計（1）　は拱軸線及び斷面變化の種々なる無鉸拱に就き，不靜定量影響線，彎曲率表等を作製し，以て其經濟的竝に耐震的設計を簡易ならしめんとするものである.

昭和九年十月

內務省土木試驗所長　內務技師　物　部　長　穗

目　　次

地震動による土堰堤の變形 1

內務技師　松　村　孫　治

鎔着鋼引張試驗用小型試驗片 69

內務技師　青　木　楠　男
　　佐　藤　正　雄

國產遲青乳劑試驗成績 87

內務技師　西　川　榮　三

骨材及び類似材料の靱性に關する研究 109

內務技師　島　田　八　郎

鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計（1）..... 127

內務技師　大　野　　博

地震動による土堰堤の變形

内務技師　松　村　孫　治

目　次

第一編　理論的研究 …… (2)
I　緒　言 …… (2)
II　土堰堤の剪斷振動 …… (3)
〔1〕剪斷振動の基本式 …… (3)
〔2〕剪斷振動の可能性 …… (4)
III　自由振動週期 …… (5)
〔3〕標準形の自由振動週期 …… (5)
〔4〕剛性係數の深さによる變化の影響 …… (7)
〔5〕載頭の影響 …… (7)
〔6〕剛性係數が水平面を界として變化する場合 …… (9)
〔7〕内部摩擦抵抗の影響 …… (10)
〔8〕土堰堤の自由振動週期 …… (11)
IV　地震動による土堰堤の變形 …… (13)
〔9〕標準形の强制振動 …… (13)
〔10〕載頭の影響 …… (17)
〔11〕内部摩擦抵抗の强制振動に及ぼす影響 …… (19)
〔12〕土堰堤に作用する地震力 …… (23)
第二編　實驗的研究 …… (26)
I　緒　言 …… (26)
II　振動設備 …… (27)
〔1〕振動裝置 …… (27)
〔2〕振動臺の振幅及週期測定裝置 …… (28)
〔3〕振動臺の加速度 …… (29)
III　寒天模型による實驗 …… (30)
〔4〕測定裝置 …… (30)
〔5〕實驗方法 …… (32)
〔6〕實驗結果 …… (34)
〔7〕計算値と實測値との比較 …… (39)
IV　模型土堰堤の實驗 …… (52)
〔8〕緒　言 …… (52)
〔9〕實驗方法 …… (52)
〔10〕實驗結果 …… (53)
〔11〕計算値と實測値との比較 …… (57)

第一編 理論的研究

I 緒 言

各種の堰堤中土堰堤は基礎地盤の比較的軟弱なる個所に築造される事多く，從つて最も大なる地震作用を受け，過去の記錄によるも地震の爲に決潰し下流地方の人畜に大なる被害を及ぼしたる例もあり，特に本邦の如き地震國に於てはその耐震的研究は大いに必要である．

土堰堤を構成する材料は一般に赤土，粘土，砂交り粘土及砂利等にて，是等の力學的性質は未だ明ならず，又從來の土の力學的計算は多く破壞の限界を目的とするを以て力による變形を全く考慮せず，從つて自由振動週期，地震による土堰堤の變形，卽ち震度の高さによる分布等を求めるに適せず，是等の量を求めるには他の立脚地より出發する必要がある．赤土の實驗室內の試驗結果より推定するに地震動の如き週期的外力の作用を受けたる時は赤土，砂交り粘土等は特にそれ等が水分を含める場合は彈性體に似たる力學的變形を爲すと假定し得るを以て本文に於ける耐震計算は土堰堤が彈性體と等しき材料より築造されるものとして行つた．

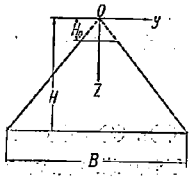
地震動は堰堤に對して任意の方向に作用し得るが，一般には直角なる方向と平行なる方向とに分ち各方向の作用を別々に取り扱ひ得る．本文に於ては橫振動，卽ち堰堤の中軸線を直線と見做して之に直角なる方向の振動に就て耐震計算を行ふ．多くの場合土堰堤の高さ，幅は長さに比して小なるを以て兩岸の影響も亦小にして且つ一般に堰堤は中央部に於て最高なるを以て作用する地震力も亦その部分に於て最も著しい．一般に最高なる部分は地震の影響を受けること最大にして且兩岸の影響を無視する事は安全側の誤差なるを以て橫振動の計算は堤高最大なる個所に於ける單位幅の堰堤に就て論ずれば充分である．又土堰堤の橫斷面は法面の安定の爲に斜面の傾斜は2割以上にも及び，中央鉛直軸の變形に及ぼす剪力の影響は彎曲力率に比し著しきを以て，土堰堤の水平斷面に沿へる平均の地震力を求める爲に水平方向の平均の變形は近似的に一端固定したる桁の剪斷振動による變形として求め得る．（〔2〕參照）

土堰堤の橫斷面は一般に三角形の頭部を切り取りたる被頭三角形を爲し，その兩斜面は上流側と下流側とにて傾斜を異にし，又一斜面に就てもその傾斜が頭部より底部迄一樣ならず一般に複雜なる形狀を爲す．實在する如き複雜なる斷面を有する土堰堤の剪斷振動を計算するは徒に算式を複雜とするに過ぎざるを以て二等邊三角形の橫斷面を有するものを標準形とし，計算は主として標準形に就て行ひ，特別なる場合に於てのみ被頭の影響を考慮した．一般に土堰堤を構成する材料は含水量，その他の影響により密度（density），剛性係數（modulous of rigidity），內部摩擦係數（coefficient of internal friction）等は深さ，應力の大さ，上流側，下流側等に依て異なり，是等を考慮する時は算式を求むる事が全く不可能となるを以て，本文に於ては本邦に多く用ひらるる土堰堤は多く堤體の殆んど全部が細粒なるを以て，密度は一樣とし剛性係數及び內部摩擦係數が深さの函數なる場合に就て計算を行つた．

II　土堰堤の剪斷振動

〔1〕剪斷振動の基本式

第1圖に示す如く土堰堤の標準形の斷面に於て原點 O を頂點にとり，y 軸を水平に，z 軸を垂直にとり下向を正の方向とす．



第 1 圖

記號

v…y の方向の變位，　w…z の方向の變位

ξ…剪斷振動による中立軸の水平變形

ξ_0…$z=0$ 卽ち頂點に於ける ξ の値

E…土堰堤を構成する材料の彈性係數

G…　〃　剛性係數

ρ…　〃　單位體積の質量

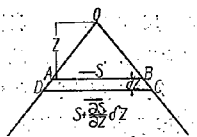
H…土堰堤の標準形の高さ，　H_0…滅頂されし高さ

B…底部に於ける幅，　T…地震動の振動週期，$p=2\pi/T$

T_0…土堰堤の自由振動週期，$p_0=2\pi/T_0$

d…土堰堤の底部，卽ち基礎地盤に於ける地震動の振幅

η…土堰堤を構成する材料の剪斷變形（shearing strain）に對する內部摩擦係數



第 2 圖

土堰堤を構成する物質の內部摩擦抵抗が固體（solid body）のそれと等しいとすれば，W. Voigt 及本多博士により ϕ を剪斷變形とする時は水平の方向に $\eta\frac{\partial\phi}{\partial t}$ にて示される內部摩擦力が作用する．

第2圖に示す高さ dz なる微小部分（elementary portion）の y の方向に作用する外力は次の如し．

$$AB\text{ 面}\quad -b\left(G\frac{\partial\xi}{\partial z}+\eta\frac{\partial^2\xi}{\partial t\partial z}\right)$$

$$CD\text{ 面}\quad b\left(G\frac{\partial\xi}{\partial z}+\eta\frac{\partial^2\xi}{\partial t\partial z}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(bG\frac{\partial\xi}{\partial z}+b\eta\frac{\partial^2\xi}{\partial t\partial z}\right)\delta z$$

外力の總和は惰性の力（inertia force）に等しきを以て $ABCD$ なる部分の運動方程式は次の如し．

$$\rho b\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=\frac{\partial}{\partial z}\left(bG\frac{\partial\xi}{\partial z}+b\eta\frac{\partial^2\xi}{\partial z\partial t}\right)\quad\cdots\cdots(1)$$

標準形に於ては幅 b は深さの一乘に比例するを以て ρ が z に無關係なる時は (1) 式は次の如くなる．

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=\frac{1}{\rho z}\frac{\partial}{\partial z}\left(zG\frac{\partial\xi}{\partial z}\right)+\frac{1}{\rho z}\frac{\partial}{\partial z}\left(z\eta\frac{\partial^2\xi}{\partial z\partial t}\right)\quad\cdots\cdots(2)$$

1)　G, η が z に無關係なる場合　(2) 式は次の如くなる．

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=\frac{G}{\rho}\frac{1}{z}\frac{\partial}{\partial z}\left(z\frac{\partial\xi}{\partial z}\right)+\frac{\eta}{\rho}\frac{1}{z}\frac{\partial}{\partial z}\left(z\frac{\partial^2\xi}{\partial z\partial t}\right)\quad\cdots\cdots(3)$$

又は特に $\eta=0$ なる時は

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=\frac{G}{\rho z}\frac{\partial}{\partial z}\left(z\frac{\partial\xi}{\partial z}\right)\cdots\cdots(4)_1$$

2) G, η が深さの一乘に比例する場合　$G=G_0z$, $\eta=\eta_0z$, 即ち G_0, η_0 を夫々單位深に於ける値とし (2) 式に代入すれば

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=\frac{G_0}{\rho z}\frac{\partial}{\partial z}\left(z^2\frac{\partial\xi}{\partial z}\right)+\frac{\eta_0}{\rho}\frac{1}{z}\frac{\partial}{\partial z}\left(z^2\frac{\partial^2\xi}{\partial z\partial t}\right)\cdots\cdots(3)_2$$

又は特に $\eta_0=0$ なる時は

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=\frac{G_0}{\rho z}\frac{\partial}{\partial z}\left(z^2\frac{\partial\xi}{\partial z}\right)\cdots\cdots(4)_2$$

$(3)_1$, $(3)_2$, $(4)_1$, 及 $(4)_2$ が土堰堤の剪斷振動の基本式を示す.

上記の諸式を計算するに當り必要なるは土堰堤を構成する物質の單位體積の質量, 剛性係數及內部摩擦抵抗の係數の値である. 是等の諸量の內 ρ は一般には含水量, 空隙率等により餘り著しき變化なく又生成せる母岩の種類によりても著しくその値を異にせざるを以て上式に於ては常數にとつた. 之に反して G, η は材料の種類, 含水量, 粒の大さ及形狀, 作用する應力等により著しくその値を異にするを以て本文に於ては G, η は可成り大なる範圍に變化するものとして計算を行つた.

〔2〕 剪斷振動の可能性

土堰堤の底の幅は高さに比して著しく大なるを以て地震により剪斷振動を爲すものとしそれ等の基本式を〔1〕に於て求めた. 本節に於ては彈性體の基本式より〔1〕の (1) 式に相當する式を誘導し, (1) 式の ξ の意味及剪斷振動の可能性に就き計算を行つた.

深さ z に於ける土堰堤の上流及下流側の幅を夫々 b_1, b_2 にて示す時は下流側の深さ z に於ける斜面上の點の座標は $-b_2$ にて示さる.

二次元の彈性體の運動方程式は

$$\frac{\partial\widehat{yy}}{\partial y}+\frac{\partial\widehat{yz}}{\partial z}=\rho\frac{\partial^2v}{\partial t^2},\qquad\frac{\partial\widehat{yz}}{\partial y}+\frac{\partial\widehat{zz}}{\partial z}=\rho\frac{\partial^2w}{\partial t^2}\cdots\cdots(5)$$

(5) 式に於て

$\widehat{yy}$…y 軸に直角なる面內にて y の方向に作用する應力

$\widehat{zz}$…z 軸に直角なる面內にて z の方向に作用する應力

$\widehat{yz}$…y 軸に直角なる面內にて z の方向に作用する應力

$\widehat{zy}$…z 軸に直角なる面內にて y の方向に作內する應力

而して $\widehat{zy}=\widehat{yz}$ なる關係あり。

應力及變位の z に垂直なる面內の平均値を夫々 Y_z, Z_z, V, W にて示す時は, (5) 式を y に就て $-b_2$ より b_1 迄積分し上流及下流兩面には外力が全く作用せざる條件を用ふる時は $\widehat{yy}$,…v,… の代りに Y_z, Z_z, V, W により (5) 式は次の如く示さる.

$$\frac{\partial Y_z}{\partial z}+\frac{Y_z}{b_1+b_2}\frac{d}{dz}(b_1+b_2)=\rho\frac{\partial^2V}{\partial t^2},\qquad\frac{\partial Z_z}{\partial z}+\frac{Z_z}{b_1+b_2}\frac{d}{dz}(b_1+b_2)=\rho\frac{\partial^2W}{\partial t^2}\cdots\cdots(6)$$

又應力と變形との間には次の關係あるを以て

$$\widehat{zz}=(\lambda+2\mu)\frac{\partial w}{\partial z}+\lambda\frac{\partial v}{\partial y},\qquad\widehat{zy}=\mu\left(\frac{\partial w}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial z}\right)$$

但し λ, μ はラーメの常數を示す.

λ, μ を y, z に無關係とし上式を y に就て $-b_2$ より b_1 迄積分し,

$$[v]_{b1}\fallingdotseq[v]_{-b2}=V,\qquad b_1=b_2,\qquad [w]_{b1}\fallingdotseq-[w]_{-b2}=[w],\qquad W=0$$

なる關係を用ふる時は Z_z, Y_z, V, $[w]$ は次の如し.

$$Z_z=0,\qquad Y_z=\mu b\frac{\partial V}{\partial z}+\frac{2\mu}{b_1+b_2}[w] \quad\cdots\cdots(7)$$

(7) の關係を (6) 式に代入する時はその第2式は滿足せられ, 第1式は次の如くなり, y 軸の方向の運動方程式に相當する.

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu b\frac{\partial V}{\partial z}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\{2\mu[w]\}=\rho b\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \quad\cdots\cdots(8)$$

(8) 式の左邊の第2項を省略する時は $\mu=G$ なるを以て (1) 式に於て $\eta=0$ と置けるものと等しく, ξ は v の各水平斷面の平均値を示す事を知る. 微分方程式に於て項の絶對値の小なる場合と雖も容易に之を省略するを得ないが, 今假りに (8) 式の左邊の第1項及第2項の値を比較する爲に土堰堤を底部を固定したる桁と見做し, kg なる加速度が水平の方向に作用する時 V を剪斷應力による中心軸の變形, $[w]$ を彎曲率による桁の緣の變形とすれば是等の値は次の如く

$$b\frac{\partial V}{\partial z}=\frac{\rho kg}{2G}b_0z^2,\qquad 2[w]=\frac{2\rho kg}{E}\frac{z^2}{b_0},\qquad b=b_0z$$

兩者の比 $\alpha=2[w]\Big/b\dfrac{\partial V}{\partial z}$ とすれば $\alpha=4G/Eb_0^2$ なるを以て $2G=E$ なる場合に於て斜面の勾配と α との關係を求むれば第1表に示す如し.

第1表. 斜面の勾配と α との關係

勾　配	2　割	2割5分	3　割
α	1/8	2/25	1/18

但し $\alpha=2[w]/b\frac{\partial V}{\partial z}=4G/Eb_0^2$

第1表より (8) 式に於ける第2項は第1項より小にして, その比は勾配の緩なると共に小となり, 3 割勾配に於ては前者は後者の僅か 1/18 なる事を知る.

III　自由振動週期

〔3〕 標準形の自由振動週期

自由振動週期は II の (3) 及 (4) 式を解き適當なる限界條件を與へて容易に求め得らる. 一般に內部摩擦抵抗の自由振動週期に及ぼす影響はその係數の値の極めて大なる場合を除き小にして, 且つ本節に於ては T_0 の大體の値の算定を目的とするを以て主として內部摩擦抵抗の存在せざる場合に就て計算を行ひ, 特別なる場合に於てのみその影響を考慮した.

先づ標準形のものに就て $\eta=0$ なる場合の $(4)_1$ 及 $(4)_2$ 式より T_0 の値を求め, 剛性係數の深さによる變化の影響, 滅頭の影響及內部摩擦係數の影響は後節にて求むる事とした.

(1) 剛性係數が深さに無關係の場合　$(4)_1$ 式を解く時 ξ は次の如し.

$$\xi=\left\{AJ_0\left(\frac{p_0}{a}z\right)+BY_0\left(\frac{p_0}{a}z\right)\right\}\cos p_0t,\qquad a=\sqrt{G/\rho} \quad\cdots\cdots(9)$$

(9) 式に於て J_0, Y_0 は夫々零次の第一種の圓壔函數 (ベッセルの函數), 第二種の圓壔函數 (ノイ

マンの函數）にて，A, B は限界條件より定められる積分常數を示す．

而して自由振動週期 T_0 は次の如し．

$$T_0=2\pi/p_0$$

$Y_0\left(\frac{p_0}{a}z\right)$ は $z=0$ に於て無限大となる，然るに ξ は一般に有限の値なるを以て標準形に (9) 式を適用する時には $Y_0\left(\frac{p_0}{a}z\right)$ の項を含む事は不可能なるを以て $B=0$ なるを要す．

土堰堤は頭部に於て外力の作用なく，且つ底部に於て基礎地盤に固定するを以て，限界條件は次の如く示さる．

$$\frac{\partial\xi}{\partial z}=0, \quad \text{at } z=0, \qquad \xi=0, \quad \text{at } z=H \cdots\cdots(10)$$

(9) 式を (10) 式に代入し常數 A を消去すれば自由振動週期を與へる p_0 は次の如く求めらる．

$$J_0\left(\frac{p_0}{a}H\right)=0$$

第一次の自由振動週期を與へる p_0 は上式より $\frac{p_0}{a}H=2.4048$

從つて T_0 は次式の如し．

$$T_0=2.61\sqrt{\frac{\rho}{G}}H \cdots\cdots(11)$$

第2表 T_0 と G 及 H との關係

(G が深さに無關係)

T_0 の値 (單位 sec)

G ＼ H	50 (kg/cm²)	100	500	1000	5000
10(m)	0.52	0.37	0.17	0.12	0.05
20	1.05	0.74	0.33	0.23	0.10
30	1.57	1.11	0.50	0.35	0.16
40	2.09	1.48	0.66	0.47	0.21

今土堰堤を構成する材料の單位體積の質量 $\rho=2\times10^{-6}$ (kg, cm) (此の値は一般の土より大なり) とすれば (11) 式より

$$T_0=3.70\times10^{-5}\sqrt{\frac{1}{G}}H\text{(kg, cm)}\cdots\cdots(11)_1$$

$(11)_1$ 式により剛性係數，土堰堤の高さ及自由振動週期との間の關係を求むれば第2表に示す如し．

(2) **剛性係數が深さに比例する場合** $G=G_0z$ $(4)_2$ 式を解き ξ は次の如く求めらる．

$$\left.\begin{aligned}\xi&=\frac{c}{2p_0\sqrt{z}}\left\{AJ_1\left(2\frac{p_0}{c}\sqrt{z}\right)+BY_1\left(2\frac{p_0}{c}\sqrt{z}\right)\right\}\cos pt.\\ \text{但し}\quad c&=\sqrt{\frac{G_0}{\rho}}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(12)$$

(12) 式に於て J_1, Y_1 は夫々第一次のベッセルの函數，ノイマンの函數にて，A, B は積分常數を示す．

(1) の場合と同樣に標準形に於ては $B=0$ にして且つ (10) 式の限界條件を滿足するを要するを以て (12) 式を (10) 式に代入し常數 A を消去すれば

$$J_1\left(2\frac{p_0}{c}\sqrt{H}\right)=0$$

第一次の自由振動週期を與へる p_0 は上式より

$$\frac{2p_0}{c}\sqrt{H}=3.8317$$

從つて T_0 は次式に示す如し.

$$T_0=3.28\sqrt{\frac{\rho H}{G_0}}\cdots\cdots\cdots(13)$$

(11) 式と同様に $\rho=2\times10^{-6}$(kg, cm) とすれば (13) 式より

$$T_0=4.64\times10^{-3}\sqrt{\frac{H}{G_0}}\,(\mathrm{kg,\ cm})\cdots\cdots\cdots\cdots(13)_1$$

第3表 T_0 と G_0 及 H との關係
(G が深さに比例)
T_0 の値 (單位 sec)

H \ G_0	0.03 (kg/cm³)	0.06	0.1	0.15	0.3	1.5
10(m)	0.85	0.60	0.46	0.38	0.27	0.12
20	1.20	0.85	0.66	0.54	0.38	0.17
30	1.47	1.04	0.80	0.66	0.46	0.21
40	1.69	1.20	0.93	0.76	0.54	0.24

$(13)_1$ 式より H, G_0 と T_0 との關係を求め第3表に示す。

〔4〕 剛性係數の深さによる變化の影響

剛性係數 G は作用する應力, 含水量, 空隙率等により著しくその値を異にするを以て, 土堰堤の全高に亙りて如何なる變化を爲すかを推定するは極めて難事である. 然し水平斷面の平均の G の値は深さと共に漸次增大すると考ふるが至當にして近似的に $G\fallingdotseq\alpha+\beta z$ (α, β は常數) にて示されると假定し得る. 然し G が上記に示す値を採るものとする時はその算式が極めて複雜となりて, 實用上かかる場合の解を求むるは不可能である. 然るに〔3〕に示したる如く $G=\alpha+\beta z$ に於て $\beta=0$ 又は $\alpha=0$ なる兩極端の場合に就ては比較的簡單に解式が得られ, 兩極端の場合に於ける自由振動週期が求めらるる時は兩者の値の差異よりその中間の狀態なる $G=\alpha+\beta z$ に相當する T_0 の値を推定するは極めて容易である.

今剛性係數 G が全高に亙りて一樣なる場合の値を T_0', G が深さに比例して增大する場合の値を T_0'' とすれば, T_0' は (11) 式より, T_0'' は (13) 式より得らる. T_0' と T_0'' の値を比較する爲に $G=G_0z$ なる場合頂點より底部迄の G の平均値を G_m とすれば $2G_m=G_0H$ となり (13) 式に G_0 の代りに G_m を代入すれば

$$T_0''=\frac{3.28}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{\rho}{G_m}}H\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

(14) 式及 (11) 式に於て單位體積の質量を等しとし, 且つ $G_m=G$ とすれば $T_0'/T_0''\fallingdotseq1.13$ となり兩者の誤差は僅に 13% に過ぎない. 從つて剛性係數が堤高に對して $G=\alpha+\beta z$ なる變化を爲す場合自由振動週期を求める際の剛性係數の値として全高の平均値を用ふるもその誤差は最大 13 %に過ぎない.

〔5〕 截頭の影響

一般に土堰堤は頭部が多少截られその橫斷面は梯形を爲し標準形と異なるを以て (11) 式及 (13) 式より直ちに自由振動週期を求める事は不可能である. 然るに一般に高さ大なる土堰堤に於ては頭截さるる部分の高さは全高に比して僅少なるを以て T_0 に及ぼす影響も亦小なりと考へらる. 今標準形の頭部が截頭されたる場合の一般式を求め截頭の影響の大體の傾向を求めんとす.

(1) 剛性係數が深さに無關係なる場合　此の場合頂部に於て外力の作用なく, 又底部は基礎地盤に固定さるるを以て限界條件は次の如く示さる.

$$\frac{\partial\xi}{\partial z}=0\ \text{at}\ z=H_0,\quad \xi=0\ \text{at}\ z=H\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

(9) 式を (15) 式に代入し積分常数 A, B を消去する時は自由振動週期を與へる p_0 は次式に依て與へらる.

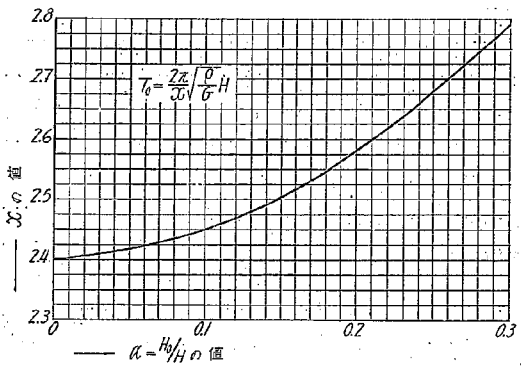
$$J_1\left(\frac{p_0}{a}H_0\right)Y_0\left(\frac{p_0}{a}H\right)-J_0\left(\frac{p_0}{a}H\right)Y_1\left(\frac{p_0}{a}H_0\right)=0.$$

又は上式に於て $p_0H/a=x$, $H_0/H=a$ と置けば次式の如くなる.

$$J_1(ax)Y_0(x)-J_0(x)Y_1(ax)=0 \quad \cdots\cdots(16)$$

(16) 式を滿足する x の値を求める時は自由振動週期 T_0 は次式に示す如し.

$$T_0=\frac{2\pi}{x}\sqrt{\frac{\rho}{G}}H \quad \cdots\cdots(17)$$



第 3 圖　G が深さに無關係の場合の x の値

第 4 表　x の値 (G 常數)

a	0	0.1	0.2	0.3
x	2.41	2.45	2.58	2.79
$x/(x)_{a=0}$	1	1.02	1.07	1.16

第 5 表　x の値 ($G=G_0z$)

a	0	0.1	0.2	0.3
x	3.83	3.98	4.32	4.81
$x/(x)_{a=0}$	1	1.04	1.13	1.26

$a=H_0/H$ が與へらるる時は (16) 式より x の値が求めらるる譯であるが直接 x を a のみの函數として示し得ざるを以て $a=0$ の場合 ($J_0(x)=0$ なるを以て $x=2.405$) を除き圖式的に求めた.

$a=0.1$, 0.2, 0.3 に相當する x の値を求め第 4 表, 第 3 圖に示す.

(2) **剛性係數が深さに比例する場合**　(1) と全く同樣に (12) 式を (15) 式に代入し常數 A, B を消去すれば T_0 は次式の如く示さる.

$$T_0=\frac{4\pi}{x}\sqrt{\frac{\rho H}{G_0}} \quad \cdots\cdots(18)$$

上式の x は次式より求めらる.

$$J_1(x)Y_1(\sqrt{a}\,x)-J_1(\sqrt{a}\,x)Y_1(x)$$
$$+\frac{\sqrt{a}\,x}{2}\{Y_1(x)J_0(\sqrt{a}\,x)-Y_0(\sqrt{a}\,x)J_1(x)\}=0, \qquad a=H_0/H \quad \cdots\cdots(19)$$

$a=0.1$, 0.2, 0.3 に相當する x の値を圖式的に (19) 式より求め第 5 表, 第 4 圖に示す.

a と x との關係は第 3 圖, 第 4 圖に與へらるるを以て自由振動週期 T_0 は (17) 式及 (18) 式より容易に求めらる. 一般に土堰堤の頭部の幅は多く道路等に使用さるる關係上高さにより著しき差異はなく大體 10m 以下と考へらるるを以て, 兩面の法を 2 割 (實際は 2 割以上に及ぶ) とすれば それに相當する高さは 2.5m, 從つて土堰堤の高さを 10m とすれば $a=0.2$, 22.5m とすれば $a=0.1$

となるを以て大地震と共鳴する危險のある高さの土堰堤に於ては一般に $\alpha<0.1$ なるを以て載頭せざる場合に比して誤差は（1）の場合には約 2%以下，（2）の場合には約 4% 以下なるを以て頭部の幅の著しく大なる場合を除き載頭の影響は一般に考慮する必要はない．

〔6〕 剛性係數が水平面を界として急激に變化する場合

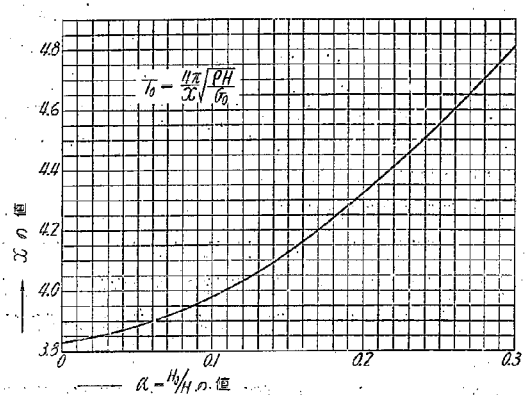
土堰堤を構成する粘土，赤土等は含水量により剛性係數が著しく異なる，然るに水面を界として上，下兩部に於ける含水量は異なるを以て剛性係數の値も亦異なると考ふるが至當にして其の値は水面を界として漸次に變化する，然し本節に於ては計算の便宜上水面を界として剛性係數が急激に變化するものとしてその影響を標準形の土堰堤に就て求めた．

$H_1=\beta H$…頂點より水面迄の深さ

ρ_1, ρ_2 …水面上及水面下の土堰堤の單位體積の質量

G_1, G_2 …水面上及水面下の剛性係數

ξ_1, ξ_2 …水面上及水面下に於ける土堰堤の水平變形



第 4 圖 G が深さに比例する場合の x の値

ξ_1 及 ξ_2 は次式の如く示さる

$$\xi_1=A_1J_0\left(\frac{p_3}{a_1}z\right)\cos p_3t,\qquad \xi_2=\left\{A_2J_0\left(\frac{p_3}{a_2}z\right)+B_2Y_0\left(\frac{p_3}{a_2}z\right)\right\}\cos p_3t \quad\cdots\cdots(20)$$

但し $$a_1=\sqrt{\frac{G_1}{\rho_1}},\quad a_2=\sqrt{\frac{G_2}{\rho_2}}$$

A_1, A_2, B_2 は夫々積分常數にして次の限界條件より求めらる．

$$\xi_1=\xi_2,\quad \frac{\partial\xi_1}{\partial z}=\frac{\partial\xi_2}{\partial z}\quad \text{at } z=H_1,\qquad \xi_2=0\quad \text{at } z=H\quad\cdots\cdots(21)$$

（21）式に（20）式を代入し，常數 A_1, A_2, B_2 を消去する時自由振動週期 T_0 は次の如く求めらる．

$$T_0=\frac{2\pi}{x}\sqrt{\frac{\rho_2}{G_2}}H\quad\cdots\cdots(22)$$

（22）式の x は次式より求めらる．

$$\begin{vmatrix} J_0(\gamma\beta x) & -J_0(\beta x) & -Y_0(\beta x)\\ J_1(\gamma\beta x) & -\frac{1}{\gamma}J_1(\beta x) & -\frac{1}{\gamma}Y_1(\beta x)\\ 0 & -J_0(x) & -Y_0(x)\end{vmatrix}=0,\qquad \gamma=\sqrt{\frac{G_2\rho_1}{G_1\rho_2}}\quad\cdots\cdots(23)$$

γ, β が與へられる時（23）式より x を求むれば T_0 は（22）式より容易に求めらる．今（23）式より圖式的に x の値を求め，$\gamma=1$ 卽ち剛性係數及密度が一樣なる場合の x の値との比を求め第6

表に示す.

第 6 表 $x/(x)_{\gamma=1}$ の値

γ \ β	0.1	0.2	0.3	0.4
1	1.00	1.00	1.00	1.00
0.8	1.01	1.03	—	—
0.5	1.01	1.05	—	—
0.2	1.01	1.06	—	—
0	1.02	1.05	1.16	1.28

第 6 表により水面より上部の剛性係數大なる部分の自由振動週期に及ぼす影響は, $\alpha=H_0/H=0.4$ にしてその剛性係數が水面以下の部分に對して非常に大なる場合 ($\gamma=0$) に於ても, 土堰堤の全高に亙り剛性係數及單位體積の質量が水面以下の部分に等しき場合の T_0 の値の 0.78 倍にして約 25% の差異があるに過ぎない. 更に $\alpha=0.2$ とする時は 0.94 倍となりて約 6% の差異となるを以て, 水面を界として上下の部分の剛性係數及單位體積の質量に變化ありとするもそれ等による影響は無視して差し支へなく, 全高に亙り水面下の部分と同一なる假定の下に求めたる値を以て自由振動週期と見做す事を得る.

〔7〕 內部摩擦抵抗の影響

自由振動週期に及ぼす內部摩擦抵抗の影響はその値著しく大なる場合の外一般に小なるが, 土堰堤を構成する材料にはその內部摩擦抵抗の可成り大なるものも存在するを以てその影響の大さを求める必要がある. 本節に於ては標準形の土堰堤に就て內部摩擦抵抗の存在する場合の自由振動週期を算定した.

(1) G 及 η が深さに無關係なる場合 土堰堤の剪斷振動を示す (3)$_1$ 式に $\xi=f_1(z)e^{ipt}$ と置き, (10) 式に示す限界條件を充たさしむる時は第一次の振動に相當する變形 ξ 及自由振動週期 T_0 は次の如く示さる.

$$\left.\begin{aligned}\xi&=e^{-\frac{\eta}{2\rho}\frac{5.783}{H^2}t}AJ_0\left(2.4048\frac{z}{H}\right)e^{i\frac{2.4048}{H}\sqrt{\frac{G}{\rho}}\sqrt{1-\frac{\eta}{G}\frac{\eta}{\rho}\frac{5.783}{4H^2}}t}\\ T_0&=2.61\sqrt{\frac{\rho}{G}}\frac{H}{\sqrt{1-\frac{\eta}{G}\frac{\eta}{\rho}\frac{5.783}{4H^2}}}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(24)$$

(24) 式に示す如く T_0 の値は內部摩擦抵抗の存在せざる場合に比して一般に大となる. 今內部摩擦抵抗の存在する場合の自由振動週期を T_0', 存在せざる場合の値を T_0 とすれば (11) 式及 (24) 式より T_0' 及 T_0 の間には次に示す關係あり.

$$T_0'=T_0\frac{1}{\sqrt{1-\frac{\eta}{G}\frac{\eta}{\rho}\frac{5.783}{4H^2}}}=\frac{T_0}{\sqrt{1-\gamma}},\qquad\gamma=\frac{\eta}{G}\frac{\eta}{\rho}\frac{5.738}{4H^2}\quad\cdots\cdots(25)$$

(25) 式より T_0'/T_0 と γ との關係を求むれば第 7 表に示す如し.

第 7 表 T_0'/T_0 の値

γ	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
T_0'/T_0	1.00	1.03	1.05	1.12	1.20	1.29

(24) 式に示す如く ξ の値は時間の經過すると共に減少する. 從つて γ の大さを示すには振幅の減少度を以てするが最も適切である。今 $t=0$ に於ける ξ の値を d_0, $t=\frac{n}{2}T_0$ に於ける ξ の値を d_n とすれば d_0, d_n は次に示す如し.

$$d_0=AJ_0\left(2.4048\frac{z}{H}\right),\qquad d_n=(-)^nAJ_0\left(2.4048\frac{z}{H}\right)e^{-n\pi\frac{\sqrt{\gamma}}{\sqrt{1-\gamma}}}$$

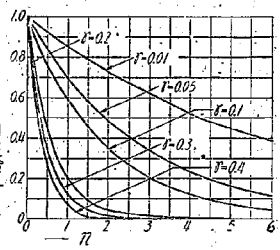
又は兩者の比を求むれば

$$d_n/d_0=(-)^ne^{-n\pi\frac{\sqrt{\gamma}}{\sqrt{1-\gamma}}}\qquad\cdots\cdots(26)$$

(26) 式に示す如く d_n/d_0 は n 及 γ のみの函數として示さる．今 $\gamma=0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ の場合に對し d_n/d_0 の絶對値を求むれば第8表及第5圖に示す如し．

第8表　d_n/d_0 の値

γ \ n	0	1	2	3	4	5	6
0.01	1	0.854	0.729	0.623	0.522	0.454	0.388
0.05	1	0.698	0.487	0.339	0.237	0.165	0.115
0.1	1	0.592	0.351	0.208	0.123	0.073	0.041
0.2	1	0.208	0.043	0.019	0.002	0.000	0.000
0.3	1	0.128	0.016	0.002	0.000	0.000	0.000
0.4	1	0.077	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000



第 5 圖
內部摩擦抵抗と振幅の減衰

第8表より γ と振幅の減少との間の關係を知る事を得る，即ち一週期後に於て $\gamma=0.01$ の時の振幅は最初の振幅の 0.73 倍なるが，$\gamma=0.05$ の場合は 0.49 倍，$\gamma=0.2$ に於ては 0.04 倍，$\gamma=0.4$ に至つては 1/100 以下に減少し，γ の增加すると共に振幅の減少度は著しく增大する．然るに第7表に示す如く殆んど實在し得ない程內部摩擦抵抗の大なる $\gamma=0.4$ の場合に於ても自由振動週期の增加は約 30% に過ぎず，$\gamma=0.1$ の場合は僅に 5% にして無視し得る程度である．

(2)　G 及 η が深さに比例する場合　$G=G_0z$, $\eta=\eta_0z$　(3)$_2$ 式に $\xi=f_2(z)e^{i\beta t}$ と置き (10) 式に示す限界條件を充す時は第一次の振動に相當する ξ 及 T_0 は次式に示す如し．

$$\left.\begin{aligned}\xi&=e^{-\frac{\eta_0}{2\rho H}3.6704t}\frac{A}{2\sqrt{z}}J_1\left(3.8317\sqrt{\frac{z}{H}}\right)e^{i\frac{3.8317}{2}\sqrt{\frac{G_0}{\rho H}\sqrt{1-\gamma'}}t}\\ T_0&=2.46\sqrt{\frac{G_0}{\rho H}}\frac{1}{\sqrt{1-\gamma'}},\qquad \gamma'=\frac{\eta_0{}^2}{4\rho G_0H}\left(\frac{3.8317}{2}\right)^2\end{aligned}\right\}\qquad\cdots\cdots(27)$$

從つて T_0 の値は內部摩擦抵抗の存在せざる場合より大にして，兩者の比は (1) と同樣に $1/\sqrt{1-\gamma'}$ にして第7表に於て γ の代りに γ' と置けば同樣に示し得る．又 γ' の大さの概念を得る爲に $t=0$ に於て d_0 なる振幅を有する振動が $\frac{n}{2}T_0$ 後に於ける振幅を d_n とすれば (27) 式より

$$d_n=(-)^nd_0e^{-n\pi\frac{\sqrt{\gamma'}}{\sqrt{1-\gamma'}}}$$

にて示され (26) 式に γ の代りに γ' と置けるものと全く同樣にして，第8表及第5圖は γ の代りに γ' を用ふれば (2) の場合にも亦適用し得る．

〔8〕 土堰堤の自由振動週期

〔3〕より〔7〕迄の結果を綜合するに土堰堤の自由振動週期を算定するに當り多少の誤差を許すならば，その橫斷面は二等邊三角形と假定し，算定に使用する單位體積の質量及剛性係數の値として全高

に亙る平均値を用ひて差し支へなく，又普通の土堰堤に於ては被頭，剛性係數及含水量の深さによる變化及內部摩擦抵抗の自由振動週期に及ぼす影響等の無視し得る事を知つた．

土堰堤の自由振動週期を算定するにはそれを構成する材料の單位體積の質量及剛性係數を知る必要がある．是等の値は材料の種類により異なるは元より，同一材料にても含水量の多少，空隙率，生成の方法の如何によりその値を異にする．而して單位體積の質量は赤土，粘土及砂等にありては餘り著しき差異はなく大體 1.5×10^{-3}～2.0×10^{-3} (kg, cm) の範圍に變化する，之に反して剛性係數は上記の諸原因に影響さるること著しく同一材料に於ても非常なる差異がある．

實在の土堰堤を構成する材料が如何なる力學的性質を有するかは緒言に述べたる如く明でなく，又その性質は靜荷重を受けたる場合と動荷重の作用による場合とは異なる譯である．然し是等に關する實驗資料は未だ餘り發表されてゐない．從つて土堰堤の剛性係數が大體どの程度の大さを有するかを知る爲に，それを構成する材料なる粘土及赤土の剛性係數を第9表に示す．

第9表 剛性係數の値

	含水量	空隙率	剛性係數(kg/cm²)
1. 粘土	26.9%	0.792	57～38
	23.2%	0.681	155～97
	14.6%	0.490	1880～1730
	3.0%	0.480	3650～3050
2. 粘土	26%	0.741	28.3～20.9
	18.9%	0.539	157～135
	16.3%	0.465	242～225
	4.2%	0.390	2600
3. Gelber Ton	—	0.70	525～305
4. Blauer Ton	—	0.70	104～70
	—	0.70	49
5. 赤土 (垂直の方向)			69～116.2
(水平の方向)			51.5～60.2

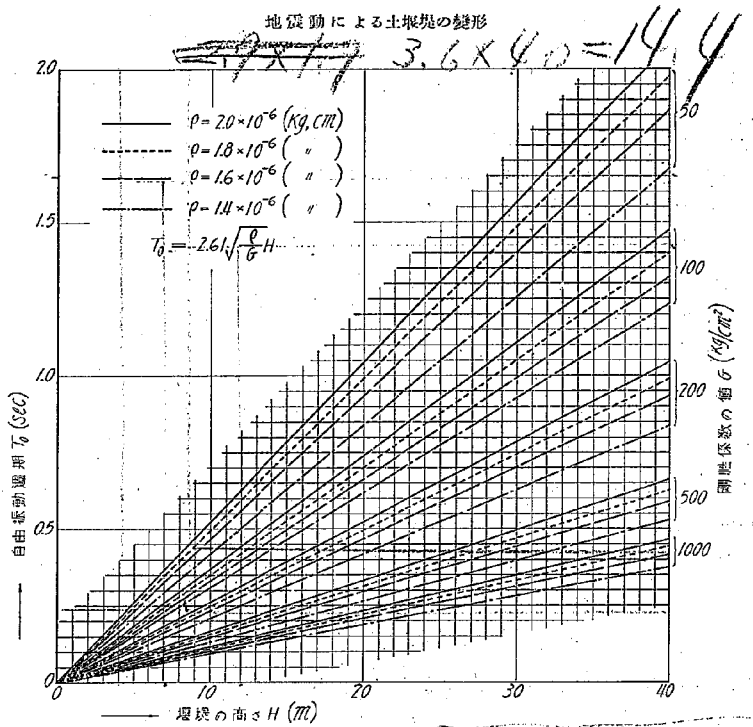
表中 1～4 迄はテルザアギ イ (Terzaghi) の著書[1]より引用せるものにして $G=\frac{E}{2}$ なる假定の下に求める値にて 5 は內務省土木試驗所[2]高田技師の實驗せる結果にて天然の儘の赤土を使用せるものにして垂直の方向とは重力の方向に載荷せる場合にて，水平方向とは水平面の方向に載荷せる場合を示す．第9表はいづれも靜荷重による實驗より得たる資料なるが G の大體の値を推定するに足る．上表に示す如く同じ粘土にありても剛性係數は著しく異なり特に含水量により影響される事が大である．一般に土堰堤に於ては防水層が存在する場合に於ても含水量は相當大なりと考へなければならない．然るに表に示す所によれば含水量の增加と共に剛性係數は著しく減少する．今第9表より推定し赤土，粘土及砂交り粘土等よりなる土堰堤は 1000kg/cm² 以下の剛性係數を有すと考へなければならない．

G の値が 50kg/cm² より 1000kg/cm²，ρ の値が 2×10^{-6}kg/cm³，1.8×10^{-6}kg/cm³，1.6×10^{-6}kg/cm³，1.4×10^{-6}kg/cm³ なる場合の T_0 と H との關係を (11) 式より求め第6圖に示す．

第6圖より高さ大なる土堰堤は地震動に共鳴し得る危險のある事を知る．

1) Karl Terzaghi; "Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Gundlage" 1925

2) 土木試驗所報告 第 20 號 昭和六年六月



第 6 圖

G が深さに無關係なる場合の自由振動週期

IV 地震動による土堰堤の變形

〔9〕 標準形の强制振動

土堰堤の强制振動を計算するに先立ち，地震動に對して假定を爲す必要がある．地震記象の示す所によれば一般の地震動は種々なる週期を有する振動の重なり合へるものであり，振幅も加速度も規則正しき形狀を具へてゐない．然し工學上は實際の地震動をその儘使用することは不可能なるを以て，本文に於ては一般の耐震計算と同樣に一樣なる振動週期の震動を地震動とし，かかる理想的の地震動の作用したる時の定常狀態（stationary state）に於ける土堰堤の變形を計算せんとす．構造物に地震動が作用したる時生ずる變形の大さは定常狀態に於て必ずしも最大でなく，靜止狀態にかかる地震動が急激に作用したる場合の變形の大さをも求める必要があるが，土堰堤の底部と頭部の變形の大さの比の大體の傾向を求め，共鳴時に於ける變形と內部摩擦抵抗との關係を知るが目的なるを以て計算を定常狀態に止めた．

先づ標準形の土堰堤に就て內部摩擦抵抗の存在せざる場合上記の假定による $d\cos pt$ にて示さるる地震動の作用を受けたる時の土堰堤の各高さに於ける變形の大さを求める．〔8〕に示す如く高さ大な

る土堰堤は大地震と共鳴する危險があるを以てかかる場合は内部摩擦抵抗の影響を考慮する必要があるが，之の計算は〔11〕に示す如く極めて複雜にして數値計算を行ふには多大の時間を要するを以て總ての場合に就て計算する事は不可能である．然るに共鳴せざる場合の變形は内部摩擦抵抗を考慮する場合に於ては共鳴時に於ける最大の變形と内部摩擦抵抗の存在せざる場合の變形とより推定し得るを以て内部摩擦抵抗の存在せざる場合の計算も亦必要である．

（1）　剛性係數が深さに無關係なる場合　　土堰堤の中立軸の變位 ξ を次の如く示す．

$$\xi=f_1(z)\cos pt$$

上式を (4)$_1$ 式に代入すれば $f_1(z)$ の滿足すべき微分方程式は次の如く得らる．

$$\frac{d^2f_1}{dz^2}+\frac{1}{z}\frac{df_1}{dz}+\frac{\rho}{G}p^2f_1=0$$

上記の微分方程式より $f_1(z)$ は次の如し．

$$f_1(z)=AJ_0\left(\frac{p}{a}z\right)+BY_0\left(\frac{p}{a}z\right),\qquad a=\sqrt{G/\rho}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(28)$$

(28) 式の A, B は積分常數にして限界條件より定めらる．(28) 式に於て z が零なる時 $Y_0\left(\frac{p}{a}z\right)$ は無限大となる從つて土堰堤の頂部の變形は有限なるを以て $B=0$ なるを要す．

土堰堤は基礎地盤に固定するを以て，その底部は地震動と同一の運動を行ひ且つ頭部卽ち $z=0$ に於ては外力の作用なきを以て限界條件は次の如く示さる．

$$\frac{df_1}{dz}=0\quad\text{at}\quad z=0,\qquad f_1=d\quad\text{at}\quad z=H\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(29)$$

(28) 式を (29) 式に代入し A を求め (28) 式に代入すれば $f_1(z)$ は次の如し．

$$f_1(z)=\frac{d}{J_0\left(\frac{p}{a}H\right)}J_0\left(\frac{p}{a}z\right)\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(30)$$

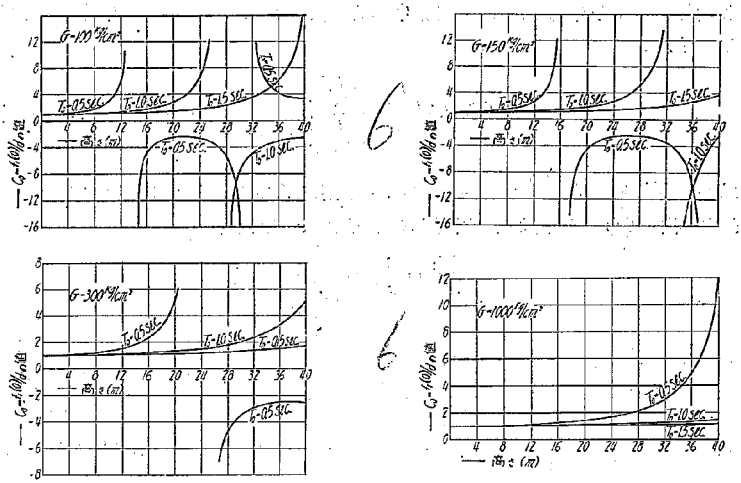
(30) 式より各點に於ける變位を求め得る．

p が (30) 式の分母卽ち $J_0\left(\frac{p}{a}H\right)$ が 0 なる如き値となる場合が所謂共鳴時にして $f_1(z)$ は無限大となる．今頭部に於ける最大變位 $f(0)$ と地震動の振幅 d との比を c_0 とすれば $J_0(0)=1$ なるを以て c_0 は

$$c_0=\frac{f(0)}{d}=\frac{1}{J_0\left(\frac{p}{a}H\right)}$$

にして常に 1 より大である，卽ち土堰堤の頭部の變位は底部より大である，換言すれば土堰堤の頭部には底部より大なる加速度の作用するを知る．p（地震動の振動數），$a=\sqrt{G/\rho}$，H（土堰堤の高さ）により c_0 の値が如何なる變化を爲すかを知る爲に，地震動の週期を 0.5, 1.0 及 1.5 sec, $G=100\sim5000$ kg/cm^2 及 $\rho=2\times10^{-3}$ kg/cm^2 に相當する c_0 の値を求め第 7 圖に示す．

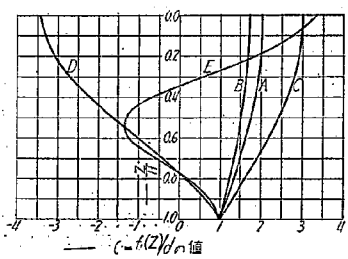
第 7 圖に於て c_0 の甚號の變化する個所は地震動に共鳴する土堰堤の高さにして，その附近に於ては内部摩擦抵抗が重大なる影響を及ぼすを以て實際の c_0 の値は第 7 圖に示すものより小となる．然し共鳴時の高さより可成り異なれる高さの土堰堤に於ても頭部の變位が底部に比し 2～3 倍となり得る事は圖より容易に認め得る．且つ c_0 の値は G の小なる程大となる．



第　7　圖
強制振動による頭部の變位
(剛性係數深さに無關係の場合)

各高さに於ける變形を求める爲に次の五つの場合に就て $c=f_1(z)/d$ の値を求めて第8圖に示す.

A…… $G=300\ \mathrm{kg/cm^2}$		$T=1\ \mathrm{sec}$	$H=30\ \mathrm{m}$
B……	$=300$	$=1.5$	$=40$
C……	$=150$	$=1.0$	$=25$
D……	$=100$	$=1.0$	$=35$
E……	$=100$	$=0.5$	$=40$



第　8　圖
中立軸の變形曲線
(G が深さに無關係の場合)

圖に於て A, B, C は何れも土堰堤の自由振動週期が地震動より小なる場合にて, D, E は何れも振動週期が地震動より大なる場合に相當する.

(2) 剛性係數が深さに比例する場合　(1) と同樣に

$$\xi=f_2(z)\cos pt$$

と置き (4)$_2$ 式に代入すれば $f_2(z)$ の滿足すべき微分方程式は次の如し.

$$\frac{d^2f_2}{dz^2}+\frac{2}{z}\frac{df_2}{dz}+\frac{1}{z}\frac{\rho}{G_0}p^2f_2=0$$

$f_2(z)$ は次の如く示さる.

$$f_2(z)=\frac{c}{2p\sqrt{z}}\left\{AJ_1\left(2\frac{p}{c}\sqrt{z}\right)+BY_1\left(2\frac{p}{c}\sqrt{z}\right)\right\},\qquad c=\sqrt{\frac{G_0}{\rho}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(31)$$

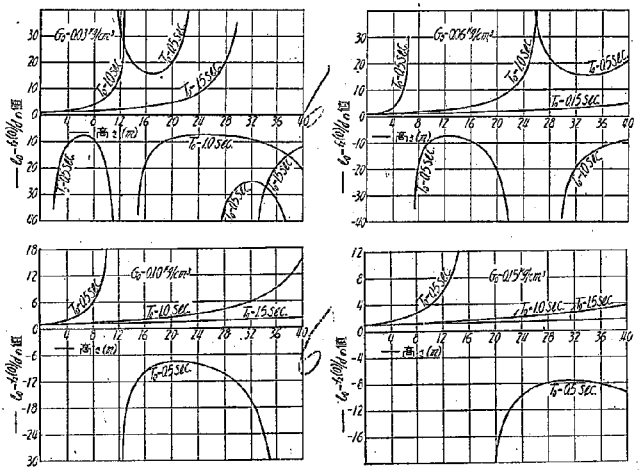
(31) 式の A, B は積分常數にして標準形の土堰堤に於ては (1) の場合と同樣に頭部卽ち $z=0$ に於て $f_2(z)$ は有限なるを要するを以て $B=0$ なるを要す. 他の常數 A は (29) 式と同樣の限界

條件により定めらる．今(31)式のf_2の値を(29)式のf_1に代入しAを求め(31)式に代入すれば$f_2(z)$は次の如し．

$$f_2(z)=d\sqrt{\frac{H}{z}}\frac{J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{z}\right)}{J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\right)} \quad \cdots\cdots(32)$$

地震動の振動数pが$J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\right)=0$なる時が所謂共鳴時にして$f_2(z)$は無限大となる．頭部に於ける最大變位$f_2(0)$と地震動の最大振幅$d$との比を$e_0$とすれば

$$e_0=\frac{f_2(0)}{d}=\frac{p}{c}\sqrt{H}\frac{1}{J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\right)}$$



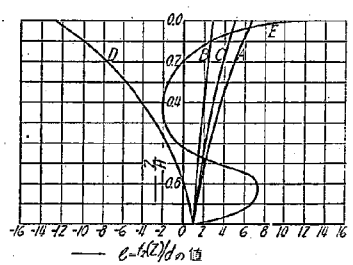
第　9　圖
強制振動による頭部の變形
(剛性係數が深さに比例する場合)

となりて常に1より大となるを以て(1)と同様に頭部には大なる加速度の作用するを知る．p, $c=\sqrt{\frac{G_0}{\rho}}$, Hによりe_0の値が如何に變化するかを知る爲に，第7圖と同様に地震動の週期を0.5, 1.0及1.5 sec, G_0=0.03～1.5 kg/cm³及$\rho=2\times10^{-6}$ kg/cm³に相當するe_0の値を求め第9圖に示す．

第9圖よりe_0に就てもc_0と同樣の事柄が述られ，共鳴時の高さより可成り異なれる高さの土堰堤に於ても頭部の變形が底部に比し2～3倍となり得ることを知る．

各高さに於ける變形を知る爲に次の五つの場合に就て$e=f_2(z)/\delta$の値を求め第10圖に示す．

A……	G_0=0.06 kg/cm³	T=1.0 sec	H=20 m
B……	=0.06	=1.5	=30
C……	=0.1	=1.0	=30
D……	=0.06	=1.0	=35
E……	=0.06	=0.5	=35



第　10　圖
中立軸の變形曲線
(剛性係數が深さに比例する場合)

圖に於てA, B, Cは土堰堤の自由振動週期が地震動

の週期より小なる場合，D, E は大なる場合に相當する．

〔10〕 **截頭の影響**

實在の土堰堤は頭部が多少截頭され標準形と異なり一般に同一地震動を受ける場合標準形のものに比して頭部の變形は減少するを以て，本節に於てはその減少の程度を算定せんとす．

此の影響を算定する爲に截頭されし土堰堤と同一の底幅及法面を有する標準形の土堰堤の截頭せるもの＞頭部の高さと等しき點の變位と頭部の變位との比を求めた．比較するに當り標準形の土堰堤が共鳴する週期に近い週期を有する地震動をとるときは，截頭されし爲に生ずる自由振動週期の變化に依り變位の大さに著しき影響が生ずるを以て計算はその附近以外の點に於て行つた．

（1） **剛性係數が深さに無關係の場合**　土堰堤の變位 ξ を

$$\xi=f_1(z)\cos pt$$

にて示す時は $f_1(z)$ の値は（28）式に示さる．此の場合頭部に外力の作用なく，又土堰堤の底部は基礎地盤に固定し地震動と同一の運動を行ふを以て限界條件は次の如し．

$$\frac{df_1}{dz}=0 \quad \text{at} \quad z=H_0, \qquad f_1=d \quad \text{at} \quad z=H \cdots\cdots(33)$$

（28）式を（33）式に代入し，常數 A, B を求むれば $f_1(z)$ は次の如く求めらる．

$$f_1(z)=d\frac{Y_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)J_0\left(\frac{p}{a}z\right)-J_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)Y_0\left(\frac{p}{a}z\right)}{Y_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)J_0\left(\frac{p}{a}H\right)-J_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)Y_0\left(\frac{p}{a}H\right)} \cdots\cdots(34)$$

（34）式より各點の變位が得らる．

今 $z=H_0=\alpha H$ なる頭部の變位を求むるに

$$f_1(\alpha H)=d\frac{Y_1\left(\frac{p}{a}\alpha H\right)J_0\left(\frac{p}{a}\alpha H\right)-J_1\left(\frac{p}{a}\alpha H\right)Y_0\left(\frac{p}{a}\alpha H\right)}{Y_1\left(\frac{p}{a}\alpha H\right)J_0\left(\frac{p}{a}H\right)-J_1\left(\frac{p}{a}\alpha H\right)Y_0\left(\frac{p}{a}H\right)}$$

然るに

$$-J_0(x)Y_1(x)+Y_0(x)J_1(x)=\frac{2}{\pi x} \quad \text{なる關係式を用ひて}$$

$$f_1(\alpha H)=\frac{2a}{\pi p\alpha H}\frac{d}{Y_0\left(\frac{p}{a}H\right)J_1\left(\frac{p}{a}\alpha H\right)-Y_1\left(\frac{p}{a}\alpha H\right)J_0\left(\frac{p}{a}H\right)}$$

又は $f_1(\alpha H)$ は次の如く示さる．

$$f_1(\alpha H)=\frac{2}{\pi}\frac{1}{\alpha x}\frac{d}{Y_0(x)J_1(\alpha x)-Y_1(\alpha x)J_0(x)}, \qquad x=\sqrt{\frac{\rho}{G}}pH \cdots\cdots(35)_1$$

標準形の土堰堤の $z=\alpha H$ に於ける變位を $f_1'(\alpha H)$ とすれば（30）式より

$$f_1'(\alpha H)=d\frac{J_0\left(\frac{p}{a}\alpha H\right)}{J_0\left(\frac{p}{a}H\right)}$$

又は

$$f_1'(aH)=d\frac{J_0(ax)}{J_0(x)} \qquad x=\sqrt{\frac{\rho}{G}}pH \quad \cdots\cdots(35)_2$$

今 $f_1(aH)$ 及 $f_1'(aH)$ の比を S_1 にて示す時 $(35)_1$ 及 $(35)_2$ 式より

$$S_1=\frac{f_1(aH)}{f_1'(aH)}=\frac{2}{\pi}\frac{1}{ax}\frac{1}{J_0(ax)}\frac{J_0(x)}{J_1(ax)Y_0(x)-Y_1(ax)J_0(x)} \quad \cdots\cdots(36)$$

但し　　$x=\sqrt{\frac{\rho}{G}}pH$

の如く示さる.

(36) 式より S_1 を計算すれば被頭の影響を求め得る. 前節の自由振動週期を求むるに當り $x=2.4049$ なる場合標準形の土堰堤は地震動と共鳴するを以て本節に於ては $x=1$, 及 2 の場合に就き $a=0.1, 0.2, 0.3$ に相當する S_1 の値を求め第 10 表に示す.

第 10 表　S_1 の 値

x \ a	0.1	0.2	0.3
1	0.985	0.963	0.939
2	0.939	0.838	0.752

第 10 表より S_1 の變化の大體の傾向を求め得る.

(2) 剛性係數が深さに比例する場合　(1) と同樣に

$$\xi=f_2(z)\cos pt$$

と置けば, $f_2(z)$ は (31) 式に示さる. 限界條件は (33) 式と全く同樣にして f_1 の代りに f_2 と置けるものに等しく, (31) 式を (33) 式に代入し A, B を求むれば $f_2(z)$ は次の如し.

$$f_2(z)=d\sqrt{\frac{H}{z}}$$
$$\frac{c}{p\sqrt{H_0}}\left\{Y_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H_0}\right)J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{z}\right)-J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H_0}\right)Y_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{z}\right)\right\}$$
$$+\left\{J_0\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H_0}\right)Y_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{z}\right)-Y_0\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H_0}\right)J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{z}\right)\right\}$$
$$\times\frac{}{\frac{c}{p\sqrt{H_0}}\left\{J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\right)Y_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H_0}\right)-Y_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\right)J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H_0}\right)\right\}}$$
$$+\left\{Y_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\right)J_0\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H_0}\right)-J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\,Y_0\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H_0}\right)\right)\right\} \quad \cdots(37)$$

土堰堤の頭部卽ち $z=H_0=\beta^2H$ なる點の變位 $f_2(H_0)$ を求めるに

$$-J_0(x)Y_1(x)+Y_0(x)J_1(x)=\frac{2}{\pi x}$$ なる關係式を用ふれば

$$f_2(\beta^2H)=-d\frac{2}{\pi}\frac{c}{2p}\frac{1}{\beta\sqrt{H}}\frac{1}{\beta}$$
$$\times\frac{1}{\frac{c}{p\beta\sqrt{H}}\left\{J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\right)Y_1\left(\frac{2p}{c}\beta\sqrt{H}\right)-Y_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\right)J_1\left(\frac{2p}{c}\beta\sqrt{H}\right)\right\}}$$
$$+\left\{Y_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\right)J_0\left(\frac{2p}{c}\beta\sqrt{H}\right)-J_1\left(\frac{2p}{c}\sqrt{H}\right)Y_0\left(\frac{2p}{c}\beta\sqrt{H}\right)\right\}$$

又は

$$f_2(\beta^2H)=-\frac{d\frac{2}{\pi}\frac{1}{\beta x}\frac{1}{\beta}}{\frac{1}{2\beta x}\{J_1(x)Y_1(\beta x)-Y_1(x)J_1(\beta x)\}+\{Y_1(x)J_0(\beta x)-J_1(x)Y_0(\beta x)\}} \quad \cdots\cdots(38)_1$$

但し　$$x=\frac{2p}{c}\sqrt{H}$$

標準形の土堰堤の $z=H_0=\beta^2H$ に於ける變位を $f_2'(\beta^2H)$ とすれば (32) 式より

$$f_2'(\beta^2H)=\frac{d}{\beta}\frac{J_1(\beta x)}{J_1(x)} \quad \cdots\cdots(38)_2$$

但し　$$x=\frac{2p}{c}\sqrt{H}$$

從つて兩者の比 S_2 は $(38)_1$ 式及 $(38)_2$ 式より

$$S_2=\frac{f_2(\beta^2H)}{f_2'(\beta^2H)}=\frac{2}{\pi}\frac{1}{\beta x}\frac{J_1(x)}{J_1(\beta x)} \times\frac{1}{\frac{1}{2\beta x}\{Y_1(x)J_1(\beta x)-J_1(x)Y_1(\beta x)\}+\{J_1(x)Y_0(\beta x)-Y_1(x)J_0(\beta x)\}} \quad \cdots\cdots(39)$$

但し　$$x=2\sqrt{\frac{\rho}{G_0}}p\sqrt{H}$$

標準形の土堰堤に於ては $x=3.83$ なる時共鳴するを以てそれより小なる $x=1, 2, 3$ の場合に就き $\beta=0.3, 0.4, 0.5$ 卽ち $H_0/H=0.09, 0.16, 0.25$ に相當する S_2 の値を求めて第 11 表に示す.

第 11 表　S_2 の 値

x \ β	0.3	0.4	0.5
1	0.989	0.982	0.976
2	0.953	0.920	0.751
3	0.855	0.751	0.658

上表より S_2 の變化の大體の傾向を求め得る. 第 10 表及第 11 表の S_1, S_2 の値の變化を見るに α 又は β の增加する程, x が共鳴時の値に近づく程小となる. x が共鳴時に近づく時 α 又は β の値大なる場合 S_1, S_2 が 1 に比して可成り小なるは被頭により自由振動週期の變化したる爲に生じたるものにして, それ等の點を除く時は大體 S_1, S_2 の値は 0.9 より大なりとして差し支へない, 從つて被頭せる土堰堤の頭部の變位は共鳴時に近き場合を除きては標準形のその高さに相當する點の變位を以て代表せしめる事が出來, その際生ずる誤差は大體 10% 以內に止まる.

〔11〕 **內部摩擦抵抗の强制振動に及ぼす影響**

〔8〕 に述べた如く高さ大なる土堰堤は大地震と共鳴する危險あるを以て, 共鳴時に於ける變位の値を求める必要がある. 然るに〔10〕に述べたる如く內部摩擦抵抗を無視する時は定常狀態に於ては變位は無限大となるを以て內部摩擦抵抗の影響を考慮する必要がある. 此の場合に於ける計算は可成り面倒なるを以て標準形の土堰堤に就てのみ行つた. 然し被頭の影響等は內部摩擦抵抗の存在せざる場合の計算より容易に推定し得る.

（1） **G, η が深さに無關係の場合**　變位 ξ を

$$\xi=f_1(z)e^{ipt}+f_2(z)e^{-ipt}$$

と置き $(3)_1$ 式に代入すれば $f_1(z)$, $f_2(z)$ の滿足すべき微分方程式は次の如く得らる.

$$\frac{d}{dz}\left(z\frac{df_1}{dz}\right)+\frac{\rho p^2}{G}\left(1+i\frac{p\eta}{G}\right)^{-1}zf_1=0$$

$$\frac{d}{dz}\left(z\frac{df_2}{dz}\right)+\frac{\rho p^2}{G}\left(1-i\frac{p\eta}{G}\right)^{-1}zf_2=0$$

微分方程式を解けば $f_1(z)$, $f_2(z)$ は次の如く示さる.

$$f_1(z)=AJ_0\left\{\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G}}}{\sqrt{1+ip\frac{\eta}{G}}}z\right\}+A_2Y_0\left\{\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G}}}{\sqrt{1+ip\frac{\eta}{G}}}z\right\}$$

$$f_2(z)=BJ_0\left\{\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G}}}{\sqrt{1-ip\frac{\eta}{G}}}z\right\}+B_2Y_0\left\{\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G}}}{\sqrt{1-ip\frac{\eta}{G}}}z\right\}$$

然るに前節に述べたる如く頭部即ち $z=0$ に於て ξ は有限なるを要するを以て常数 A_2 及 B_2 は零となる．從つて標準形の場合は

$$f_1(z)=AJ_0\left\{\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G}}}{\sqrt{1+ip\frac{\eta}{G}}}z\right\},\qquad f_2(z)=BJ_0\left\{\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G}}}{\sqrt{1-ip\frac{\eta}{G}}}z\right\}$$

にして ξ は次の如く示さる．

$$\xi=AJ_0\left\{\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G}}}{\sqrt{1+ip\frac{\eta}{G}}}z\right\}e^{ipt}+BJ_0\left\{\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G}}}{\sqrt{1-ip\frac{\eta}{G}}}z\right\}e^{-ipt}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(40)$$

頭部には外力の作用なく，底部は基礎地盤に固定され地震動 $d\cos pt$ と同一の運動を行ふを以て限界條件は次の如く示さる．

$$\frac{\partial\xi}{\partial z}=0\quad\text{at}\quad z=0,\qquad \xi=d\cos pt\quad\text{at}\quad z=H\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(41)$$

(40) 式を (41) 式に代入し常数 A, B を求むれば次の如し．

$$\left.\begin{aligned}A&=\frac{d}{2}\frac{v_1(H)-iv_2(H)}{v_1^2(H)+v_2^2(H)},\qquad B=\frac{d}{2}\frac{v_1(H)+iv_2(H)}{v_1^2(H)+v_2^2(H)}\\ \text{但し}\\ v_1(x)&=J_0(\alpha x)J_0(i\beta x)+2\sum_{s=1}^{\infty}J_{2s}(\alpha x)J_{2s}(i\beta x)\\ v_2(x)&=-2\sum_{s=0}^{\infty}J_{2s+1}(\alpha x)iJ_{2s+1}(i\beta x)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(42)$$

α, β は次式に示す如し．

$$\left.\begin{aligned}\alpha&=\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G}}}{\sqrt{1+\left(\frac{\eta p}{G}\right)^2}}\left\{\sqrt{1+p^2\left(\frac{\eta}{G}\right)^2}+1\right\}^{\frac{1}{2}}\\ \beta&=\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G}}}{\sqrt{1+\left(\frac{\eta p}{G}\right)^2}}\left\{\sqrt{1+p^2\left(\frac{\eta}{G}\right)^2}-1\right\}^{\frac{1}{2}}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(43)$$

(42) 式に與へらるゝ A, B を(40) 式に代入すれば ξ は次の如く示さる．

$$\xi=d\left[\frac{v_1(H)v_1(z)+v_2(H)v_2(z)}{v_1^2(H)+v_2^2(H)}\cos pt+\frac{v_2(H)v_1(z)-v_1(H)v_2(z)}{v_1^2(H)+v_2^2(H)}\sin pt\right]$$

又は

$$\xi = d\sqrt{\frac{v_1^2(z)+v_2^2(z)}{v_1^2(H)+v_2^2(H)}}\cos(pt+\varepsilon) \quad \cdots\cdots(44)$$

(44) 式より土堰堤の各高さに於ける變位を求める事が出來る．然し (42) 式に示す如く $v_1(x)$, $v_2(x)$ は何れもベッセル函數の複雜なる級數なるを以て數計算を行ふ場合可成りの手數を要する．而して先に述べた如く內部摩擦抵抗の影響を考慮したるは土堰堤が地震動と共鳴する場合の變位を求むる爲にして，共鳴せざる場合の變位は共鳴時に比して一般に小であり，又〔8〕の計算より推定し得る，且つ工學上の目的には土堰堤に生じ得る最大の變位を求むれば足るを以て本文の數計算は共鳴時に於ける ξ の値を求めるに止めた．

G, ρ, η, H が既知なる時それに共鳴する地震動の振動數 p は (24) 式より

$$p = \frac{2.405}{H}\sqrt{\frac{G}{\rho}}\sqrt{1-\frac{\eta}{G}\frac{\eta}{\rho}\frac{5.783}{4H^2}} \quad \cdots\cdots(45)$$

(43) 式に與へらるる α, β 中に (45) 式に示す p を代入すれば

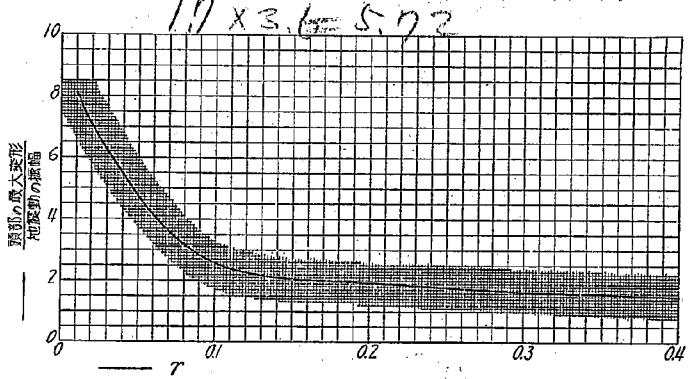
$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \frac{2.405}{\sqrt{2}H}\sqrt{1-\gamma}\left\{\frac{\sqrt{1+4\gamma(1-\gamma)}+1}{1+4\gamma(1-\gamma)}\right\}^{\frac{1}{2}} \\ \beta &= \frac{2.405}{\sqrt{2}H}\sqrt{1-\gamma}\left\{\frac{\sqrt{1+4\gamma(1-\gamma)}-1}{1+4\gamma(1-\gamma)}\right\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned}\right\}, \qquad \gamma = \frac{\eta}{G}\frac{\eta}{\rho}\frac{5.783}{4H^2} \quad \cdots\cdots(46)$$

(46) 式に示す γ は (25) 式に示す γ と同一にして γ の大さの概念は第 5 圖に示す自由振動の減衰の程度より求めらる．

頭部に於ける變位は (44) 式より

$$(\xi)_{z=0} = \frac{1}{\sqrt{v_1^2(H)+v_2(H)}}\cos(pt+\varepsilon)$$

從つて頭部に於ける變位の最大値と地震動の振幅 d との比は $1/\sqrt{v_1^2(H)+v_2^2(H)}$ にて示され，$\gamma=0.01,\ 0.05,\ 0.1,\ 0.2,\ 0.3,\ 0.4$ に相當する値を計算し第 12 表，第 11 圖に示す．



第　11　圖

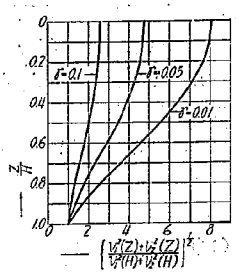
共鳴時の頭部の最大變形

(G, η 深さに無關係の場合)

内部摩擦抵抗の存在する場合土堰堤の各高さに於ける變位を求める爲に $\gamma=0.01,\ 0.05,\ 0.1$ の 3 場合に就て各高さの最大の變位と地震動の振幅との比 $\left\{\frac{v_1^2(z)+v_2^2(z)}{v_1^2(H)+v_2^2(H)}\right\}^{\frac{1}{2}}$ の値を第 12 圖に示す.

第 12 表　頭部の最大變位／地震動の振幅

γ	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
	8.08	4.76	2.55	1.93	1.67	1.51



第 12 圖
共鳴時の各高さの最大變形
(G, η 高さに無關係の場合)

(2) G, η が深さに比例する場合　(1) と同様に

$$\xi=g_1(x)e^{ipt}+g_2(z)e^{-ipt}$$

と置き $(3)_2$ 式に代入すれば

$$\frac{d}{dz}\left(z^2\frac{dg_1}{dz}\right)+\frac{\rho p^2}{G_0}\left(1+i\frac{p\eta_0}{G_0}\right)^{-1}zg_1=0$$

$$\frac{d}{dz}\left(z^2\frac{dg_2}{dz}\right)+\frac{\rho p^2}{G_0}\left(1-i\frac{p\eta_0}{G_0}\right)^{-1}zg_2=0$$

是等の微分方程式より $g_1(z)$, $g_2(z)$ を求め, ξ が頭部にて有限なる條件より ξ は次の如く示さる.

$$\xi=\frac{A}{\sqrt{z}}J_1\left\{2\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G_0}}}{\sqrt{1+i\frac{p\eta_0}{G_0}}}\sqrt{z}\right\}e^{ipt}+\frac{B}{\sqrt{z}}J_1\left\{2\frac{\sqrt{\frac{\rho p^2}{G_0}}}{\sqrt{1-i\frac{p\eta_0}{G_0}}}\sqrt{z}\right\}e^{-ipt}$$

ξ の値を限界條件の (41) 式に代入し, 常數 A, B を求むれば

$$\xi=d\sqrt{\frac{H}{z}}\left\{\frac{v_1(z)v_1(H)+v_2(z)v_2(H)}{v_1^2(H)+v_2^2(H)}\cos pt+\frac{v_1(z)v_2(H)-v_2(z)v_1(H)}{v_1^2(H)+v_2^2(H)}\sin pt\right\}$$

又は

$$\left.\begin{aligned}\xi&=d\sqrt{\frac{H}{z}}\sqrt{\frac{v_1^2(z)+v_2^2(z)}{v_1^2(H)+v_2^2(H)}}\cos(pt+\varepsilon)\\ \text{但し}\\ v_1(z)&=\sum_{S=0}^{\infty}J_{2s+1}(\alpha'\sqrt{z})\{J_{2s}(i\beta'\sqrt{z})-J_{2s+2}(i\beta'\sqrt{z})\}\\ v_2(z)&=\sum_{S=0}^{\infty}iJ_{2s+1}(i\beta'\sqrt{z})\{J_{2s}(\alpha'\sqrt{z})-J_{2s+2}(\alpha'\sqrt{z})\}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(47)$$

(47) 式に於ける α', β' は次式に示す.

$$\left.\begin{aligned}\alpha'&=\frac{\sqrt{2}\sqrt{\frac{\rho p^2}{G_0}}}{\sqrt{1+\left(\frac{\eta_0 p}{G_0}\right)^2}}\left\{\sqrt{1+\left(\frac{p\eta_0}{G_0}\right)^2}+1\right\}^{\frac{1}{2}}\\ \beta'&=\frac{\sqrt{2}\sqrt{\frac{\rho p^2}{G_0}}}{\sqrt{1+\left(\frac{\eta_0 p}{G_0}\right)^2}}\left\{\sqrt{1+\left(\frac{p\eta_0}{G_0}\right)^2}-1\right\}^{\frac{1}{2}}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(48)$$

(1) と同様の理由により共鳴時に於ける變位のみを求むるに, 共鳴する地震動の振動數 p は (27) 式より

$$p=\frac{3.8317}{\sqrt{H}}\sqrt{\frac{G_0}{\rho}}\sqrt{1-\frac{\eta^2}{4\rho HG_0}\left(\frac{3.8317}{2}\right)^2} \quad \cdots\cdots(49)$$

(48) 式の α', β' に (49) 式の p を代入すれば

$$\alpha'=\frac{3.8317}{\sqrt{2}}\frac{1}{\sqrt{H}}\sqrt{1-\gamma'}\left\{\frac{\sqrt{1+4\gamma'(1-\gamma')}+1}{1+4\gamma'(1-\gamma')}\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\beta'=\frac{3.8317}{\sqrt{2}}\frac{1}{\sqrt{H}}\sqrt{1-\gamma'}\left\{\frac{\sqrt{1+4\gamma'(1-\gamma')}-1}{1+4\gamma'(1-\gamma')}\right\}^{\frac{1}{2}}$$

但し

$$\gamma'=\frac{\eta_0^2}{4\rho G_0 H}\left(\frac{3.8317}{2}\right)^2$$

にしてその大さの概念は γ と同様に第5圖に示す自由振動の減衰の程度より求めらる.

頭部に於ける變位は (47) 式より

$$(\xi)_{z=0}=\frac{3.8317}{2}\frac{\sqrt{1-\gamma'}}{\{1+4\gamma'(1-\gamma')\}^{\frac{1}{4}}}\frac{1}{\sqrt{v_1^2(H)+v_2^2(H)}}\cos(pt+\varepsilon)$$

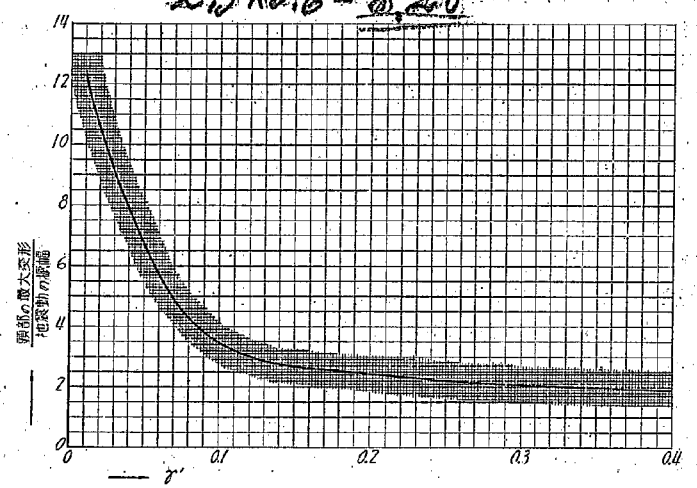
頭部に於ける最大變位と d との比を第13表, 第13圖に示す.

$\gamma'=0.01$, 0.05, 0.1 の3場合に就て各高さの最大變位と d との比を第14圖に示す.

第 13 表　$\frac{\text{頭部の最大變位}}{\text{地震動の振幅}}$

γ'	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
	12.44	6.80	3.48	2.45	2.09	1.90

2.3×3.6=8.28



第 13 圖

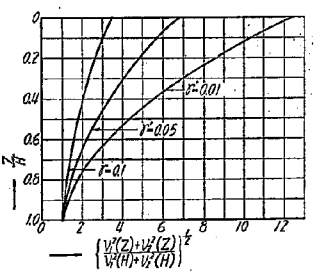
共鳴時の頭部の最大變形

(G, η が深さに比例する場合)

〔12〕 土堰堤に作用する地震力

〔9〕より〔11〕迄に於て振動週期が一様なる地震動が作用し定常狀態となりたる時の土堰堤の各高

さに於ける變位を求めた．從つてその變位曲線より土堰堤の各點に作用する加速度の大さ卽ち地震力の大さが與へられるを以て地震時に於ける土堰堤の安定度は一般の構造物の耐震計算と同樣に各地震力と等しき力が水平の方向に作用するものとして近似的に計算し得る．



第 14 圖
共鳴時の各高さの最大變形
(G, η が深さに比例する場合)

前節の諸式に示す如く變位曲線は剛性係數，內部摩擦抵抗の係數，單位體積の質量，土堰堤の高さ，被頭の大さ等によりその大さのみならず，曲線の形狀も異なるを以て各場合に就て夫々之を算出する必要がある．標準形の內部摩擦抵抗の存在せざる場合を除きては是等の値を求めるには可成り面倒なる計算を必要とする，且つ上記の諸場合は何れも理想的の場合の計算にして，實在の土堰堤にはその儘適用するは不可能であるのみならず，適用が可能なる場合に於ても式中に含まるる土の性質を示す G, η, ρ 等の値を正確に求めるは可成り困難である．本文の諸計算は土堰堤に生じ得る地震力の大さを推定する一手段たるに止まり，工學上は地震力の大さを推定し得れば足るを以て計算も近似的の値を與へ得れば充分目的に適ふ．

實際の土堰堤は總て被頭せる形狀を有するが〔10〕の計算によれば被頭せる場合の變位は標準形のものに比し常に小なるを以て，土堰堤が總て標準形と同一の形狀を有すると考ふるも安全側の誤差となり，又高さが大なるものにありては被頭の高さと全高の比が小なるを以てその差異も小となる，從つて標準形より得たる結果を實在の土堰堤に適用するも著しき誤差の生ずる虞はない．

頭部の變位は內部摩擦抵抗の存在せざる場合は (30) 式，(32) 式より，內部摩擦抵抗のある場合共鳴時の値は第 11 圖，第 13 圖より求め得るが，其れ等の諸式中に含まるる G, η, ρ の値を合理的に求むるは甚だ困難にて，一般的には實驗値より推定する以外に方法はない．前章に示せし如く剛性係數が著しく大ならざる限り高き土堰堤は地震動と共鳴する虞あり，從つてかかる場合は最も安全なる方法として土堰堤に共鳴する地震動が絕えず作用するものとすれば剛性係數，內部摩擦抵抗の係數等の大さ竝に深さによる變化狀態を知り第 11 圖及第 13 圖を用ひて起り得る最大變位を推定し得る．之に反し剛性係數大にして共鳴の危險無き時は (30) 式又は (32) 式よりその大さを求め得るが，かかる場合は一般に頭部の變位は底部に比して餘り大でなく全高に亙り一樣なる地震力が作用するものとして差し支へない．

頭部の變位と共に變位の高さによる變化を求める必要がある，是等の値は (30) 式，(32) 式，(44) 式，(47) 式に示さる．內部摩擦抵抗の影響を無視したる場合の變位曲線は G, ρ が全高に亙り常數なる時は第 8 圖に，$G=G_0z$ にて ρ が常數なる時は第 10 圖に示す．今土堰堤の自由振動週期が地震動の週期より小なる場合のそれ等の曲線（圖の A, B, C 曲線）を見るに第 8 圖及第 10 圖に示す如く前者に於ては頭部に近づく程變位の增加率は減少し，後者にありては之に反し頭部に近づく程增加する．然るに實際の土堰堤の剛性係數の最も普通なる値は先に述べし如く $G=\alpha+\beta z$ にて示され，丁度前兩者の中間の位置にある，從つて $G=\alpha+\beta z$ の場合の變位曲線も兩者の中間にあると考ふるが至當にて，第一次の近似値として變位の增加率が全高に亙り一樣なりとすれば直線を以て示し得る．

内部摩擦力の存在する場合共鳴時に於ける變位の各高さに於ける最大値を假りに變位曲線（最大値は一般に同一時刻には生ぜざるを以て眞の變位曲線ならず）とすれば，それ等の曲線は G, η が常數なる場合は第 12 圖に，$G=G_0z$, $\eta=\eta_0z$ の場合は第 14 圖に示さる．是等兩圖の曲線の形狀は内部摩擦抵抗の存在せざる場合と全く同一なるを以て此の場合も近似的に變位曲線は直線を以て示し得る．

土堰堤の頭部の最大變位を d_0 とし，地震動の振幅を d, 振動週期を T, 土堰堤の高さを H とすれば土堰堤の變位 ξ は上記の假定により次式の如く示さる．

$$\xi=\left\{d+(d_0-d)\frac{H-z}{H}\right\}\cos\frac{2\pi}{T}t$$

各點に作用する加速度の最大値 α は ξ を t に就て二度微分しその絶對値にて示さる．

$$\alpha=\left\{d+(d_0-d)\frac{H-z}{H}\right\}\frac{4\pi^2}{T^2}$$

然るに地震動の最大加速度 $\alpha_0=4\pi^2\delta/T^2$ なるを以て

$$\alpha=\alpha_0\left(1+\frac{d_0-d}{d}\frac{H-z}{H}\right) \quad \cdots\cdots(50)$$

地震動により生ずる最大加速度 α は (50) 式に示さるるを以て，一般の構造物の耐震計算と同樣に土堰堤の各部に $\alpha\times$質量 なる水平力が作用するものとして地震時に於ける安定度を近似的に算定し得る．

加速度の最大なる頭部に於ける値 α_h は (50) 式に $z=0$ と置き $\alpha_h=\alpha\frac{d_0}{d}$ と得られ，α_h は α 及 d_0/d に比例する事を知る．α は各地に起り得る推定最大震度より求めらるるが，d_0/d は先に述べたる如く G, η, ρ, T 及堰堤の形狀等に關係し容易に之を推定し得ない．土堰堤を構成する材料の剛性係數の値は明でないが第9表に示す如き値を採るものとすれば一般の土堰堤は假令防水壁が存在するとしても含水量は可成り大であると考へなければならぬ．從つて G は 50～200 kg/cm² の間に變化するとするも不當ではなく土堰堤の剛性係數が上記の値なる時は第 6 圖に示す如く 1 sec 前後の地震に共鳴する可能性がある．若しその自由振動週期が大地震の週期と同じ位の値なる時は共鳴するものとして耐震計算を行ふが最も安全であり，共鳴するものとすれば d_0/d の値は γ 又は γ' のみの函數となり γ, G, η, ρ, H との關係は (46) 式（γ' と G, η, ρ, H の關係も γ と類似する）に示されるが，先に述べたる如く γ の大さは第 5 圖に示す自由振動の振幅の減衰度より大體を推定し得る，實在の土堰堤の γ の値が如何なるものかは不明であるが第 12 表に示す如く $\gamma=0.01$ とすれば $d_0/d=8.08$, $\gamma=0.1$ なる時は $d_0/d=2.55$, $\gamma=0.2$, $d_0/d=1.93$ となる，然るに第5圖より $\gamma=0.1$ なる時は一週期後振幅は約 1/3, $\gamma=0.2$ の時は 1/20 以下となり内部摩擦抵抗としては非常に大なる値となる．今 γ, γ' の値を 0.1 とすれば $d_0/d=2.55$, (G, η, 常數), 3.48 ($G=G_0z$, $\eta=\eta_0z$) となり頭部の加速度は底部の 2.5 又は 3.5 倍となる．是等の計算より實在土堰堤の G, η, ρ の値は明でないが最惡の狀態に於ては頭部には底部の夥くとも 2～3 倍の加速度の作用する可能性のあることを知る．

第二編　實驗的研究

I　緒　言

第一編に於て土堰堤が地震動を受けたる時各點に生ずる變位即ち各高さに作用する地震力の大さを理論的に求めた．變位を求めるに當り土堰堤の振動の仕方及それを構成する物質の力學的性質に就て二つの假定を爲した，即ち

1)　土堰堤は地震動により剪斷振動のみを爲す．

2)　土堰堤を構成する物質の力學的性質は彈性體に等し．

第一編の理論的研究より得たる結果を實在の土堰堤に適用しその耐震的考察を行ふには先づ上記二つの假定がどの程度に信頼し得るかを確める必要がある．本編に於ては小型の模型堰堤に就て實驗を行ひ，理論的結果と比較し，上記二假定の妥當性を確めんとす．實驗を行ふに當りては二假定の妥當性を同時に確めるより，別々に實驗を行ふ方が實驗による誤差の生ずる事も尠く，從つてその結果もより信頼し得る筈なるを以て本實驗は二段に分ちて行つた．

土堰堤の如く高さに比し底幅の大なる構造物が振動を受けたる時主として剪斷振動を爲すや否やを確めん爲，力學的性質が略彈性體と等しき物質を以て模型堰堤を製作し，その際生ずる各點の變形を測定し，剪斷振動なる假定の下に得たる結果とを比較し，兩者の與ふる變形が相等しき時は土堰堤の如き形狀の彈性體は地震動を受ける時は剪斷振動を爲す，尠くとも剪斷振動に比し彎曲振動は無視し得る程度に小なる事を知る．

土堰堤を構成する物質の力學的性質が果して彈性體に近きものなるか否かを確めるには種々なる方法がある．

1)　既設の土堰堤の基礎地盤及頭部に地震計又は加速度計を設置し，地震動によりて生ずる變位又は加速度を測定し理論的結果と比較する．此の方法を以てすれば二つの假定の妥當性を同時に確め得る．

2)　土堰堤を構成する物質の供試體に就て實驗室内にて靜的及動的の荷重による變形量を測定し，それより剛性係數，内部摩擦抵抗の係數と載荷荷重との關係よりその力學的性質を求め彈性體に近き性質を有するか否かを調べる．

3)　土堰堤を構成する物質を以て模型土堰堤を製作し，既知の振動を與へ各點に生ずる變位を測定し理論的結果と比較する．

各方法共一利一害あれど本編に於ては第3法による實驗を行つた．

模型土堰堤を製作するには第一段の實驗に對しては寒天を使用した．寒天は後節に述べる如く比較的變形し易く且つその力學的性質が彈性體に近き爲である．第二段の實驗に對しては本編の對象物が土より構成される土堰堤なるを以て，生形砂，荒木田，赤土及それ等と砂との混合物を使用した．

第一編の理論的研究に於ては土堰堤の同一水平斷面上の各點の變形は一樣なるものと假定したが，實在のものにありては中立軸と法面の附近とに於ては多少その値が異なると考へらるるを以て，その差異が如何なる程度のものなるかを確めん爲に寒天模型に依り同一水平斷面上の諸點の變位を同時に測定し，變位の大さの比較を行つた．

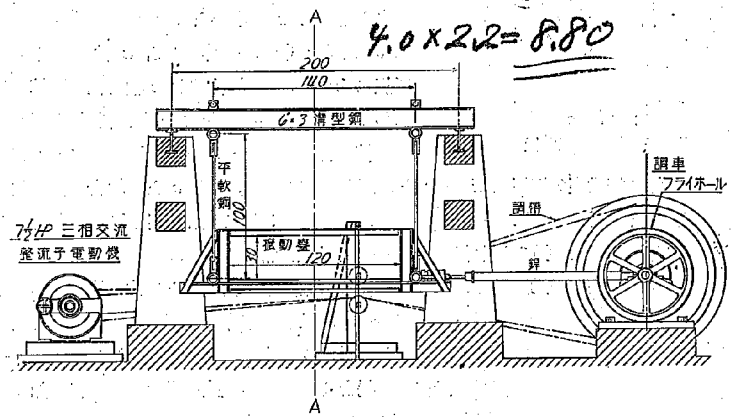
土堰堤の兩面の法は相等しきものとして理論的計算を行つたが，實在の土堰堤は一般に上流側と下流側とに於て法の大さが異なる，然るに前編の計算の結果によれば土堰堤の變形は法の大さには無關係なるを以て，兩面の法の異なる土堰堤に兩面の法が相等しき場合の計算がどの程度に適用され得るかを寒天模型により實驗的に確めた．

II 振動設備

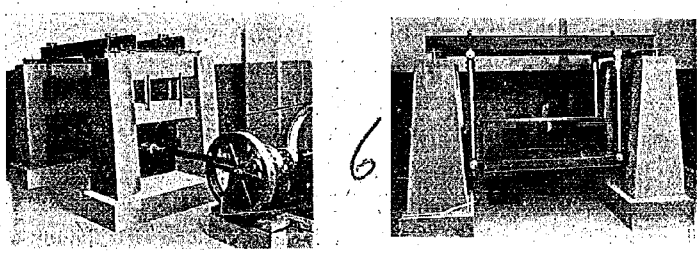
〔1〕振動裝置

模型土堰堤に既知の振動を作用せしめる爲に第 15 圖 a, b, c に示す如き振動裝置を使用した．

(a) 側面圖



(b) フライホイール　　(c) 振動臺



第 15 圖

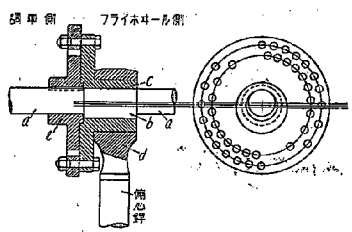
振動裝置

本裝置は圖に示す如く振動臺を 4 本の平軟鋼に依り吊り下げ，電動機により輪調帶を介して偏心軸を廻轉せしめそれに適合する偏心外軸の往復運動を鉾により振動臺に作用せしめ，臺に單弦運動を與ふる如き構造を有す．

(1) 振動臺　振動臺は廣さ約 120×60cm にて模型をその上に載せて既知の振動を與へる．且

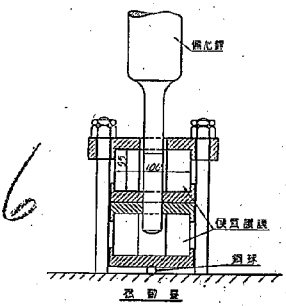
つ長手兩端に透明厚硝子板を取付ける時は深さ 30 cm の函として使用し得る如く設備してある．臺は寸法約 2×5.8×100 cm の平軟鋼 4 枚を以て鐵筋コンクリート柱に固定する I 型鋼により吊り下げられ，その支點及下方臺との連結點はいづれも錺結（pin joint）なれど摩擦力相當大なるを以て錺の作用は充分でない．

（2）振　幅　振動臺の振幅は 0.5 mm 間隔にて 0～10 mm 迄變化し得る如く裝置され振幅の變更は偏心軸及偏心外軸との連結を變へて得られ，その機構は第 16 圖に示す如し．圖に於て a は偏心軸にして b 部に於て a 中心とは 5 mm の偏心を爲し，d は偏心外輪にして b と d との中間に c なる盤を設けその中心をして a の中心と 10 mm の偏心を爲さしむ．c は d と遊合（loose fit）にて，a 軸に固定せる e なる圓鈑に bolt により固定され a 軸と同一廻轉を爲すものにして，此の c 盤に遊合せる偏心外輪即ち偏心釿は a 軸の廻轉に伴つて a と c との偏心距離の 2 倍だけの往復運動を行ふ，即ち振動臺の振幅は d と c との偏心距離となる．e と c との結合が圖の如き位置にある時は a と c との偏心距離は 10 mm であるが，ボールトを取り除き盤の位置を變更する時は a，c 間の偏心距離を任意に取り得るが本裝置に於ては振幅の間隔を 0.5 mm とした．



第 16 圖
振動盞の振幅變更裝置

（3）振動週期　臺の振動週期は電動機の廻轉數，原調車と供調車との比を變化せしめて變へ得る裝置となつてゐる．電動機は東洋電機製造株式會社製交流三相分捲整流子電動機にして馬力 7½，周波數 50，電壓 200 ボルト，一分間の廻轉數は無荷重の場合 450～1550 迄連續變化せしめ得る如くなつてゐる．調車はその比 980/230，1100/110 の二種にして，比 980/230 を用ふる場合は振動週期は 0.19～0.568sec 迄，比 1100/110 を用ふる時は 0.444～1.334 sec 迄變化せしめ得る．

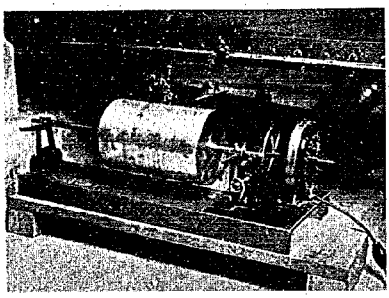


第 17 圖
偏心釿と盞との連結部

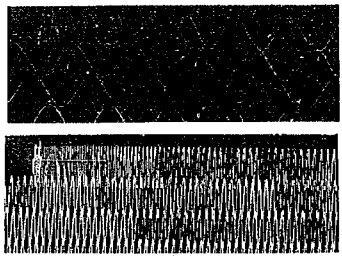
偏心釿は鋼管を用ひ一端は偏心外輪に他端は振動臺に連結せしめ，その連結方法は第 17 圖に示す如く硬質ゴムを用ひて動力側より臺に傳達する週期小なる振動を除去し得る如くなつてゐる．釿と臺との接觸部には鋼球が設置されてある．

〔2〕 振動臺の振幅及週期測定裝置

上述の如く振動臺の振幅は偏心外輪の位置により，週期は電動機の廻轉數及調車の比により求められる譯であるが，偏心釿と振動臺との連結點には硬質ゴム等を使用するを以て偏心外輪の偏心距離の値を以て直ちに振動臺の振幅と見做すことは出來ない，又電動機の廻轉は無荷重の場合の値なるを以て，荷重の存在する時の廻轉數は異なる，從つて振動中に於ける臺の振幅及週期は直接測定する必要がある．第 18 圖はその測定裝置を示せるものにして，同一の廻轉ドラム上に卷ける煤煙紙上に振動臺の振動及び振動數每秒 50 の音叉の振動を同時に自記せしめ，臺の振幅は臺に固定せる針の先端の振幅（臺の振幅小なる時は適當なる倍率を使用）により，週期は一定の長さに於ける臺の振動數と



第 18 圖
振動臺の振幅及週期測定裝置



第 19 圖
振動臺の振幅の記象
上圖は振動臺の變位曲線，
下圖は音叉の變位曲線を示す．

それに相當する個所に於ける音叉の振動數とより容易に求め得る．第 19 圖はその記象の一例にして振幅 5 mm，振動週期 0.176 sec の場合を示す．

〔3〕 振動臺の加速度

上述の如く振動臺は單弦振動を行ふ如く設計されてゐるが，實際の振動は決して完全なる單弦振動とは考へられない．特に各部分の連結點の空隙による衝撃，偏心鉄，臺の各部材，臺を支持する平軟鋼等の振動の爲に種々なる振動週期を有する各種の振動が加はる．第 20 圖は臺の振動曲線を示せる記象にして (a) 圖は振幅 10mm，振動週期 0.6sec (b) 圖は振幅 10mm 振動週期 0.33sec の場合を示す．第 19 圖及第 20 圖に示す如く臺の振動曲線はいづれも平滑にして他の週期異なる振動が伴つてゐるのを見出し得ない．

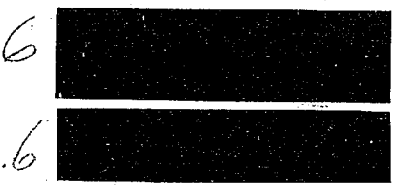
然るに上記諸原因により生ずる振動は臺の主振動に比してその振幅は極めて小であるが，それと共に振動週期も亦小である，從つて加速度として考ふる時は主振動の加速度に比較し得る程度の値となる場合もあり得る．又本實驗に於ては模型堰堤に作用する加速度の大さが最も重要にして，假令變位曲線が外見上單弦振動を示す場合にも，變位曲線にては見出し得ない程振幅が小であるにも關らず加速度としては相當大なる値となり得る週期小なる振動が附加する場合もあるを以て加速度を測定する必要がある．

振動臺が如何なる振動を行つてゐるかを知る爲に臺上に加速度計を載せ加速度を自記せしめた．使用したる加速度計は地震研究所所長石本博士の設計になれるものにして第 21 圖に示す構造を有し，加速度を光學的にブロマイド紙又はフイルム上に自記せしむる裝置になつてゐる．

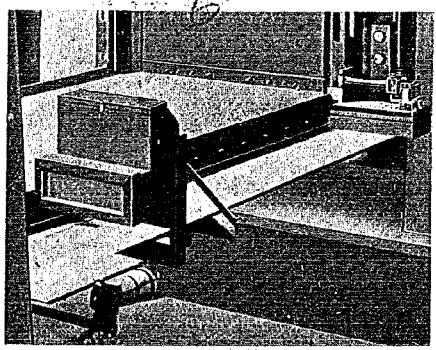
無荷重の場合の振動臺の加速度の記象を第 22 圖に示す．

第 22 圖に示す加速度の曲線より振動臺がどの程度迄單弦振動に近き振動を行ふかを推定し得る．加速度計より測定したる加速度の値と，臺が單弦振動を行ふものとしてその變位曲線より計算的に求めたる加速度との値を比較する必要があるが，加速度を求めたる目的は臺の主振動にどの程度の週期小なる振動が附加してをるかを知るが目的なるを以て別に兩者の比較を行はなかつたが，計算より求めたる加速度の値と測定値との比は略一定にしてその誤差は大體 10% 内外であつた．圖に示す如くいづれの場合に於ても主振動に週期小なる振動が附加してゐるが，附加せる振動の加速度の値は加速

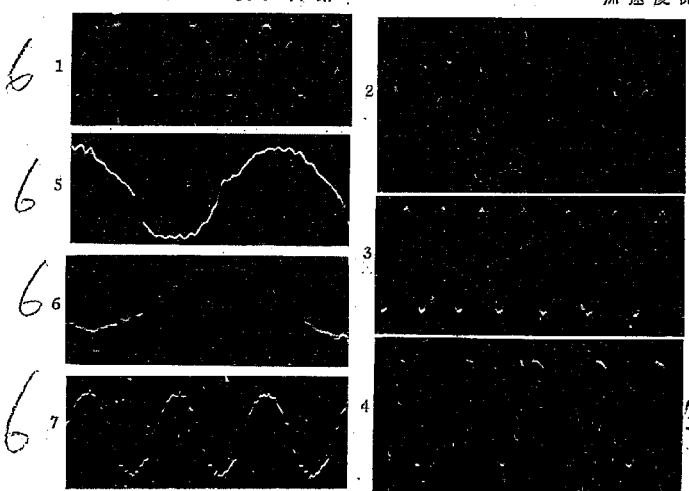
度の極めて小なる場合を除き主振動より可成り小であり，從つて本實驗に要求する程度の正確さの實驗に於ては振動臺は大體單弦振動を行つてゐると見做し得ることを知る．（後節に示す如く主振動に伴ふ週期小なる振動の變形に及ぼす影響は明瞭に認め得られるがその大さは一般に小である）元より加速度の曲線も亦完全なる正弦曲線なる如き振動臺は望ましいが，かゝる完全なる振動臺，特に比較的大型の振動臺を製作するには種々の困難なる事項が伴ふ．著者も此の程度の振動臺にて滿足するのではないが充分改良すべき時日が無かつた爲に止むを得ず使用したるものにして，かゝる小週期の振動が如何なる原因によりて起るかは今日の所未だ充分明でない．



第 20 圖
振動臺の變位曲線



第 21 圖
加速度測定裝置



第 22 圖 加速度の記錄

	振幅 mm	振動週期 sec	加速度 mm/sec²
1	10	0.550	1,300
2	10	0.463	1,842
3	7	0.321	2,690
4	5	0.272	2,700
5	4	0.219	3,300
6	2.5	0.192	2,700
7	2.5	0.180	3,000

(1), (2) 及 (3), (4) 及 (5), (6), (7) は測定裝置の倍率異なる。

III 寒天模型による實驗

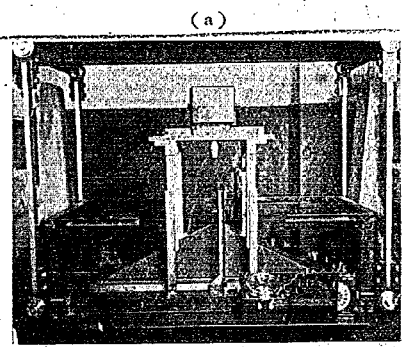
〔4〕測定裝置

寒天は軟かにして比較的變形し易く從つて測定容易にして且つその力學的性質が彈性體に近きを以て，彈性體よりなる土堰堤に對し第一編に於ける理論的計算がどの程度迄適用され得るかを知る爲に，

寒天よりなる模型堰堤に既知の振動を與へそれによりて生ずる各點の變位を測定した．堰堤の各點に於ける變位を同時に測定するは甚だ煩雑にして，本實驗は測定値と理論による計算値とを比較するが目的なるを以て特定の一點に於て兩者を比較すれば充分であり，その爲に實驗の手數は極めて簡單化される．特定の一點として測定裝置を設置するに容易な且つ變位最も大なる堰堤頭部を撰んだ．而して大多數の實驗に於ては頭部の變位のみを測定したるが二三の場合に於ては各點の變位を同時に測定した．上述の如く實驗は2方法にて行はれたるを以て測定裝置も亦それに從つて二種類使用した．前者卽ち頭部の變位のみを測定する場合は光學的方法に依り，後者各點の變位を同時に測定する場合は活動寫眞機を使用した．

（1） **頭部の變位の測定裝置**　寒天は一般に軟かなるを以て測定するに當り寒天の本體に測定裝置を取付けるは成るべく避けねばならぬ，又止むを得ず附加する場合はその重量を勉めて小とする必要がある．寒天の剛性係數は小にて可成り變形し易いが，本實驗に使用したる形狀の模型にては高さ小なるを以て頭部の變位は最大 2～3 mm なるを以て變位を記錄するには尠くとも 10 倍程度の倍率を必要とする，本實驗に於ては是等の要求を充す爲に第 23 圖 (a), (b) に示す裝置を使用した．

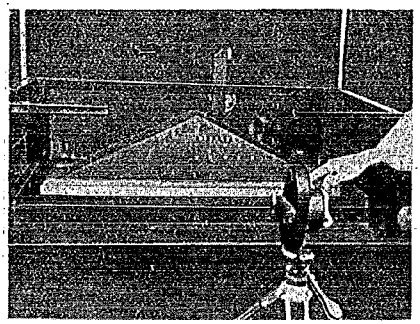
第 23 圖 (b)に於て A は直立せる軸にて，その上部は臺の振動方向



第 23 圖
頭部の變位測定裝置

に直角なる水平軸 B に連結し A は B を軸として臺の振動方向と平行に廻轉し得る裝置となつてゐる．A の下端は模型堰堤の頭部に固定する鋼鈑と連結し，連結點に於ては上下の方向には自由に動き得るが水平の方向の運動は防止され，且つ B 軸は振動臺に固定する架構に連結するを以て，頭部の水平運動は B 軸の廻轉運動に變化せしめらる．

A 軸の上端に平面鏡，及その上方に振動臺に凸レンズ（焦點距離 30～50 cm）を固定し上方の光源よりの光は凸レンズを通し平面鏡に反射して再び凸レンズにより屈折し廻轉ドラムに卷かれたるブロマイド紙上に像を結ぶ．堰堤の頭部が振動臺に對し水平運動を行ふ時は平面鏡はその運動の大さに比例して廻轉し，ブロマイド紙上の像の動きは水平運動に比例する．A 軸の下端と B 軸の連結點迄の距離を l_1，凸レンズとブロマイド紙迄の距離を l_2 とすれば，頭部の水平運動は $2l_2/l_1$ 倍の大さとなつてブロマイド紙上に像を結び，l_1 を小にすれば倍率が大となる．C は自由振動週期測定の際 1 sec に 2 度づつ光源を遮斷して時刻を示すに使用する．

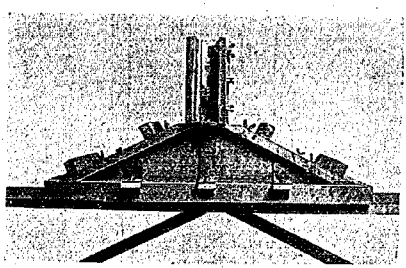


第 24 圖
活動寫眞に依る變定裝置

（2） 各點の變位を同時に測定する裝置　アイモ型 16 mm の活動寫眞機を使用し，第 24 圖に示す如く寒天の表面の變位を測定せんとする個所にマークを附し，活動寫眞にて撮影しそのマークの變位をコンパレーター (comparator) にて讀み豫め測定し置ける倍率より實際の變位を求めた．

〔5〕 實驗方法

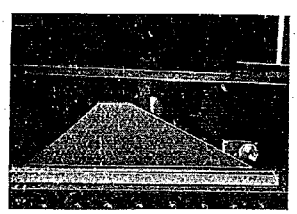
（1） 堰堤模型の製作　寒天の模型を製作する爲に第 25 圖に示す如き型枠を使用した．大さは二種類にして厚さは何れも 15 cm，底幅 98 cm，頭幅 20 cm，高さ 25 cm 及び底幅 60 cm，頭幅 4 cm，高さ 15 cm の模型を製作し得る大さを有してゐる．



第 25 圖
模型製作用形枠

型枠は木材を用ひ内部に薄き銅鈑を張り，寒天の型枠に附着するを防止し，振動臺に取り附けたる板には薄き絲瓜のさらせるものを張り附け寒天と板との附着を密接にし，振動中上部の寒天模型が板に沿ひて滑動するを防止した．

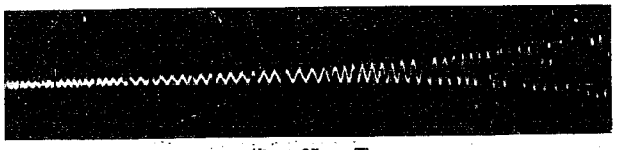
模型を製作するには第 25 圖に示す如き型枠を約 5 cm 位水面上に出る程度に水槽中に浸し，上部より寒天を注ぎ込みその凝固を待ちて型枠を離す．第 26 圖はかくして製作されたる寒天模型の一例にして，寒天模型 No. 6 を示す．



第 26 圖
寒天模型 No. 6

（2） 頭部の變位の測定　上記の如く製作されたる寒天模型を振動臺上に取り附け，第 23 圖に示す變位測定裝置を取付ける．寒天は含水量により，凝固後經過せる時間により力學的性質

は變化する，從つて模型と同時に同一物質を以て小試驗片を製作し兩者を全く同じ狀態の下に置くも形の大小により必然的に力學的性質は異なつてくる，從つて小試驗片の力學的性質を以て模型のそれを代表せしむることは此の場合全く不可能にて實驗の度毎に模型堰堤そのものに就て測定するが最も合理的な方法である．然るに寒天模型は繰返し實驗に使用するを以て模型より試驗片を採取する事は不能なるを以て模型堰堤の力學的性質は勢ひ間接に測定する必要がある．本實驗に於ては間接法として模型堰堤の自由振動週期を測定し，第一編の III に示したる計算より自由振動週期と剛性係數，單位體積の質量との關係式より G 及 ρ を求めた，從つてそれ等の値により各點の變位を算定し得る．自由振動を測定する爲に模型堰堤を横に押し適當なる變形を與へ，急に之を放ち，同時に廻轉ドラムを廻轉せしめ頭部の變位をブロマイド紙上に記錄せしめた．第27圖はその記象の一例にて後節に述べる模型 No. 4の自由振動を示す．



第 27 圖
自由振動週期の記象

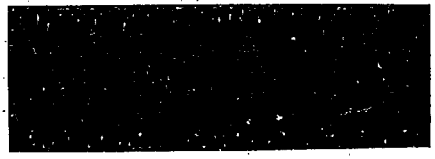
而して實驗中水分の蒸發に從ひ寒天の力學的性質も亦變化するを以て實驗の前後に於て自由振動週期を測定することゝした．次に既知の振動を臺に與へ，それによりて生ずる頭部の振動を廻轉ドラムのブロマイド紙上に記錄せしめ，同時に振動臺の變位を第18圖に示す裝置を用ひて求めた，その記象は第19圖に示すものと同樣である．

先に述べし如く寒天は水分の蒸發により，比較的著しく收縮し特に凝固の際著しい，從つてその大さは型枠の內部の大さと必ずしも等しくなく，その程度は寒天の强さに支配さるゝを以てその大さは實驗の度毎に測定する必要がある．初期の實驗に於ては開始前と終了後とに求めたるが，兩者の値に殆んど差異なきを認めたるを以て後半に於ては唯一回のみ測定することゝした．

平面鏡と連結せる垂直軸に模型堰堤の頭部の水平變位を傳達せしむる爲に銅鈑を模型の頭部に長さ約 1cm の銅釘を以て固着せしめ，銅鈑と寒天との連結が緩める時は他の場所に移して連結を常に堅固ならしめた．而して銅鈑と頭部との連結の緩める時は記象に現はるゝ頭部の變位が第 28 圖 (b) に示す如く不規則の曲線となるを以て直ちにその緩みを見出し得る．(a) 圖は完全なる場合の記象の一例を示す．

(a) 連結完全なる場合

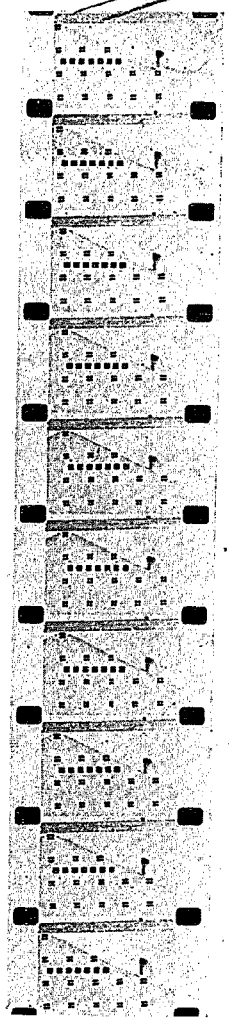
(b) 連結不完全の場合



第 28 圖
頭部の變位の記象

(3) 活動寫眞による測定　前述の如く各點に於ける變位を同時に測定する爲に活動寫眞機を使用した．先づ活動寫眞機を固定し堰堤模型の表面に張り附けたる物指をフイルム上に撮影し，實長とフイルム上に寫る大さの比を求め，次に振動臺に既知の振動を與へそれによりて生ずる各點の動きを毎秒 48 齣の速度にて撮影を行つた．その記象は第 29 圖に示す如し．

6.5×1.1=6.05



第 29 圖
フイルムの記象 No. 2

此の場合フイルム上には別に時刻を記入せしむる裝置を使用せざりしも，その廻轉速度を一定ならしむる如く注意したるを以て，フイルムの廻轉の速度は出發點及靜止點の附近を除きては一樣と見做し得るを以て後節の取り扱ひには餘り障害を生じなかつた．

〔6〕 實驗結果

實驗に使用したる寒天模型は 6 個にして，實驗を行ひし順序に從ひNo.1 No. 2, No. 3, No. 4, No. 5, No. 6 と區別する．No. 1 及 No. 2 は小型にして水分の含有量を異にする．No. 3, No. 4, No. 5 は大型の模型にして含水量は殆んど一樣であるが被頭の割合を異にする．No. 6 は兩邊の法が異なり，法の異なりの影響を見出す爲に使用した．上記 6 個の模型堰堤中 No. 3 を除き他は總て頭部の變位のみを測定した．

（1） 頭部の變位の測定

1) **No. 1 の模型** 寒天の含有量は重量比にして水の約 2%，實驗の際の大さは高さ 13.9cm，底の幅 60cm，頭部の幅 7cm にして法は約 1.9 割である．實驗の前後に於て大さの變化は見出し得なかつた．

模型の自由振動週期は實驗の開始前に於てのみ求め終了後にては別に求めなかつた．(他の諸實驗の結果より實驗中に於ける力學的性質の變化は小である事が判明した) 自由振動週期を T_0 とすれば 2sec に對し平均 10.8 回の振動數なるを以て $T_0=0.185$ sec となる．

頭部の變位の記象は第 28 圖 (a) 及第 30 圖に示す如く多くの場合主振動と共に小振動が附加する，然るに我々の必要とするは主振動の振幅なるを以て是等小振動の影響を除去しなければなるぬ，その方法として曲線の山及谷の附近に於ける最高及最低なる 2 點の中央を曲線の山及谷としそれより曲線の振幅を求めた．此の方法によれば多少の誤差が伴ふが，元來小振動の振幅は主振動に比し小なるを以て誤差も亦僅小にして且つ振幅を求める手數が非常に簡單となる利益がある．倍率は實驗の中途にて電球を取り換へたる爲に前半の 4 場合に對しては 15.78，後半の 4 場合に對しては 15.00 であつた．

各場合の振動臺の振幅，振動週期，記象上の曲線の振幅，頭部の最大變形，及臺の振動を正弦曲線として求めたる加速度の値を第 14 表に示す．

2) **No. 2 の模型** 寒天の重量比は水の 1.5% にして No. 1 より軟である．大さは No. 1 と同一の型枠にて製作したるが多少異なり高さ 14cm，底幅 60cm，頭部の幅 6.9cm にして法は約 1.9 割である．本模型は二日に亙つて實驗を行ひたるを以て自由振動週期及倍率は前後の實驗に於て異なる．而して實驗せざる間模型は水中に浸し置きたるも大さの變化は見出し得なかつた．

No. 1 と同樣に自由振動週期は實驗の開始前に唯一回のみ求めた，その値は次の如し．

$T_0=0.100$ sec　前日の4場合に對し

$T_0=0.099$ sec　翌日の5場合に對し

倍率は前者に對しては 24.39, 後者に對しては 23.40 である.

各場合の臺の振幅, 週期, 記象上の曲線の振幅, 頭部の最大變形及臺の振動を正弦曲線として求めたる加速度を第 15 表に示す.

3) **No. 4 の模型**　No. 4 は一度凝固したる寒天に小量の新しき寒天を加へ製作したるを以て水分に對する寒天の重量比を求める事は出來ないが, その比は 2～3% の範圍を出ないことは明である. 本實驗も亦二日に分ちて行はれた. 而して實驗せざる間は水中に浸し, 蒸發による含水量の減少を防止したるを以て含水量の變化は極めて小なる如くである.

a) 第一回の實驗　大さは高さ 22.6cm, 底幅 98cm, 頭部の幅 9.53cm にして法は約2割である.

自由振動週期は實驗の前後に於て測定し, その値は次の如し.

$T_0=0.168$ sec　實驗前

$T_0=0.166$ sec　實驗後

兩者の平均を採り計算の場合は $T_0=0.167$ sec とする. 上記の結果より實驗中に於ける水分の蒸發による T_0 の變化は極めて小なる如し.

倍率は 15.69 にして, 臺の振幅, 週期, 加速度, 記象の讀み, 頭部の實動を第 16 表に示す.

b) 第二回の實驗　高さ 22.6cm, 底幅 98cm, 頭部の幅 9.7cm にして法は約2割である. 自由振動週期 T_0 は

$T_0=0.162$ sec　實驗前

$T_0=0.156$ sec　實驗後

にして, 兩者の差異は第一回に比して大である. その理由としては水槽より取り出したる寒天を直ちに使用したる爲に實驗中の水分の蒸發大なるによると考へ

第 14 表　寒天模型 No. 1 の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	10	0.726	750	17.3	1.10
2	10	0.590	1,130	26.2	1.66
3	8	0.483	1,350	33.4	2.11
4	5	0.417	1,140	28.8	1.83
5	5	0.444	1,020	21.9	1.46
6	3.5	0.317	1,380	38.8	2.58
7	1.5	0.253	930	35.9	2.39
8	0.5	0.212	440	34.3	2.29

表中　堰堤の頭部の最大變形とは底部に對する頭部の變形を意味す.

第 15 表　寒天模型 No. 2 の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	10	0.739	720	6.0	0.24
2	10	0.580	1,170	10.8	0.44
3	10	0.487	1,670	17.7	0.73
4	10	0.417	2,010	23.1	0.95
5	10	0.443	2,270	19.0	0.81
6	10	0.320	3,850	38.0	1.62
7	5.1	0.258	3,070	32.6	1.39
8	2.5	0.208	2,350	26.5	1.13
9	1.5	0.184	1,760	21.5	0.92

第 16 表　寒天模型 No. 4 (a) の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	10	0.997	400	6.9	0.44
2	10	0.746	710	12.3	0.78
3	10	0.594	1,120	20.5	1.31
4	8	0.490	1,320	25.3	1.61
5	8	0.455	1,530	31.0	1.98
6	7	0.424	1,550	31.1	1.98

らる．計算に用ふる T_0 の値として兩者の平均を用ひ $T_0=0.159$sec とする．

倍率は 15.38 にして，臺の振幅，週期，加速度，記象の讀み，頭部の實動を第 17 表に示す．

第 17 表 寒天模型 No. 4 (b) の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
7	1.5	0.258	890	23.6	1.40
8	0.5	0.184	580	44.6	2.64
9	7.0	0.449	1,370	26.1	1.54
10	5.0	0.323	1,890	42.0	2.50
11	5.0	0.445	1,000	19.1	1.13
12	2.5	0.259	1,470	40.5	2.40

第 18 表 寒天模型 No. 5 の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	10.0	0.731	740	11.6	0.69
2	10.0	0.587	1,150	18.0	1.07
3	8.0	0.490	1,320	21.7	1.29
4	7.0	0.422	1,550	27.7	1.65
5	7.0	0.447	1,380	23.7	1.40
6	5.0	0.326	1,870	36.2	2.15
7	2.5	0.264	1,470	32.8	1.94
8	1.0	0.213	870	30.0	1.77

第 19 表 寒天模型 No. 6 (a) の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	10	0.722	760	12.3	0.77
2	5	0.600	570	8.5	0.53
3	5	0.427	1,080	19.3	1.21
4	5	0.756	350	5.2	0.32

第 20 表 寒天模型 No. 6 (b) の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
5	5.0	0.496	800	17.8	1.04
6	5.0	0.331	1,810	44.6	2.61
7	1.5	0.263	860	26.4	1.54
8	1.0	0.215	850	40.7	2.38
9	0.5	0.220	410	18.5	1.08
10	0.5	0.201	490	29.9	1.74

4) No. 5 の模型 模型は No. 4 と同樣にして唯頭部を截斷したる點が異なり，大さは高さ 20.1cm，底幅 98cm，頭部の幅 19.5cm にして，法は約 2 割である．

自由振動週期は

$T_0=0.158$ 實驗前

$T_0=0.154$ 實驗後

にして，平均値をとりて $T_0=0.156$sec とする．

倍率は實驗の途中にて電球を交換したるを以てその前後に於て多少異なり 16.81 及 16.87 である．臺の振幅，週期，加速度，記象の讀み，頭部の實動を第 18 表に示す．

5) No. 6 の模型 兩途の法の異なる場合にて，その大さは高さ 19.5cm，底幅 69.6cm，頭部の幅 10.5cm，法は約 1 割及 2 割である．

本模型も實驗は二日に分割して行はれた．而して上記の諸實驗に於て自由振動週期は實驗の前後に於て餘り差異を見出し得なかつた故に本模型は實驗の中途にて唯一回求めることにした．

a) 第一回の實驗 自由振動週期 T_0 は 0.160sec にして倍率は 15.98 である．臺の振幅，週期，加速度，記象の讀み，頭部の實動を第 19 表に示す．

b) 第二回の實驗 模型の大さは第 1 回と同樣にして，自由振動週期は 0.166sec，即ち第 1 回に比して第 2 回目の T_0 の値大なるがその原因は模型を數日水中に放置したる爲と考へらる．倍率は 17.11 にして，臺の振幅，週期，加速度，記象の

讀み及頭部の實動を第 20 表に示す.

6) **No. 3 の模型**　No. 3 は先に述べたる如く頭部の變位のみならず, 活動寫眞機により各點の變位の同時測定を行つた. 從つて頭部のみの變形の測定結果と活動寫眞による測定結果とを比較し得る便宜あるのみならず, 頭部に銅叡を附加したる爲に生ずる變形への影響は頭部の幅最小なる本模型に於て最も著しき筈なるを以て, 兩者の測定結果の比較によりその影響の大體の大さを求め得る.

模型の大さは高さ 24.4 cm, 底幅 98 cm, 頭部の幅 2.1 cm にして法は約 2 割である. 自由振動週期は實驗の前後に於て測定し, その値は次の如し.

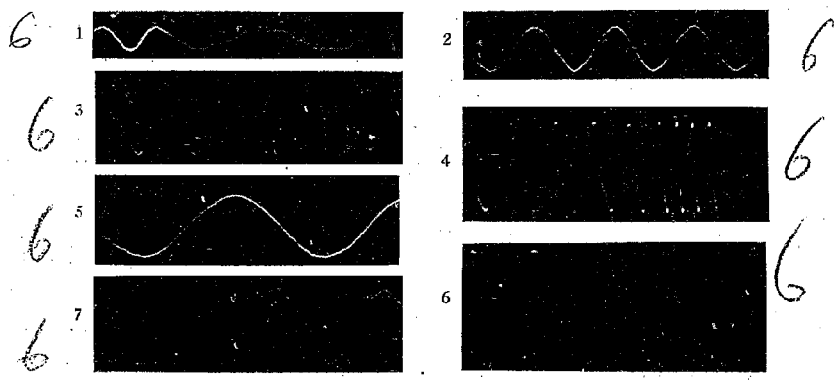
$T_0=0.167$ sec　實驗前　　$T_0=0.163$ sec　實驗後

兩者の平均を採る時は $T_0=0.165$ sec となる. 頭部の變形は次の 7 場合に於て測定した. 即ち

試驗番號	1	2	3	4	5	6	7
臺の振幅 (mm)	10	10	10	8	8	8	2.5
電動機の回轉數	600(slow)	800(slow)	10000(slow)	1200(slow)	485(fast)	600(fast)	800(fast)

但し slow と云ふは調車比 1100/110 の場合, fast とは 980/230 の場合を意味する.

是等の場合の記象を第 30 圖に示す. 先に述べたる如く廻轉ドラムは手にて廻轉するを以てその速度は一樣でなく, 又總ての場合に同一ならざるを以て圖に示す記象に於て曲線の山の間の距離の小なるものが必ずしも振動週期の小なる場合とは限らない.



第　30　圖

模型堰堤 No. 3 の頭部の變位の記象

第 30 圖に示す頭部の變形には週期大なる主振動に週期小なる振動が附加し第 22 圖に示す振動臺の加速度の曲線に相似てゐる. 臺の振幅, 週期, 加速度, 記象の讀み, 頭部の實動を第 21 表に示す.

(2) 模型堰堤の各點の變位の同時測定　活動寫眞機を用ひて No. 3 の模型堰堤に就て行つた. 先に述べたる如く 16mm のフイルムを使用したるを以てフイルム上の像の動きは實動に比して小なるを以て, 假令コムパレーター (1/1000 粍迄讀み得るものを使用した) にてその動きを測定するも元來小なる變位を更に縮少するを以て, 得たる結果は (1) に比して正確さに於て相當劣る點あるも

第 21 表　裏天模型 No. 3 の實驗結果

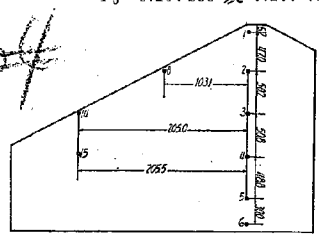
	振動臺			振堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記錄のにじみ	實動 (mm)
1	10	1.010	370	6.7	0.40
2	10	0.746	710	13.0	0.78
3	10	0.590	1,110	21.1	1.27
4	8	0.494	1,270	25.7	1.54
5	8	0.593	900	17.8	1.07
6	8	0.446	1,590	31.6	1.90
7	2.5	0.333	890	22.5	1.35

止むを得ない．然し各點の變位を同時に測定したる目的は (1) 同一水平斷面上の各點の變位が中立軸を距ると共に如何なる變化を爲すか，(2) 單に頭部のみならず中立軸に於ける各點の實測値と計算値との比較，の 2 つにして (1) の目的に對しては各點の差異の正確なる値にはあらず全變位に對する差異の大體の比を知れば足り，(2) に對しては頭部の變形の實測値と計算値とを比較し，すべての場合に兩者が一致する時は中立軸に於ける他の諸點の變形も亦頭部の變形と同程度に一致すると考へられ，頭部の變形の測定のみにても計算値と實測値の比較の目的は充分達するを以て除り重要ではない．從つて同時測定を行ふに當り活動寫眞機を使用するが比較的簡單なるを以て正確さの低下及び實驗結果の整理に多大の手數を要する點を忍びて同方法を採用した．

模型の大さは高さ 24.4 cm，底幅 98 cm，頭部の幅 2.2 cm にして法は約 2 割に相當する．自由振動週期は實驗前に 2 回，實驗後に 1 回測定を行ひ，その結果は

T_0=0.164 sec 及 0.166 sec　實驗前，　T_0=0.160 sec　實驗後

にして，實驗前に於ける 2 回の測定の結果兩者の異なる原因は後者が振幅大なる場合に於ける値にして，かくの如く自由振動週期の値が振幅の大さにより多少異なる傾向のある事は他の場合にも明に認められた．



第 31 圖

活動寫眞による變位測定點番號

本實驗に於てはフイルム上の變位を出來得る限り大とする爲に變位大なる上半部のみ撮影せるものと，全部を同時に撮影せるものと二つに分ちて行つた．變位を測定したる位置及その番號を第 31 圖に示す．

上部のみ撮影したる場合の實驗を行ひたる種類は 12 にして，各場合に於ける臺の振幅，振動週期及正弦曲線なる假定の下に臺の變位曲線より求めたる加速度の値を第 22 表 (1)に示す．

第 22 表　(1)

番號	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	番號	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)
1	10.0	0.468	1,800	7	5.2	0.219	4,300
2	10.2	0.266	5,730	8	4.2	0.191	4,620
3	8.0	0.331	2,910	9	4.2	0.205	3,950
4	8.1	0.269	4,430	10	4.1	0.218	3,450
5	8.3	0.217	7,010	11	3.1	0.204	2,950
6	5.0	0.266	2,830	12	3.1	0.188	3,530

全體を撮影したる場合の實驗は 4 種類にして，各場合に於ける臺の振幅，振動週期及正弦曲線としての加速度の値を第 22 表 (2) に示す．

第 22 表　(2)

番號	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	番號	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)
13	7.3	0.217	6,100	15	9.2	0.264	5,230
14	7.2	0.265	4,060	16	9.1	0.331	3,290

かく撮影したるフイルム上の各點の位置をコンパレーターにより讀む時はその値は或る原點よりの距離を

示す，從つて一齣，一齣の點の位置を求め圖面上に畫く時は臺の振動によるその點の變位曲線が求められる．而してコンパレーターにより各點の位置を求めるは非常に手數を必要とするを以て，第 22 表の(1)の場合は第 31 圖①，②，③，④，⑧，⑭及⑮（⑧，⑭，⑮は特別の場合のみ求む）の諸點及第 22 表（2）の場合は①，②，③，④，⑤，⑥の諸點の位置のみを求めた．

1) **中立軸上の各點の位置**　先に述べたる如くフイルム上の諸點の位置は或る原點よりの距離を示すものにして，我々の必要とするは變位の大さなるを以て位置の讀みより適當なる値を除去するは，原點の位置を適當なる個所に移動したると同一の結果となり變位の大さには何等の影響はない．附表第 1 に各點の位置を示す，但し各値はコンパレーターの讀みより夫々適當なる大さを除去したる數値を示す（第 33 圖參照）．

2) **同一水平面上の變位の差異**　同一水平面上に於ける變位が中立軸を距ると共に如何なる變化を爲すかを知る爲に，中立軸より最も遠く距れる⑧，⑭，⑮の諸點の位置を求め，それと同一水平面上にある中立軸上の②，③，④との位置の差異を求めた．而してその差異は兩點間の距離とその 2 點の變位の差を示すを以てその値の變化小なる場合は兩點の變位曲線が略等しく，從つてその中間に存在する諸點の變位も亦中立軸の變位と等しいと考へらる．作用する加速度が大なる時は變位大にしてその差も大なるを以て第 22 表（1）に於て加速度の比較的大なる No. 2, 3, 4, 5, 9 の 5 場合に於てそれらの値を求め附表第 2 に示す．必要とするは振動中の各時刻に於ける②と⑧，③と⑭，④と⑮との變位の差が時間に對して如何に變化するか，又變位の最大値の差が如何なる値なるかを知れば足るを以て，附表中の數値はコンパレーターの讀みより適當なる大さを減じたるものを示す．(第 36 圖參照)

〔7〕 **計算値と實測値との比較**

本節に於ては第 1 編の理論的計算より求めたる値と前節に求めたる寒天の模型堰堤に既知の振動を與へる時各點に生ずる變位の測定値と比較し，第一編の計算方法がどの程度迄適用され得るかを確めんとす．

第一編に於ける計算は堰堤の密度は一樣にして，その剛性係數及內部摩擦抵抗の係數が全高に亙り一樣なる場合と，深さに比例して增加する場合とに就て行つた．然るに寒天の模型堰堤に於ては密度及剛性係數は含水量に關係し，含水量は模型の表面に近き部分と內部とに於ては多少異なるを以て是等の値も亦異なる譯であるが，本實驗に使用したる程度の大さの模型に於てはその差異は極めて微少であると考へられ，又模型の高さは總ての場合を通じて 30cm 以下なるを以て上部と下部とに於て上記の値に著しい差異があるものとも考へ得られざるを以て本實驗に使用したる寒天模型の密度及剛性係數は近似的に全高に亙り一樣なるものとして差し支へなく，從つて實測値と比較する計算値は密度及剛性係數の一樣なる場合の値を用ふる事とした．使用したる模型の自由振動週期は二三の場合を除き與へられたる振動臺の週期より相當大なるを以て內部摩擦抵抗が存在するとしてもその變形の大さに及ぼす影響は極めて小にして一般にその影響を考慮する必要はない．從つて本文に於て比較に使用したる計算値は內部摩擦抵抗の存在せざる場合の値なるを以て二三の場合には多少その影響の現れを認め得た．

密度及剛性係數が全高に亙り一樣にして且つ被頭せる堰堤の自由振動週期 T_0，中立軸の最大水平

變位 $f_1(z)$ は第一編の (17) 式，及 (34) 式に示され，それ等の諸式を列記すれば次の如くである．

$$T_0=\frac{2\pi}{c}\sqrt{\frac{\rho}{G}}H \quad\cdots\cdots(51)$$

但し c は次の方程式の根にして $a=H_0/H$ が與へられる時は第3圖より求めらる．

$$J_1(ac)Y_0(c)-J_0(c)Y_0(ac)=0$$

$$f_1(z)=d\frac{Y_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)J_0\left(\frac{p}{a}z\right)-J_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)Y_0\left(\frac{p}{a}z\right)}{Y_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)J_0\left(\frac{p}{a}H\right)-J_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)Y_0\left(\frac{p}{a}H\right)} \quad\cdots\cdots(52)$$

自由振動週期 T_0 が求めらるゝ時は (51) 式より $a=\sqrt{G/\rho}$ の値が求めらるゝを以て是等の値を (52) 式に代入すれば $f_1(z)$ は

$$f_1(z)=d\frac{Y_1\left(\frac{acT_0}{T}\right)J_0\left(\frac{cT_0}{T}\frac{z}{H}\right)-J_1\left(\frac{acT_0}{T}\right)Y_0\left(\frac{cT_0}{T}\frac{z}{H}\right)}{Y_1\left(\frac{acT_0}{T}\right)J_0\left(\frac{cT_0}{T}\right)-J_1\left(\frac{acT_0}{T}\right)Y_0\left(\frac{cT_0}{T}\right)} \quad\cdots\cdots(53)$$

又頭部に於ける最大水平變位を d_0 とすれば

$$d_0=d\frac{Y_1\left(\frac{acT_0}{T}\right)J_0\left(\frac{acT_0}{T}\right)-J_1\left(\frac{acT_0}{T}\right)Y_0\left(\frac{acT_0}{T}\right)}{Y_1\left(\frac{acT_0}{T}\right)J_0\left(\frac{cT_0}{T}\right)-J_1\left(\frac{acT_0}{T}\right)Y_0\left(\frac{cT_0}{T}\right)} \quad\cdots\cdots(54)$$

(53) 式及 (54) 式より堰堤の中立軸の水平變位を求め得る．

(1) 頭部の變位の比較　頭部に於ける最大水平變位 d_0 は (54) 式より求められ，式中の a は被頭の高さ H_0 及被頭せざる場合の高さ H との比にして又 c は a が既知なる時は第3圖より求めらる，從つて a 及 c は模型の形狀のみに關係する數値にて既知である．T_0 は自由振動週期なるを以て各模型に就き實測して求められ，又 T は振動臺の週期なるを以て臺の變位曲線より求めらる．

No. 1 の模型に於ては $H=15.7$ cm，$H_0=1.8$ cm なるを以て $a=0.114$，從つて第3圖（圖に於てはc の代りに x を使用する）より $c=2.55$，且つ $T_0=0.185$ sec なるを以て是等の値を (54) 式に代入し第 14 表に示す振幅 d，週期 T なる振動の爲に頭部に生ずる最大變位 d_0 は (54) 式より計算し得る．頭部の最大變位 (d_0)，底部に對する頭部の最大變形 (d_0-d)，及それ等の値の實測値との差異及差異の百分率を求め第 23 表の (1) に示す．同樣に No. 2，No. 3，No. 4，No. 5 の模型の a，c，T_0 の値は夫々

No. 2	$a=0.108$,	$c=2.49$	$T_0=0.100$ 及 0.099 sec
No. 3	$a=0.02$,	$c=2.41$	$T_0=0.165$ sec
No. 4	$a=0.097$,	$c=2.45$	$T_0=0.167$ sec
	$a=0.098$,	$c=2.45$	$T_0=0.159$ sec
No. 5	$a=0.199$,	$c=2.58$	$T_0=0.156$ sec

なるを以て是等の値と第 15 表，第 21 表，第 16 表，第 17 表，第 18 表に示す d，T の値を用ひ第 23 表の (1) と同樣に d_0，d_0-d 及それ等の値の實測値との差異及差異の百分率を夫々第 23 表の (2)，(3)，(4)，(5) に示す．

No. 6 の模型は兩面の法が異なるを以て斷面が二等邊三角形を爲すとの假定の下に求めたる (51) 式及 (54) 式はその儘適用する事は不可能である．然し (51) 式及 (54) 式に示す如く，T_0 及 d_0 は法の大さに無關係なるを以て，No. 6 の模型堰堤の代りにそれと高さ及底幅の等しき二等邊三角形の

第 23 表　寒天模型の計算値と實測値との比較

(1) 模　型 No. 1

	振動臺		頭部の變位				底に對する頭部の變形			
	振幅 (mm)	週期 (sec)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)
1	10	0.726	11.10	10.97	0.13	1	1.10	0.97	0.13	12
2	10	0.590	11.66	11.54	0.08	1	1.66	1.54	0.08	5
3	8	0.483	10.11	9.97	0.14	1	2.11	1.97	0.14	7
4	5	0.417	6.83	6.79	0.04	1	1.83	1.79	0.04	2
5	5	0.444	6.46	6.55	−0.09	−1	1.46	1.55	−0.09	−6
6	3.5	0.317	6.08	6.12	−0.04	−1	2.58	2.62	−0.04	−2
7	1.5	0.253	3.89	4.04	−0.15	−4	2.39	2.54	−0.15	−6
8	0.5	0.212	2.79	2.92	−0.13	−5	2.29	2.42	−0.13	−6

(2) 模　型 No. 2

	振動臺		頭部の變位				底に對する頭部の變形			
	振幅 (mm)	週期 (sec)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)
1	10	0.739	10.24	10.27	−0.03	0	0.24	0.27	−0.03	−10
2	10	0.580	10.44	10.45	−0.01	0	0.44	0.45	−0.01	−2
3	10	0.487	10.73	10.63	0.10	1	0.73	0.63	0.10	14
4	10	0.417	10.95	10.90	0.05	0	0.95	0.90	0.05	5
5	10	0.443	10.81	10.75	0.06	1	0.81	0.75	0.06	7
6	10	0.320	10.62	10.55	0.07	1	1.62	1.55	0.07	5
7	5.1	0.258	6.49	6.43	0.06	1	1.39	1.33	0.06	5
8	2.5	0.208	3.63	3.63	0.00	0	1.13	1.13	0.00	0
9	1.5	0.184	2.42	2.44	−0.02	−1	0.92	0.94	−0.02	−3

(3) 模　型 No. 3

	振動臺		頭部の變位				底に對する頭部の變形			
	振幅 (mm)	週期 (sec)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)
1	10	1.010	10.40	10.40	0.01	0	0.40	0.40	0.00	0
2	10	0.746	10.78	10.75	0.03	0	0.78	0.75	0.03	4
3	10	0.590	11.27	11.24	0.03	0	1.27	1.24	0.03	2
4	8	0.494	9.54	9.39	0.15	2	1.54	1.39	0.15	10
5	8	0.593	9.07	8.93	0.09	1	1.07	0.98	0.09	8
6	8	0.446	9.90	9.86	0.04	0	1.90	1.86	0.04	2
7	2.5	0.333	3.85	3.71	0.14	4	1.35	1.21	0.14	10

（4）模　型 No. 4

	振動臺		頭部の變位				底に對する頭部の變形			
	振幅 (mm)	週期 (sec)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)
1	10	0.997	10.44	10.41	0.03	0	0.44	0.41	0.03	6
2	10	0.746	10.78	10.76	0.02	0	0.78	0.76	0.02	3
3	10	0.594	11.31	11.23	0.08	1	1.31	1.23	0.08	6
4	8	0.490	9.61	9.51	0.10	1	1.61	1.51	0.10	7
5	8	0.455	9.98	9.80	0.18	2	1.98	1.80	0.18	9
6	7	0.424	8.98	8.80	0.18	2	1.98	1.80	0.18	9
7	1.5	0.258	2.90	2.84	0.06	2	1.40	1.44	0.06	4
8	0.5	0.184	3.14	2.97	0.17	5	2.64	2.47	0.17	6
9	7	0.449	8.54	8.39	0.15	2	1.54	1.39	0.15	10
10	5	0.323	7.50	7.31	0.19	3	2.50	2.31	0.19	8
11	5	0.445	6.13	6.05	0.08	1	1.13	1.05	0.08	7
12	2.5	0.259	4.90	4.85	0.05	1	2.40	2.35	0.05	2

（5）模　型 No. 5

	振動臺		頭部の變位				底に對する頭部の變形			
	振幅 (mm)	週期 (sec)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)
1	10	0.731	10.69	10.66	0.03	0	0.69	0.66	0.03	4
2	10	0.587	11.07	11.06	0.01	0	1.07	1.06	0.01	1
3	8	0.490	9.29	9.26	0.03	0	1.29	1.26	0.03	2
4	7	0.422	8.65	8.55	0.10	1	1.65	1.55	0.10	6
5	7	0.447	8.40	8.36	0.04	0	1.40	1.36	0.04	3
6	5	0.326	7.15	7.10	0.05	1	2.15	2.10	0.05	2
7	2.5	0.264	4.44	4.40	0.04	1	1.94	1.90	0.04	2
8	1	0.213	2.77	2.69	0.08	3	1.77	1.69	0.08	5

斷面の堰堤を假定し，それに就て計算したる値と No. 6 の模型の實測値と比較した．かかる假定の下に求めたる a, c の値は夫々 0.150, 2.51 にして T_0=0.160sec (No. 1～No. 4), T_0=0.166sec (No. 5～No. 10) にして第 19 表，第 20 表の T, d を用ひて第 23 表と同樣に第 24 表に d_0, d_0-d 及それ等の値の實測値との差異及差異の百分率を示す．

第 23 表及第 24 表より計算値と實測値との間に如何なる程度の差異が存在するかを知り得る．上表に於て No. 1 以外の模型は二三の場合を除き實測値は常に計算値より大にして，その差異を實測値の百分率にて示せる値を見るに，頭部の變位に於ては振動臺の振幅小なるもの程その値大にして最大値は No. 6 の 7% なるも，No. 6 以外の模型にありては總て 5% 以下である．底部に對する頭部の變形は之に反して振動臺の振幅小なるもの必ずしもその値は大でなく，その最大値は 14% に及ぶも，全體を通じ 10% 以上のものは僅に 3 個に過ぎぬ．

上記兩表の各場合の加速度はその大さ異なるを以て，表に示したる變位は異なれる加速度より生じたるを以てそれ等の値をその儘比較するは不可能である．然るに第 1 編の理論的計算によれば變位は振動臺の振幅の大さに比例するを以て，實驗せし各場合の振幅の大さを適當に增減し 1000mm/sec²

第 24 表　寒天模型 No. 6 の計算値と實測値との比較

	振動臺		頭部の變位				底に對する頭部の變形			
	振幅 (mm)	週期 (sec)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)	實測値 (mm)	計算値 (mm)	差異 (mm)	百分率 (%)
1	10	0.722	10.77	10.75	0.02	0	0.77	0.75	0.02	3
2	5	0.600	5.53	5.57	−0.04	−1	0.53	0.57	−0.04	−7
3	5	0.427	6.21	6.19	0.02	0	1.21	1.19	0.02	2
4	5	0.756	5.35	5.34	0.01	0	0.35	0.34	0.01	3
5	5	0.496	6.04	5.89	0.15	2	1.04	0.89	0.15	14
6	5	0.331	7.61	7.41	0.20	3	2.61	2.41	0.20	8
7	1.5	0.263	3.04	2.94	0.10	3	1.54	1.44	0.10	7
8	1	0.215	3.38	3.16	0.22	6	2.38	2.16	0.22	9
9	0.5	0.220	1.58	1.47	0.11	7	1.08	0.97	0.11	10
10	0.5	0.201	2.24	2.09	0.15	7	1.74	1.59	0.15	9

の加速度の作用したる場合の底部に對する頭部の變形を第 23 表，第 24 表より求め，それ等の値を第 32 圖に示す．

第 32 圖より 1000 mm/sec² により生ずる底に對する頭部の變形の大さは振動週期が小，既ち模型の有する自由振動週期に近づくに從ひて漸次に增大し，その曲線の形狀は第 7 圖の曲線に類似する．特に (1) 圖の 0.212sec の週期による變形 (No. 1 の模型の自由振動週期は 0.185 sec), (4) の 0.184 sec の變形 (T_0=0.159 sec), (6) の 0.201 sec の變形 (T_0=0.166 sec) 等は何れも振動週期が自由振動週期に近き爲に變形の値が著しく增大せる場合を示す．又第 32 圖の底部に對する頭部の變形の實測値と計算値の差異の實測値に對する百分率の値を見るに，振動週期小なるもの (一般に振動臺の振幅小) 必ずしもその値大ならざる事を知る．

(2) 中立軸に於ける變位の比較　振動中に於ける模型堰堤の中立軸上の各點の位置は附表第 1 に示したるを以て，横軸に時間の尺度を適當にとり位置の値を圖面上に記入する時は振動中に於ける變位曲線が得らるゝを以て，最大變位は同曲線より讀みとり得る譯であるが，先に頭部の變位の際に述べたる如く一般に變位曲線は主振動と週期小なる振動とが重なり合へる爲と，フイルム上の位置をコンパレーターにて求める際の誤差とにより圖面上に變位曲線を記入し，各點の變位の最大値を求める事は頗る困難である，從つて本文に於ては變位の最大値を求むるに次の方法を用ひた．

振動中に於て各點は完全なる正弦運動を行ふものとすれば (主振動は近似的に正弦運動を行ふ) 各點の位置の大さ s は次の如く示さる．

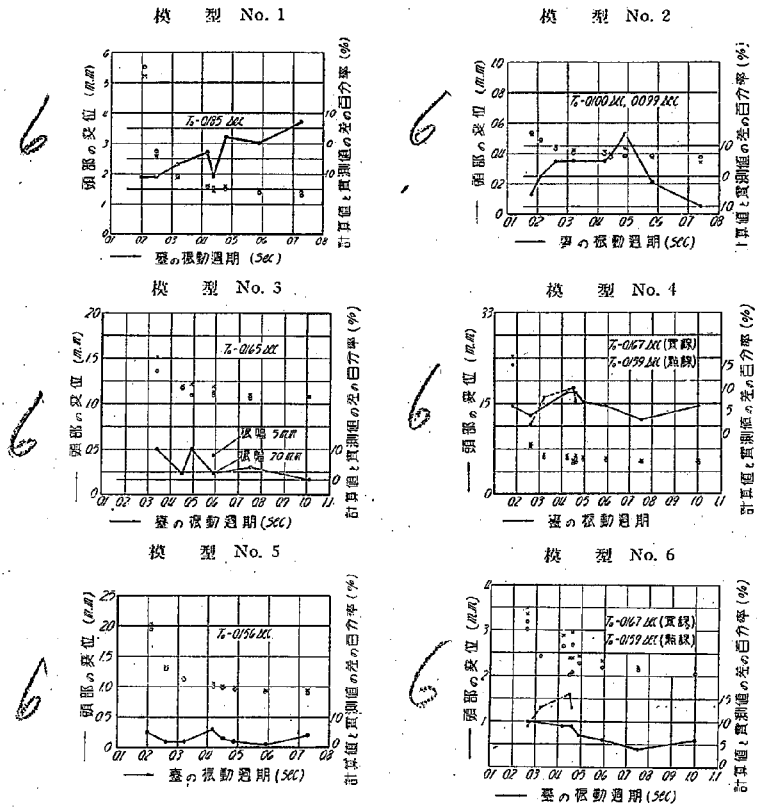
$$s=A\cos\left(\frac{2\pi}{T}t+\varepsilon\right)+z$$

又は

$$s=A\cos\varepsilon\cos\frac{2\pi}{T}t-A\sin\varepsilon\sin\frac{2\pi}{T}t+z \quad \cdots\cdots(55)$$

(55) 式に於て A は變位曲線の振幅の大さ，T は振動臺の週期，ε は位相，z は各點の位置の原點と正弦曲線の 0−線との距離を示す．

(55) 式に於て振動週期 T は振動臺の變位曲線より容易に求められ既知である．附表第 1 に求めた



○ 計算値，　× 實測値

第　32　圖

1,000mm/sec² の加速度による頭部の變形

る s の値は先に述べたる如くフイルムの各齣毎の又は一齣置きの値なるを以て，一齣移動するに要する時間を求める必要がある．然るに本實驗に於てはフイルム上に時間を刻む裝置を使用せざりし爲にその一齣の移動に要する正確なる時間を求むるは不可能であつた，從つて次の便法を用ひて一齣を移動するに要する時間を求めた．フイルムの速度は大體一樣と見做し得るを以て，各點の位置を圖面上に記入する時は曲線より一週期間に何個の齣が移動し得るかを求め得る．從つて一振動週期の大さは先に述べたる如く既知なるを以て一齣移動するに要する時間が求めらるゝを以て (55) 式に於ける t の値も既知となる．かくして求めたる t の値には多少の誤差も生じ得るを以てその A の値に及ぼす影響の程度は別に求める必要がある．(55) 式に於て $x=A\cos\varepsilon$，$y=-A\sin\varepsilon$ と置く時は

$$s=x\cos\frac{2\pi}{T}t+y\sin\frac{2\pi}{T}t+z$$

となり，x, y, z の値を最小二乘法により求めた．必要なる變位曲線の振幅 A は (56) 式より求めらる．

$$A=\sqrt{x^2+y^2} \quad \cdots\cdots(56)$$

本文の如く主振動に週期小なる他の振動が附加する如き場合に最小二乘法により振動の振幅の大さを求める事の適當であるか否かは不明であるが，附加せる振動の週期を求めることが不可能なるを以て（實際は存在するか否かも明でない），それを除去する適當なる方法を見出し得なかつた，從つて本文の如き方法を使用したのであるが，先に述べたる如く計算値と實測値との大體の差異を知れば足り，又圖面上に各點の位置を記入して，變位曲線の振幅を求めるよりは優れたる方法なるを以て最小二乘法により A の値を求めた，t の値は間接に求めたるを以て前述の如く多少の誤差の生ずる虞れがある，而して t の値の誤差は實質上は振動週期の誤差と同一の結果にて計算に齒數を多く使用する時は測定の誤差は省略し得れど週期に多少の誤差がある時は却つて著しく大なる影響を及ぼすを以て主として測定一振動週期内の齒數を用ひて A の値を求めた．

最小二乘法により求めたる A の値を第 25 表に示す．

第 25 表　中立軸の各點の最大變位

（單位 mm）

番號	①	②	③	④	番號	①	②	③	④
1	11.67	11.61	11.37	10.97	7	14.98	14.30	12.77	10.70
2	18.60	18.30	17.40	15.55	8	21.13	20.32	18.19	14.26
3	11.67	11.47	11.11	10.25	9	15.06	14.79	13.41	11.45
4	14.35	14.27	13.54	12.35	10	12.20	11.98	10.88	9.77
5	22.52	21.85	19.55	16.81	11	11.94	11.99	10.31	8.39
6	9.54	9.32	8.89	8.10	12	16.56	16.20	14.02	10.55

番號	①	②	③	④	⑤	⑥
13	21.40	20.39	18.11	15.40	11.08	7.95
14	12.63	13.60	12.67	11.55	9.37	7.66
15	18.32	17.60	16.30	14.61	11.73	9.79
16	13.85	13.46	12.67	11.89	10.45	9.18

フイルムの速度，卽ち (55) 式の t の値の誤差の A に及ぼす影響を求める爲に，No. 2 の ① なる點の最大變位に就て振動週期の値を變へそれによる A の變化を求めんとす．第 25 表に示したる値は一振動週期間に 12.74 齒移動するものとして求めたるが，今一週期間に 12, 12.5, 13, 13.5 齒移動する場合の A の値を求め第 26 表に示す．

第 26 表　フイルムの速度と A の値

一週期間の齒數	12	12.5	12.74	13.0	13.5
A の値	18.43	18.64	18.60	18.64	18.80

第 26 表に示す如く一齒の移動に要する時間に多少の誤差が存在するも頭部の變位曲線の振幅に及ぼす影響は餘り著しくはない，從つて第 25 表の値を以て中立軸の各點の最大變位の實測値とする．

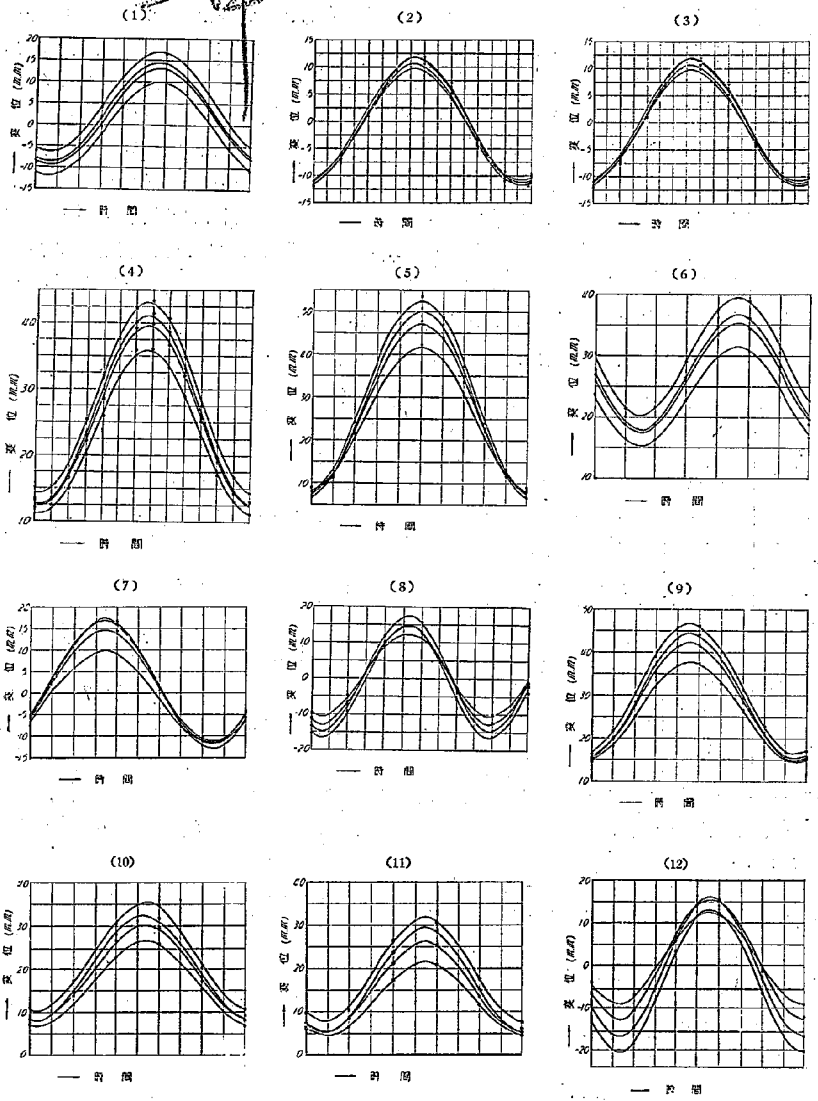
最小二乘法により求めたる變位曲線とコンパレーターの讀みより求めたる變位との間に如何なる差異があるかを第 33 圖に示す．

6×12=72

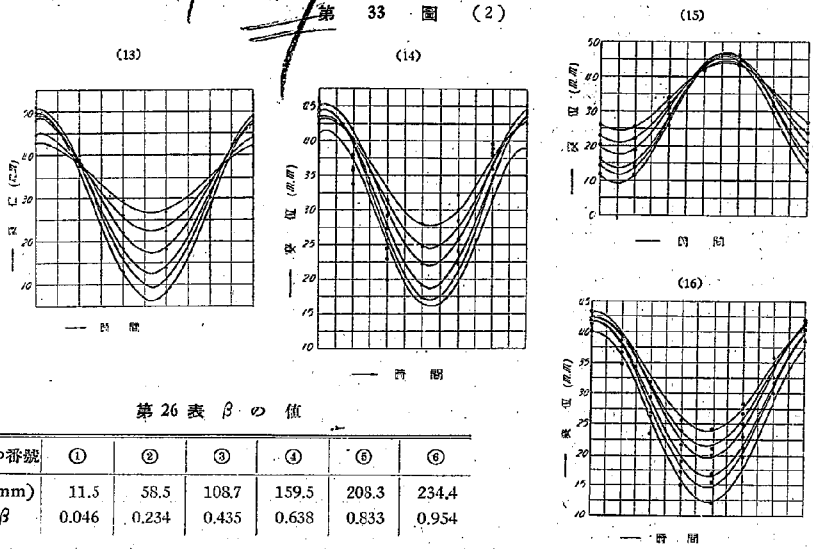
第 33 圖 (1)

最小二乘法より求めたる變位曲線と實測値

實 測 値



第 33 圖 (2)



第 26 表 β の 値

點の番號	①	②	③	④	⑤	⑥
z(mm)	11.5	58.5	108.7	159.5	208.3	234.4
β	0.046	0.234	0.435	0.638	0.833	0.954

中立軸の各點に於ける最大變位は (53) 式より計算し得る. 然るに $\alpha=0.021$, $T_0=0.162$ sec なるを以て $z/H=\beta$ と置けば $f_1(z)$, 卽ち各點の變位曲線の振幅 A は次の如く示さる.

$$A=d\frac{Y_1\left(\frac{0.0078}{T}\right)J_0\left(\frac{0.390}{T}\beta\right)-J_1\left(\frac{0.0078}{T}\right)Y_0\left(\frac{0.390}{T}\beta\right)}{Y_1\left(\frac{0.0078}{T}\right)J_0\left(\frac{0.390}{T}\right)-J_1\left(\frac{0.0078}{T}\right)Y_0\left(\frac{0.390}{T}\right)}\quad\cdots\cdots(57)$$

變位を測定したる中立軸上の諸點の位置は第 31 圖に示さるるを以て, β の値は $H_0=5.3$ mm, $H=250$ mm なるを以て第 26 表に示す如く求めらる.

第 22 表の d, T 及第 26 表の β の値を用ひて各點に於ける A は (57) 式より容易に計算し得る.

堰堤の頭部の變位曲線の振幅 A の實測値, (第 25 表の値), 計算値, 及び實測値と計算値の差異の實測値に對する百分率を第 27 表に示す.

第 27 表より計算値と實測値との間に如何なる程度の差異が存在するかを知り得る. 卽ち差異の百分率を見るに一般に頭部に最も近き①點に於て必ずしも最大でなく, 却つて下端の④點の方が一般に大にして, その中間の②點, ③點が比較的小である. その値は最大 14% に及ぶが 10% 以上の場合は僅に4回に過ぎず, 他の多くは 5% 以下である, 然し頭部の變位のみ測定したる場合に比すれば實測値と計算値との差異は大である. 其の原因として作用する加速度が前回に比して大なると, 測定が比較的困難なるとの二つが考へらる. 第 34 圖に中立軸の變位の計算値と實測値とを示す.

圖を見るに No. 3, No. 7, No. 13 は兩者が比較的一致してゐる. 然し No. 4, No. 9, No. 10 等に示す如く, 實測値の變位は計算値に比して頭部に近き部分よりも最下端附近を除ける下部に近き部分の方が大なる傾向を有し, 其の原因は明ならざるも, 若し下端に比して上端の剛性係數が大なる場合には上部より下部の方の變位が比較的大となる傾向あることより考ふれば上端の剛性係數が下端

第 27 表　寒天模型 No. 3 の變位の實測値と計算値の比較

	振動臺		①			②			③			④		
	振幅 (mm)	週期 (sec)	實測値	計算値	百分率	實測値	計算値	百分率	實測値	計算値	百分率	實測値	計算値	百分率
no. 1	10	0.468	11.67	11.97	−2.5	11.61	11.88	−2.3	11.37	11.61	−2.1	10.97	11.17	−1.8
no. 2	10.2	0.266	18.60	19.22	−3.3	18.30	18.68	−2.0	17.40	17.35	0.2	15.55	15.26	1.8
no. 3	8.0	0.331	11.67	11.81	−1.1	11.47	11.60	−1.1	11.11	11.06	0.4	10.25	10.21	0.3
no. 4	8.1	0.269	14.35	15.02	−4.6	14.27	14.61	−2.3	13.54	13.58	−0.2	12.35	12.08	2.1
no. 5	8.3	0.217	22.52	24.29	−7.8	21.85	23.30	−6.6	19.55	20.78	−6.2	16.81	16.99	−1.0
no. 6	5	0.266	9.54	9.53	0.1	9.32	9.26	0.6	8.89	8.60	3.2	8.10	7.56	6.6
no. 7	5.2	0.219	14.98	14.81	1.1	14.30	14.21	0.6	12.77	12.70	0.5	10.70	10.42	2.6
no. 8	4.2	0.191	21.13	21.51	−1.7	20.32	20.37	−0.2	18.19	17.52	3.6	14.26	13.33	6.5
no. 9	4.2	0.205	15.06	14.98	0.5	14.79	14.29	3.3	13.41	12.56	6.3	11.45	9.97	12.9
no. 10	4.1	0.218	12.20	11.94	2.1	11.98	11.46	4.3	10.88	10.24	5.8	9.77	8.39	14.1
no. 11	3.1	0.204	11.94	11.30	5.3	11.99	10.78	10.0	10.31	9.46	8.2	8.39	7.49	10.7
no. 12	3.1	0.188	16.56	17.54	−5.9	16.20	16.58	−2.3	14.02	14.19	−1.2	10.55	10.68	−1.2

點の番號	no. 13 振幅 7.3mm 週期 0.217sec			no. 14 振幅 7.2mm 週期 0.265sec			no. 15 振幅 9.2mm 週期 0.264sec			no. 16 振幅 9.1mm 週期 0.331sec		
	實測値	計算値	百分率	實測値	計算値	百分率	實測値	計算値	百分率	實測値	計算値	百分率
①	21.40	21.24	0.7	12.63	13.66	−8.1	18.32	17.57	4.0	13.85	13.35	3.6
②	20.39	20.37	0.09	13.60	13.28	2.4	17.60	17.08	2.9	13.46	13.31	1.1
③	18.11	18.18	−0.3	12.67	12.31	2.8	16.30	15.82	2.9	12.67	12.50	1.3
④	15.40	14.48	5.9	11.55	10.82	6.3	14.61	13.89	4.9	11.89	11.50	3.2
⑤	11.08	10.96	1.0	9.37	8.99	4.0	11.73	11.52	1.7	10.45	10.33	1.1
⑥	7.95	8.32	−4.6	7.66	7.71	−0.6	9.79	9.95	−1.6	9.18	9.45	−2.9

第 28 表　底に對する頭部の變位

(單位 mm)

	實測値	計算値	差異	百分率		實測値	計算値	差異	百分率
1	1.67	1.97	−0.30	−18	9	10.86	10.78	0.08	1
2	7.57	9.19	−1.62	−21	10	8.10	7.84	0.26	3
3	3.57	3.71	−0.14	− 4	11	8.84	8.20	0.64	7
4	6.15	6.82	−0.67	−11	12	13.46	14.44	−0.98	− 7
5	14.12	15.89	−1.77	−13	13	14.10	13.94	0.16	1
6	4.54	4.53	0.01	0	14	5.43	6.46	−1.03	−19
7	9.61	9.78	−0.17	− 2	15	9.12	8.37	0.75	7
8	16.93	17.31	−0.38	− 2	16	4.75	4.25	1.35	10

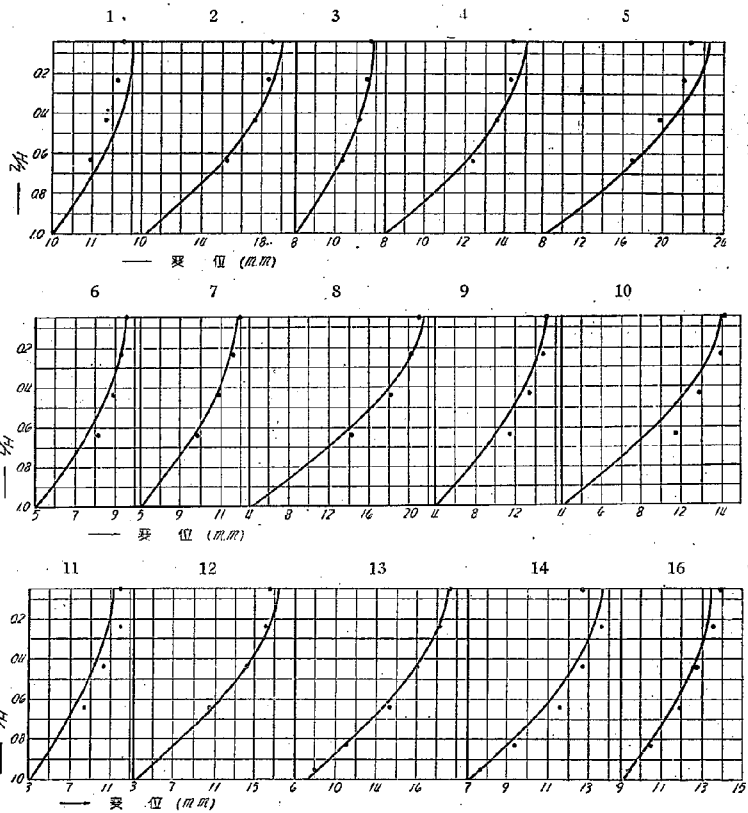
より大なる爲とも考へらるるが No. 13, No. 14, No. 15, No. 16 に示す如く測定値中の最下端の⑥點は總て實測値は計算値より却つて小となる事より見れば單に剛性係數の差異のみならず他の原因に依るのであるかも知らぬ.

光學的方法により測定したる結果と比較する爲に本實驗の①點（頭部より 5.3mm 下方に 位する）の變位と，本實驗と同一の模型に就て行つた（自由振動週期は兩者多少異なる）第 23 表 (3) の結果

第　34　圖

中立軸の變位の實測値と計算値の比較

○ 實　測　値



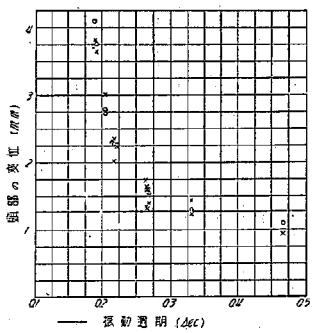
と比較する．①點の底部に對する最大變形を第 27 表より求め第 28 表に示す．

第 23 表 (3) と第 27 表，第 28 表とを比較するに活動寫眞によるもの丶方が差異著しく大である，即ち頭部の變位そのものを比較するに前者の誤差は最大 4%，多くのものは殆んど差異が存在せざるに關らず後者は最大 8%，底部に對する頭部の變形は前者の最大 10%なるに後者は 21% に及ぶ，その原因は前述の如く加速度大なる爲に振動臺の振幅に對する頭部の變形の割合大なる爲，測定の不備等により少しの誤差生ずるも百分率に及ぼす影響大なる爲である．

次に著しい現象としては光學的方法による場合には實測値は總て計算値より大であつたが活動寫眞を使用したる場合は然らず大なる場合も小なる場合もある．その原因としては

（1） 光學的方法による場合は頭部に測定裝置を附加する爲に多少水平力が作用する．

（2） 光學的方法による測定値は主振動によるものの外に週期小なる振動による變位も附加さるゝ場合が多いが，最小二乘法により求めたる第 25 表の値は第 33 圖等に示す如く實測値より小なる場合が多い等が考へられるがいづれが主であるか，又他に有力なる原因あるかは充分明でない．第 32 圖と同樣に 1000mm/sec² の加速度の作用したる場合の底部に對する①點の變位を第 35 圖に示す．



第 35 圖
頭部の變形と加速度との關係(模型 No3.)
(活動寫眞による測定)
○ 計算値 × 實測値

第 32 圖 (3) と比較するに兩者は大體類似する事を知る．

光學的方法より求めたる値と比較したる結果によれば兩者の間に誤差の大小の差は多少存在するけれども大體その傾向は一致し，測定裝置を頭部に附加したる爲に生ずる影響は實驗により生ずる誤差の範圍内に入る程度なるを知る．

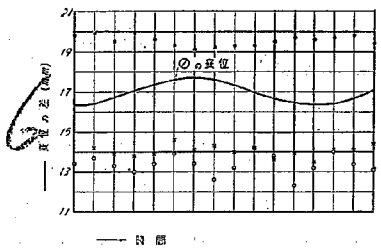
（3） **同一水平斷面上に於ける變位の比較**　同一水平斷面上に存在する諸點の變位が中立軸を距るると共に如何なる變化を爲すかを知る爲に No. 2, 3, 4, 5, 9 の 5 場合に於て同一水平斷面上の二點，卽ち第 31 圖に示す②と⑧，③と⑭及④と⑮の振動中に於ける位置の差異を求め附表第 2 に示した．元より二點間の變位の差異を求めるには中立軸上の諸點と同樣に最小二乘法等により二點の變位曲線の振幅を求める心要があるが (2) に示す如く振幅を求めるには非常なる手數を要し且つ我々の求めるは變位にどの程度の差異があるかを知れば足るを以て，二點間の位置の差を求めそれ等の値を圖面上に記入し振幅の差異の大さを求めた．

第 36 圖に齒數を横軸にとり附表第 2 の値を縱軸に，卽ち二點間の變位曲線の差異を示した．上圖に於て①の變位と示せるは①點の變位を縮小して示せるものにて振動臺の振動と見做し得る．

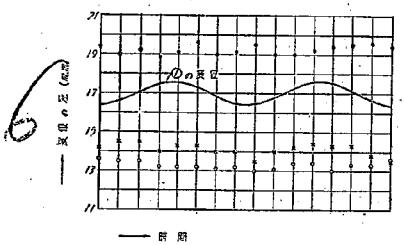
今中立軸の諸點の變位が外側の諸點の變位より小なりとすれば第 36 圖に示せる諸點の値は中立軸の變位より外側の點の位置を滅じたる値なるを以て振動臺の變位が最大値をとる場合には是等の諸點の値は最小値となる，卽ち①の變位曲線の山に相當する時刻には變位の差異の變位曲線は谷とならなければならぬ．之に反し中立軸の諸點の變位大なる時は兩者の變位曲線は全く同一にして①の變位曲線の山なる時刻には山に，谷なる時刻には谷となる筈である．第 36 圖に於ける曲線を見るに上記の二つの場合が混交して存在する．中立軸より外側の變位大なりと明瞭に認めらるゝは No. 2 の②—⑧, No.3 の ②—⑧, No.4 の ②—⑧, にして，中立軸より外側の變位小なりと認めらるゝものは No.3 の ③—⑭ No.5 の ②—⑧, ③—⑭, ④—⑮, No.9 の ③—⑭, ④—⑮ にして他は小振動加はる爲が明瞭でない，卽ち堰堤の上部の ②—⑧ は ② 點の變位は ⑧ より小にて，下部の ③—⑭, ④—⑮ は中立軸上の變位の大なる傾向が上圖より認めらるる．然し上記の結果より直ちに頭部に近き部分に於ては中立軸上の變位は外側より小にして，頭部より約 1/3 H 以下の部分に於ては中立軸上の變位が外側より大なりとは云ひ得ない．

第　36　圖
同一水平面上の二點の變位の差

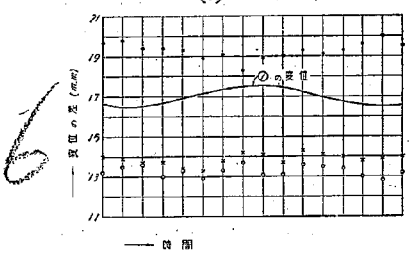
(1)　No. 2



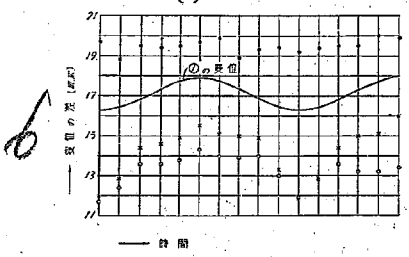
(2)　No. 3



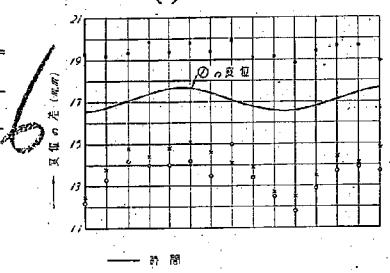
(3)　No. 4



(4)　No. 5



(5)　No. 9



第 29 表　同一水平斷面上の變位の差
(單位 mm)

	②−⑧		③−⑭		④−⑮	
	差異	比	差異	比	差異	比
No. 2	0.45	0.02	0.55	0.03	0.90	0.06
No. 3	0.35	0.03	0.50	0.05	0.25	0.02
No. 4	0.55	0.04	0.50	0.04	0.45	0.04
No. 5	0.55	0.02	1.25	0.06	1.05	0.06
No. 9	0.50	0.03	1.20	0.10	1.15	0.10

第（36）圖より求めたる變位の差異の曲線の振幅（振幅を求め得ざる場合は最大値と最小値の差の半分を以て振幅とする）及中立軸上の點の變位曲線の振幅との比を第 29 表に示す.

第（29）表より變位の差異と中立軸上の點の變位との比は最大 10% なるを以て同一斷面上の諸點の變位は 10% 內外の差異を許すならば同一と見做し得る.

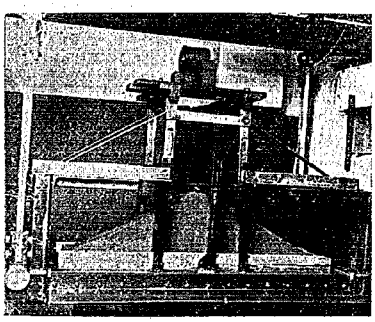
（4）結言　本節に於て寒天模型を用ひ得たる實測値と計算値とを比較したる結果によれば兩者の間には多少の差異が存在した，然し模型の不均等，測定裝置の不備，測定に伴ふ誤差等を考慮す時は實測値と計算値の間に多少の差異の存在も止むを得ざるを以て，寒天の如く力學的性質が彈性體に近き物質よりなれる堰堤の中立軸の變位は第一編の計算により實用上の目的には充分役立ち得る程度に計算し得る事を知つた.

IV 模型土堰堤の實驗

〔8〕緒 言

III に於て寒天よりなる模型堰堤の實驗結果によれば第一編の理論的に求めたる計算値と實驗値とが可成りよく一致することを知つた．本章に於ては赤土，粘土及それ等と砂の混合物より製作されたる模型に就て實驗を行ひ，堰堤を構成する材料が彈性體なる假定の下に求めたる計算値と實測値を比較し，第一編の理論的計算が是等の材料より構成さるる土堰堤に如何なる程度迄適用され得るかを確めんとす．

寒天は剛性係數小なるを以て比較的小なる加速度を受ける場合に於ても變形量は相當大にして，且つ大なる變形を爲すも容易に破壞せざるを以て前章に示したる如く約 15 倍内外の倍率を使用して充分大なる記象を得られたるを以て變位の測定は比較的容易であつた．之に反し上記の諸材料は剛性係數が寒天に比して著しく大なるを以て同一加速度を受けたる場合には變形量は非常に小であり，又比較的小なる變形を爲すも直ちに破壞する危險がある，然るに記象上の像は測定し得るに足る大さを必要とする爲に，模型の大さを大として變位を增大するか，又は倍率を著しく大とする必要があり寒天の場合に比して變位の測定は頗る困難である．



第 37 圖
頭部の變位測定裝置

本實驗に使用したる振動裝置の臺は大さが限定せらるるを以て大なる模型を使用する事は不可能である，從つて大なる倍率の裝置を使用したが未だ充分と云ふ程度には至らなかつたが故に寒天の場合に比し作用する加速度を大にし，大なる變形を生ぜしむる如くし，且つ測定困難なるを以て頭部のみの變位を測定するに止めた．

〔9〕實驗方法

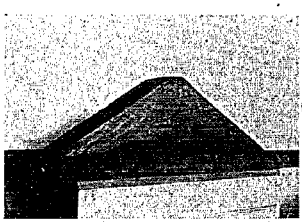
（1）測定裝置 測定裝置は寒天の場合と全く同樣にして唯振動臺の加速度の著しく大なる場合を使用したるを以て第 37 圖に示す如く廻轉暗箱を支持する架構に補强を行ひ，箱と振動臺との連結を堅固にしたる點が異なる．又大なる倍率を必要とする爲に第 23 圖（b）の平面鏡と堰堤の頭部の銅鈑とを連結せる棒 A の長さを寒天の場合の約 1/5 とし，焦點距離大なる凸面鏡を使用して 100 倍内外の倍率を使用した．

（2）模型の製作 上記の材料を用ひて一樣なる力學的性質を有する模型堰堤を製作するは頗る困難である．卽ち堰堤全體に亘りて一樣なる含水量，密度及組成を有せしめる事は全く不可能であり，從つて實驗に使用したる模型堰堤は完全に一樣なる組成を有するとは云ひ得ないが，出來得る限り一樣なるものを製作すべく努めたるを以て，近似的には一樣と見做し得る程度である．

堰堤を製作するには材料を出來得る限り細く紛碎し，8 番篩を通過せしめ，かく紛碎したる土の紛末に適當なる水分を加へて總ての部分が一樣なる含水量を有する迄充分に混和し，寒天模型製作に使用したるものと相似たる型枠中に適當なる厚さに盛り上げ木製の搗棒にて一樣なる密度となる如く適當に搗固め漸次に盛り上げる．兩法は鏝にて平にし一樣なる勾配を與へ，次に型枠を取り兩側の垂直なる面も法面と同樣に鏝にて平にし，かく製作されたる模型堰堤は水にて濕せる布にて覆ひて保存し

た．然しかく濡れたる布にて覆ふも水分は模型の表面より蒸發し密度及剛性係數が變化するを以て，實驗の前日の午後模型を製作し翌日使用することゝした．振動臺上に模型を取り附けるには寒天の場合と同樣に模型を載せたる板を螺旋にて臺に取り附け，板と模型本體との連結方法は模型の底部を板の中に約 2 cm 位埋め込みて底部の固定の條件を滿足せしめた，然し實驗の結果底部にて剪斷せらるる惧れは全く無かつた．銅板を模型の頭部に固定せしめるには釘にては不充分にして模型の頭部と銅板とが容易に相對的運動を行ふを以て水にて薄めたる硅酸ソーダ（soduim silicate）の溶液を頭部の銅板を固定せしめる附近に注入し，表面約 3mm 位の厚さを凝固せしめ，銅板と頭部との固定を完全ならしめた．

第 38 圖はかくして製作したる No. 3 の模型を示す．本實驗に於ても大小二個の型枠を用ひたるが，No. 3 以外は總て大なる型枠を使用した．



第 38 圖
模型土堰堤 No. 3

（3）測定方法　頭部の變位の測定方法は寒天の場合と全く同樣にして，頭部の變位を光學的方法により約 100 倍の大さに擴大し，廻轉ドラム上に捲けるブロマイド紙に記錄せしめた．第 39 圖は No. 6 の模型堰堤の記錄を示す，同圖の記錄に小なる週期の振動が附加するは作用する加速度大なる爲に光源の電球の filament の振動により生じたるものである．振動臺の振幅及振動週期の測定方法は寒天の場合と全く同樣である．

〔10〕實驗結果

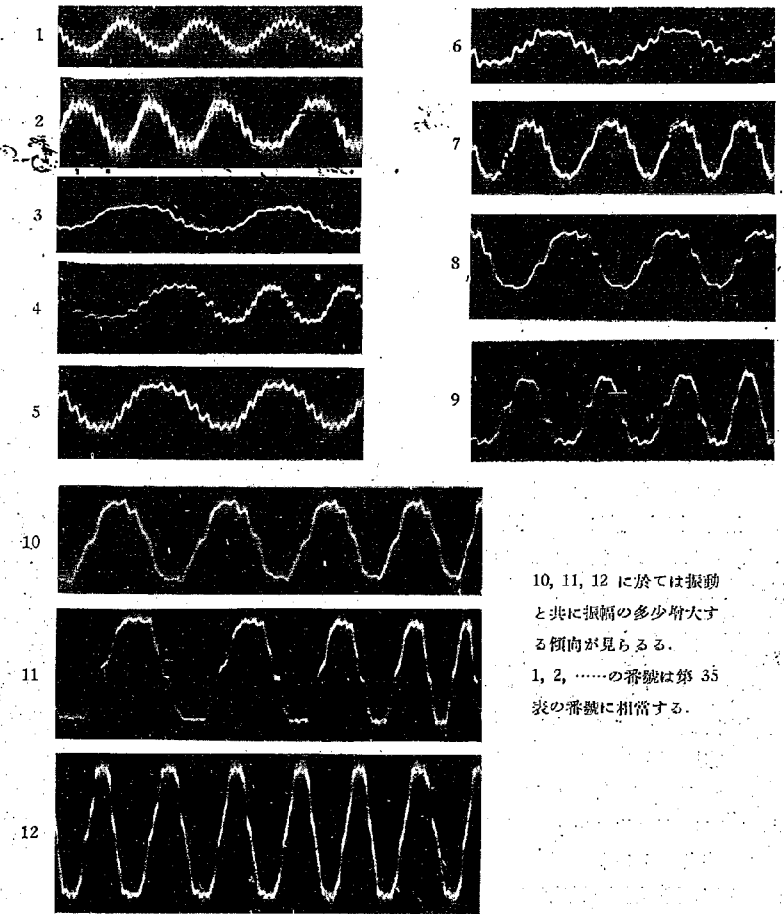
實驗に使用したる土堰堤模型は 7 個にして實驗の順序に從ひて No. 1, No. 2, No. 3, No. 4, No. 5, No. 6 及 No. 7 と區別する．No. 1 と No. 2 は赤土にしてその含水量を異にし，No. 3 及 No. 4 は所謂荒木田と稱せらるる土壤よりなり，模型の大さ及含水量を異にする，No. 5 及 No. 6 は荒木田と砂とを等量に混じたものにて，No. 7 は生形砂（荒川産）と砂との混合物である．

1) No. 1 の模型　No. 1 の模型は赤土より構成され破壞したる時の含水量は重量比にて 42.52 %，比重 2.45…玆に比重と云ふは空隙も含めたる場合の單位體積の質量にあらず…にして篩分より求めたる均等度は第 40 圖の（1）なる曲線に示す如し．

是等の數値は模型堰堤が破壞したる際に模型內部より必要なる量だけ材料を採取し，瓶につめパラヒンにて螺閉したるものに就て求めたるものなるが大體實驗中に於ける模型の材料の値と見做し得る．元より是等の資料より土の有する力學的性質を示す事は不可能であるが模型製作に如何なる材料を使用したるかを示すに足る．

模型は高さ 25 cm，底幅 98 cm，頭部の幅 6 cm にして兩面の法は約 1.8 割にして大體寒天模型に近い形狀を爲す．實驗前及中途に於て高さを測定したるも少しの變化を見出し得なかつた．而して模型は最後の實驗に於て破壞したるを以て實驗後に於ける形狀を測定するは不可能であつたが，上記の高さの測定の結果より實驗の前後に於て形狀に殆んど變化なき事は推定するに難くない．

緒言に於て述べたる如く加速度小なる場合に於ては頭部の變形は殆んど見出し得ざる程小なるを以て大なる加速度を作用せしめる必要がある，然るに本裝置の臺の振幅は最大 10mm なるを以て振幅



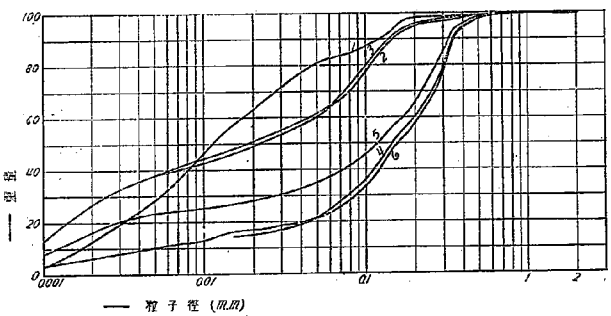
10, 11, 12 に於ては振動と共に振幅の多少增大する傾向が見らるる.
1, 2, ……の番號は第 35 表の番號に相當する.

第 39 圖
No. 6 の頭部の變位の記象

に制限を受ける爲小なる週期により加速度を大とし，從つて多く 0.3 sec より小なる週期を用ひたるを以て週期の變化の範圍は極めて局限された．而して加速度は第 30 表に示す如く 5,000～10,000 mm/sec² の範圍に變化する．

頭部の變形の記象は第 39 圖に示す如く加速度大なる爲に測定用の電球の filament の振動が主振動に伴ひ寒天の場合に比較すれば主振動の振幅を求めるは頗る困難にして變位曲線の山及谷附近の最大値と最小値の平均値を以て曲線の谷及山と見做し，それより振幅を求めた，從つて測定の際に寒天

に比し多少大なる誤差が伴つたが止むを得なかつた．No. 1 の實驗の際は 100 倍の倍率を與ふる裝置が未だ製作されざりしを以て倍率 52.12 のものを使用した．臺の振幅，週期，加速度，記象の讀み，頭部の實動を第 30 表に示す．但し加速度の大さは寒天の場合と同樣に振動臺が正弦運動を行ふものとして計算的に求めたる値を示す．



第 40 圖
模型土堰堤の土の均等度

第 30 表　土堰堤 No. 1 の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀	實動 (mm)
1	10.3	0.265	5,770	4.2	0.080
2	9.4	0.217	7,940	8.2	0.157
3	9.3	0.263	5,290	4.1	0.079
4	5.3	0.203	5,100	3.8	0.073
5	5.3	0.188	5,900	4.9	0.094
6	5.3	0.174	6,930	5.9	0.113
7	6.4	0.177	8,160	7.4	0.142
8	7.5	0.179	9,282	10.5	0.201
9	8.5	0.176	10,872	16.7	0.320

堰堤の頭部の最大變形とは底部に對する頭部の變形を意味す

2) **No. 2 の模型**　No. 2 の模型は No. 1 と全く同一の材料を使用したるものにして含水量は多少大にして 45.30% (約 3% 大なり)，比重は 2.45 にして同一である．粒度率は No. 1 と全く同一なるを以て別に篩分は行はなかつた．然し同一の材料を使用するも均等度，比重等は多少の差異が存在する如くであるが，本模型はNo. 1 に使用したる材料と小量の新なる材料とを充分混和し水分を加へ使用したるを以て大體同一と見做し得る．大さは高さ 25 cm，底幅 98 cm，頭部の幅 5 cm にして法は約 1.9 割である．本模型は No. 1 に比し多少變形量大なると倍率が前者の約 2 倍の 99.12 を有する測定裝置を使用したるを以て振動週期が 0.3 sec より大なる場合も實測を行つた．測定に使用せし加速度は大體 3,000～9,000mm/sec² の間に變化する．臺の振幅，週期，加速度，記象の讀み，頭部の實動を第 31 表に示す．

3) **No. 3 の模型**　No. 3 は所謂荒木田と稱する砂交り粘土の一種にして含水量は 22.73%，比重は 2.60 にして均等度は第 40 圖の (2) の曲線に示す如し．

本模型は小なる形枠を使用したるを以て，その大さは高さ 18.9 cm，底幅 60 cm，頭部の幅 3 cm にて法は約 1.5 割である．

本材料は含水量大なる時は自重の爲に漸次變形し自らの形狀を保ち得ず遂に破壞する．而して本模型も自重の爲に變形し實驗の後半に於ては垂直なる兩面の腹部に多少の膨みが認められ，それと同時に堰堤の頭部が多少低下したるが實驗に差し支へる程著しくはなかつた．然し同一材料よりなる No. 4 の模型は含水量少し大なると，高さ大なる爲に此の現象が著しく現はれた．倍率は 100 倍のものを使用したるも堰堤の高さ小なる爲に變形量小なるを以て，振動臺の週期は大體 0.2sec 前後の早き

第 31 表 土堰堤 No. 2 の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	5.4	0.191	5,800	9.2	0.093
2	5.4	0.180	6,580	10.9	0.110
3	6.3	0.219	5,180	6.6	0.066
4	7.3	0.220	5,980	8.5	0.086
5	8.4	0.220	6,820	11.4	0.115
6	8.2	0.324	3,080	3.6	0.036
7	9.0	0.322	3,510	4.2	0.042
8	10.2	0.324	3,850	4.9	0.049
9	9.3	0.264	5,290	6.5	0.066
10	10.3	0.264	5,860	7.7	0.078
11	9.5	0.216	8,080	16.1	0.162
12	10.5	0.223	8,270	19.7	0.199

第 32 表 土堰堤 No. 3 の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	7.4	0.219	6,090	4.6	0.046
2	7.4	0.200	7,300	5.7	0.057
3	7.5	0.190	8,190	9.1	0.091
4	8.4	0.206	7,760	9.4	0.094
5	9.4	0.208	8,590	11.8	0.118
6	10.4	0.206	9,680	19.9	0.199
7	5.3	0.206	4,910	4.5	0.045
8	6.3	0.197	6,360	5.9	0.059
9	6.3	0.194	6,610	7.3	0.073
10	6.4	0.201	8,191	11.2	0.112

第 33 表 土堰堤 No. 4 の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	10.1	0.446	2,000	8.1	0.079
2	9.1	0.449	1,790	6.4	0.063
3	8.1	0.440	1,650	5.7	0.056
4	8.2	0.366	2,400	8.9	0.087
5	8.2	0.328	3,000	17.4	0.170
6	9.2	0.373	2,600	13.4	0.131
7	9.2	0.323	3,460	24.6	0.241

場合を使用し，加速度は 5,000～10,000 mm/sec² に達した．臺の振幅，週期，加速度，記象の讀み，頭部の實動を第 32 表に示す．

4) No.4 の模型 No. 4 はNo. 3 と同じく荒木田にして型枠の大なるものを使用したるを以て大さ異なる．含水量は 24.27% (No. 3 より約 1.5% 大)，比重 2.65 にして均等度は第 40 圖の (3) なる曲線に示す如し．

第 40 圖の (2) 及 (3) の曲線を比較するに同一材料より得たる均等度は圖に示す如く多少異なる，その原因は荒木田が均等なる組成を有せざる爲に依るものなるが兩曲線の差異は小にして此の場合は無視し得る程度である．大さは高さ 23.37 cm，底幅 98 cm，頭部の幅 4 cm にして法は約 2 割にて使用したる倍率は 102.0 である．先に述べたる如く本模型は含水量が No. 3 より多少大なる事と，高さ大なる爲に自重により實驗の中途にて破壞するに至つた．剛性係數小なる爲に比較的變形し易く臺の振動週期は 0.45 sec の大なるものも使用した，加速度は 1,500～ 3,500 mm/sec²，臺の振幅，週期，加速度，記象の讀み，頭部の實動を第 33 表に示す．

5) No. 5 の模型 No. 5 は上記の荒木田と略等量の細粒の砂とを混じ適當なる水分を加へたるものにして含水量は 17.74%，比重 2.66，均等度は第 40 圖の (4) の曲線に示す如し．

大さは高さ 24.9cm，底幅 98cm，頭部の幅 5.9cm にして，使用したる倍率は 110.2 倍である．臺の振幅，週期，加速度，記象の讀み及頭部の實動を第 34表に示す．

6) No. 6 の模型 No. 6 も No. 5 と同樣に荒木田と細粒の砂とを略、等量混じたるものにし

て含水量は No. 5 より多少小にして 16.08%, 比重 2.66, 均等度は第 40 圖の (5) の曲線に示す. 同圖の (4) と (5) とは荒木田と砂とを略等量に混じたるものなるが曲線に可成の差異がある, その原因は混合の割合の多少異なる爲と, 使用したる砂の不均等によると考へらる.

大さは高さ 25cm, 底幅 98cm, 頭部の幅 4.5cm にして法は約 1.9 割にて, 使用したる倍率は 105.5, 加速度は 3,000～6,000mm/sec² の間に變化する. 臺の振幅, 週期, 加速度, 記象の讀み及頭部の實動を第 35 表に示す.

7) No. 7 の模型　No. 7 は生形砂 (荒川産) と細粒の砂と混合せるものにして含水量は 13.19%, 比重 2.67, 均等度は第 40 圖の (6) の曲線に示す.

大さは高さ 25cm, 底幅 98cm, 頭部の幅 4.7cm にして倍率は 106.1, 加速度は 3,000～6,000 mm/sec². 臺の振幅, 週期, 加速度, 記象の讀み及頭部の實動を第 36 表に示す.

〔11〕 計算値と實測値との比較

〔3〕 に於て模型土堰堤の實測値を得たるを以て, 本節に於ては計算値との比較を行はんとす. 前述の如く模型土堰堤は寒天に比して變形著しく小なるを以て, 大なる加速度を作用せしめたる結果得たる記象は第 39 圖に示す如く主振動に振幅可成り大なる小週期の振動が附加し (電球の filament の振動), 主振動の振幅を求めるに當り可成りの困難が伴ひ, 又模型は出來得る限り一樣なるものを製作する如く努めたと雖も, 一樣さの程度に於ては寒天の場合に及ばない. その他模型製作の際述べたる如く材料を細かく紛碎し (その爲に相當乾燥する必要があつた), それに適量の水分を加へて搗固めたるを以て各粒子間の連結は不充分に

第 34 表　土堰堤 No. 5 の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	7.3	0.263	4,130	5.5	0.051
2	8.3	0.262	4,770	9.2	0.085
3	9.4	0.256	5,660	17.1	0.159
4	10.4	0.257	6,210	30.6	0.285
5	8.2	0.322	3,130	6.8	0.063
6	8.3	0.284	4,040	9.5	0.088
7	9.2	0.330	3,330	7.4	0.069
8	9.3	0.289	4,400	11.0	0.102
9	5.4	0.225	4,210	9.9	0.092
10	5.5	0.192	5,850	19.0	0.177

第 35 表　土堰堤 No. 6 の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	10.2	0.326	3,780	4.7	0.046
2	8.3	0.260	4,820	7.3	0.071
3	8.2	0.317	3,210	3.8	0.037
4	9.3	0.302	4,080	5.2	0.050
5	10.2	0.289	4,820	7.0	0.068
6	6.2	0.239	4,290	5.2	0.050
7	6.3	0.215	5,400	8.5	0.082
8	6.3	0.212	5,530	8.7	0.084
9	6.3	0.209	5,660	11.0	0.107
10	7.3	0.219	6,000	12.2	0.118
11	9.4	0.261	7,500	16.1	0.156
12	10.4	0.260	5,435	20.2	0.196

第 36 表　土堰堤 No. 7 の實驗結果

	振動臺			堰堤の頭部の最大變形	
	振幅 (mm)	週期 (sec)	加速度 (mm/sec²)	記象の讀み	實動 (mm)
1	5.2	0.221	4,240	7.3	0.071
2	8.2	0.324	3,060	4.0	0.038
3	8.3	0.264	4,685	9.3	0.090
4	9.2	0.333	3,250	4.5	0.043
5	9.4	0.261	5,270	11.0	0.106
6	10.2	0.322	3,860	5.5	0.053
7	10.3	0.259	6,000	15.5	0.150

して大なる振動を作用せしめる場合には粒子間の連結に緩みが生じ材料の力學的性質に大なる變化が生ずる等の原因により得たる實驗結果も餘り良好でなく，實測値と計算値との比較の結果に對する信賴の程度は寒天に比し著しく劣ると考へなければならぬ．實驗に大なる加速度を必要としたるを以て振動臺の週期は小なるものゝみを用ひ前節に示したる如くその變化の範圍は小であつた．

緒言の際述べたる如く寒天の如く自由振動週期を求むる事が不可能なるを以て土堰堤を構成する材料の剛性係數は之を求め得なかつた．從つて寒天と同樣なる方法より計算値と實測値とを比較し得ざるを以て他の方法を用ふる必要がある．模型は完全に一樣ならざるも近似的には一樣なる組成を有すると見做し得るを以て剛性係數竝に單位體積の質量が一樣なる場合の計算値と比較する，此の場合內部摩擦抵抗の影響は寒天の場合と同樣なる理由により省略することゝした．

堰堤の頭部の底に對する最大變形（d_0-d）と臺の振幅 d との比は（52）式より次の如く示さる．

$$\frac{d_0-d}{d}=\frac{Y_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)J_0\left(\frac{p}{a}H_0\right)-J_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)Y_0\left(\frac{p}{a}H_0\right)}{Y_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)J_0\left(\frac{p}{a}H\right)-J_1\left(\frac{p}{a}H_0\right)Y_0\left(\frac{p}{a}H\right)}-1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(57)$$

但し　　$a=\sqrt{G/\rho}$，　$p=2\pi/T$

H, H_0 は既知であり，(d_0-d), d 及 p は振動臺の振幅，振動週期及記象の讀みより求めらるゝを以て上式の左邊は既知である，然るに右邊は上式に示す如く p/a のみの函數なるを以て p/a を與へて右邊の値を豫め計算し置く時は試算法により左邊に相當する p/a の値を求むるは容易である．p/a の値を知る時は p は既知なるを以て $(d_0-d)/d$ の與へられたる値に對する $\sqrt{G/\rho}$，然るに ρ の變化は小なるを以て適當に假定する時は剛性係數 G の値を求める事が出來る．本節に於てはかゝる方法により G の値を求めその値が振動臺の振幅及週期より計算的に求めたる加速度及土の種類により如何に變化するかを求めんとす．今土堰堤を構成する土の力學的性質が彈性體と同樣なる時は既に寒天の場合に示したる如く上記の方法により求めたる剛性係數は總ての場合に常數である，又之と逆に求めたる剛性係數が振幅，振動週期に無關係に略一樣の値となる時は，尠くとも測定したる範圍內に於ては土堰堤を構成する材料は近似的に彈性體と似たる力學的性質を有すると見做し得る譯にて，第一編の理論的計算を適用し得る．本文に於ては此の方法により模型土堰堤の力學的性質が彈性體とどの程度の差異があるかを求めんとす．

（1）**赤土模型土堰堤**　赤土を使用したる模型土堰堤は No. 1 及 No. 2 にして含水量が No. 2 の方少しく大にして，比重及均等度は略一樣である，但し No. 1 は倍率小なる測定裝置を使用したる爲に，模型に作用したる加速度が No. 2 に比して著しく大である．(57) 式に No.1 の場合は $H=26.6$cm, $H_0=1.63$cm, No. 2 に對しては $H=26.3$cm, $H_0=1.34$cm, 第 30 表及第 31 表の d_0, d, T の値を夫々代入し各場合の剛性係數 G の値を $\rho=1.6\times10^{-6}$(kg, cm) として求め第 37 表の (1), (2) に示す．

加速度を橫軸にとり剛性係數の値を第 41 圖 (*a*), (*b*) に示す．

第 41 圖より加速度の增大すると共に剛性係數は漸次に減少することを知る．一般に實驗の最初に於ては比較的加速度の小なる場合より開始し次第に大なる場合を行ひたるは模型 No. 5 に示す如く最初に大なる加速度を作用せしめる時は粒子間の連結の緩みの爲に力學的性質に變化が生じ著しく剛

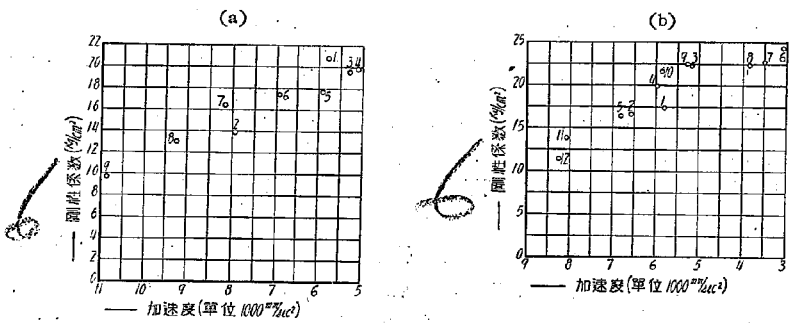
第 37 表　赤土の剛性係數（單位 kg/cm²）

（1）模型土堰堤 No. 1

	振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數
1	10.3	0.265	5,770	20.8	2	9.4	0.217	7,940	13.9	3	9.3	0.263	5,290	19.5
4	5.3	0.203	5,100	19.8	5	5.3	0.188	5,900	17.7	6	5.3	0.174	6,930	17.4
7	6.4	0.177	8,160	16.4	8	7.5	0.179	9,282	13.0	9	8.5	0.176	10,872	9.7

（2）模型土堰堤 No. 2

	振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數
1	5.4	0.191	5,800	17.3	2	5.4	0.180	6,580	16.6	3	6.3	0.219	5,180	21.8
4	7.3	0.220	5,980	19.9	5	8.4	0.220	6,820	16.4	6	8.2	0.324	3,080	24.3
7	9.0	0.322	3,510	22.7	8	10.2	0.324	3,850	22.3	9	9.3	0.264	5,290	22.5
10	10.3	0.264	5,860	21.6	11	9.5	0.216	8,080	13.8	12	10.5	0.223	8,270	11.4



第　41　圖
赤　土　の　剛　性　係　數

性係數が小となる虞れある爲にして，從つて加速度の大なる (a) 圖の 8, 9, (b) 圖の 11, 12 等は繰返し振動を受けたる爲に多少の影響は免れ難い．然し圖より考察するにその影響は極めて小なる如し．(a) 圖と (b) 圖を比較するに No. 1 の加速度は 5,000～11,000 mm/sec², No. 2 の加速度は 3,000～9,000 mm/sec² に變化するが，(a) 圖に於ては 5,000 mm/sec² 迄加速度が減少するに從ひて剛性係數は漸次に增加する，然しその增加率は 5,000 mm/sec² の附近にては漸次小となる傾向が見らるる．(b) 圖に於ても (a) と同樣に 5,000 mm/sec² の附近迄は加速度の減少と共に剛性係數は漸次增加するが 5,000 mm/sec² より小なる加速度に於ては剛性係數は大體一樣と見做し得る．從つて 3,000～5,000 mm/sec² に於ては剛性係數には變化が無いと見做し得ると考へらる．No. 1 と No. 2 の 5,000 mm/sec² 以上の剛性係數の値を比較するに (a) 圖の 4 は G=19.8 kg/cm², (b) 圖のそれと加速度の殆んど等しき 3 は G=21.8 kg/cm² にて，(a) 圖の 6 は G=17.4 kg/cm²，それに相當する (b) 圖の 5 は G=16.4 kg/cm² にして加速度の略等しき點の剛性係數は大體相似たる數値を有す，從つて No. 1 も更に加速度の小なる場合の實驗を行ふ時は剛性係數が加速度に略無關係なる範圍の存

在するは想像に難くない.

本實驗に得たる剛性係數の値を內務省土木試驗所高田技師の測定せる本縮驗込臺の赤土より求めたる剛性係數の値と比較するに第 9 表に示す如く垂直の方向にて 69～116.2kg/cm², 水平の方向にて 51.5～60.2kg/cm² にして, 本實驗より得たる No. 2 の加速度に略無關係の範圍の値は 22.5kg/cm² なれど, 前者は自然の狀態なるを以て各粒子間の連結が本實驗に使用したるものに比較すれば遙かに鞏固なる點より考ふれば, 後者の値が前者の 1/2～1/3 となるも當然なるを以て本實驗に得たる數値は決して實際とかけ離れたる値ならざる事を知る. 而して加速度大なる場合剛性係數の小なるは土壤等の壓力と收縮との曲線より直ちに想像し得らるゝ所である.

(2) 荒木田の模型土堰堤 荒木田より構成さるゝ模型は No. 3 及 No. 4 にして, No. 3 は小型の型枠を使用したる唯一のものにして高さは 18.9cm である, No. 4 は他の模型と同樣に大型のものを使用した. 本實驗は大さの異なりによる剛性係數の差異を見出す目的にて行つたが, 兩者に同一の材料及含水量を有せしめ得なかつた事と, 多少の水量の差により剛性係數に著しき差異を生ずる如き材料を材用したる爲にその目的を達し得なかつた. 兩者同一の材料を使用したるに關らず比重も均等度も多少異なり含水量は No. 4 の方が約 1.5% 大にして兩者は同一材料とは見做し得なかつた, その原因は模型製作に使用したる荒木田の不均等なる爲にして止むを得ない結果である. (1) と同樣に第 32 表及第 33 表の d_0, d, T' の値を (57) 式に代入し $\rho=1.6\times10^{-3}$(kg, cm) の場合の剛性係數を求め第 38 表に示す.

第 41 圖と同樣に加速度を橫軸にとり剛性係數の値を第 42 圖に示す, (a) は No. 3, (b) はNo. 4 に相當する.

第 42 圖も第 41 圖と同樣に加速度の小なる程剛性係數が大となるもその增加率と加速度との關係は赤土程明かでない. 卽ち (a) 圖に於ては 1, 2 を除けば大體增加率は加速度の大なる程減少し, G の値が加速度に近似的に無關係の範圍が存在する如く考へらるゝが 7, 8, 9 は 6 なる 10,000mm/sec² に近き大なる加速度を作用せしめたる後の實測値にして 3, 4, 5 等とその力學的性質が異なる虞れがある. (b) 圖に於ては此の傾向は (a) 圖よりは明瞭である. 而して兩者の與へる剛性係數の値には著しき差異があるが, No. 4 は No. 3 の約半分である, 元より含水量も均等度も異なるを以て剛性係數の異なるも當然である. 且つ是等の模型土堰堤が自重に依り變形する傾向あるは先に述べた如くであるが, 變形が特に No. 4 に於て著しかつたのは形の大なる影響にもよるが剛性係數の小なる一證據であると考へらる.

(3) 荒木田と砂との混合物の模型土堰堤 荒木田と砂との混合物よりなる模型は No. 5 及 No. 6 にして, 兩者共荒木田と砂とを略等量に混合したるが材料の不均等の爲均等度が多少異なり, 比重は兩者相等しく含水量は No. 5 の方が約 1.7% 大なり. 型枠は大型のものを使用し兩者略相等しき形狀を爲す. 第 34 表, 第 35 表の d_0, d, T の値を (57) 式に代入して $\rho=1.6\times10^{-3}$(kg, cm) の場合の剛性係數を求め第 39 表に示す.

第 41 圖と同樣に加速度を橫軸にとり剛性係數の値を第 43 圖に示す, (a) は No. 5, (b) は No. 6 に相當する.

第 43 圖に於て加速度の値が減少すると共に剛性係數は增加し赤土, 荒木田と全く同一の變化を行

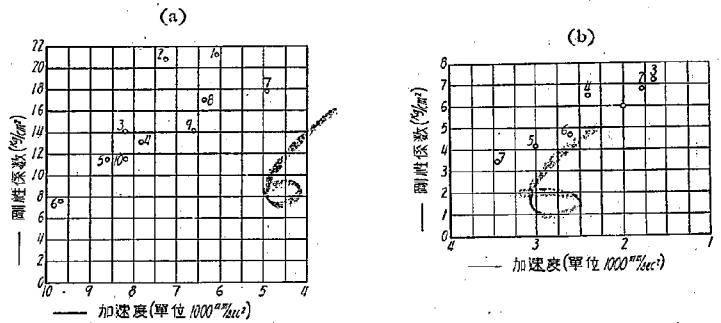
第 38 表　荒木田の剛性係數（單位 kg/cm²）

（3）模型土堰堤 No. 3

	振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數
1	7.4	0.219	6,090	21.2	2	7.4	0.200	7,300	20.8	3	7.5	0.190	8,190	14.1
4	8.4	0.206	7,760	13.1	5	9.4	0.208	8,590	11.5	6	10.4	0.205	9,680	7.6
7	5.3	0.206	4,910	17.8	8	6.3	0.197	6,360	17.0	9	6.3	0.194	6,610	14.2
10	6.4	0.201	8,191	11.5										

（4）模型土堰堤 No. 4

	振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數
1	10.1	0.446	2,000	6.1	2	9.1	0.449	1,790	6.8	3	8.1	0.440	1,650	7.2
4	8.2	0.366	2,400	6.5	5	8.2	0.328	3,000	4.2	6	9.2	0.373	2,600	4.7
7	9.2	0.323	3,460	3.5										



第　42　圖
荒　木　田　の　剛　性　係　數

ふ．而して No. 6 に於てはその增加率は加速度が少なると共に減少し 6, 4, 1, 3 はその剛性係數が殆んど等しく赤土に類似せる變化を爲す．之に反し No. 5 に於ては 1, 2, 3, 4 と漸次に加速度を增加する時は剛性係數は急激に減少し，4 より再び加速度の小なる場合の實驗を行ふ時は加速度が減少すると共にその增加率も減少し 1, 2 を除く時は No. 6 に略似たる曲線の形狀を爲す，（その大さは No. 6 より小なり）．此の原因は 3, 4 等の比較的大なる加速度を作用せしめたる爲に各粒子間の連結の緩める結果 4 以下の實驗は力學的性質の異なれる模型に就て行つてゐる爲にして，6, 9, 8 の剛性係數が No. 6 の 1, 3, 4, 6 に比して著しく小なるは均等度及含水量の差にも依るが，主なる原因は 3, 4 等の大なる加速度の作用を受け各粒子間の連結の緩める爲に依ると考へらる．No. 5 の 1, 2 に於て加速度の減少が餘り著しくないにも關らず剛性係數が急激に減少する原因に就ては不明である．

（4）**生形砂と砂との混合物の模型土堰堤**　No. 7 の模型にして前 3 者と同樣に第 36 表の d_0, d, T を (57) 式に代入し $\rho=1.6\times10^{-6}$(kg, cm) の場合の剛性係數を求め第 40 表に示す．

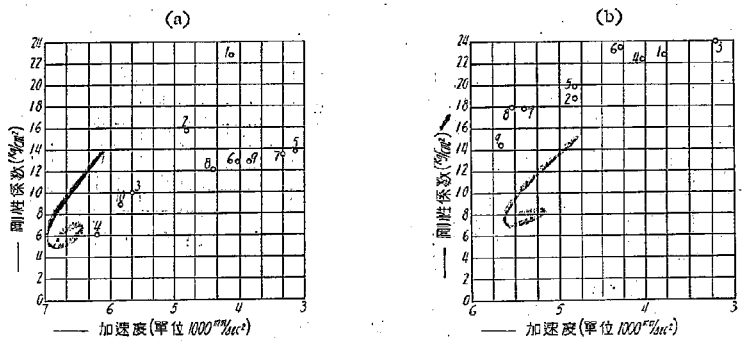
第 39 表　荒木田と砂との混合物の剛性係數（單位 kg/cm²）

（5）模型土堰堤 No. 5

	振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數
1	7.3	0.263	4,130	22.7	2	8.3	0.262	4,770	15.7	3	9.4	0.256	5,660	10.0
4	10.4	0.257	6,210	6.1	5	8.2	0.322	3,130	13.8	6	8.3	0.284	4,040	12.8
7	9.2	0.330	3,330	13.5	8	9.3	0.289	4,400	12.1	9	5.4	0.225	4,210	12.8
10	5.5	0.192	5,850	8.9										

（6）模型土堰堤 No. 6

	振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數
1	10.2	0.326	3,780	22.7	2	8.3	0.260	4,820	18.7	3	8.2	0.317	3,210	23.9
4	9.3	0.302	4,080	24.5	5	10.2	0.289	4,820	19.8	6	6.2	0.239	4,290	23.4
7	6.3	0.215	5,400	17.8	8	6.3	0.212	5,530	17.9	9	6.3	0.209	5,660	14.4
10	7.3	0.219	6,000	13.9	11	9.4	0.261	7,500	9.6	12	10.4	0.260	5,435	8.6



第　43　圖

荒木田と砂の混合物の剛性係數

第 40 表　生形砂と砂との混合物の剛性係數（單位 kg/cm²）

（7）模型土堰堤 No. 7

	振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數		振幅	週期	加速度	剛性係數
1	5.2	0.221	4,240	16.8	2	8.2	0.324	3,060	22.0	3	8.3	0.264	4,685	14.4
4	9.2	0.333	3,250	20.8	5	9.4	0.261	5,270	14.0	6	10.2	0.322	3,860	20.2
7	10.3	0.259	6,000	11.2										

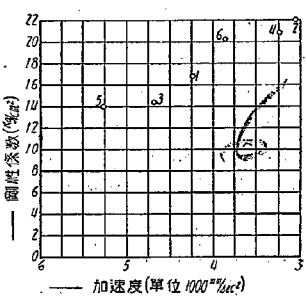
前者と同樣に加速度を横軸にとり剛性係數の値を第 44 圖に示す.

第 44 圖に於ても剛性係數は加速度が減少すると共に增大するも，その增加率が漸次に減少するは前者と同樣なる傾向を示す.

（5）結　言　上記 7 個の模型に就て實測せる結果を第一編の計算値と比較し剛性係數の大さと加速度との關係を求むるに第 41 圖より第 44 圖迄に示す如く剛性係數が加速度增大すると共に減少

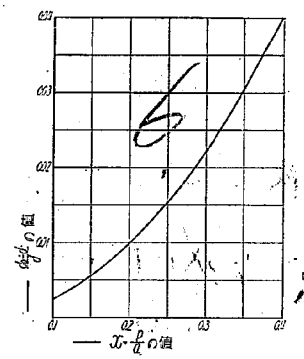
するが加速度或る値より以下なる時は剛性係數が加速度に殆んど無關係に常數となり得る範圍の存在を示してゐる．而して加速度大なる時剛性係數の値小なるはコンクリート等の應壓試驗に於て壓力大なると共に變形量が壓力に比例せず著しく增大する現象と同樣であり少しも疑問とするに足らぬ．

本實驗に於て使用したる材料は先に述べたる如く均等なる模型を得る爲に細粒に碎き，それに再び水分を加へ適當に搗固めて製作したるものにして，搗固めを大とする時は非常に堅固となりて，變形量小なる爲に測定不可能となる虞れあるを以て，搗固めを可成り輕度に止め，從つて各粒子間の連結は不充分にしてその組織は自然に存在する赤土，粘土，砂交り粘土よりは寧ろ堆積せる普通の砂に近く各粒子間の連結は可成り小であると考ふるが至當なるを以て，上記諸材料は實在の土堰堤を構成する材料に比すれば彈性的性質の可成り乏しきものと云はなければならぬ．



第 44 圖
生形砂と砂との混合物の剛性係數

剛性係數を求めるに當り d_0, d, T 等の測定値の誤差が G の値にどの程度の影響を及ぼすかを調べる事は實測値と計算値とを比較するに當り必要なるを以て No. 1 の模型に就て求む．No. 1 は $H_0=1.63$ cm, $H=26.6$ cm なるを以て是等を (57) 式に代入し $p/a=x$ と置き $(d_0-d)/d$ と x との關係を求め第 45 圖に示す．



第 45 圖

今 $(d_0-d)/d$ の誤差の影響を求める爲に，一例として $(d_0-d)/d=0.01$ の場合此の値が 0.009, 0.011 卽ち ±10% の誤差があるとすれば第 45 圖より x の値は 0.2 の代りに夫々 0.19, 0.21 となる，然るに $\sqrt{G/\rho}\propto 1/x$ なるを以て $G=A/0.04$ (A は常數) の代りに $A/0.0361$, $A/0.0441$ となりて G の差は夫々 +11%, −11% となる．而して測定容易なる寒天の場合に於ても 5% 位の誤差は常に生ずるを以て測定困難なる土堰堤に於ては 10% 內外の誤差の生ずるは當然である．次に振動數 p が $p(1+\varepsilon)$, 卽ち $p\varepsilon$ なる誤差が存在するとすれば $G\propto p^2$ なるを以て G に及ぼす誤差は 2ε となる．而して p の測定は比較的完全なるも 1～2% の誤差は起り得るを以て G には 2～4% 位の誤差の生ずる可能性がある．上記の計算より測定の誤差の爲に剛性係數には 20% 內外の違ひの生ずる事は可能であると考へらる．今 20% 內外の誤差が生ずるものとすれば第 41～第 44 圖に於て G の値が加速度に無關係の範圍が存在する事を知る．卽ち加速度の小なる時は上記の模型土堰堤は彈性體に近い變化を爲すことを知る．

本文に於ては取り扱ひの都合上加速度と剛性係數との關係に就て述べたるが，振幅，週期等による影響も研究する必要あるが，上記に述べたる如く大なる加速度を必要とする爲に振動週期の變化の範圍が極めて小であつた，從つてそれ等を比較するに充分なる資料が得られなかつた爲と，加速度は振

幅と週期のみの函數なるを以て G の値と加速度との關係のみを求めた.

計算値と實測値とを比較せる結果によれば實在の土堰堤に對し第一編理論的計算が適用され得るか否かに就て充分なる結論を下すには本文に行ひし實驗の範圍にては未だ不充分にして實際の堰堤に使用されるものに近き材料を用ひて更に大なる模型に就て行ふ必要ある事を知る. 然し本邦に多く存在する如き堤體の殆んど全部が細粒よりなる土堰堤が耐震的に如何なる狀態にあるかは第一編の理論的研究竝に模型土堰堤の實驗結果より推定し得ると信ずる.

附記 本文中第一編は昭和5年の研究になるものにして, 第二編は學術振興會の援助により昭和8年より9年に亙りて行ひしものである. 實驗を行ふに當り援助を下さつた振興會竝に本研究を爲すに當り始終御指導下された内務省土木試驗所長物部博士及び土の分析を行つて下さつた本所高田技師に厚く御禮を申し上げます.

附表第1(a)　中立軸の諸點の位置（單位：mm）

	No. 1				No. 2				No. 3			
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
1	− 6.11	− 8.58	− 9.07	−11.62	12.63	11.57	11.96	10.52	−12.02	−11.65	−12.02	−10.97
2	− 6.17	− 8.53	− 9.04	−11.48	20.12	18.76	17.73	15.72	− 7.56	− 6.82	− 7.33	− 7.16
3	− 1.90	− 4.52	− 5.54	− 8.10	30.41	27.85	26.03	22.93	0.91	1.65	1.03	1.02
4	4.09	2.07	− 0.34	− 1.99	38.65	36.78	35.60	31.35	9.38	9.52	8.21	7.67
5	10.97	8.30	7.36	4.15	44.19	42.86	41.64	37.71	11.51	11.94	10.71	9.95
6	15.92	13.33	12.14	9.07	47.75	45.19	43.26	38.82	7.10	6.34	5.21	4.38
7	16.48	14.27	12.76	9.63	45.07	42.46	40.44	36.18	− 3.66	− 4.12	− 4.41	− 4.26
8	13.50	10.60	9.92	6.57	37.37	35.41	34.05	30.75	−10.46	−10.09	−10.92	− 9.26
9	7.53	5.20	4.52	1.42	26.83	25.72	25.32	23.19	−10.37	− 9.65	−10.23	−10.06
10	0.26	− 2.13	− 2.87	− 5.51	19.10	17.65	16.80	15.46	− 4.12	3.61	− 4.15	− 4.40
11	− 4.83	− 7.22	− 7.93	−10.66	13.67	11.40	10.86	9.41	4.49	4.92	4.04	3.84
12	− 6.34	− 9.15	− 9.80	−12.53	11.03	8.87	9.04	8.24	10.88	11.79	9.80	9.18
13	− 4.49	− 6.71	− 7.22	− 9.86	12.31	11.25	11.62	10.60	10.09	10.69	9.12	8.61
14	1.15	− 0.99	− 1.79	− 4.75	19.87	18.39	17.65	15.72	2.98	2.90	2.13	2.16

	No. 4				No. 5				No. 6			
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
1	15.20	13.47	13.24	12.05	8.16	7.16	8.16	9.01	20.35	17.73	16.85	13.73
2	15.29	13.39	13.44	12.39	12.90	11.37	12.05	11.37	11.40	10.26	8.84	6.54
3	18.36	16.91	16.65	14.86	24.21	22.99	21.94	20.26	11.68	8.72	8.72	6.31
4	25.44	23.45	22.22	20.06	37.68	35.33	33.62	30.21	19.04	16.46	15.94	12.73
5	32.14	29.90	28.53	25.98	48.68	46.07	43.60	38.82	27.57	24.84	23.42	19.81
6	37.63	36.15	35.10	31.80	53.51	50.87	47.94	42.32	28.99	26.09	24.42	20.69
7	42.23	40.19	39.25	35.89	48.76	47.01	43.85	38.94	20.46	18.19	17.82	14.75
8	43.37	41.52	39.90	36.01	37.29	34.93	33.79	30.67	12.76	9.63	8.81	6.68
9	40.67	38.71	36.72	33.22	24.01	22.85	22.23	20.55	10.74	8.55	7.73	5.74
10	34.90	33.28	32.03	28.99	13.24	12.31	12.50	11.85	17.54	15.43	14.10	11.51
11	27.45	25.63	25.21	22.91	8.47	6.76	8.21	9.07	26.44	24.16	23.00	19.95
12	21.43	19.61	19.04	17.02	12.02	11.03	11.48	11.20	29.13	26.83	24.61	22.05
13	16.74	14.58	14.24	13.16	23.62	21.66	20.86	19.61	21.23	19.10	17.96	14.84
14	14.32	13.04	13.02	11.11	37.12	34.76	33.11	30.07	12.19	10.29	9.49	8.13

	No. 7				No. 8				No. 9			
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
1	−11.65	−10.83	− 9.95	−11.20	−21.60	−19.38	−17.76	−14.01	16.31	14.71	15.46	15.03
2	− 5.91	− 5.26	− 5.97	− 7.56	0.39	1.34	− 0.37	− 0.85	21.93	20.14	19.92	18.25
3	11.06	10.77	9.12	5.74	19.53	19.41	17.31	12.88	30.62	28.55	27.77	25.14
4	16.71	16.57	14.33	9.21	3.13	2.76	1.48	0.63	39.06	37.16	35.28	31.99
5	0.97	2.76	0.83	− 1.28	−21.57	−20.41	−18.13	−14.35	45.55	43.23	41.33	37.02
6	−11.99	−11.03	−10.18	−10.83	− 7.91	− 7.73	− 8.44	− 6.59	46.24	44.07	41.83	37.39
7	− 5.54	− 4.24	− 4.18	− 6.25	18.56	17.48	14.69	12.22	40.10	38.24	36.75	32.70
8	12.08	12.28	9.95	6.34	11.37	11.17	8.44	6.79	31.30	29.81	28.55	26.63
9	17.20	16.34	14.55	9.86	−16.80	−14.98	−14.93	−11.14	22.85	21.30	21.01	19.33
10	0.51	1.42	0.26	− 1.99	−16.91	−15.06	−15.04	−11.08	16.92	15.18	15.79	15.16
11	−12.36	−11.43	−10.43	−11.99	11.54	11.77	9.95	6.79	17.09	15.15	15.77	15.20
12	− 4.69	− 2.93	− 4.21	5.83	20.19	20.04	14.75	11.60	22.71	21.32	20.59	18.83
13	13.47	12.82	10.80	6.79	− 8.61	− 7.62	− 7.62	− 5.57	31.70	29.91	28.74	25.75
14	15.41	15.92	13.76	9.81	−20.49	−19.33	−17.22	−13.33	40.23	38.06	36.26	32.29

附表第1(b) 中立軸の諸點の位置 (單位 mm)

	No. 10				No. 11				No. 12			
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
1	11.06	8.53	8.53	7.28	9.66	7.36	6.48	6.37	−12.73	− 9.52	− 6.68	− 4.01
2	17.34	14.75	13.84	11.82	10.43	8.55	8.04	6.39	−18.59	−14.75	−10.69	− 7.13
3	30.55	27.97	26.69	22.79	26.52	23.67	21.17	17.36	3.27	5.83	6.71	5.60
4	34.76	31.83	29.56	25.98	30.52	28.48	25.35	20.71	11.88	15.06	15.49	12.16
5	20.41	18.30	17.05	15.55	17.59	14.78	13.41	11.62	− 6.54	− 3.10	− 1.48	− 0.97
6	10.77	8.55	9.18	6.88	8.30	5.34	6.03	4.55	−20.29	−16.77	−12.02	− 9.12
7	17.59	15.20	14.18	12.08	17.45	15.06	13.70	11.65	− 3.55	− 0.40	0.11	0.85
8	31.26	30.21	26.86	22.99	30.52	27.94	25.55	21.63	13.44	15.43	15.35	13.39
9	34.73	31.55	30.55	31.49	25.58	23.70	21.54	17.62	− 0.23	2.84	3.98	3.81
10	20.43	17.85	16.91	14.78	10.32	8.27	7.50	6.51	−20.75	−16.28	−11.65	− 8.81
11	10.20	7.96	9.18	8.01	9.63	7.30	7.10	7.10	−11.34	− 7.36	− 5.49	− 3.67
12	17.82	15.66	15.01	12.48	24.13	21.60	19.55	16.17	11.79	13.76	13.56	10.97
13	32.63	29.10	27.28	23.28	31.32	27.99	25.75	22.28	6.20	8.87	9.44	8.21
14	32.88	31.26	28.68	24.24	18.47	15.86	15.18	12.50	−16.23	−12.93	−10.23	− 7.39

	No. 13						No. 14					
	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
1	49.88	51.19	49.34	48.04	44.67	42.87	42.46	44.44	44.44	45.56	43.68	43.50
2	37.44	38.56	38.87	39.95	38.33	38.33	33.79	35.72	36.13	37.61	37.61	37.92
3	12.99	16.09	18.43	22.11	26.11	29.57	19.86	22.87	24.44	27.27	29.12	31.32
4	8.22	11.19	13.89	18.20	22.96	26.87	15.36	17.30	19.09	22.15	24.67	27.86
5	27.95	30.33	31.32	33.57	34.24	35.37	22.02	24.04	25.66	28.35	30.06	32.13
6	48.98	50.20	48.63	47.64	44.27	42.11	35.95	37.88	38.19	39.54	38.87	38.87
7	39.59	41.21	40.81	41.97	40.27	39.50	42.51	44.04	44.35	45.20	43.54	43.50
8	16.27	19.73	20.94	19.95	26.83	30.20	36.04	37.79	38.10	39.50	38.60	39.00
9	6.79	9.84	12.13	17.62	22.87	27.23	22.06	24.22	25.70	28.40	29.88	32.26
10	25.35	27.41	28.81	31.41	32.76	34.02	15.27	17.12	18.42	22.02	24.49	27.68
11	47.19	48.67	47.01	46.64	43.14	41.52	19.81	21.97	23.59	26.73	28.22	30.60
12	41.52	43.23	42.56	43.68	40.99	39.86	33.61	35.23	35.72	37.07	37.07	37.92
13	18.96	22.02	23.32	26.38	28.45	31.46	42.01	43.86	44.22	44.85	42.91	43.41
14	5.80	8.90	11.95	17.44	22.51	26.87	38.19	40.13	40.13	41.34	40.04	40.04

	No. 15						No. 16					
	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
1	43.37	44.72	44.45	45.70	43.86	42.51	25.52	27.99	29.16	45.56	43.68	43.50
2	26.47	29.08	29.71	32.13	33.21	34.02	35.53	37.88	38.42	37.61	37.61	37.92
3	11.91	14.47	16.58	20.36	22.96	26.20	40.13	41.79	41.79	27.27	29.12	31.32
4	11.82	13.93	14.97	18.92	22.20	25.62	34.78	36.71	37.47	22.15	24.67	27.86
5	26.02	27.73	29.12	31.46	32.49	33.97	23.41	26.28	26.78	28.35	30.06	32.13
6	42.92	43.59	42.42	43.59	41.97	41.75	14.96	17.16	18.87	39.54	38.87	38.87
7	44.45	46.02	45.88	46.24	43.99	43.59	12.22	15.50	16.80	45.20	43.54	43.50
8	29.62	31.82	32.40	34.15	34.69	35.95	19.54	21.16	22.91	39.50	38.60	39.00
9	12.63	15.99	17.57	21.44	23.82	26.87	30.01	31.72	32.62	28.40	29.88	32.26
10	10.61	12.67	14.47	17.98	21.17	24.72	38.55	40.53	40.53	22.02	24.49	27.68
11	22.07	24.99	26.20	28.76	30.51	31.91	38.64	40.89	40.89	26.73	28.22	30.60
12	40.58	41.75	41.75	42.65	40.99	40.67	31.36	33.12	34.19	37.07	37.07	37.92
13	44.54	46.29	45.93	46.87	44.58	42.74	19.68	22.91	23.81	44.85	42.91	43.41
14	32.54	34.56	34.96	35.99	36.27	36.40	13.88	15.68	17.39	41.34	40.04	40.04

附表第2　同一水平斷面上の二點の變位の差（單位 mm）

	No. 2			No. 3			No. 4		
	②−⑧	③−⑭	④−⑮	②−⑧	③−⑭	④−⑮	②−⑧	③−⑭	④−⑮
1	19.84	13.41	13.43	19.41	14.18	13.63	19.68	14.04	13.20
2	19.94	14.18	13.67	18.97	14.49	13.46	19.78	13.90	13.51
3	19.51	13.92	13.26	19.24	14.48	13.50	19.44	13.70	13.56
4	19.87	13.76	12.96	18.86	14.03	13.24	19.43	13.68	13.03
5	19.58	13.87	13.40	19.07	14.32	13.13	19.31	13.37	13.31
6	19.28	14.55	13.93	19.57	14.30	13.17	18.86	13.26	12.93
7	19.13	14.12	13.36	18.96	13.98	13.14	19.06	13.84	13.31
8	19.21	14.30	12.60	19.14	14.04	13.22	18.34	14.21	13.66
9	19.34	14.01	13.17	19.54	13.53	13.00	18.91	14.10	13.14
10	19.34	14.18	14.15	18.97	14.11	13.12	18.97	13.68	13.13
11	19.50	13.64	13.75	18.98	14.20	13.37	19.28	14.31	13.63
12	19.72	13.87	12.29	19.23	14.35	13.41	19.11	14.10	13.46
13	19.60	13.47	13.24	19.43	14.32	13.00	19.34	14.01	13.40
14	19.71	14.12	13.98	19.52	14.30	13.31	19.64	13.76	13.00
15	19.84	14.07	13.36	19.55	13.80	13.27	20.01	13.94	12.80
16	19.43	14.44	13.14	19.43	13.50	13.64	19.50	14.01	13.24

	No. 5			No. 8		
	②−⑧	③−⑭	④−⑮	②−⑧	③−⑭	④−⑮
1	19.70	12.02	11.74	19.27	12.53	12.22
2	18.83	12.85	12.38	19.21	13.78	13.33
3	19.48	14.42	13.61	19.33	14.75	14.15
4	19.40	14.62	13.58	19.89	14.35	13.98
5	19.50	14.85	13.78	19.35	14.78	14.04
6	19.74	15.56	14.34	19.81	15.09	14.15
7	19.85	15.12	14.04	19.41	14.61	13.50
8	18.93	14.98	13.90	19.89	14.12	15.03
9	19.31	14.91	14.03	19.10	13.87	13.41
10	19.41	13.33	12.99	19.16	12.70	12.53
11	19.20	11.85	11.88	18.84	12.48	11.82
12	19.37	12.85	12.77	19.41	13.47	12.87
13	19.52	14.37	14.57	19.67	14.35	13.67
14	19.45	15.01	14.20	19.67	14.07	13.95
15	20.02	15.12	14.18	18.93	14.75	13.70
16	19.88	16.00	14.38			

鎔着鋼引張試驗用小型試驗片

內務技師　青　木　楠　男
佐　藤　正　雄

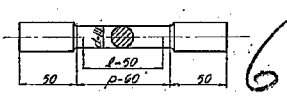
目　次

緒　言……（1）
I　試驗片の比較……（2）
(1)　試片製作費の比較……（2）
A)　鎔着鋼盛上費……（2）
B)　試片削成費……（3）
(2)　形狀の比較……（4）
II　試片の形狀寸法と伸率竝に强さとの關係……（6）
A)　伸率 φ と $l:d$ との關係……（6）
B)　一試片に於ける l と φ との關係……（8）
III　大型試片と小型試片との試驗成績比較……（10）
(1)　試片の製作……（10）
(2)　第四號試驗片と小型試驗片との成績比較……（10）
(3)　第二號及第三號試驗片と小型試驗片との成績比較……（13）
IV　小型試驗片による鎔着鋼の試驗……（15）
(1)　鎔着鋼引張試驗片としての小型試驗片……（15）
(2)　市販×印電極棒鎔着鋼試驗……（15）
V　要約……（17）

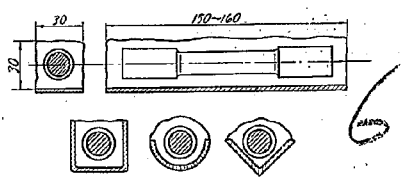
緒　言

現在鎔着鋼の引張試驗片として使用せられつゝあるものは，日本標準規格金屬材料抗張試驗片第四號にして，鑄鋼，鍛鋼用に定められたるものを準用せるなり．

第1圖は其形狀寸法を示せるものにして，これが製作法に大體次の二種類あり．一つは第2圖の如く厚 3～4 mm 程度の平鈑，溝形鈑，半圓鈑又は山形鈑上に鎔着鋼を幅，厚共に約 30 mm，長約 160 mm に盛上げ，これより第1圖の試片を削成するものにして，鎔着鋼の盛り上げは平鈑使用の場合，3 ビード 6 層盛り程度なり．

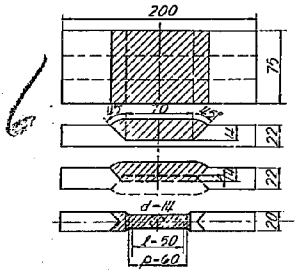


第1圖　日本標準規格金屬材料第四號試驗片



第2圖　鎔着鋼試驗片（其一）

他の一法は第3圖に示すが如く厚 22 mm，長約 200 mm 程度の軟鋼鈑を採り，其中央部の片面深さ約 14 mm を削り取り，この部分に鎔着鋼を填充したる後，其裏面を再び，前同樣に削り取りて鎔着鋼を置き



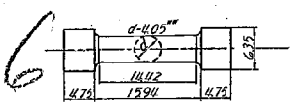
第 3 圖　鎔着鋼試驗片
(其二)

たる後，鋼鈑を適當なる寸法の數片に切り離し，これ等より第四號試片を削成すること前法と同樣なり．

これ等兩方法とも共試驗片削成に可成の時間と費用とを要し，實用上の不便すくなからず，殊に後者は其鎔接作業が 2 回に分割せらるゝ點に大なる缺點を有せり．

斯くの如く試驗片製作上の困難は，鎔接工事施工に當りて，最も重要なる一事項たる鎔接棒檢定上に多大の不便を感ぜしめ，その結果として，或は鎔接棒檢定の實施を省略又は輕視するの傾向を生ぜしめ，或は使用電極棒を比較的高價なる數種に限定して，工費を浪費せしむることあると共に，鎔接棒被覆材の研究に當りては，被覆材と鎔着鋼の性質との關係を實驗的に求むる場合，費用と時間との損失夥なからざるなり．

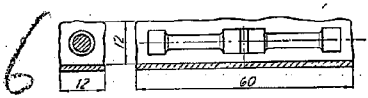
以下はこの點に鑑み，筆者が出來得る限り小型の試片を用ひて，標準試驗片によつて求め得ると同一の成績を得んことに努めたる實驗の報告なり．



第 4 圖　小型引張試驗片

筆者の採用したる試片の形狀寸法は第 4 圖に示す如くにして，Hounsfield 製，小型引張試驗機に適應する寸法たらしめたり．

この試片製作用の鎔着鋼は第 5 圖の寸法を有せしめ，2 ビード，3 乃至 4 層盛となしたり．



第 5 圖　小型試片製作用鎔着鋼

以上の如くこの實驗の目的は第四號試片による鎔着鋼の試驗を小型試片にて代行せんとするものなるも，これと同時に，この小試片を一般軟鋼の試片として使用し得るならば，其材料竝に勞力費に及ぼす影響は相當大なるものあるべしと信じ，これ等の點につきても幾分の吟味を試みたり．

I　試驗片の比較

(1)　試片製作費の比較　　今第 2 圖に示せる平鈑上に盛り上げたる鎔着鋼による試片の製作費と，第 5 圖に示せる方法による小型試片の製作費とを比較せんとす．製作費を分ちて，鎔着鋼の盛上げに要する費用と，試片の削成に要する工作費とに區分す．

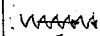
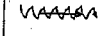
A)　鎔着鋼盛上費　　試片製作のために用ひたる鎔接機は日立製作所製交流電弧鎔接機 W.P. 型にして，一次容量 19 K.V.A.，一次電壓 200～100 V，二次電流 200 A のものなり，電極棒は市販某社製×印，長 13″，徑 $\frac{1}{8}$″ 及 $\frac{5}{32}$″ のものを使用し，作業は當所鎔接工赤坂これに當れり．鎔接はすべて下向鎔接を用ひたり．

第 1 表は第四號試片竝に小型試片用鎔着鋼の盛上げに要したる作業時間竝に消費鎔接棒の量なり．

大小兩試片の所定寸法に仕上られたるもの>鋼材體積を見るに，大型試片約 40.63 cm³，小型試片約 0.506 cm³ にして，後者は前者の約 $\frac{1}{80}$ に相當せり．これに對し第 1 表に示せる試片製作に要したる鎔着鋼は，前者に於て平均 108 cm³ にして，仕上り寸法の約 2.7 倍，後者にては試片 1 本當り

約 6.04 cm³ にして仕上り寸法の約 12 倍に當れり.

第 1 表　試験片鋳着作業成績

試片番號	一次側 無負荷 電壓	一次側 無負荷 電流	一次側 負荷 電壓	一次側 負荷 電流	二次側 無負荷 電壓	二次側 無負荷 電流	二次側 負荷 電壓	二次側 負荷 電流	作業時間	電消極裝棒量	電加減流器	ビード層及數	電極棒徑	備考
	V	A	V	A	V	A	V	A	m	cm³			mm	
大型試験片														
I	214	0	212	48	145	0	13	42	61.7	104.41	2×5	3×1	3	第一層
			210	53	105	0	14	94			3×5	3×5	4	第二層以上
II	210	0	207	48	102	0	10	76	40.4	73.73	3×1	3×1	3	第一層
			206	56	75	0	15	133			4×1	3×5	4	第二層以上
III	213	0	211	50	105	0	14	75	46.9	90.52	3×1	3×1	3	第一層
			210	55			13	134			4×1	3×5	4	第二層以上
平均	—	—	—	—	—	—	—	—	49.7	89.5	—	—	—	
IV	216	0	212	52	147	0	12	71	83.8	130.0	2×8	3×5	5	
V	215	0	212	58	146	0	12	70	74.7	128.0	2×9	3×1	5	第一層
	212	0	210	56	102	0	8	93			3×5	3×4		第二層以上
VI	214	0	213	43	104	0	8	74	64.9	120.3	3×1	3×1	5	第一層
	214	0	210	65	104	0	9	113			3×8	3×4		第二層以上
平均	—	—	—	—	—	—	—	—	74.5	126.0	—	—	—	
小型試験片														
1	212	0	208	49	104	0	15	74	14.3	14.28	3×0	1×4	3	
2	213	0	210	45	104	0	10	85	10.6	12.14	3×3	1×4	3	
3	214	0	213	42	105	0	13	77	10.3	12.45	3×2	1×5	3	
平均	—	—	—	—	—	—	—	—	11.7	12.96	—	—	—	
4	214	0	212	40	146	0	9	48	10.5	11.3	2×2	1×3	4	
5	214	0	212	30	146	0	8	45	10.25	11.3	2×2	1×3	4	
6	214	0	213	28	146	0	8	42	10.3	11.0	2×2	1×3	4	
平均	—	—	—	—	—	—	—	—	10.4	11.2	—	—	—	

備考　上表中電流加減器の欄にて 2×5 等とあるは鋳接機の挿込栓を 2 の栓受けに，可動鉄心を 5 の位置に置きたることを示し，ビード及層数の欄に 3×2 等とあるはビード 3 列 2 層盛の意なり.

鋳着鋼の量と仕上げ試片の體積との比に著しき相違あるは，小型試片に於ても，底鈑として用ひたる鋼材の鋳着鋼に混入するを避くる意味にて，大型同様の仕上代を見込みたるによる.

以上によりて兩試験片製作に要したる電極棒の體積は大型にて 108 cm³，小型にて 6.04 cm³，後者は前者の約 $\frac{1}{18}$ なることを知る.

而してこれが鋳着に要したる時間は前者にて約 60 m，後者約 11 m，にして約 $\frac{1}{5}$ に相當せり.

B) 試片削成費　更にこれ等試片の工作に要する時間を比較すれば第 2 表の如し，作業には 6 呎旋盤及 16″ 型削盤を使用す.

第 2 表の成績によれば試片の工作に費さるゝ時間は，試片の大さに直接關係なき準備時間と，鋳着鋼の削り取りに消費せらるゝ切削時間とに區別せらる，而して後者は決して削り取らるゝ鋳着鋼の量にのみ左右せられず，試片の大小に著しく影響せられ，小試片にて比較的長時間の費さるゝことを知る.

第2表 鉻着鋼試片切削時間

試片番號	電極棒使用量	切削所要時間		
		切削時間	準備時間	計
	cm³	m	m	m
大型試片				
IV	130.0	134.5	17.5	152
V	128.0	166.6	33.4	200
VI	120.3	158.1	18.9	177
平均	126.0	153.0	23.3	176
小型試片				
4	11.3	63.2	53.8	117 (試片2箇分)
5	11.3	48.4	33.6	82.0 (〃)
6	11.0	50.3	30.7	81.0 (〃)
平均	11.2	54.0	39.4	93.3 (〃)

備考 切削所要時間とは技工が鉻着鋼を手にしてより，作業を終るまでの時間にして，表中切削時間とせるは刃物が加工物に加へられつゝある時間なり，從つて準備時間とは前者より後者を減じたるものにして，刃物の取替，研磨，試片寸法の測定等に費されたる時間なり．

本試驗に於ては，兩試片各1個當りの切削量 85.4 cm³ 及 5.1 cm³ にして其比 17:1 に對し，切削時間は平均 153 m 及 27 m にして 5.7:1 に當り，全切削所要時間は 176 m に對し 47 m にして 3.8:1 の割合なり。

(2) 形狀の比較 軟鋼其他相當の靱性を有する材料の引張試驗用試片の形狀寸法に關し，Barba, Bauschinger の實驗其他に基き，一般的に認められたる事項に次の如きものあり．

A) 斷面圓形の試片に關し，

α) 直徑の增加は引張强度を幾分減少せしむるも，顯著ならず．

β) 直徑の大小は斷面縮少率 ψ に殆んど關係なし．

γ) 一定の標點距離を用ふる場合，伸長率 φ は直徑の增加に伴つて增加す．

δ) 標點距離 l と直徑 d との比が一定なるとき，l と d との寸法は伸率 φ に無關係なり．

ε) 同一斷面積の試片にては φ と l との間に，次の關係あり

$$\varphi=a+\frac{b}{\sqrt{l}}$$

B) 各種の斷面形の試片に關し，

α) 同一斷面積の圓形，矩形，H 形斷面につきての實驗にては，引張强さは上記の順序に幾分減少す．

β) 同上の場合，上部降伏點も同一順序にて著しく減少するも，下部降伏點の減少はさほど著しからず．

γ) 伸率 φ は斷面形に無關係にして，同一標點距離に對し，斷面積 f との間に次の關係あり．

$$\varphi=a+b\sqrt{f}$$

今これ等の條件に基きて，日本標準規格各種試驗片の形狀と小型試片との形狀を比較せんとす．

先づ鑄鋼，鍛鋼用の第四號標準試片につきて見るに，$l=50$ mm. $d=14$ mm にして$\frac{l}{d}=3.56$ なり，よつて今小型試片に於て標點距離を $l=4.05\times3.56=14.42$ mm に採るとき，前掲 A) の α), β), δ) によつて，標準試片による結果と，實用上の範圍内にて，大差なき結果を得らるべきものと認む．

更にこの小型試片をもつて，一般鋼鈑，平鋼，形鋼等の試驗に用ひらるゝ標準規格第一號試片に代用する場合を考ふるに，この標準試片に於ては其標點距離を $l=200$ mm と定めたるも，其斷面積につきては，下表に示すが如き概括的の制限を附したるのみにして，一定値を示さず．

試驗片の厚（mm）.	23 以上，	9 以上 23 以下	9 未滿
試驗片の幅（mm）.	40 以下，	50 以下	60 以下

例へば試片の厚 23, 9, 6 mm のものに對する最大斷面積は

試驗片の厚（mm）.	23	9	6
試片の許容最大面積（mm²）	$23\times40=920$	$9\times50=450$	$6\times60=360$

にして，試片斷面積に 2.5 倍以上の差異あり．

從つて斯くの如き規格の下に，同一標點距離を用ひて行ひたる試驗の結果は區々として一定せず．これ等の伸率の比較をなすに當つては，前掲 B) γ) の關係等によりて，l と f とが一定の關係にある標準寸法の試片の伸率に換算せざるべからず．然るに日本標準規格に於ては，斯くの如き標準試片と見做し得べきものゝ規定なし，よつて今この標準試片形として DIN 1605 の定むるところに從ひ $l=11.3\sqrt{f}$ の關係を有するものを採れば，$l=200$ mm に對し $f=314$ mm² となり日本標準規格の範圍内に於て，この形狀を決定することを得．

よつてこの試驗の目的たる小試片の試驗成績と，この標準試片の試驗成績との間の關係を次の如くにして求め得べし．卽ち小試片の標點距離として前掲 $l=14.42$ mm を採るものとせば $f=\frac{\pi\times4.05^2}{4}=12.882$ mm² にして，$l=4.02\sqrt{f}$ となり，小試片の示す φ は標準試片に比して遙かに大なるものとなる．よつて小試片による結果を $\varphi=a+\frac{b}{\sqrt{l}}$ の關係より $l=11.3\sqrt{f}=40.55$ mm のものに換算するか，又は $\varphi=a+b\sqrt{f}$ の關係に從ひ $f=\left(\frac{l}{11.3}\right)^2=1.628$ mm² のものに換算すれば可なり．

更に小試片の試驗成績を丸鋼用の標準規格第二號竝に第三號試片の成績と比較せんとせば，前者に於て $l=8d$. 後者に於て $l=4d$ なり，これに對し小試片の標點距離は $l=3.56d$ なるが故に，これによる伸率は過大なるべく，これを $\varphi=a+\frac{b}{\sqrt{l}}$ の關係を用ひて $l=8\times4.05=32.4$ 又は $l=4\times4.05=16.2$ のものに換算すれば可なるべし．

以上の如く φ, l, f 等に關する從來の諸說が，今使用せんとするが如き小斷面積の試片に對しても，確實に適用し得るものとすれば，標準規格各號試片に小試片を代用して懸念なきことゝなるも，上記 φ, l, f 間の諸關係が，直徑 25 mm より 4 mm に至る廣範圍に成立するや否やに多大の疑問なき能はず，以下は著者がこれ等の諸點を明かにし，小試片の利用範圍を確めんとせるものなり．

尙標準試驗片第一號は他の各號試驗片と異り其斷面矩形にして，形鋼材の試驗を目的とし，其表面に黑皮を附することを原則とせり．從つてこれに表面削成せる圓形斷面の小型試片を代用することは，理論上の可能性はありと雖も，上記の點より聊か當を得ざるの感あるが故に，下揭の實驗に於ても，其比較試驗はこれを省略したり．

II 試片の形狀寸法と伸率竝に强さとの關係

伸率に及ぼす，斷面形狀，斷面積，標點距離の影響に關し，今日次の3事項の認められたること既述の如し．

1) 圓形斷面試片にては $l:d$ が一定なるとき，l 及 d の大さは φ に無關係なり．

2) φ は斷面形狀には無關係にして，一試片に於ては φ と l との間に $\varphi=a+\frac{b}{\sqrt{l}}$ の關係あり．

3) 同一標點距離のとき，φ と f との間に $\varphi=a+b\sqrt{f}$ の關係あり．

今これ等の關係の確實性を確かむるために，構造用壓延鋼，丸鋼其他につきて下掲の諸實驗を行ひたり．

A) **伸率 φ と $l:d$ との關係**　前項 1) の關係を確めんがために丸軟鋼徑 25 mm. 長 4.5 m もの1本より d=25, 22, 20, 16, 10, 8, 4 mm の7種の試片各 2 個を削成し，各々に對し標點距離 $l=10d$ ならしめ，其伸率 φ の比較をなしたり，試片中 d=25 mm のものは，黑皮のまゝなり．又丸鋼が壓延の場合內部的に材質上の著しき變化をうけず，各試片は大體同一材質を有するものと假定せり．

第 3 表　丸鋼直徑の變化と伸率との關係

試片直徑	降伏强	極大强	伸率			摘要
			標點距離	伸び	伸率	
(mm)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(mm)	(mm)	(%)	
25	2,875	4,675	250.6	69.5	27.6	
22	2,925	4,725	220.2	61.5	28.0	
20	2,950	4,750	200.1	56.9	28.4	
16	3,100	4,800	160.3	45.2	28.1	
10	3,100	4,900	100.2	28.1	28.0	
8	3,200	4,900	80.3	25.0	31.1	
4	2,940	4,800	40.8	—	—	標點外にて切斷

備考　上記の成績表は各徑とも2試片の平均値を示せり．尙試片中切斷箇所の不適，其他の理由にて，平均値を求め難きものにつきては一試片の成績を掲げたり．

この實測の結果につきて，先づ試片の直徑の變化に伴ふ降伏强及極大强の變化を見るに，最大値と最小値との間に 5～10 % の差を示せるも，直徑の增加と規則正しき關係を示さず．强さの變化は主として材質の不同に基因するものと認めて大過なかるべし．

次に伸率 φ の變化を見るに，φ の値は直徑の減少に伴ひ幾分增大の傾向あるも，d=10 mm までは殆んど一定値 28% を示し，d=8 mm となりて急激に增加せり．卽ち d=25 mm と d=8 mm との間にて φ の增加 12 % なり．

この傾向を更に確めんがために，各試片につき $l=10d$, $9d$, $8d$, $7d$, $6d$, $5d$, $4d$ の7 標點距離につきて φ の値を實測して第 4 表の結果を得たり．

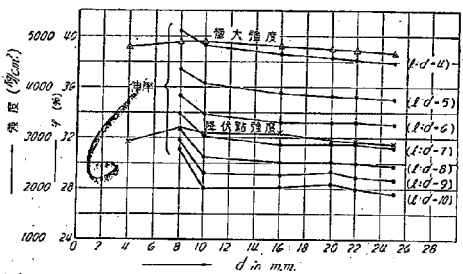
第 4 表　$l:d$ の變化に伴ふ φ の實測値

試片直徑 d (mm)	伸率 (%)						
	$l=10d$	$l=9d$	$l=8d$	$l=7d$	$l=6d$	$l=5d$	$l=4d$
25	27.6	28.7	29.8	31.2	33.0	35.0	37.9
22	28.0	29.0	30.0	31.5	33.2	35.2	38.1
20	28.4	29.3	30.1	31.5	33.2	35.3	38.3
16	28.1	29.1	30.1	31.4	33.2	35.5	38.6
10	28.0	29.2	30.5	32.1	33.9	36.3	39.3
8	31.1	31.8	32.7	33.9	35.3	37.4	40.5
4	—	—	—	—	—	—	—

第 4 表の結果を第 6 圖の圖表につきて見るに φ の値は $l:d$ の一定値に對して前掲の如く，必しも直徑 d に無關係なりと斷言し難き結果を示せり．

卽ち (1) 伸率 φ は $l:d$ の一定値に對し，直徑の減少と共に幾分增大するの傾向あり，而してこの傾向は $l:d$ の値の小なるほど顯著なり．

(2) 同上 φ の增大の割合は直徑の減少に伴つて增し，$d=10\sim8$ mm に至つて急激に增大す，而してこの部分の增加の割合は $l:d$ の大なるものほど急激なり．



第 6 圖　$l:d$ の增加に伴ふ極大强降伏强並に φ の變化

(3) $l:d=9$ 以上にては $d=10$ mm まで φ は一定値なりと認め得．

$l:d=6$ 以上にては $d=16$ mm まで φ の値の變化僅少なり．

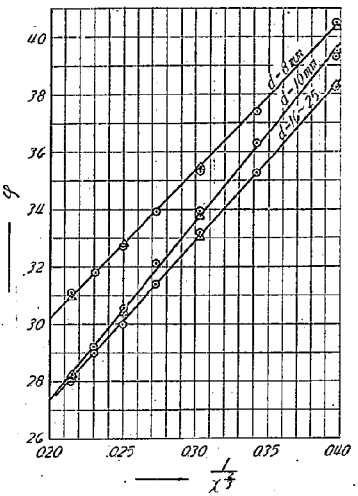
以上の如き結果を生ずる原因としては，極大强に達したる後の局部斷面收縮の影響が試片の直徑の小なるほど著しきことに基因するものなるべしと思考せらるゝも，何故に其影響が直徑の大小によつて異るかを明かにせず．

今假りに φ の一定値を示す範圍を稍廣く採り，$d=25$ 乃至 16 mm の間にて φ は $l:d$ の一定値に對し定數を示すものと假定して，この間の平均値を用ひて φ と $l:d$ との關係を求むれば，下表の數値を得．

試片直徑 d (mm)	伸率 (%)						
	$l=10d$	$l=9d$	$l=8d$	$l=7d$	$l=6d$	$l=5d$	$l=4d$
25～16	28.0	29.0	30.0	31.4	33.15	35.25	38.23

上表の伸率は大體 $\varphi_m=a+\dfrac{b}{\left(\dfrac{l}{d}\right)^{\frac{3}{5}}}$ の直線式にて示し得べく，これによつて直徑の一定範圍內にては特定の試片につきて a 及 b を決定することにより，任意の $\dfrac{l}{d}$ のものに對する φ を求め得べし．

上表の數値に對して最小自乘法によつて求めたる伸率の式は



第 7 圖　φ と $l:d$ との關係

$$\varphi_m = 15.97 + 56.35 \frac{1}{\left(\frac{l}{d}\right)^{\frac{2}{3}}}$$

にして第 7 圖 $d=16\sim25$ mm はこれを示せり．尙 $d=8$ 及 $d=10$ mm の試片につきて同樣の方法にて求めたる φ と $\frac{l}{d}$ の關係式は

$$\varphi_{10} = 14.90 + 62.15 \frac{1}{\left(\frac{l}{d}\right)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\varphi_8 = 19.83 + 51.67 \frac{1}{\left(\frac{l}{d}\right)^{\frac{2}{3}}}$$

となる。

B) **一試片に於ける l と φ との關係**　この關係を確めんがために，鋼矢板材質試驗用の試片につきて l と φ とを實測せり．使用鋼材は獨逸合同製鋼所製の含銅準硬鋼にして，引張強45 乃至 52 kg/mm², 伸率 20 % 以上と稱せらるゝものなり．

試片は其斷面積 f を DIN 1605 の定むるところにより，標點距離 $l=200$ mm に對し $l=11.3\sqrt{f}$

第 5 表　鋼矢板準硬鋼伸率實測表

試片番號	斷面積 (mm²)	降伏強 (kg/mm²)	極大強 (kg/mm²)	伸率 (%) (mm) $l=200$	$l=160$	$l=120$	$l=80$	$l=40$	摘要
A_1	336.4	34.6	52.9	23.5	25.6	28.3	32.5	45.0	切斷中央部
A_2	332.4	38.0	58.5	21.0	23.1	25.8	29.7	37.5	〃
A_3	333.1	29.7	50.3	24.5	26.9	29.2	33.8	47.5	〃
A_1—A_3 平均	(A)	—	—	23.0	25.2	27.8	32.0	43.3	
A_4	325.5	34.1	55.1	21.0	23.1	25.0	30.0	40.0	切斷端部
A_5	330.3	33.9	54.2	22.5	24.4	25.8	31.2	42.5	〃
A_6	336.4	29.2	51.6	23.5	24.4	27.5	31.2	42.5	〃
A_1—A_6 平均	(a)	—	—	22.7	24.6	26.9	31.4	42.5	
B_1	327.6	34.6	53.3	25.0	26.9	29.2	33.8	45.0	切斷中央部
B_2	306.4	33.0	50.2	26.5	28.1	30.8	35.0	47.5	〃
B_3	321.1	32.7	50.0	26.0	28.1	30.8	36.3	50.0	〃
B_1—B_3 平均	(B)	—	—	25.8	27.7	30.3	35.0	47.5	
B_4	319.7	36.5	53.8	24.0	24.4	26.6	31.2	45.0	切斷端部
B_5	313.2	32.3	48.2	23.0	25.0	29.2	35.0	45.0	〃
B_1—B_5 平均	(b)	—	—	24.9	26.5	29.3	34.3	46.5	〃

備考　A 種は斷面約 25 mm×13.5 mm, B 種は 45 mm×7.0 mm なり．

の關係を保たしむるため $f=314\,mm^2$ に近き値となしたり．從つて矩形斷面の寸法は試片の厚さ竝に試片製作の都合上幾分の變化を免れず．

試片は標點距離を 10 等分し，$l=200,\ 160,\ 120,\ 80,\ 40$ の 5 つの場合に對して伸率を測定し，試片切斷箇所が中央部にあらざる場合は，分割法によつて，これを中央斷面切斷のものに換算せり

第 5 表は斯くの如くにして求めたる實測の結果にして，これに基きて，試片中比較的中央部にて切斷せるもの A_1-A_3 及 B_1-B_3 の平均を (A) 及 (B) とし，全部の平均を (a) 及 (b) とし，これ等の伸率を縱軸に，$\frac{1}{\sqrt{l}}$ を橫軸に採りて 圖表とするとき第 8 圖に示す 4 本の直線を得，これに對し最小自乘法にて求めたる方程式次の如し．

(A)　$\varphi=6.774+229.8\frac{1}{\sqrt{l}}$

(a)　$\varphi=6.490+226.3\frac{1}{\sqrt{l}}$

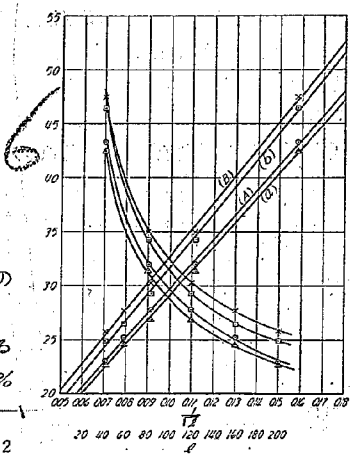
(B)　$\varphi=7.887+248.3\frac{1}{\sqrt{l}}$

(b)　$\varphi=6.824+249.2\frac{1}{\sqrt{l}}$

尙第 8 圖に於ける 4 曲線は，橫軸に l を採りたる場合の φ の圖表なり．

上記の 4 式にて與へらるゝ計算値と，實測値とを比較するに，第 6 表にて明かなるが如く，其差最大のものにて 2% に達せず，極めてよく一致せり．

第 6 表の結果より按ずるに II に掲げたる 3 項中の第 2 の事項は，この實驗に於てもよく立證されたりと稱し得べ



第 8 圖　φ と l との關係

第 6 表　φ の計算値と實測値との比較

種別 ＼ 標點距離 l (mm)		200	160	120	80	40
(A)	實測値	23.0(%)	25.2	27.8	32.0	43.3
	計算値	23.0	25.0	27.8	32.5	43.1
	誤差	0	−0.2	0	+0.5	−0.2
(a)	實測値	22.7	24.6	26.9	31.4	42.5
	計算値	22.5	24.4	27.2	31.8	42.8
	誤差	−0.2	−0.2	40.3	+0.4	+0.3
(B)	實測値	25.8	27.7	30.3	35.0	47.5
	計算値	25.5	27.5	30.6	35.7	47.1
	誤差	−0.3	−0.2	+0.3	+0.7	−0.4
(b)	實測値	24.9	26.5	29.3	34.3	46.5
	計算値	24.5	26.5	29.6	34.7	46.2
	誤差	−0.4	0	+0.3	+0.4	−0.3

く，一定の標點距離を有する試片に對して，標點內の任意の二つの長さにつきて伸率を求め，これによつて $\varphi=a+\frac{b}{\sqrt{l}}$ の二定數 a, b を決定することによつて，任意の標點距離に對する伸率を算定し得べし．

III 大型試片と小型試片との試驗成績比較

(1) 試片の製作 II に掲げたるところにより，小型試片による引張試驗をもつて標準試驗片による夫れに代用することの可能性を認め得たるが故に，本章に於ては同一鋼材につき大小兩種の試片による試驗を行ひ，兩者の比較をなして，これが適用の範圍を確めんとす．

資料として用ひたるものは，直徑 25 mm の丸軟鋼より加工製作せる第四號試驗片，第三號試驗片，第二號試驗片，竝にこれ等に對應して同一材より製作せる小型試片なり．

(2) 第四號試驗片と小型試驗片との成績比較 第四號試驗片は元來鑄鋼又は鍛鋼用の試片なるにこれが比較試驗に試料の關係より，丸軟鋼を用ひたるは，甚だ遺憾とするところなるも，これによつて得たる結果が，其大綱に於て大なる誤差を生ずるが如きことなきものと信ず．

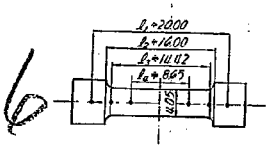
第四號試驗片は既述の如く標點距離 $l=50$ mm. 直徑 $d=14$ mm にして $l=3.56d=4\sqrt{f}$ の關係を有す．この試片を用ひて求めたる引張試驗成績第 7 表の如し．

第 7 表 第四號試驗片による軟鋼引張試驗成績

試片番號	斷面		降伏強		極大強		伸率		
	直徑	斷面積	荷重	強度	荷重	強度	標點距離	伸長	伸率
	(mm)	(mm²)	(kg)	(kg/cm²)	(kg)	(kg/cm²)	(mm)	(mm)	(%)
1	14.00	153.9	—	—	7,650	4,950	50.6	18.0	35.6
2	14.00	153.9	—	—	7,650	4,950	50.7	18.1	35.7
3	14.00	153.9	—	—	7,650	4,950	50.5	19.3	38.2
平均	—	—	—	—	**7,650**	**4,950**	**50.6**	**18.5**	**36.4**

小型試片による試驗に於て最も困難とするところは，伸率の測定にあり，この點を明かならしめんがために，本試驗に於ては，次の 5 種の伸率を算定したり．

a) 試片兩端把握部に刻せらるゝ Tensometer 附屬の Gauge pointer による標點間 ($l_1\fallingdotseq 2.0$ cm 第 9 圖參照) につき，機械附屬の伸率測定目盛を用ひて測りたる伸率．



第 9 圖 小型試片に用ひたる標點距離

b) 同上の標點距離 l_1 に對する實伸長を測定して求めたる伸率．

c) 兩端把握部內側緣間の距離 $l_2\fallingdotseq 1.6$ cm に對する實伸長を測定して求めたる伸率．

d) 中央平行部に刻したる標點距離 $l_3\fallingdotseq 1.442$ cm に對して求めたる伸率．

e) 同上 $l_4\fallingdotseq 0.8651$ cm に對して求めたる伸率．

第7表に掲げたる試片と同一の試料より削成せる小型試片6個につき，其強さ及上記5種の標點に對する伸率を測定したる成績第8表の如し．

第 8 表　小型試片による軟鋼引張試驗成績

試片番號	斷面		強さ		伸率				
	直徑	表面積	降伏强	極大强	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
	(mm)	(mm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
I	4.03	12.8	2,950	4,900	40	26.6	33.4	38.4	52.1
II	4.05	12.9	2,900	4,900	40	27.3	34.9	38.4	52.6
III	4.03	12.8	2,900	4,800	38	26.1	33.5	36.3	52.3
IV	4.05	12.9	2,900	4,900	41	28.6	35.5	38.1	51.7
V	4.02	12.7	2,850	4,800	40	27.8	34.6	37.2	51.6
VI	4.00	12.6	2,900	4,850	36	24.6	32.4	35.4	48.2
平均	—	—	2,900	4,860	39.2	26.8	34.1	37.3	52.1

先づ兩種試片の成績より極大强を比較するに，第四號試驗片に於ては各試片とも 4,950 kg/cm^2 の强さを示せるに對し，小型試片にては最小 4,800，最大 4,900 kg/cm^2 にして平均 4,860 kg/cm^2 なり．兩種試片成績間の相違僅かに 2 % にして兩者極めてよく一致せりと稱するも大過なかるべし，而して强さの差は I (2) の (A) (α) に說きたる一般傾向と逆に小型試片のもの强さ低し．この理由は第四號試片と小型試片程度の直徑と其差とを有するものにては引張强さに殆んど影響なく，上記成績の差は試驗に際しての各種の誤差によるものなるか，又は小型試片が丸軟鋼中央部より削成せるものなるが故に丸軟鋼の壓延に際し其周圍と中央部とに材質上幾分の差異あることによるものなるべしと考ふ．

次に伸率は第四號試驗片に於て，最少 35.6 % 最大 38.2 % 平均 36.4 % にして最大値と最少値との間に約 7 % の差を示せり．これに對し小型試片による伸率は a 種のもの平均 39.2%，b 種のもの平均 26.8%，c 種のもの平均 34.1 %，d 種のもの平均 37.3 % にして第四號試片の夫れに比し各々 8 % 增，26 % 減，6.3 % 減，2.5 % 增の成績を示せり．此等の中第四號試片に最も近似せる伸率を示せるものは d 種にして，a 及 c 種これに次ぎ b 種最も懸隔あり．

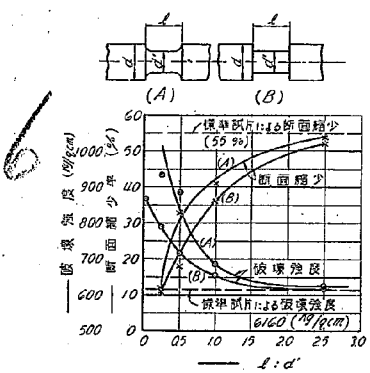
小型試片の伸率中，a 種のものは元來 Tensometer の製作者が比較的長さの測定容易なる把握部に標點を刻し，標點間の斷面の變化を考慮に入れて，英國標準規格の試片による伸率と近似の値を求め得る樣，伸率測定目盛を考案せるものと考へらるゝも，この目盛板の作製に當つて目標せられたる金屬を明かにするを得ず，從つて試材がこれと近似の材質を有する場合は比較的正確なる結果を求め得べきも，然らざる場合は，この目盛板の使用結果は全く信賴し得べからざるものとなる．而して上記の實驗の結果につきて見るに，日本標準規格第四號試驗片の形狀寸法は殆んど英國標準規格 C 號試驗片と同形なることゝ，四號試片によりしものと小型試片によりしものと，伸率測定の結果の差は 8% 程度に過ぎざるが故に，この試驗に用ひたる試料程度の軟鋼に對しては，測定結果に幾分の修正をなすことによつて，試料の靱性の概略を推定すること困難ならずと思考せらるゝも，其修正方法を合理的に求めんとするには，材質の明かなる試料を用ひての多數の實驗を必要とし，前揭の如き少數

の實驗成績によつて決定することは殆んど困難なり.

b 種の伸率は a 種の標點距離に對して，標點間の斷面變化を無視して伸長を測定し，これによつて伸率を求めたるものなるが故に，其結果が第四號試片の結果と著しき相違を示せることは當然にして，この種の伸率は實用上左程の重要性を持たざること言を俟たざるところなり.

c 種の伸率は標點距離として把握部の內側線間の長さ l_2≒16 mm を採用せるものなり. この場合標點距離端部に存する試片の膨みが試片の伸率に大なる影響を與へざるものと見做せば，$l=3.95\,d$ なる試片に對する伸率を與ふるものとなるが故に，第四號試片の $l=3.56\,d$ の場合の伸率に對し，幾分小さき伸率を與ふることゝなるは當然にして，實測の結果に於ても約 6.3% の減少を示せり.

標點距離兩端に於ける隅肉の影響は Wawrziniok 氏が第 10 圖に示せる $d=3$ cm, $d=2$ cm の試片につきて行ひたる實驗によつて，極大强及び斷面縮少率に對する切り込みの影響は $\frac{l}{d}=2.5$ 以上のとき，殆んど無視し得ることを明かにせり. よつて $\frac{l}{d}=3.95$ を有する本試片に於ては極大强並に斷面縮少率に殆んど影響をうけざるものと斷定し得べく，ひいては伸率に於ても $\frac{l}{d}=3.95$ なる標點距離を試片の平行部分に取りたる場合と著しき相違なき結果を與ふるものと假定すれば，これによつて與へらるゝ伸率と別箇に，他の任意の長さの標點距離に對する伸率が測定しあらば，兩者より II に述べたるところにより求むる標點距離に對する伸率を算出し得べし. 卽ちこの c 種の伸率と，e 種の伸率とより伸率 φ の一般式を求むれば



第 10 圖　試片の平行部兩端の隅肉の影響

種　類	實測伸率 (φ)	標點距離 (l)	直　徑 (d)	$\frac{l}{d}$
	(%)	(mm)	(mm)	
c 種	34.1	16.2	4.05	3.95
e 種	52.1	8.652	4.05	2.136

によつて

$$\varphi=-14.7+196.5\frac{1}{\sqrt{l}}$$

となる，依つて第四號試驗片に於けると同樣 $\frac{l}{d}=3.56$ なる關係を有する $l_3=3.56\times4.05=14.42$ mm に對する伸率を上式より算出すれば $\varphi=37\%$ となり，第四號試片の實測伸率と極めて近似せる數値を求め得らる.

d 種の伸率は其標點距離を $l_3=14.42=3.56\,d$ に採りたるが故に $\frac{l}{d}$ の比は第四號試片と同樣なり，從つてこれによつて與へらるゝ伸率は，もし試片の平行部の長と，標點距離との比に幾分の相違あるがための影響を無視し得るものとすれば，既述の諸實驗の結果より推斷して，第四號試驗片によるものと近似の値となるべきものなり. 實驗の結果に徵するも兩者の伸率平均値の差僅かに 2.5%, 然かも第四號試片による伸率が 35.6 乃至 38.2 % なるに對し小型試片のものは 35.4 乃至 38.4% なることより見て，兩種の試片が極めてよく一致せる結果を與ふるものなることを認め得.

以上の結果を要約すれば，小型試片をもつて第四號試片に代用せしめんがためには，平行部分中央に $l=3.56d=14.42$ mm の標點を刻し，これによつて伸率を求むるを最も確實なりとす．Tensometer 製造者の提案せる把握部に刻したる $l_1\fallingdotseq 20.00$ mm の標點距離を用ひ，機械附屬の伸率測定目盛を使用するは供試體の材質により正確なる結果を與ふること有り得べきも，常時斯くの如き結果を求め得べしとは云ひ難く，普通軟鋼の場合にて 10% 程度の差異は免れざるものと認む．

(3) 第二號及第三號試験片と小型試験片との成績比較　丸鋼の試験片として日本標準規格の定めたるものは，第二號及第三號の兩種にして，前者は $\frac{l}{d}=8$，後者は $\frac{l}{d}=4$ なり．

實驗に用ひたる試片は直徑 20.0 mm 及 14.00 mm の兩種にして，孰れも表面削成せる丸鋼なり．各片につきて $l=10d$, $8d$, $4d$ に對する伸率を測定せり．尙第三號試片は元來 $d=25$ mm 以上の試片につきて制定せられたる規格なるに，實驗用試片として材料の關係上 $d=20$ mm のものを使用したるを遺憾とするも，これによつて得たる結果より $d=25$ mm 以上の場合の關係を推斷し得べし．

試驗成績第9表の如し．

第 9 表　第二號竝第三號試片による軟鋼引張試驗成績

試片番號	斷面形		降伏强	極大强	伸率 (%)					
					$l=10d$		$l=8d$		$l=4d$	
	直徑	斷面積			l	φ	l	φ	l	φ
	(mm)	(mm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
1	20.0	314	3,070	4,900	200.7	29.4	160.6	31.1	80.6	38.9
2	20.0	314	3,060	4,890	200.8	29.7	160.8	31.8	80.4	38.7
3	20.0	314	3,090	4,890	200.6	29.4	160.5	31.0	80.7	38.8
平均	—	—	3,073	4,893	—	29.5	—	31.3	—	38.8
4	14.0	154	3,090	4,940	141.3	28.9	112.9	30.8	56.0	40.1
5	14.0	154	3,050	4,940	140.6	30.9	112.7	32.3	56.5	3.83
6	14.02	154.4	3,050	4,900	140.9	28.9	112.7	32.0	—	—
7	14.00	154	2,900	4,900	140.3	29.8	112.2	31.9	—	—
8	14.02	154.4	3,050	4,900	140.3	27.6	112.2	30.9	—	—
平均	—	—	3,028	4,916	—	29.2	—	31.6	—	39.2

第9表の第二號竝に第三號試片による成績に對應する小型試片の成績としては，同一材料より削成せる第8表に掲げたる小型試片の試驗結果を採用す．

先づ此等の降伏强，極大强につきて見るに孰れの試片に於ても降伏强は 2,850～3,090 kg/cm², 極大强は 4,800 乃至 4,940 kg/cm² の範圍にありて，よく一致せること第四號試片につきての比較試驗の場合と同樣なり．

次に伸率に關して先づ第二號試片の場合を考ふるに，これが標點距離は $l=8d$ にして，伸率は第9表の成績によれば $d=20$ mm のとき平均 31.3%, $d=14$ mm のとき平均 31.6% なり，然るに小型試片のものは $\frac{l}{d}$ の値小さく，第四號試片の場合の如く，直接測定値をもつて第二號試片の夫れに換へ得べきものなし，又 a 種及 b 種の如きは特殊の標點を有するものなるが故に，この實驗の目的に適合せず，從つて小型試片の成績より第二號試片に於ける伸率に對應するものを求めんがために

は，$\frac{l}{d}=3.95$，$\frac{l}{d}=3.56$，$\frac{l}{d}=2.136$ 等の關係を有する c 種，d 種，e 種の伸率より，既述の $\varphi=a+\frac{b}{\sqrt{l}}$ の關係式を用ひて $l=8d$ に對する伸率を算出するの外なし．

伸率種類	實測伸率 (φ)	標點距離 (l)	直徑 (d)	$\frac{l}{d}$
	(%)	(mm)	(mm)	
d	37.3	14.42	4.05	3.56
e	52.1	8.652	4.05	2.136

今小型試片6個の平均値を用ひ上式の定數 a 及 b を定めんとす．計算には把握部の太りの影響の幾分懸念せらるゝ c 種を避け，d 種及 e 種を用ひたり．

上表によつて

$$\varphi=-13.52+193.0\frac{1}{\sqrt{l}}$$

となる，依つて $l=8d=8\times4.05=32.4$ mm の標點距離に對する伸率 φ を求むれば $\varphi=20.37$ % を得．これを第二號試片による伸率平均 31.6 % に比較すれば著しき相違にして，斯くの如き方法を用ひて小型試片の試驗結果より第二號試片による結果を誘導せんことに，何等かの缺陷あることを示せり．

抑も上記の伸率算定に當りては，φ の値は $\frac{l}{d}$ の一定値に對して，l 及 d に無關係なりと假定せるものなり．然るにこの關係たるや第6圖に示せる實驗結果によれば直徑の比較的大なる間はほゞ成立するも，直徑の大小を問はず一般的に成立するものとは見做し難く，概括的には一定の $\frac{l}{d}$ に對して φ の値は直徑の減少と共に幾分增大し，其增大の割合は $\frac{l}{d}$ の値と d の大小とによつて著しく異ることを知りたり．從つて今の場合の如く $d=4.05$ mm の小試片にて $\frac{l}{d}=2\sim4$ に對する實驗値をもつて，$d=20$ 乃至 14 mm にて $\frac{l}{d}=8$ のもの伸率を算出せんとすることの困難なるは當然の結果にして，實驗の結果に 30 % 以上の誤差を生じたることは，實にこの點に基因するものと信ず．

然らば第二號試片の $\frac{l}{d}=8$ に對し $\frac{l}{d}=4$ にて，比較的小型試片に近き $\frac{l}{d}$ を有する第三號試片に上記の算出法を適用するの可否を確めんがため，前掲の關係式より，第三號試片に對應する $l=4\times4.05=16.2$ mm なる標點距離に對する伸率を算出すれば $\varphi=34.4$ % を得．これを第三號試片 $l=4d$ に對する伸率，$d=20$ mm につき平均 38.8%，$d=14$ mm につき平均 39.2 % に比較するとき約 12% の相違あり，第二號試片の場合の差 30 % に比すれば遙かに良好なる結果を示せるも，尙小型試片をもつて第三號試片に換へ得る程度にあらず．$l=3.56$ $d=14$ mm なる第四號試片につきて同樣の方法にて求めたる結果が，既述の如き良成績を示せるに對し，$l=4d$ なる第三號試片に對して其結果の思はしからざる原因の一として考へらるゝことは，元來同一材にて同徑の場合 $\frac{l}{d}$ の小なるものほど大なる伸率を示すを原則とするに拘らず，第7表及第9表の成績に於て $\frac{l}{d}=4$ の第三號試片が $\frac{l}{d}=3.56$ なる第四號試片に比して約 7 % 大なる伸率を示せる點にあり．この理由は恐らく第四號試片が兩端擴大せるに對し第三號試片が然らざるがために生ずるものにして第四號試片の成績には兩端太りの影響が加味せらるゝものと認めざるを得ず，從つてこれと類似の形狀を有する小型試片による成績がよく一致し，兩端に太りを有せざる第三號試片の成績と一致せざるは首肯するに難からざるところなり．

こゝに試験成績に及ぼす両端太りの影響を確むるの必要を感ずるものなるも，今の實驗の目的と稍懸け離れたる問題なるが故に，これが討究は他日に讓りたり．この問題に關しては前揭 Wawrziniok の實驗あるも充分なるものと云ひ難し．

以上の結果に基けば，小型試片を第二號又は第三號試片に代用せんとすることは，其伸率算定が 2 點以上の觀測値より間接に求めざるべからざるの手數あること，$\frac{l}{d}$ の値の相違大なると，兩端太りの影響に疑問の點あること等より其結果が思はしからざることを考ふるとき不適當なるものと認む．又實際問題としては第二號又は第三號の如き丸鋼の試驗に於て小型試片の代用を必要とするが如きことは極めて稀なるものと思考す．

IV　小型試驗片による鎔着鋼の試驗

(1) 鎔着鋼引張試驗片としての小型試驗片　III に於て說きたるところにより，第四號試驗片の代用として小型試片を用ふことの可能性を確め得たるが故に，試驗片として從來第四號試驗片を使用しつゝある鎔着鋼引張試驗に小型試片を應用したる場合の成績を確かめんがために下記の實驗を行ひたり．

この試驗に於て，前章軟鋼による比較試驗の場合と異なり特に考慮を必要とするは，鎔着鋼に含まるゝ氣孔竝に鎔滓の影響なり．これが存在は其周緣に生ずる應力集中のために，試驗成績に著しき變化を惹起す．元來鎔着鋼第四號試片の製作に當り，全然氣孔を生ぜざるが如き作業は不可能にして，從來當所にて行ひたる試驗にて相當良成績を示しをる試片にても，可成氣孔の存在を認め得るもの多し，從つて試片に氣孔の存在は避け難きものと假定して，これが影響の大小を大型及小型試片につきて比較するに，小型試片にては其標點距離の長さ僅かに $l=14.42$ mm, 直徑 $d=4.05$ mm 程度なるが故に，この間に於て氣孔の存在せざる樣施工することは，$l=50$ mm, $d=14$ mm の大型試片に比して遙かに容易なるべく，この點に關しては小型試片を有利とするも，一面氣孔の大さは試片の大小に關係なかるべく，若し同大の氣孔が試片標點間に存したる場合，これが引張試驗の成績に及ぼす影響は $d=14$ mm のものが $d=4.05$ mm のものに比して遙かに少なかるべく，この點に於て小型試片は甚だ不利なりと云ふべし．然らば上記の得失中孰れが主役として作用するかに至りては未だこれを明かにし得ざるところなり．只前項の氣孔を存在せしめざることの利點は鎔接技術者の熟練と注意とによりて如何樣にも改善し得る點なることは小型試片につき極めて力強き一面なりと云ひ得べし．

(2) 市販×印電極棒鎔着鋼試驗　使用電極棒は徑 $\frac{1}{8}''$ 乃至 $\frac{5}{32}''$ のものにして，作業は當所技工赤坂これに當り，作業に當りての各種成績は本稿第 1 表に揭げたり．

A) 第四號試驗片による成績　試片の鎔着は第 2 圖の方法により，平鈑上へ 3 ビード，6 層盛として盛り上げたり．これより，J.E.S. 第四號試驗片削成の上，行ひたる引張試驗の成績第 10 表の如し．

第 10 表の試驗成績に於て極大強 3,000 kg/cm² 以下のもの，卽ち試片 IV は氣孔又は鎔滓の含有大にして，作業上に缺點ありしものと認めたるが故に，これを除外せり．其他の 4 試片の平均値は極大強 3,652 kg/cm², 伸率 14.6 % なり．

第10表 第四號試驗片による×印電極棒鎔着鋼强度試驗成績

試片番號	斷面		極大强		標點距離	伸率	
	直徑	斷面積	荷重	强さ		伸	伸率
	(mm)	(mm²)	(kg)	(kg/cm²)	(mm)	(mm)	(%)
I	14.1	156	6,000	3,850	50	9.0	18
II	14.0	154	5,600	3,640	50	5.5	11
III	14.0	154	5,850	3,800	50	9.5	19
IV	14.0	154	4,200	2,730	50.8	2.8	5.5
V	14.0	154	5,000	3,250	50.8	5.2	10.2
VI	14.0	154	5,720	3,720	50.7	7.5	14.8
平均*	—	—	—	3,652	—	—	14.6

(* 平均値には試片 IV の成績を除外せり)

B) **小型試片による成績** 鎔着鋼の盛り上げは第 5 圖指示の方法を採りたり，1 ビード 3 乃至 5 層盛にして，鎔接棒直徑 3 乃至 4 mm なり．この鎔着鋼より第 4 圖指示の小型試片を削成し，標點距離としては IV に於て論じたるところに據り，第9圖の $l_2=4.05\times3.56=14.42$ mm を採りたり．これによる引張試驗の成績第 11 表の如し．

第11表 小型試片による×印電極棒鎔着鋼强度試驗成績

試片番號	斷面		極大强		標點距離	伸率	
	直徑	斷面積	荷重	强さ		伸	伸率
	(mm)	(mm²)	(kg)	(kg/cm²)	(mm)	(mm)	(%)
1_1	4.05	12.88	—	2,800	14.108	1.173	8.31
1_2	〃	〃	—	3,450	〃	1.864	13.21
2_1	〃	〃	—	3,300	〃	2.296	16.27
2_2	〃	〃	—	3,650	〃	2.359	16.72
3_1	〃	〃	—	3,250	〃	2.296	16.27
3_2	〃	〃	—	3,350	〃	2.551	18.08
4_1	〃	〃	—	3,500	〃	1.411	10.0
4_2	〃	〃	—	3,500	〃	1.412	10.0
5_1	〃	〃	—	3,850	14.054	2.036	14.5
5_2	〃	〃	—	3,700	14.265	2.209	15.5
6_1	〃	〃	—	3,600	14.011	1.829	13.1
6_2	〃	〃	—	3,800	14.105	2.078	14.7
平均 (1_2—6_2)	〃	—	—	3,541	—	—	14.39

第 11 表の成績中第四號試片によるものと同樣，其極大强 3,000 kg/cm² 未滿のものは作業上に缺點ありしものとして除外して，强度の平均値を求むれば 3,541 kg/cm²，同じく伸率 14.39 % を得．

C) **兩試片の成績比較** 極大强につきて見るに第四號試片によるものが 3,250 乃至 3,850 kg/cm² 平均 3,652 kg/cm² なるに對し，小型試片のものが 3,250 乃至 3,850 kg/cm² 平均 3,541 kg/cm² にして極めてよく合致せり．

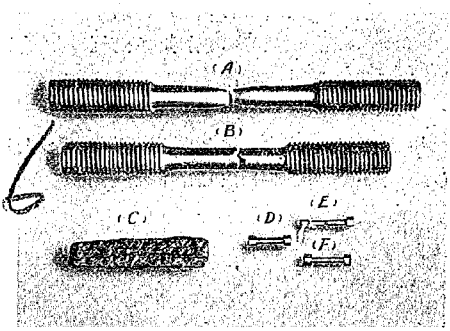
伸率につきて見るに兩者とも其變化著しきも前者に於て 10.2 乃至 19 % 平均 14.6 %，後者に於

て 10.0 乃至 18.08 % 平均 14.39 % にして試驗結果は殆んど同樣の成績を示せり．只其變化の著しき點は鎔着鋼に含有せられたる氣孔，鎔滓其他の影響にして，鎔接作業の巧拙に左右せらるゝところ大なりと云ふべし．而して其影響顯著にして試驗成績として取り扱ひ得ざるもの第四號試片に於て試片 6 個中 1，小型試片に於て試片 12 個中 1 個の割合なり．斯くの如き小數の試片にて一般を律し難きも，小型試片に於て氣孔，鎔滓等の包含による惡影響を避くることの容易さを示すものに非らざるか．

孰れにせよ，前揭の比較試驗により，鎔着鋼の試驗片としこの小型試片の利用價値を充分確め得たりと稱し得べく，これが使用によつて，材料の經濟，勞力時間の節約上に齎らす利益頗る大なるものあるべし．

尙本試驗に用ひたる鎔着鋼の強さ及其伸率は，試驗成績に徵するに軟鋼用鎔着棒として優秀なるものとは認め難し．この成績が鎔接工の技倆に左右せられたるにあらざるやの疑問なきにあらねど，同種鎔接棒につき，製造所側の施工にかゝる鎔着鋼の試驗を當所にて行ひたる試驗に於ても，極大強 3,000 乃至 3,550 kg/cm² を示せり．

第 11 圖は第四號試片と小型試片との寫眞なり．



(A) 第四號試驗片(軟鋼)　(D) 試驗前の小型試片
(B) 同　上(鎔着鋼)　(E) 小型試片(軟鋼)
(C) 小型試片製作用鎔着鋼　(F) 同　上(鎔着鋼)

第 11 圖　第四號試驗片と小型試驗片

V 要　約

以上各章に於て論究せるところを要約すれば，

(a) 鎔着鋼試驗片としての，日本標準規格第四號試片と小型試片とを，其製作上より比較すれば，試片切削前の鎔着鋼の所要量は約 18:1 なるに對し，これが盛り上げに要する時間は 6:1 にして，これより試片の切削に要する時間は 3.8:1 なり．

(b) 圓形斷面引張試驗片に於て直徑の變化は其降伏強，極大強に殆んど影響なし．

(c) 標點距離と直徑との比 $\frac{l}{d}$ が一定なるとき伸率 φ はこれ等の大小に無關係なり，と一般に認められたるも，丸鋼につきて著者の行へる實驗に於ては，直徑の減少に伴つて幾分增大し，增大の割合は直徑が 8～10 mm に至つて急激に增加す．而してこの部分の增加の割合は $l:d$ の大なるものほど急激なり．

(d) $l:d$ の一定値に對し φ が一定なりと見做し得る範圍内にて，φ と $\frac{l}{d}$ との間に

$$\varphi=a+\frac{b}{\left(\frac{l}{d}\right)^{\frac{2}{3}}}$$ の關係あり．

(e) 一試片に於て標點距離 l と伸率 φ との間に $\varphi=a+\frac{b}{\sqrt{l}}$ の關係あり.

(f) 小型試片をもつて第四號試片に代用するとき, 伸率 φ の値は小試片の平行部に刻したる $l=14.42$ mm の標點距離につきて測定するとき第四號試片にて與へらるゝ値に最も近似せる結果を求め得.

(g) 小型試片をもつて第二號又は第三號試片に代用せんとするは, 其伸率測定に手數多き點, $\frac{l}{d}$ の値の差大なること, 試片兩端の太りの影響を無視し得ざること等のために成績良好ならざる點より見て, 不適當なるものと認む.

(h) 鎔着鋼の試驗に用ふる第四號試驗片に小型試片を代用するとき, (b) 及 (f) に說きたるところにより, 其强さに於て又其伸率に於て極めて近似せる結果を求め得. 只試片の含有する氣孔, 鎔滓の影響に關しては各其關係を異にしこれを同一視することを得ず.

本試驗の實施に當り, 試片の製作, 實驗の觀測等に, 內務技手鈴木倫虎氏, 同宮澤岩雄氏等を煩はしたる事多く, 且つ關係技工諸君の勞を謝するものである.

國産瀝青乳劑試驗成績

内務技師　西　川　榮　三

目　次

緒　　言……（1）
I　國産瀝青乳劑の試驗成績……（3）
II　各種瀝青乳劑に對する說明……（4）
III　國産瀝青乳劑の性質概說……（10）
要　　約……（18）

緒　　言

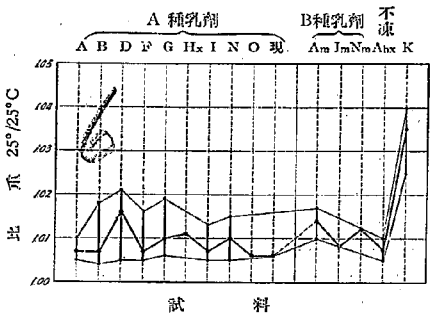
昭和6年12月，本所報告第21號に於て，諸種瀝青乳劑の試驗成績を掲げ，之に簡單なる說明を加へてあるが，其の後，瀝青乳劑は，其の生産量，生産者竝に市上品の數は增加し，其の品質等の上に於て種々の進步或は變遷を經て今日に及び，其の用途も擴大せられた．本報告は，昭和6年10月以後昭和8年10月迄約2ヶ年間に亘り，官廳公共團體等の依頼に依り，本所に於て試驗せる瀝青乳劑試料約160に就て，其の試驗成績を取纏めて比較せるものである．

本邦瀝青乳劑名稱及生産者

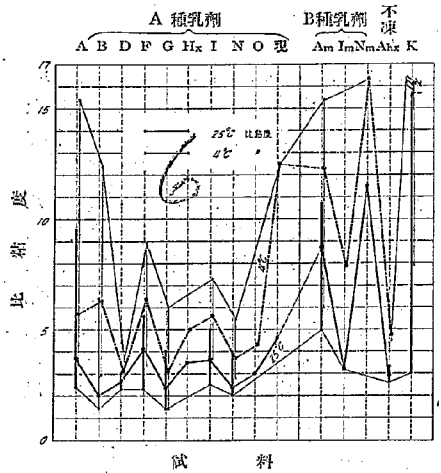
番號	名　稱	生　産　者	生産者工場所在
1	ビチユマルス	日本ビチユマルス株式會社	横濱市
2	鈴木乳劑	日本アスファルト乳劑株式會社	神奈川縣大船町
3	ウオーターフアルト	小倉石油株式會社	横濱市
4	日石乳劑	日本石油株式會社	東京市及山口縣下松
5	エマルビア	東京瀝靑工業所	神奈川縣鶴見
6	エムラス	エムラス道路工業株式會社	東京市向島區吾嬬町西四丁目岐阜縣稻葉郡加納町龍町
7	アスカルエキス	東邦工業合資會社	
8	御國乳劑	日本ソリヂチット株式會社	東京市京橋區京橋三丁目丹倉ビル四階（本社所在）
9	國光液體アスファルト	日本液體アスファルト株式會社	横濱市
10	ペープオイル	—	横濱市
11	レキゾール	—	神奈川縣
12	理研乳劑	理化學研究所	東京市本鄕區上富士前町
13	東京市乳劑	東京市土木局試驗所	東京市芝區芝浦
14	東京府乳劑	東京府土木部	東京市芝區芝浦
15	大阪市乳劑	大阪市土木部工務課	大阪市港區

本報告中に取り扱ひたる瀝青乳劑は，レキゾール，御國乳劑，ペープオイル，國光液體アスファルト，エムラス，アスカルエキス，日石乳劑，ウオーターファルト，エマルビア，鈴木乳劑，ビチユマルス，等の諸種製品を含んで居るが，ニューカース，藤田乳劑の二者（前報告中に掲げたるもの）は本報告中に含まれて居ない．

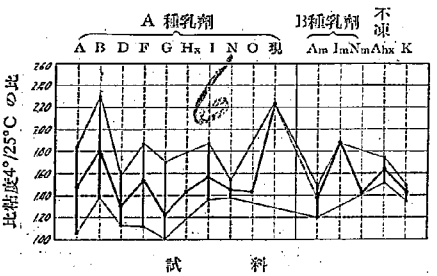
尙瀝青乳劑の名稱及生産者を掲ぐれば次の如くにして，本報告中に逸せるもの數種あれど，民間製品の主要なるものゝ大部分を網羅して居る．



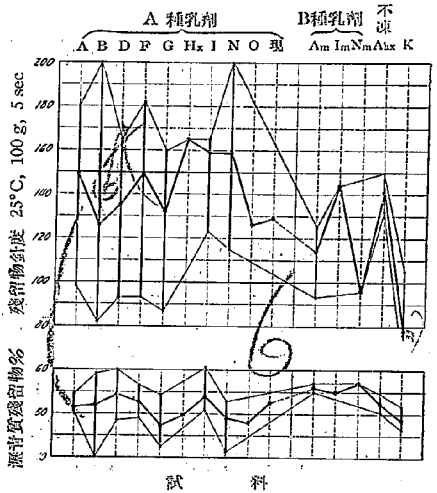
第1圖　比重



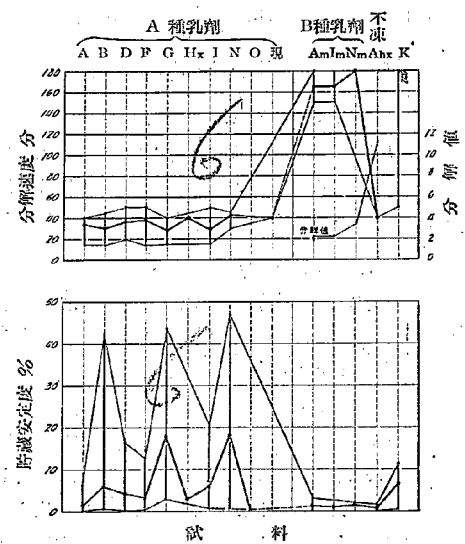
第2圖　比粘度



第3圖　4°/25°C 比粘度の比



第4圖　濾青質殘物%及針度



第5圖　貯藏安定度及分解速度（分解値）

I 國産瀝青乳劑の試驗成績

國産瀝青乳劑は概ねアスファルト乳劑にして，タール乳劑は未だ充分の發達を見ず，理研乳劑，東京市乳劑，其の他一二の製品中にタールを瀝青質材料として使用せる瀝青乳劑あれども，未だ研究時代を脫せず，タール乳劑に關しては今後の發達に俟つべきものが多い．

アスファルト乳劑は主としてコンクリート養生用，路面處理或は透入法用等に供せらるゝも，中には混合法用を目的として製造せられたるものもある．而して前報告に於ては，混合法用乳劑として見るべきもの殆どなかりしに反し，本報告中にこの種乳劑に就て記載するを得るに到りたるは，乳劑製造上の一進歩と見做すを得べきものである．

各種乳劑の試驗成績は第1表乃至第 17 表に示す如くである．其の性質の最高最低平均數値を圖示すれば第 1 圖乃至第 5 圖の如くである．

第 1 表 各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1048	1077	1078	1079	1139	1140	1150	1151	1152	1168
試料名	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	6, 10, 24	6, 11, 16	同左	同左	7, 1, 15	7, 1, 15	7, 2, 12	7, 2, 12	7, 2, 12	7, 3, 17
試驗年月日	6, 10, x	6, 11, 28	6, 11, 28	6, 11, 28	7, 2, 23	7, 2, 23	7, 2, 23	7, 2, 23	7, 2, 23	7, 3, 24
1. 外觀	黑褐均等	同左	同左	同左	褐色均等	同左	—	—	—	黑褐均等
2. 比重 25°/25°C	1.010	1.009	1.009	1.009	1.008	1.010	1.010	1.010	1.010	1.006
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	3.0	2.7	2.7	3.2	4.3	4.3	3.3	3.3	3.3	3.1
4°C, 50 cc	—	—	—	—	7.3	6.5	4.7	4.7	4.7	5.6
4°/25°C の比	—	—	—	—	1.70	1.51	1.42	1.42	1.42	1.81
4. 瀝青質殘留物%	52.0	51.7	50.3	53.7	53.1	53.5	52.2	52.3	52.3	51.6
5. 同上性質										
針度 25°C	134	175	175	175	163	163	161	160	160	160
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	5.5	2.2	3.4	2.7	0.9	0.8	0.7	0.7	0.3	6.2
7. 分解速度 分	40	35	35	35	40	40	25	25	25	30
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低温安定度	—	良	良	良	良	良	良	良	良	良
10. 混水安定度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
使用場所	横須賀飛行場内	高崎國道改良事務所用	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	小岩國道改良事務所
用途	透入法	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
備考	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良

II 各種瀝青乳劑に對する說明

第 1 表~第 17 表中 A, B, C, ..., N, O 等は，其の生產者の異ることを示したもので，同一符號のものは同一生產者の製品である．其の符號は大體報告第 21 號に示した所と同じであるが，第 21 號中に存せざるものには新しき符號を設けた．

第 1 表乃至第 16 表 4 行目までは主として A 種乳劑に屬するものにして，第 16 表 5 行以下及第 17 表は主として B 種乳劑及其の他の特種乳劑に屬するものである．

〔1〕 A 種乳劑

A 種乳劑中各種の製品につき簡單なる說明を加ふれば次の如し．

乳劑 A 製品 A 製品試料 47 個の試驗成績を要約すれば第 18 表中第 2 行目の如くで，本品はコンクリート養生用，路面處理用，透入マカダム用等の撒布式工法に使用せらるゝ製品で，其の多數は規格案に合格し，他の乳劑に於て時として缺陷を生じ易き比粘度，瀝青質殘留物，貯藏安定度，低

第 2 表 各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1225	1226	1227	1228	1277	1278	1279	1280	1281	1303
試料名	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
產地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	7, 7, 4	7, 7, 4	7, 7, 4	7, 7, 4	7, 9, 3	7, 9, 3	7, 9, 3	7, 9, 3	7, 9, 3	7, 10, 4
試驗年月日	7, 7, 13	7, 7, 13	7, 7, 13	7, 7, 13	7, 9, 14	7, 9, 14	7, 9, 14	7, 9, 14	7, 9, 14	7, 10, 12
1. 外觀	黑褐均等	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
2. 比重 25°/25°C	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.010
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	2.8	2.8	2.6	2.6	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5
4°C, 50 cc	5.0	5.0	4.8	4.8	3.4	3.5	3.5	3.4	3.5	3.7
4°/25°C の比	1.78	1.78	1.84	1.84	1.42	1.46	1.46	1.42	1.40	1.48
4. 瀝青質殘留物%	50.5	50.5	51.0	51.0	51.2	50.5	50.5	51.0	51.0	51.0
5. 同上性質										
針度 25°C	168	168	170	170	139	138	139	139	140	131
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	0·5	1.5	1.3	1.3	2.4	1.4	1.6	1.8	2.1	2.7
7. 分解速度 分	45	45	45	45	40	40	40	40	40	40
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低溫安定度	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
10. 混水安定度	—	—	—	—	良	良	良	良	良	稍不良
使用場所	福島國道改良事務所	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	仙臺土木出張所
用途	透入法	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	コンクリート養生
備考	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良

溫安定度等皆優良にして，品質も略一定して居り，製品として比較的信を置くに足るもの＞如くである．

乳剤 B 製品　B 製品試料 26 個の試驗成績を要約すれば，第 18 表第 3 行目の如くで，本製品は，低溫安定度には缺くるを以て，冬期に於て使用するに當り，貯藏中凍結の虞ある場合には，使用前分解して使用に不適當のものとなる嫌がある．其の他時として貯藏安定度の不良なるもの，瀝青質殘留物の少きに失するもの，從つて比粘度の低きに失するもの等ありて，品質稍不同であるが，其の中の良品は，貯藏中凍結の虞なき場合は，撒布式の工法に使用し得るものである．

乳剤 D 製品　D 製品試料 14 個の試驗成績を要約すれば，第 18 表第 4 行目の如くで，低溫安定度は概して不良なれど，時に優良なるものもある．瀝青質殘留物少きもの，不均等なるもの等 1, 2 あれども大體に於て低溫安定度を除きては，本所一般規格案 A に合格するものである．

乳剤 F 製品　F 製品試料 22 個の試驗成績を要約すれば，第 18 表第 5 行目の如くで，低溫安定度は大體に於て良好にして，其の他の性質も概してよろしく良品に富み，撒布用乳剤として充分使

第 3 表　各種瀝青乳剤試驗成績

試驗番號	1305	1305	1541	1542	1543	1544	1554	1555	1556	1561
試料名	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	7, 10, 4	7, 10, 4	8, 6, 9	8, 6, 9	8, 6, 9	8, 6, 9	8, 6, 10	8, 6, 10	8, 6, 10	8, 6, 30
試驗年月日	7, 10, 12	7, 10, 12	8, 6, 22	8, 6, 22	8, 6, 22	8, 6, 22	8, 6, 22	8, 6, 22	8, 6, 22	8, 7, 11
1. 外觀	黒褐均等	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
2. 比重 25°/25°C	1.010	1.010	1.005	1.005	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.006
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	2.5	2.4	7.5	7.2	6.8	6.2	9.5	3.4	3.4	2.6
4°C, 50 cc	3.6	3.6	9.2	9.0	8.0	8.0	15.4	4.8	4.8	3.7
4°/25°C の比	1.44	1.5	1.23	1.25	1.19	1.29	1.62	1.41	1.41	1.42
4. 瀝青質殘留物%	51.0	52.0	52.4	52.4	52.0	52.0	54.5	51.5	51.5	51.0
5. 同上性質										
針度 25°C	130	133	138	138	131	131	129	150	150	169
延性 15°C	＞100	＞100	＞100	＞100	＞100	＞100	＞100	＞100	＞100	＞100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日%	2.8	2.7	1.0	1.3	2.0	1.0	0.5	0.1	0.1	2.2
7. 分解速度　分	40	40	35	35	35	35	30	30	30	40
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低溫安定度-5°C	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
10. 混水安定度	良	稍不良	—	—	—	—	—	—	—	↓
使用場所	仙臺土木出張所コンクリート養生	同左	淨瑠璃國道改良事務所	同左	同左	同左	宮城國道改良事務所	横須賀飛行場	同左	宮城國道改良事務所
用途	同左	同左	透入法	同左	同左	同左	—	透入法	同左	透入法
備考	良	良	良	良	良	良	粘度大に過ぐ	良	良	良

用し得るものである．

乳剤 G 製品　G 製品試料 23 個の試験成績を要約すれば，第 18 表 6 行目の如く，低溫安定度の良しきもの少く，比粘度，瀝青質殘留物少きに失するもの貯藏安定度不良なるもの等，缺點を有するものが多いが，低溫安定度を除きては，使用し得べき程度の性質を有するものも存する．本試驗成績中に表されたる不良品の多くは，寧ろ製造上の手違ひより來りしものと推測せられるので，製造上に一層の注意を拂へば良品を得べきことは明かであり，既に最近の製品は，其の缺點の多くが改良せられて居るものもある．

乳剤 Hx 製品　Hx 製品については唯 1 回の試驗を行つたのみであるが，低溫安定度を除く他の性質は使用に堪ふるものである．

乳剤 I 製品　I 製品試料 8 個の試驗成績を要約すれば，第 19 表 3 行目の如く，低溫安定度は概して良しく，時として貯藏安定度不良なる他，使用に堪へ，概して良質である．

乳剤 N 製品　N 製品試料 7 個の試驗成績を要約すれば，第 19 表第 4 行目の如く，瀝青質殘

第 4 表　各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1562	1563	1564	1582	1583	1599	1600	1602	1604	1605
試料名	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	8, 6, 30	8, 6, 30	8, 6, 30	8, 7, 15	8, 7, 15	8, 8, 21	8, 8, 21	8, 8, 25	8, 9, 5	8, 9, 5
試驗年月日	8, 7, 11	8, 7, 11	8, 7, 11	8, 7, 27	8, 7, 27	8, 8, 31	8, 8, 31	8, 9, 4	8, 9, 16	8, 9, 16
1. 外觀	黑褐均等	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
2. 比重 25°/25°C	1.006	1.006	1.006	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	2.5	2.6	2.6	3.2	3.3	4.7	4.8	3.4	3.6	3.8
4°C, 50 cc	3.6	3.5	3.7	4.2	4.4	6.3	6.6	4.8	5.7	5.8
4°/25°C の比	1.44	1.35	1.42	1.31	1.33	1.31	1.37	1.41	1.58	1.53
4. 瀝青質殘留物%	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	50.5	51.0	52.0	52.5	52.5
5. 同上性質										
針度 25°C	179	177	175	98	100	118	121	138	123	122
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	2.0	2.0	1.3	0.2	0.2	3.3	3.4	2.6	0.5	0.4
7 分解速度 分	40	40	40	20	20	35	35	30	15	15
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低溫安定度-5°C	良	良	良	良	良	良	良	良	稍良	良
10. 混水安定度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
使用場所	宮城國道改良事務所	同左	同左	横須賀海軍建築部	同左	同左	同左	宮城國道改良事務所	群馬國道改良事務所	同左
用途	透入法	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
備考	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良

留物少く，貯藏安定度不良なるものあり，均等性をかき製品の性質は不同であるが，昭和7年の末期より昭和8年にかけてのものは，品質改良せられて，良品を見るに至つた．8年度製品は低溫安定度も良好である．

乳劑 O 製品　O 製品については唯1回の試驗を行つたのみであるが，其の瀝青質殘留物の量少きに過ぐる他，他の性質は良好である．ことに貯藏安定度及低溫安定度はよろしく，原料アスファルトの配合量を增加せば，良質の乳劑をつくり得べきものと信ぜられる。

現場製造乳劑　可搬式現場用乳劑製造機を以つて製造せられたる乳劑1種について行ひたる試驗の成績に依れば，其の粒子は大にして，比粘度比較的高きものであるが，使用は可能である．瀝青質殘留物の性質は原料瀝青に比し著しい變化を受けて居ない．乳劑として充分なものとは言へないが，不良ではない．但し本試驗成績は只1回のみの試驗に依るものであるから，纏つた批評をするには不充分である．

第5表　各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1606	1688	1692	1693	1694	1695	1696	1076	1092	1093
試料名	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	8, 9, 5	8, 10, 4	8, 10, 12	8, 10, 12	8, 10, 13	8, 10, 13	8, 10, 13	6, 11, x	6, 11, 26	6, 11, 26
試驗年月日	8, 9, 16	8, 10, x	8, 10, x	8, 10, x	8, 10, x	8, 10, x	8, 10, x	6, 11, 28	6, 12, 9	6, 12, 9
1. 外觀	黑褐均等	—	—	—	—	—	—	黑色均等	同左	同左
2. 比重 25°/25°C	1.005	1.009	1.006	1.007	1.006	1.006	1.006	1.016	1.009	1.008
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	3.8	2.7	6.4	5.5	4.4	4.6	3.4	3.2	6.4	6.0
4°C, 50 cc	5.8	4.6	6.7	6.5	6.8	7.3	5.3	—	11.6	12.3
4°/25°C の比	1.53	1.70	1.05	1.18	1.55	1.59	1.56	—	1.81	2.05
4. 瀝青質殘留物%	52.5	50.3	50.8	50.7	50.5	50.5	50.7	54.0	54.8	55.0
5. 同上性質										
針度 25°C	125	120	180	136	146	146	146	103	130	131
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	0.3	1.0	0.6	1.1	1.2	1.2	0.8	6.0	0.8	1.0
7. 分解速度 分	15	30	30	30	30	30	30	25	25	25
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低溫安定度	良	稍良	良	良	良	良	良	—	—	—
10. 混水安定度	—	—	—	—	—	—	—	不良	不良	不良
使用場所	群馬國道改良事務所	横須賀海軍建築部	宮城國道改良事務所	同左	群馬國道改良事務所	同左	同左	小岩國道改良事務所	高崎國道改良事務所	同左
用途	透入法	同左	—	—	—	—	—	透入法	同左	同左
備考	良	良	良	良	良	良	良	良	貯藏中凍結の虞なき場合には使用差支なし	同左

〔2〕 B 種乳劑

上記の A, B, D, F, G, H_X, I, N, O 現場製造乳劑の 9 種はいづれも，コンクリート養生用，路面處理用，透入マカダム用等の撒布式工法を目的とせるアスファルト乳劑であるが，この他に，混合用乳劑或は之に類するもの，タール乳劑等が數種ある．これ等の乳劑について簡單なる說明を加ふれば次の如し．

乳劑 M 製品　M 製品（第 15 表參照）は黑褐色の乳劑にしてタール臭を有し，比粘度比較的高く，分解の速度遲く，碎石に附着せる被膜は乾燥 5 時間後も，水により幾分再乳化の傾向あり，原料としてタール或は類似品を使用せるか，或は之を混入せるもの、如く，其の瀝青質殘留物は極めて軟

第 6 表　各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1094	1122	1123	1137 1138	1109	1110	111	1137	1138	1155
試料名	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	6, 11, 26	7, 1, 7	7, 1, 7	7, 1, 15	6, 12, 16	6, 12, 7	6, 12, 7	7, 1, 15	7, 1, 15	7, 2, 20
試驗年月日	6, 12, 9	7, 1, 27	7, 1, 27	7, 1, 27	6, 12, 17	6, 12, 17	6, 12, 17	7, 2, 2	7, 2, 27	7, 2, 29
1. 外觀	黑色均等	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
2. 比重 25°/25°C	1.010	1.005	1.006	—	1.010	1.012	1.011	1.011	1.010	1.018
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	6.2	3.0	3.2	—	3.5	3.7	3.3	3.6	3.2	3.4
4°C, 50 cc	12.0	6.1	6.3	—	7.2	7.8	7.6	6.2	6.0	4.8
4°/25°C の比	1.94	2.05	1.97	—	2.06	2.11	2.30	1.72	1.87	1.41
4. 瀝青質殘留物%	54.0	52.5	53.0	—	52.8	53.3	53.0	53.0	52.0	59.2
5. 同上性質										
針度 25°C	133	115	113	—	110	115	115	120	121	175
延性 15°C	>100	>100	>100	—	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	0.7	—	—	—	1.4	2.0	2.1	10.1	10.0	1.1
7. 分解速度　分	25	35	35	—	30	30	30	45	45	20
8. 被膜の狀態	良	良	良	—	良	良	良	良	良	良
9. 低温安定度-5°C	—	不良	不良	—	不良	不良	不良	不良	不良	稍不良
10. 混水安定度	不良	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11. 低温安定度										
0°C 2 時	—	約½分解	同左	—						
—2°C 3 時	—	—	—	安定						
—3°C 3 時	—	—	—	大部分安定						
使用場所	高崎國道改良事務所	同左	同左	同左	群山國道改良事務所	高崎國道改良事務所	同左	同左	同左	小田原國道改良事務所
用途	透入法	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
備考	貯藏中凍結の虞なき場合には使用差支なし	同左	同左	但し-3°Cまでは使用し得	貯藏中凍結の虞なき場合には使用差支なし	同左	同左	同左	同左	同左

質なるもので，通常のアスファルト乳劑とは其の性質を著しく異にして居る．本乳劑を以て施工するには骨材としては細粒材を用ふべく，乾燥に長時間を要するものと考へられる．

乳劑 A_m，及 A_{HX} 製品　乳劑 A_m（第 16 表參照）は混合用アスファルト乳劑として製造せられたもので，すべての性質は本所一般規格案 B に合格し，良質なものである．A_{HX} 製品（第 17 表參照）は不凍乳劑として特に製造せられたもので，撒布用乳劑としてのすべての性質を具備して居る．

乳劑 I_m 製品　I_m 製品（第 16 表參照）は混合法用アスファルト乳劑として製造せられたもので，A_m 製品同樣良質のものである．

乳劑 N_m 製品　N_m 製品（第 16 表參照）も混合法用アスファルト乳劑で，A_m 製品同樣使用に耐へ得るものであるが，低溫貯藏に對する抵抗性が少い．

乳劑 K 製品　K 製品は概して比重大にして（1.025～1.040），通常のアスファルト乳劑と其の趣を異にし，其の比粘度（25°C）は 3.0 乃至 121 を示し，品質は頗る不同である．昭和 6 年度の製

第 7 表　各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1156	1166	1212	1300	1324	1378	1557	1558	1559	1578
試料名	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	7, 2, 20	7, 3, 9	7, 6, 24	7, 9, 20	7, 11, 15	8, 1, 11	8, 6, 21	8, 6, 21	8, 6, 21	8, 7, 10
試驗年月日	7, 2, 29	7, 3, 18	7, 7, 2	7, 9, 27	7, 11, 25	8, 1, 26	8, 6, 30	8, 6, 30	8, 6, 30	8, 7, 27
1. 外觀	黑褐均等	同左	同左	黑色均等	黑褐均等	黑色均等	—	—	—	—
2. 比重 25°/25°C	1.018	1.017	1.010	1.010	1.005	1.010	1.007	1.007	1.007	1.006
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	3.4	2.2	3.4	2.8	3.2	2.8	1.4	1.4	1.4	1.8
4°C, 50 cc	4.8	3.2	7.7	5.0	5.0	4.2	—	—	—	2.9
4°/25°C の比	1.41	1.45	2.26	1.78	1.56	1.50	—	—	—	1.61
4. 瀝青質殘留物%	58.7	56.0	50.0	52.0	53.5	53.0	40.5	40.0	41.0	48.8
5. 同上性質										
針度 25°C	173	200	110	101	115	116	128	127	133	130
延性 15°C	>100	80	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	23	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日%	0.5	—	1.7	2.3	6.4	3.5	42.4	41.9	42.2	20.3
7. 分解速度 分	20	35	35	30	40	25	30	30	30	30
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低溫安定度	稍不良	—	不良	不良	不良	不良	—	—	—	不良
10. 混水安定度	—	—	不良	良	良	—	—	—	—	—
使用場所	同左	福島國道改良事務所	福島國道改良事務所用	宮城國道改良事務所用	鹿兒島國道改良事務所	中山及府中國道改良事務所	上前國道改良事務所	同左	同左	同左
用途	同左	透入法	透入法	コンクリート養生	透入法	透入法	コンクリート養生	同左	同左	コンクリート養生
備考	同左	使用差支なし	貯藏中凍結の虞なき場合には使用差支なし	同左	同左	同左	不良	不良	不良	貯藏安定度よろしからず

品は，水に依り瀝青質被膜の再乳化する現象あり；或は被膜の附着あしく，未完成品と思はるゝ傾向がある．昭和7年度の製品は，比粘度低きもの及高きものゝ2種あり．いづれも分解遅けれども，被膜は優良であり大體の性質は混合法乳劑として使用しうべきものであるが，瀝青質殘留物の含有量やゝ少きに失する．

III 國産瀝青乳劑性質概說

本報告中に取扱ひたる瀝青乳劑は10余種にして，且つコンクリート養生，路面處理，透入マカダム等に使用せらるゝ撒布用アスファルト乳劑を主とし，混合用乳劑に關する，試驗の回數は少い．現今本邦に於ては，本報告中記載のもの以外にも，混合法用乳劑の製造，使用せらるゝものあるべく，又タール乳劑に關しても漸く之に注目するもの多きに至れる傾向がある．從つて本報告中に揭載せられたる所のみを以つて，本邦瀝青乳劑の全般を知ることは出來ないが，其の概況を窺ふには足りるものと信ずる．

第8表 各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1584	1601	1698	1035	1036	1037	1038	1045	1546	1047
試料名	B	B	B	D	D	D	D	D	D	D
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	8, 7, 10	8, 8, 24	8, 10, 20	6, 10, 8	同左	同左	同左	6, 10, 23	同左	同左
試驗年月日	8, 7, 〃	8, 9, 4	8, 11, 〃	6, 10, 19	6, 10, 19	6, 10, 19	6, 10, 19	6, 10, 28	6, 10, 28	6, 10, 28
1. 外觀	—	黑色均等	—	暗褐均等	同左	同左	同左	黑褐均等	同左	同左
2. 比重 25°/25°C	1.005	1.010	1.004	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.021
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	1.8	3.8	2.3	2.6	2.3	2.5	3.0	2.8	2.8	2.8
4°C, 50 cc	2.9	6.3	3.2	—	—	—	—	—	—	—
4°/25°C の比	1.61	1.66	1.39	—	—	—	—	—	—	—
4. 瀝青質殘留物%	48.3	56.0	54.8	58.0	56.0	58.0	60.0	54.0	55.0	54.0
5. 同上性質										
針度 25°C	122	82	146	114	116	125	125	174	173	175
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>95	>95	>95
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7日%	18.6	4.6	0.6	1.0	1.0	1.0	2.0	5.4	4.5	4.3
7. 分解速度 分	30	25	15	30	30	30	30	45	45	45
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低温安定度	不良	不良	不良	—	—	—	—	—	—	—
10. 混水安定度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
使用場所	土號國道改良事務所	宮城國道改良事務所	東京土木出張所	高崎市	高崎市	高崎市	高崎市	高崎市	高崎市	高崎市
用途	コンクリート養生			透入法	同左	同左	同左	同左	同左	同左
備考	貯藏安定度よろしからず	夏季の使用には差支なし	同左	良	良	良	良	良	良	良

〔1〕 A 種乳劑

上記試驗成績より A 種乳劑の性質を概括すれば第 20 表（22 頁）の如くになる．

撒布用乳劑 A, B, D, F, G, Hx, I, N, O 試驗總數 149 個中不良品 32 にして，不良の原因は乳化操作不充分にして，製品の均等性をかけるもの 4，比粘度 25°C 高きに過ぐるもの 1，低きにすぐるもの 13，瀝青質殘留物少きに失するもの 23 にして，比粘度低きに失するものは概して瀝青質殘留物少きに過ぐるものに多い．被膜の狀態あしきものは 2，貯藏安定度あしきものは 23；低溫安定度あしきものは 33 であり，低溫安定度の良好なる乳劑と然らざるものとを區別すれば，大體次の如くである．

低溫安定度良好なるもの　A；D（8 年度）；F，I，N（8 年度）；O

同　,,　不良　,,　B，G，Hx

之を要約すれば，撒布用瀝青乳劑は，低溫安定度の良好なるものと然らざるものとの二種に分れ；

第 9 表　各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1367	1494	1495	1579	1589	1625	1626	1044	1235	1255
試料名	D	D	D	D	D	D	D	F	F	F
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	7, 12, 21	8, 4, 21	同左	8, 7, 15	8, 7, 26	8, 9, 22	同左	6, 10, x	7, 7, 18	7, 8, 11
試驗年月日	8, 1, 17	8, 4, x	同左	8, 7, 21	8, 8, 5	8, 10, x	同左	6, 11, 7	7, 7, 29	7, 8, 25
1. 外觀	不均等	—	—	黑褐均等	—	—	—	黑褐均等	同左	黑色均等
2. 比重 25°/25°C	—	1.014	1.017	1.005	1.011	1.012	1.012	1.016	1.005	1.005
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	—	2.3	2.7	2.3	2.4	2.4	2.3	3.1	3.1	2.3
4°C, 50 cc	—	2.8	3.3	3.6	2.7	3.1	3.0	—	5.4	3.4
5°/25°C の比	—	1.22	1.22	1.57	1.12	1.29	1.36	—	1.74	1.48
4. 瀝青質殘留物%	—	52.1	48.4	51.5	52.5	53.0	54.0	49.0	53.5	53.0
5. 同上性質										
針度 25°C	134	142	112	143	93	120	130	93	135	128
延性 15°C	95	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	—	0.4	0.8	3.7	16.4	2.5	3.5	3.6	0.15	12.6
7. 分解速度 分	50	50	40	40	20	20	20	25	40	35
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良 但し少許の剝落
9. 低溫安定度-5°C	不良	良	良	稍良	不良	不良	不良	稍良	稍良	—
10. 混水安定度	—	—	—	—	—	—	—	不良	良	少量沈澱す
使用場所	埼玉縣	川崎市	同左	金町國道改良事務所	同左	國府津國道改良事務所	同左	參考試驗試製品	—	梅島國道改良事務所用
用途	透入法	透入用	同左	同左	同左	—	—	透入用	透入法	コンクリート養生
備考	不良	良	瀝青質殘留物少き他，良質	良	貯藏安定度よろしからず	凍結せざる限り使用可	同左	アスファルト量，針度等に改良の餘地あり	貯藏中凍結の虞なき場合は使用差支なし	貯藏安定度少しく不良

其の他の性質に於ては，主として，比粘度，瀝青質殘留物，貯藏安定度の 3 點に於て不良品を生じ易い．其の他の性質はいづれも概ね良好である．

A 種乳劑の各性質は次の如し．

1. 外觀　瀝青乳劑は黑褐均等なる外觀を有するも不良製品にありては，均等性を缺くものがある，かくの如き製品は，概ね，比粘度，瀝青質殘留物，貯藏安定度等が不良である．

2. 比重 25°/25°C，　タールを混入せるものは比重稍高きも，アスファルト乳劑の比重は，本試驗成績の範圍内では 1.004～1.021 である，

3. 比粘度エングラー．25°C の比粘度は概ね 2.0～6.5 の間にあり，4°C の比粘度は概ね 2.8～12.3 の間にある．比粘度低きに失するものは，概して瀝青質殘留物の量少きに失するものである．

4°C 及 25°C の比粘度の比は 1.00～2.30 の間にあり多くは 1.5 前後にあり，其の大部分は 2.0 以下である．

4. 瀝青質殘留物は概ね 50% 以上で，其の之より少き製品は多くは他の性質も不良である．

第 10 表　各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1327	1328	1329	1330	1365	1391	1392	1393	1349	1411
試料名	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	7, 11, 21	7, 11. 21	7, 11, 21	7, 11, 21	7, 12, 21	8, 1, 16	8, 1, 16	8, 1, 16	7, 12, 9	8, 2, x
試驗年月日	7, 12, 10	7, 12, 10	7, 12, 10	7, 12, 10	8, 1, 17	8, 1, 25	8, 1, 25	8, 1, 25	7, 12, 20	8, 2, 17
1. 外觀	黑褐均等	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
2. 比重 25°/25°C	1.005	1.005	1.005	1.005	1.010	1.008	1.008	1.008	1.010	1.008
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	3.1	3.2	3.2	3.3	5.3	5.5	5.4	5.4	5.6	5.6
4°C, 50 cc	5.8	5.8	6.0	5.8	8.0	8.3	8.3	8.2	8.9	8.4
4°/25°C の比	1.87	1.81	1.87	1.76	1.51	1.51	1.53	1.52	1.59	1.50
4. 瀝青質殘留物%	53.0	53.0	52.0	52.0	52.0	53.0	52.7	52.7	53.5	51.7
5. 同上性質										
針度 25°C	165	165	163	163	117	168	170	168	114	165
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	>100	>100	>100	—	>100
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	3.9	1.2	2.2	4.0	—	0.5	0.5	0.5	1.0	3.4
7. 分解速度 分	45	45	45	45	40	50	50	50	50	50
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低温安定度-5°C	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
11. 混水安定度	不良	不良	不良	不良	—	—	—	—	良	—
使用場所	鹿兒島國道改良事務所	同左	同左	同左	埼玉縣	宇都宮國道改良事務所	同左	鹿兒島國道改良事務所	靜岡國道改良事務所	宇都宮國道改良事務所
用途	透入法	同左	同左	同左	透入用	コンクリート養生	同左	透入法	透入法	コンクリート養生
備考	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良

5. 瀝青質殘留物の性質は皆使用に堪ふる程度にして，あまり問題となるものはない．其の針度は概して 120～200，延性 15°C は 100 以上である．

6. 貯藏安定度については，最近の製品は著しく改良せられて來たが，2～3 種の製品については，やゝもすると其の不良なる場合がある．貯藏安定度の良好なるものは平均 8% 以下である．

7. 分解速度は撒布用乳剤にあつて 15～50 分程度で其の被膜の狀態は概して良好である．

8. 低溫安定度については，最近各種乳剤共に大いに進歩し，良好なる品種の增加せること前述の如くである．

之を要するに過去 2 ケ年間に瀝青乳剤の生産量の增加と共に撒布用乳剤の品質の上にも漸次進歩の跡を見ることが出來るが，尙改良を要する製品も殘されて居る狀態にある．

〔2〕 B 種乳剤

混合法用に供する B 種乳剤は第 16 表 5 行目乃至 9 行目，第 17 表 4 行目乃至 9 行目及第

第 11 表　各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1412	1435	1445	1446	1560	1590	1697	1699	1720	1377
試料名	F	F	F	F	F (?)	F	F	F	F	F
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	—	東京府
試料受入年月日	8, 2, x	8, 3, 13	8, 3, 17	8, 3, 24	8, 6, x	8, 8, 2	8, 10, 19	8, 10, 20	8, 10, 31	8, 1, 9
試驗年月日	8, 2, 17	8, 3, 27	8, 3, 27	8, 4, x	8, 6, 28	8, 8, 12	8, 10, x	8, 11, x	8, 11, 9	8, 2, 17
1. 外觀	黑褐均等	同左	同左	同左	—	黑色均等	—	—	—	黑色均等
2. 比重 25°/25°C	1.008	1.008	1.008	1.008	1.004	1.005	1.005	1.005	1.006	1.008
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	5.6	3.6	3.6	2.9	3.3	4.2	3.6	3.4	5.3	2.3
4°C, 50 cc	8.3	4.8	4.0	4.1	5.0	6.0	5.8	5.2	8.8	3.2
4°/25°C の比	1.48	1.33	1.11	1.41	1.51	1.43	1.61	1.53	1.66	1.39
4. 瀝青質殘留物%	52.0	51.6	52.1	53.7	50.5	52.5	56.3	54.3	54.5	52.6
5. 同上性質										
針度 25°C	176	177	182	161	146	153	120	120	118	87
延性 15C°	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	>100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	2.6	7.7	7.7	3.0	0.5	6.0	—	7.2	2.7	3.0
7. 分解速度 分	50	35	35	30	30	15	15	15	50	25
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低溫安定度-5°C	良	良	良	良	稍良	良	良(0°C)	不良	良	不良
10. 混水安定度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
使用場所	小岩國道改良事務所	同左	府中國道改良事務所	同左	營繕管財局門司出張所	仙臺土木出張所	館山飛行場	戸塚國道改良事務所	館山飛行場	參考品
用途	透入法	透入法	同左	同左	透入法	同左	—	—		
備考	良	良	良	良	良	良	良	凍結の寒き場合に限り使用差支なし	良	凍結の寒き場合に限り使用差支なし

21 表に示せる如く，本試驗の範圍内に於ては A_m, l_m, N_m 等の製品はアスファルト乳劑に屬し，比重 25°/25°C, 1.010～1.018 にして A 種乳劑（撒布用）に比し稍高く，比粘度 25°C は 5.0～12.0，比粘度 4°C は 6.0～16.5 の間にありて，A 種乳劑に比して遙かに粘稠であるが 25°C 比粘度と 4°C 比粘度との比は 1.2～1.88 平均 1.41 にして，A 種乳劑と大差がない．瀝青質殘留物の量は 55.6～57.0% にして，本所 B 種乳劑一般規格案（55.0%以上）に比し漸く合格する程度である．瀝青質殘留物の性質は，針度 90～150，延性 15°C は 100 以上，軟化點（R & B）35～43°C にして非瀝青質物質は 0.2～1.1% を示し其の含有量は製品の種類によつて異る．貯藏安定度（7 日）は概して良好であり，低溫安定度（－5°C），混水安定度も多くは優良である．而して B 種乳劑に於ては，低溫安定度以外の安定度を良好ならしむるは，あまり困難ではないことを示して居る．分解の速度は 150～300 分にして A 種乳劑より遙かに遲きを特徴とし，碎石と混合するも，混合操作中乳劑の分解を起さず．乳劑分解後碎石面上に生ずる被膜の狀態は良好なるを以つて之等の乳劑は混合マカダム，路上混合マカダム程度の工事に使用しうるものと考へらる．

第 12 表　各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1493	1498	1499	1500	1501	1502	1503	1504	1505	1506
試料名	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
産地	東京府	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	8, 4, 21	8, 5, 12	8, 5, 12	8, 5, 12	8, 5, 12	8, 5, 12	8, 5, 12	8, 5, 12	8, 5, 12	8, 5, 12
試驗年月日	8, 4, x	8, 5, x	8, 5, x	8, 5, x	8, 5, x	8, 5, x	8, 5, x	8, 5, x	8, 5, x	8, 5, x
1. 外觀	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. 比重 25°/25°C	1.019	1.013	1.013	1.009	1.010	1.010	1.010	1.006	1.010	1.010
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	2.3	1.8	1.8	2.3	2.3	1.8	2.3	1.4	1.8	1.8
4°C, 50 cc	2.6	2.0	2.0	3.1	2.5	2.0	2.5	1.4	2.0	2.0
4°/25°C の比	1.13	1.11	1.11	1.35	1.09	1.11	1.09	1.00	1.11	1.11
4. 瀝青質殘留物%	50.2	44.5	44.5	49.0	47.0	44.5	47.0	27.0	44.5	44.5
5. 同上性質										
針度 25°C	138	135	134	128	130	140	131	135	140	138
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	17.6	—	—	—	—	43.4	22.0	—	43.4	42.6
7. 分解速度 分	40	30	30	30	30	30	30	30	30	30
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	不良	良	良
9. 低溫安定度	良	稍良	同左	同左	同左	同左	稍良	同左	同左	同左
10. 混水安定度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
使用場所		金町國道改良事務所	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
用途		透入法	同左	同左	同左	同左	透入法	同左	同左	同左
備考	不良	瀝青量少し	同左	同左	不良	不良	不良	不良	不良	不良

K 乳劑は，上記の數種とは，全然製品の種類を異にし，比重 25°/25°C は大（1.025～1.040），比粘度は稍變化多く，瀝青質殘留物の含有量は少しく少きに失する（46.5～51.8%），其の性質も針度は硬軟區々にして，延性は少く，分解時間も長短種々あり，被膜の狀態も，其のあるものは水により再乳化し，其の他混水安定度，非瀝青質物質の量及質等に於ても，A_m, I_m, N_m 等の乳劑とは趣を異にして居る．然しながら K 乳劑中昭和 7 年度製品は 6 年度製品に比し，分解速度被膜の狀態等に關しては，混合法用乳劑として稍進歩を示して居るが，其の他の一二の性質は尙改良を要するものがある．

之を要するに，B 種乳劑（混合法用）に於ては，K 製品の如き特種のもの除きては，混合マカダム，路上混合マカダム程度の工事に使用し得るものにして，之を適當に利用すれば，從來殆ど透入法のみに依れる乳劑鋪裝に於て其の施工上に新方面を開拓するを得べく，透入式による乳劑及骨材の不均等なる混合狀態を改善し，過多の乳劑撒布による失敗を免れ得べく，又一方乳劑製造上より考へて安

第 13 表　各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1507	1531	1532	1538	1539	1540	1545	1546	1547	1548
試料名	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
産地	東京府	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	8, 5, 12	8, 5, 24	8, 5, 24	8, 5, 29	8, 5, 29	8, 5, 29	8, 6, 9	8, 6, 9	8, 6, 9	8, 6, 9
試驗年月日	8, 5, 〃	8, 6, 〃	8, 6, 〃	8, 6, 〃	8, 6, 〃	8, 6, 〃	8, 6, 〃	8, 6, 〃	8, 6, 〃	8, 6, 〃
1. 外觀	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. 比重 25°/25°C	1.010	1.011	1.013	1.009	1.009	1.009	1.010	1.010	1.010	1.010
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	1.8	2.2	3.1	1.8	1.8	1.8	4.0	3.9	3.8	3.9
4°C, 50 cc	2.0	2.3	3.6	2.2	2.0	2.1	6.0	5.7	5.7	5.7
4°/25°C の比	1.11	1.04	1.16	1.22	1.11	1.17	1.50	1.46	1.50	1.46
4. 瀝青質殘留物%	44.5	47.0	53.0	42.5	43.0	44.6	52.6	52.7	51.3	54.3
5. 同上性質										
針度 25°C	138	120	130	120	123	123	134	133	135	129
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	43.4	10.7	11.9	13.4	15.4	10.7	6.5	6.2	6.2	8.2
7. 分解速度 分	30	30	30	20	20	20	30	30	30	30
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低温安定度-5°C	稍良	不良	不良	良	良	良	不良	不良	不良	不良
10. 混水安定度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
使用場所	金町國道改良事務所	同左	同左	横須賀海軍建築部	同左	同左	金町國道改良事務所	同左	同左	同左
用途	透入法	同左	同左	透入法	透入法	透入法	透入法	同左	同左	同左
備考	不良	1503～1507に比し遙かに良し	同左	瀝青質殘留物少く貯藏安定度不良	同左	同左	凍結の虞なき場合差支なし	同左	同左	同左

定度よろしき製品を得るに困難を感ずること少きの利がある．而して乳劑を碎石と混合するには，加熱式アスファルト・プラントの如き大設備を要せず，コンクリートミクサーの如きものにより常溫混合を行ひ得るを以つて，之等乳劑は簡易鋪裝工事用材料として好適なるものと考へられる．

之等 B 種乳劑の性質上より考へて，其の利用上從來の透入式工法と異る點を擧ぐれば次の如くである．

B種乳劑は分解速度遲くして，混合中分解の虞なくして碎石と混合せしめうるものなるを以つて，本乳劑を使用するには，コンクリート・ミクサーに依り豫め之をマカダム用碎石と混合し，こゝに生ずる混合物を路床上に均等に撒布して輾壓を行ふか，或は路床上に均等に撒布せる碎石に適當量を撒布し，路上にて混合を行ひたる後輾壓を行ふかいづれかの方法に依り，其の上に A 種乳劑及チツピング，砂等によりシール・コートを施すものとする．ミクサーにより混合を行ふ場合には，もし必要あらば，輕く碎石面を濕し置くも差支なけれども，其の水量は表面の僅かに濕ふ程度を超ゆべからず．

第 14 表 各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1587	1588	1685	1095	1366	1580	1581	1607	1623	1686
試料名	G	G	Hx	I	I	I	I	I	I	I
産地	東京府	同左	東京	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	8, 7, 26	8, 7, 26	8, 9, 30	6, 11, 27	7, 12, 21	8, 7, 15	8, 7, 15	8, 9, 6	8, 9, 19	8, 10, 12
試驗年月日	8, 8, 4	8, 8, 4	8, 10, 4	6, 12, 8	8, 1, 17	8, 7, 27	8, 7, 27	8, 9, 16	8, 9, 4	8, 10, 4
1. 外觀	—	—	—	黑褐均等	黑褐不均等	黑褐均等	同左	同左	—	—
2. 比重 25°/25°C	1.010	1.010	1.011	1.013	1.005	1.005	1.005	1.006	1.006	1.008
3. 比粘度エングラー										
25°C, 50 cc	3.1	2.8	3.5	3.3	3.2	4.7	4.3	5.0	2.7	2.7
4°C, 50 cc	4.2	3.6	5.0	4.5	6.0	7.3	7.2	7.8	3.9	4.2
4°/25°C の比	1.35	1.28		1.36	1.87	1.55	1.67	1.56	1.44	1.55
4. 瀝青質殘留物%	54.0	52.8	49.8	53.0	51.0	54.0	54.0	60.6	51.5	53.5
5. 同上性質										
針度 25°C	160	152	165	135	123	130	131	124	140	165
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	7.8	6.2	2.9	2.7	—	0.7	0.7	5.9	4.6	15.6
7. 分解速度 分	15	15	40	45	50	20	20	15	20	30
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低溫安定度-5°C	不良	不良	不良	良	不良	良	良	良	良	良
10. 混水安定度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
使用場所	横須賀海軍建築部	同左	參考品	小岩國道改良事務所	埼玉縣土木課	千葉國道改良事務所	同左	土浦國道改良事務所	金町國道改良事務所	同左
用途	透入法	同左	透入法	透入法用	透入法	透入法	同左	コンクリート養生		
備考	夏季の使用には差支なし	同左	凍結せざる限り使用し得べし	良	凍結の虞なき場合差支なし	良	良	良	良	貯藏安定度不良

いづれの方法によるも，本乳剤は分解遲きを以つて，混合中には，顯着なる分解を起さず，混合完了後時の經過に伴ひ，蒸發，碎石の分解作用，吸水作用，輾壓による刺激等により徐々に分解を起すものである．路上混合によるものは，本乳剤の中比較的比粘度 25°C の低きものを適當とし，ミクサー混合によるものは，比較的比粘度 25°C の高きものを使用して差支ない．シールコートは鋪裝内の乳剤が大部分分解せる後，卽ち輾壓終了後少くも 24 時間經過せる後に之を行ふものとする．

第 15 表　各種瀝青乳剤試驗成績

試驗番號	1687	1124	1186	1172	1322	1323	1350	1351	1352	1390
試料名	I	M	M	N	N	N	N	N	N	N
産地	東京	神奈川縣	同左	東京府	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	8, 10, 2	7, 1, 9	7, 5, 9	7, 3, 25	7, 11, 12	7, 11, 12	7, 12, 9	7, 12, 9	7, 12, 9	8, 1, 12
試驗年月日	8, 10, 末	7, 2, 27	7, 5, 21	7, 4, 19	7, 11, 25	7, 11, 25	7, 12, 20	7, 12, 20	7, 12, 20	8, 1, 26
1. 外觀		褐色均等タール臭	黒褐稍不均一	暗褐均等	黒褐稍不均等	同左	黒褐均等	同左	同左	黒色均等
2. 比重 25°/25°C	1.008	1.018	0.960	1.005	1.015	1.015	1.008	1.008	1.008	1.010
3. 比粘度										
25°C	2.5	6.8	12.5	3.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.6
4°C	3.7	9.7	—	5.5	2.8	2.8	3.0	3.0	3.4	3.6
4°/25°C の比	1.48	1.43	—	1.41	1.40	1.40	1.5	1.5	1.54	1.38
4. 瀝青質殘留物	53.0	44.0	56.3	50.1	41.3	48.5	52.6	50.7	52.8	52.5
5. 同上性質										
針度 25°C	165	134	250	200	119	115	173	173	168	165
延性 15°C	>100	12	69	>100	—	—	>100	>100	>100	>100
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	>100
6. 貯藏安定度 7 日 %	20.4	0.4	25.1	3.2	42.8	46.9	18.0	10.3	3.8	0.5
7. 分解速度　分	30	120 以上	240時以上 5 時間後も再乳化	30	45	45	45	45	45	45
8. 被膜の狀態 2 時	良	不良		良	良	良	良	良	良	良
9. 低温安定度 -5°C	良	良	不良	—	不良	不良	不良	不良	不良	良
10. 混水安定度	—	—	良		不良	不良	不良	不良	不良	—
11. 無機物　%	—	—	—	—	6.95	—	—	—	—	—
12. 瀝青 CCl_4　%	—	—	55.6	—	—	—	—	—	—	—
13. CCl_4 不溶有機物 %	—	—	0.7	—	—	—	—	—	—	—
14. 瀝青質殘留物										
針度 0°C	—	—	55	—	—	—	—	—	—	—
延性 25°C	—	—	72	—	—	—	—	—	—	—
15. $CaCl_2$ 試驗										
50 cc. 0.1N	—	—	52.4	—	—	—	—	—	—	—
使用場所	金町國道改良事務所	參考品	參考品	—	宇都宮國道改良事務所	同左	同左	同左	中山國道改良事務所	島田國道改良事務所
用途		路面處理	路面處理	—	コンクリート養生	同左	コンクリート養生	同左	透入法	コンクリート養生
備考	貯藏安定度不良	タール乳剤分解遲し	タール乳剤分解遲し	良	不均等にして貯藏安定度低く，殘瀝量少く，不良である	同左	不良	不良	凍結の虞なき場合使用差支なし	良

要　約

1. 現時の國産瀝青乳劑は概ねアスファルト乳劑でありこの中 A 種（撒布用）乳劑は其の品質の上に於て，過去 2 ケ年間に著しく進歩した．B 種（混合用）乳劑についても，其の生産者增加し，

第 16 表　各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1603	1622	1621	1147	1702	1703	1705	1707
試料名	O	現場製造乳劑	1622乳劑の原料アスファルト	A_m	A_m	A_m	I_m	N_m
産地	神奈川縣	群馬縣	—	神奈川縣	同左	同左	東京	東京府
試料受入年月日	8, 8, 25	8, 9, 12	8, 9, 12	7, 2, 6	8, 10, 23	同左	同左	同左
試驗年月日	8, 9, 末	8, 9, 15	8, 9, 15	7, 2, 末	8, 11, 末	同左	同左	同左
1. 外觀	—	黑褐粒子大	—	黑褐色均等	同左	同左	黑褐色均等	同左
2. 比重 25°/25°C	1.006	1.006	—	1.017	1.015	1.010	1.008	1.012
3. 比粘度エングラー								
25°C, 50 cc	3.0	5.6	—	5.0	10.7	10.4	4.2	11.5
4°C, 50 cc	4.3	12.5	—	6.0	15.4	15.4	7.9	16.3
4°/25°C の比	1.43	2.23	—	1.20	1.44	1.48	1.88	1.42
4. 瀝青質殘留物 %	48.0	52.5	—	56.0	57.0	55.0	55.0	57.0
5. 同上性質								
比重 25°/25°C	—	—	—	—	1.019	1,017	1,012	1,013
針度 25°C	126	129	137	125	93	125	144	96
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
5°C	—	>100	>100	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	—	—	—	43.0	38.0	35.0	39.9
瀝青 CS_2 %	—	—	—	—	99.6	98.5	99.2	98.1
非瀝青 %	—	—	—	—	0.2 (0.4)	0.8 (1.5)	0.4 (0.8)	1.1 (1.9)
6. 暗蒸安定度 7 日 %	0.2	—	—	0.1	2.8	1.0	0.8	1.3
7. 分解速度 分	20	40	—	300	150～180	150～180	150～180	180～210
8. 被膜の狀態	良	良	—	良	良	良	良	良
9. 低溫安定度 -5°C	良	—	—	良	良	良	良	不良
10. 混水安定度	良	—	—	良	良	良	良	良
11. 分解値	—	—	—	—	1.9	2.2	2.1	3.4
12. 蒸發減 163°C	—	—	0.27	—	—	—	—	—
13. 無機物 %	—	—	—	—	—	—	—	—
14. 瀝青 CS_2 %	—	—	—	—	56.8	54.2	54.6	55.9
15. CCl_4 不溶有機物 %	—	—	—	—	—	—	—	—
16. 被膜の狀態								
2 時	—	—	—	—	—	—	—	—
4 時	—	—	—	—	—	—	—	—
使用場所 用途	參考品 透入法	群馬國道改良事務所 同左	同左 同左原料	參考品 混合法用	參考品 混合法用	參考品 混合法用	參考品 混合法用	參考品 混合法用
備考	瀝青質殘留物少き他優良である	夏季の使用差支なし	—	混合法用乳劑として使用しうべし	同左	同左	同左	同左

良質のもの丶漸次出現し來れることを觀取することが出來る.

2. A種乳剤については,低溫安定度良好なるもの丶種類增加し,一般的に其の品質均等となれるも二,三未だ不充分なるものも見受けられる,低溫安定度を除きては,主として比粘度,瀝青質殘留物 %,貯藏安定度等に關する不良品を見受ける.

3. B種乳剤については,貯藏安定度,混水安定度,低溫安定度等は概して良好である.其の或るものは被膜再乳化の傾向あれど,多くは 2~4 時間にして分解完了し,被膜優良となる.而して之等の乳剤中良品は,豫め碎石と混合し,或は路上の碎石に撒布後路上混合を行ひ,混合式乳劑マカダム工法に使用し得らるものである.

第 17 表 各種瀝青乳劑試驗成績

試驗番號	1148	1701	1020	1039A	1039B	1060	1178	1179
試料名	AHX	AHX	K	K	K	K	K	K
産地	神奈川縣	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	7, 2, 6	8, 10, 23	6, 9, 12	6, 10, 15	6, 10, 15	6, 10, 28	7, 4, 5	7, 4, 5
試驗年月日	7, 2, x	8, 11, x	6, 9, x	6, 10, 31	6, 10, 31	6, 11, 28	7, 4, 21	7, 4, 21
1. 外觀	同左	同左	黃褐均等	黑色均等	同左	黑色,粘稠,均等	暗褐均等	暗褐均等
2. 比重 25°/25°C	1.010	1.005	1.040	1.031	1.032	1.038	1.030	1.025
3. 比粘度エングラー								
25°C, 50 cc	3.3	2.6	3.0	8.6	8.2	121	5.4	25.2
4°C, 50 cc	5.0	4.5	—	11.4	11.8	—	7.9	37.7
4°/25°C の比	1.51	1.73	—	1.33	1.44	—	1.46	1.49
4. 瀝青質殘留物 %	54.5	50.5	51.8	47.0	46.5	48.0	49.3	49.0
5. 固上性質								
針度 25°C	150	132	46	100	100	33	105	90
延性 15°C	>100	>100	>100	60	65	21	56	46.5
5°C	—	—	—	—	—	—	—	—
軟化點 R&B °C	—	36	—	—	—	—	—	—
6. 貯藏安定度 7 日 %	0.1	1.1	5.9	9.4	8.5	0.5	11.5	2.2
7. 分解速度 分	40	40	120 以上	50	50	120 以上	240	240
8. 被膜の狀態	良	良	120 分後幾分再乳化	—	—	不良再乳化	良	良
9. 低溫安定度 -5°C	良	良	—	良	良	良	—	—
10. 混水安定度	良	—	—	2 時,沉澱少量 24時,沈澱多量	同左 同左	良	—	—
11. 無機物 %	—	0.1 (0.3)	多量に含有す	3.9	—	1.4	—	—
12. 瀝青 CCl_4 %	—	50.2(99.4)	—	41.2	41.0	46.6	—	—
13. CCl_4 不溶有機物 %	—	—	—	1.9	—	—	—	—
14. 被膜の狀態 2 時	—	—	—	再乳化す剝落多し	同左	—	—	—
4 時	—	—	—	剝落少し被覆色に著る	同左	—	—	—
使用場所	參考品	參考品	—	參考品	參考品	參考品	參考品	參考品
用途	不凍乳劑	不凍乳劑	混合法用乳劑	混合法用及透入法用いづれにもつかず	同左	混合法	混合法	混合法
備考	低溫貯藏に特に耐へるもの	同左	瀝青量少きに失し,且再乳化の缺あり	瀝青量少く分解遲く被膜の附着惡し	同左	比粘度高きに失し且つ瀝青分少し	瀝青量少きに失す	瀝青量少きに失す

第 18 表 撒布用乳剤試験成績要約

試験項目		A 製品 範囲	B 製品 範囲	D 製品 範囲	F 製品 範囲	G 製品 範囲
1. 外観		黒褐色均等	黒褐～黒均等	黒褐均等	黒褐色均等	—
2. 比重	25°/25°C	1.005～1.010	1.004～1.018	1.005～1.021	1.005～1.016	1.006～1.019
3. 比粘度	25°C	2.4～9.5	1.4～6.4	2.3～3.0	2.3～5.6	1.4～4.0
	4°C	3.4～15.4	2.9～12.3	2.8～3.6	3.4～8.9	1.4～6.0
	4°/25°C の比	1.05～1.84	1.39～2.39	1.12～1.57	1.11～1.87	1.00～1.50
4. 灰質残留物	%	50.3～54.5	40.0～59.2	48.4～60.0	49.0～56.5	42.5～54.3
5. 同上性質 針度	25°C	98～180	82～200	93～165	93～182	87～160
延性	15°C	＞100	＞100	95～＞100	＞100	＞000
6. 貯蔵安定度	7日 %	0.1～6.2	0.5～42.4	0.15～16.4	0.5～12.6	3.0～43.4
7. 分解速度	分	15～40	15～45	20～50	15～50	15～40
8. 被膜の状態		良	良	良	良	良
9. 低温安定度	−5°C	稍良～良	不良	不良～良	稍良～良	不良～良

試験項目		A 製品 平均値	B 製品 平均値	D 製品 平均値	F 製品 平均値	G 製品 平均値
1. 外観		黒褐均等	—	—	黒褐均等	—
2. 比重	25°/25°C	1.007	1.007	1.016	1.007	1.010
3. 比粘度	25°C	3.7	2.0	2.6	4.1	2.4
	4°C	5.7	6.3	3.1	6.4	3.1
	4°/25°C の比	1.47	1.79	1.3	1.53	1.21
4. 灰質残留物	%	51.5	51.9	54.3	52.7	47.3
5. 同上性質 針度	25°C	149	126	135	149	132
延性	15°C	＞100	＞100	＞100	＞100	＞100
6. 貯蔵安定度	7日 %	1.6	5.8	4.2	3.2	17.7
7. 分解速度	分	34	30	36	38	28
8. 被膜の状態		良	良	良	良	良
9. 低温安定度	−5°C	良	不良	「良」少し	大體に良	「良」少し

備考					
	2.1% 概して優良品に富み，其の性狀も略一定し居り	凍結の虞ある場合は貯蔵中分解することあるべし，不良品 11.5% 製品の均一性にやゝかくる缺點あり	低温に對しては大體に於て安定度不良なるも時として良品あり不良品は 7% 程度にして，製品の均一性にやゝかくる缺點あり	不良品少く，概して良品に富み性狀もやゝ一定し居り	不良品の數約 70% に及ぶ，比粘度，灰質量貯蔵安定度，低温安定度等に缺くるもの多し

第 19 表 撒布用乳剤試驗成績要約

試驗項目	H_x 製品 範圍	I 製品 範圍	N 製品 範圍	O 製品 範圍	現場製造乳剤
1. 外觀	—	黒褐均等	黒褐均等	—	—
2. 比重 25°/25°C	—	1.005～1.013	1.005～1.015	—	—
3. 比粘度 25°C	—	2.5～5.0	2.0～3.9	—	—
4°C	—	3.7～7.3	2.8～5.5	—	—
4°/25°C の比	—	1.36～1.87	1.38～1.54	—	—
4. 瀝青質殘留物 %	—	51.0～60.6	41.3～52.8	—	—
5. 同上性質 針度 25°C	—	123～165	115～200	—	—
延性 15°C	—	>100	>100	—	—
6. 貯藏安定度 7日 %	—	0.7～20.4	0.5～46.9	—	—
7. 分解速度 分	—	15～50	30～45	—	—
8. 被膜の狀態	—	良	良	—	—
9. 低温安定度 −5°C	—	不良～良	不良～良	—	—

試驗項目	H_x 製品 1 例	I 製品 平均値	N 製品 平均値	O 製品 1 例	現場製造乳剤 1 例
1. 外觀	均等	黒褐均等	黒褐均等	—	黒褐粒子大
2. 比重 25°/25°C	1.011	1.007	1.010	1.006	1.006
3. 比粘度 25°C	3.5	3.6	2.4	3.0	5.6
4°C	5.0	5.6	3.7	4.3	12.5
4°/25°C の比	1.43	1.56	1.45	1.43	2.23
4. 瀝青質殘留物 %	49.8	53.8	49.2	48.0	52.5
5. 同上性質 針度 25°C	165	159	159	126	129
延性 15°C	>100	>100	>100	>100	>100
6. 貯藏安定度 7日 %	2.9	6.3	18.0	0.2	—
7. 分解速度 分	40	29	43	良	40
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良
9. 低温安定度 −5°C	不良	概して良	7年製品不良 8年製品不良	良	—
備考	凍結せざる限り使用しうべし．但し瀝青質殘留物の量やゝ少し	時として貯藏安定度不良．其の他概して良質である	時として不良品あり，8年の製品はすべての點に於て大いに改良せられて優良となつた	大體に於て良質なれど瀝青質殘留物少し	市販製品に比し乳剤として良質にはあらざるも直ちに使用するには差支なし

第 20 表 A 種瀝青乳劑の性質概括

乳劑種別	A	B	D	F	G	H_x	I	N	O
試驗回數	47	26	14	22	23	1	8	7	1
不良品數	1	5	3	2	15	0	2	4	—
外觀不良のもの	0	0	1	0	0	0	1	2	0
比粘度 25°C 不良のもの	1	3	0	0	10	0	0	0	0
瀝青質殘留物 % 不良のもの	0	5	1	1	14	0	0	2	0
同上性質不良のもの	0	0	0	0	0	0	0	0	0
被膜狀態の不良のもの	0	0	0	1	1	0	0	0	0
貯藏安定度不良のもの	0	5	1	1	11	0	2	3	0
低温安定度試驗									
不良のもの	0	12	4	1	9	1	1	5	0
行はざるもの	1	14	7	1	0	0	0	1	0
良好のもの	47	0	2	20	—	0	6	1	1

第 21 表 B 種瀝青乳劑の性質概括

乳劑種別	A_m	I_m	N_m	K	備考
試驗回數	3	1	1	6	
不良品數	0	0	0	6	
外觀不良のもの	0	0	0	0	
比粘度 25°C 不良のもの	0	0	0	2	B 種乳劑につきては試驗の回數少きを以つて統計的に其の性質を批評しがたきも，A_m, I_m, N_m 等は大體に於て B 種乳劑として使用しうべき程度のものである．
瀝青質殘留物 % 不良のもの	0	0	0	6	
同上性質不良のもの	0	0	0	1	
被膜狀態の不良のもの	0	0	0	2	
貯藏安定度不良のもの	0	0	0	1	
低温安定試驗					
不良のもの	0	0	1	—	
行はざるもの	0	0	0	3	
良好のもの	3	1	0	3	

6×11=66 件

6×6=36

骨材及び類似材料の靱性に關する研究

內務技師　島　田　八　郎

目　次

緒　言 …… (1)
I 脆性物質の概念と其の分類 …… (2)
II 脆性物質の抵抗力 …… (5)
〔1〕破壞强度に關する考察 …… (5)
〔2〕衝撃抵抗力並に試驗に關する考察 …… (6)
〔3〕機械的及熱應力的衝撃試驗の類似性に就て …… (9)
III 脆性物質の衝撃抵抗力判斷値と靜力學的强度との關係 …… (10)
〔1〕抗壓强度と衝撃抵抗性との關係 …… (10)
〔2〕抗壓强度，抗張强度と衝撃抵抗性との關係 …… (10)
〔3〕各種骨材等（脆性材料）に於ける靱性度（N）と抗壓强度（f_c），抗張强度（f_t）とに關する實驗に就て …… (14)
IV 結　論 …… (15)
引用文獻 …… (16)

緒　言

一般に土木建築用材料として使用されてゐる骨材はそれ自身，單獨に使用されるは勿論，各種合成材の一要素として廣く使用されてゐる．例へば鋪裝に於ける瀝靑の如き可塑性大なる半固體のものと不均等性の混和物を作り，セメントの如きものと固體一固體の混和物を作り，各種土木材料中主要なる位置を占むるものである．

一般に骨材の組成材料たる石材，モルタル，コンクリート及び硝子，耐火物等は普通脆性物質と呼ばれ，材料力學上の性能を見るに諸種の外力に對する材料の抗力を定性的及び定量的に精確に知ることは困難とされてゐる．一方荷重條件は多種多樣であり，且つ工學の進步と共に急激に變化しつゝある有樣である．斯る材料が構造物として存する時，外部よりの荷重の載荷速度大にして所謂衝撃と呼ばるゝ場合に於ては脆性材料工作物の呈する抗力は外見上靜的の場合と著しく異つて來るが，其內材料の本質的組織に基因し內部抗力の靜力的荷重の場合と異りて變はるものと，構造物としての抗力の形狀寸法等により變化するものとが考へられる．

兩者は互に不可離的の關係にあるが衝撃の載荷速度が增大する程破壞及びその發生位置を支配する條件は主として材料學的性質に支配される．一端固定された脆性物質の桁に鐵槌の如きものにて急激に荷重を加へた場合[1]，版狀の物體に小銃彈の如きものにて衝撃を與へし場合[2]，に於ける破碎面の形況，位置を見るに，一見（精確なる機構を意味せず）剪斷力に由り破壞するが如き傾向を歷然と示すも抗力を定量的に示す事は勿論これが破壞に對する意義を明明する事は容易でない．

斯る破壞の際に於ける破面の形況の特異性に對しては硝子に就き種々考察されてゐる．外力に對す

る抵抗性の研究は未だ充分行れてゐないが一方載荷條件は重交通車輛によるもの，彈丸等による高速度の衝撃力，火藥の爆發による撃力等其の載荷速度は益々增大しつゝある現狀である．

斯く荷重の形式が益々複雜化しつゝある際外力に對する抵抗性に就き考察する事は脆性物質の本質的性能を知る上に於ても，應用工學上より見るも極めて重要な事である．先づ簡單な場合より，破壞の際に於ける材料工學的考察を進める．

I 脆性物質の概念と其の分類

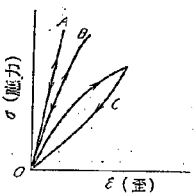
モルタル，コンクリート，骨材，岩石，硝子の如き脆性物質の材料力學上の分類を考察する前に一般材料を其の抵抗力の特性によつて分類する．先づ第1表の如く，相對する對蹠特性を配置し，これが意義を考察する．

先づ第1表の如き性質は或る材料本來の特性であるか，荷重條件により支配されるものであるか，

第1表 特性分類

彈性的	不完全彈性，可塑性	
靱性	脆性	
硬・性	軟性	

理想的に考ふれば荷重條件により物質は一見反對の特性をもとり得るものである．例へば脆性物質の代表的のもので彈性的なる硝子も荷重條件により，可塑性[3]（フロー）を示す事はよく知られてゐる．コンクリートの如きも其の可塑性のフロー[4]に就て研究されてゐる．



第 1 圖

斯く第1表は荷重條件を假定して後其の意義が明かになる．上表の分類に於て其の概念の如何に複雜せるかは第1圖の例を見るも了解する事が出來る．即ち第1圖に於ける A, B, C 三種の應力歪線圖に於て A は應力歪の直線性により勿論 B, C も，應力又は變形量，彈性エネルギー等に關し夫々彈性的と稱する事が出來る．しかも上例は擬平衡 (quasi-statische) 的變形とし荷重の速度を度外視してゐる．

斯くの如く，用語は嚴密に言へば種々曖昧なる點を持つてゐるから常に細心の注意を拂ふ必要がある．脆性物質としては常識的には何等の疑問もなく Hooke の法則に從はざるものとし，よく其の概念を得てゐるかの如く考ふるも，更に材料力學上其の概念を明かにするは，其の特性を改善し其の利用價値を高めるに必要缺くべからざるものと考へられる．

一方力學的荷重に對して脆きものは，急激な熱應力に對しても脆性を示すもので，此等二性質の並行性の實例は後に之を示す機會[5]があらう．先づ脆性物質の特性を變形量に關するものより考察してみよう．

i) 破壞面附近に材料のフローを生ぜず，破壞層は最小限度に限られ，破壞面は引裂狀態を示す．

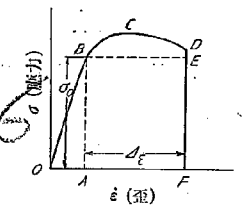
ii) 彈性限界より破壞に至る變形量僅少なるもの，又は破壞面の形態（抗張，抗壓，抗曲，抗剪）如何に拘らず微少變形量にて破壞に至るもの．

以上は概括的な概念を稍々定性的に表はしたものである．i), ii) は共に必要な概念である．金屬材料の衝撃試驗に於ては破面引裂狀態を示すも粘性破壞 (Zähiger Bruch) と稱すべきであることは上述 ii) と合せ考ふれば明かである．

石材，コンクリート，モルタルの如き材料の抗曲試驗の場合を考ふるに桁の斷面に對し一樣ならざる

應力の下では微少なる毛狀龜裂を呈しつゝ顯微的フローの如きものを生じ得るものであるから i)のフローは主として巨視的に剪應破面の軌跡を示す破壞後の試料面に於ける永久歪を意味するものである.

iii) 更に破壞に際して蓄積されるエネルギーより考察せんに, 例へば第2圖の如き應力歪曲線に於て $\frac{\partial\sigma}{\partial\varepsilon}$……の不連續點 ($B$) に相當する應力, 破壞點 ($D$) に於けるものを夫々 σ_0, σ_u とし, 變形量の差を圖示の如く $\Delta\varepsilon$……とすれば下記の如く其の粘性度 (Zähigkeit; η) を考ふる事が出來る.



第 2 圖

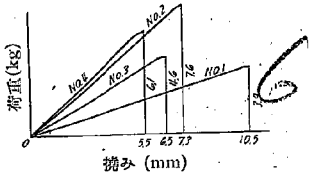
$$1/\eta = \text{面積}(ABCDEFA)/\text{面積}(\sigma_0\cdot\Delta\varepsilon) = \int_{\sigma_0}^{\sigma_u} d\varepsilon \Big/ \sigma_0\cdot\Delta\varepsilon \quad \cdots(1)$$

一般に $\eta<1$,　　$\eta=1$……完全可塑性

脆性物質の場合は $\Delta\varepsilon\to 0$　　にて (1) 式は

$$1/\eta = \int_{\sigma_0}^{\sigma_u} \sigma\cdot d\varepsilon/\sigma_0\cdot\Delta\varepsilon = \left(\frac{\infty}{\infty}\right)$$

となり應力歪曲線に應じて種々の値をとり得. 載荷速度の增加に伴ひ一般に極限値 ($\frac{\infty}{\infty}$) は大なる値に近くものにて脆性物質は $\eta\ll 1$ の値を有するものである. かゝる η の見方は, 不連續點を示さない物にては, 其の儘適用することは出來ない.



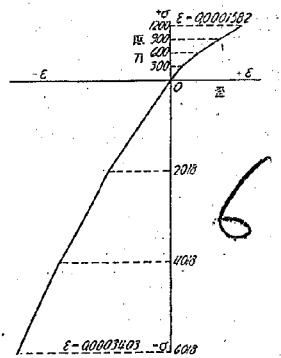
第 3 圖

應力歪曲線を見るに石材, コンクリート, 硝子等の如く二種の異つた特長を持つてゐる. 卽ち硝子等の如く破壞點まで Hooke の法則に從ふものと,[6] 石材等の如く最初から從はざるものがある.[7] 之れは物質の構造によるものであつて, 下記の如く顯微的でなく概觀的 (Makroskopische) に大別することが出來る (第3圖, 4圖).

A: 組織均等性のもの　　(硝子特に無色透明のもの)

B: 組織不均等性のもの　(石材モルタルコンクリート)

更に A, B の中間體のものとして鑄鐵, 純セメントの如きものが考へられる.



第 4 圖

B 屬のものは其の材質の疲勞に依り特に不連續點なく凝集力の平衡が破れる如き歪應力曲線を示す. 此のものに對しては Grübler の……$\sigma=\frac{\varepsilon}{A+B\varepsilon}$ (但し $A=(\partial\sigma/\partial\varepsilon)_{\varepsilon=0}$,　σ=應壓力　ε=同歪) ……なる實驗式を基とし, 荷重條件に對する感應係數を誘導し, 應力歪關係の一般式を Schlechtweg[8] が求め, Karmân[9] の水壓力に依る應壓力の場合の實驗結果, 其他組合せ應力の場合を說明してゐる.

A 屬の硝子に對する抗張, 抗壓, 抗曲, 諸强度に關しては Gehlof[10] の研究を始めとし, 硝子板に對しては相當多數の應力及歪に關する實驗がある. 此等を見るに, 破壞點まで應力歪曲線は直線的である. (第 3 圖參照)

iv) 次に靜力學的實驗に於ける各種强度の値を考へん. 脆性物質に於て抗剪强度 (f_s) の實驗値に對する資料充分ならざるも, 各種强度の間には第 2 式の如き關係が存在してゐる.

$$\left.\begin{aligned} f_t &< \frac{1}{10} f_c \\ f_t &< f_s \ll f_c \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

f_t, f_c, f_s は之を第3表中に示せり．第3表は各種材料の各種強度の大勢を洞察する爲め引用せしもので第2式の如き傾向を見る事が出來る．

斯く脆性物質の特性を斷片的に考察したが之れが總括的の考察は後に述べる．

第 2 表

材料種類	Young 率 $E\times10^6$kg/cm^2	抗張强度 f_t: kg/cm^2	抗壓强度 f_c: kg/cm^2	抗曲强度 f_s: kg/cm^2
軟鋼	2.1	3700 4500	3000 4000	3000
半硬鋼	2.1	4500 5500	3500 5000	3000
硬鋼	2.2	5000 1500	5000 15000	3000
鑄鐵	0.75 1.05	1200 3000	7000 8500	3000
モルタル (1:3)	0.20	20	300	—
コンクリート (1:2:4)	0.39	13	130	58[11]
硝子	0.60 1.10	500 700	6000 12000	—

實驗上，最も基礎的な直應力試驗の結果より材料の脆性度を判定し衝撃力に對する抵抗力との關係を洞察することが望ましい．且つ脆性物質の本質的工學的研究にはかゝる考へが是非必要である．上述の事柄を綜合すれば，下記，i, ii, iii, iv の如く記すことが出來る．

i) 荷重による破壞は剪應力に起因する屈伏的な材質の“フロー”の發生する以前に凝集力平衡の破壞を生ず．

ii) 比較的大なる抗張强度を有する事；强度の極めて小なるものは脆性物質と云ふより脆弱 (Schwach, Fragible) 物質として區別する方が望ましい．

iii) 彈性率 (E_t) の大なる事；或變形量に對し大なる應力の發生する事を意味するも，E_t は應力歪曲線の各點に於ける $(\partial\sigma/\partial\varepsilon)$……の平均値なるか，凝集力破壞點 (u) に近き點 $(\partial\sigma/\partial\varepsilon)_u=E_u$……を採るべきかは特に脆性物質 B 屬のものにては重要な事柄であるが本項に於ては平均値の意味にとり之を (E_t) で示す．

iv) 分裂性；脆性物質分類中 A に屬する硝子の如きものは破壞面の分裂擴大性が大である．斯る破れ目の機構は統計的考察と相俟つて其の眞相が明かにされるもので，破れ目の走路は局部的影響に支配され境界條件による事極めて少きもの>様である．二三の實驗[12]を見るも此の間の消息を知る事が出來る．

今材料使用の立場より觀るに，裂けめの生じ易き性質は如何なる尺度にて最も大なる確率を以て之を示し得るかを考察しよう．破れ目の問題は非平衡狀態の問題である．今破れ目の如き現象の傳播速度を見るに，此等を實驗的に測定せしものがある．

田口氏の，急冷せし松指に針頭にて急激に刺撃を與へし際此の“インパルズ”により生ずる破れ目に於ける傳播速度の測定[13]及び辻氏の應力傳播の光彈性的研究[14]等より推測するも實驗の誤差範圍内にて其の材料の $\sqrt{E/\rho}$ にて傳播を表す事が出來る．破面はエネルギーの粒子の如く，媒質中を進むものにて，今一般の減衰進行波の式を變形しこれが狀態を考察する．

$$A=A_0 e^{-\frac{\mu f^2}{2\rho}t}\, e^{if\left(x-\sqrt{\frac{E}{\rho}f^2-\left(\frac{\mu f^2}{2\rho}\right)^2}\cdot t\right)} \quad \cdots\cdots(3)$$

A_0; 凝集力平衡の破れし際の過剰エネルギーの量にて外力の速度等の函數である.

μ; 材質のエネルギー吸收を示すもので凝集力の平衡を破るに要する仕事を, 等溫變化に於ける彈性疲勞に換算せるものを含む, 粘性係數のみなれば新しい破面を作る事は不可能である.

E; 固有彈性係數, 此の値に就ては後に述べる事とする.

ρ; 物質の質量慣性を示す.

x; 時間 t に於ける進行波の傳播距離. t; 時間.

f; 波長係數 $2\pi/f$ = 波長, 外界條件により定まるものである.

(3) 式は定常狀態にて規準函數關係の成立つ場合に適用されるものであるが破損の及ぶ有効距離を推測する事が出來る. (3) 式を見るに彈性係數 (E) の大なる場合傳播速度大にして破損は大なる距離 (x) に達し得. 勿論此處に云ふ E とは凝集力平衡が正に破れんとする點 (π) に於けるものを意味するものである. 即ち破壞點若しくは其の直前に於ける $E_u(d\sigma/d\varepsilon)_u$ の大なるは分裂性の大なる事の一主要條件と考へられる.

μ は單なる固體粘性度に非らざるもQuimby[15]の高周波振動に於けるアルミニユームの振動實驗をみるも振動數大なる場合, 固體粘性は小となる. 此處に云ふ μ は破面の軌跡を物質中に作る際に要するエネルギーをも含めるもので, 其の内正味有効エネルギーは個體表面張力 (T) と破面表面積との乘積間に密接な關係がある. 要するに μ の影響は傳播速度の減少を來すもので E_u とは反對の傾向に立つ.

以上論ぜし如く, i), ii), iii), iv) 各項により脆性物質の特性を明かにする事が出來た. 更に種々實驗的結果とを比較し上述の推論を確めよう. 先づ第一に脆性物質の抗力に就て考察する.

II 脆性物質の抵抗力

〔1〕 破壞强度に關する考察

一般に脆性物質の破壞表面を見るに抗張試驗の場合は勿論, 抗壓試驗の場合に於ても狀況に依り引裂破壞面を成す. 又抗壓試驗の際楔形破面を生ずる場合も可塑性變形をなす材料に比して荷重の垂直方向に對し大なる傾斜面を成すは實驗上屢々遭遇する事である. これに對して所謂滑り面に對する抵抗係數の大なる事で說明されてゐる. 前章 (2) 式 $f_t<f_c$ の關係に於ても之を知る事が出來る. 斯る傾斜面に沿ふ破面は主として供試體壓縮に際しての上下面に於ける摩擦力による事明かで, 要するに任意の一點の應力分布に於て主應張力が或る極限を超過せし時破面發生するものと考へらるが, 不均等性個體一個體混和體の抗力に就て詳細に論究せしものは少ない.

均等材質に對しては Mesnager[16] の氣泡存在の假定による應力分布の研究を見るに, 今 σ_t, σ_c を試料上下兩端に加へられた一樣な引張り, 壓縮外力を表すものとすれば發生する最大張力は, (4) 式で與られてゐる.

$$\sigma_{max}\approx 27/14\cdot\sigma_t \qquad \sigma'_{max}\approx 3/14\cdot\sigma_c \quad \cdots\cdots(4)$$

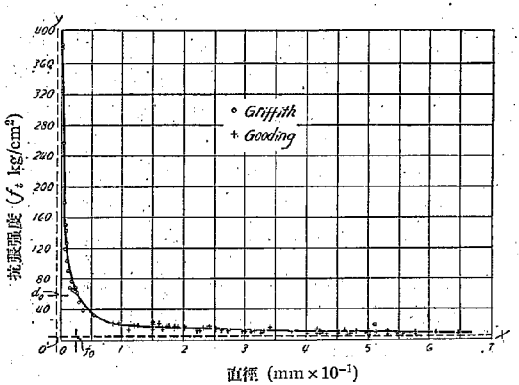
然れども (4) 式の如き $\sigma_{max}(=\sigma'_{max})$ が何如なる値まで採り得るかは材料により異り凝集力の値を考へる必要がある.

一方脆性物質 A 屬の均等無定形 (Amorph) なる硝子は，比熱の溫度係數，等の研究[17] により過冷液體の性質を多分に持つてゐる．今材料力學上の立場から强度の特性を考へるに理想的な場合 SiO_4 基は互に芋蟲の如き形に錯雜せる結合をなし，電磁氣分子的强度に近き强度を有するものと考へらる．岩鹽に就て內部エネルギー (U) 及び分子凝集力强度 (f_u) は Joffé[18] 等によれば

$$U=182\ \text{kcal/mol} \qquad f_u \fallingdotseq 30000\ \text{kg/cm}^2 \quad \cdots\cdots(5)$$

なるも，實際材料中には不均等に原因する歪が分布し分子凝集力を低減してゐる．斯くして材料は低下せる强度を示す．此の虛弱點の分布は同一確率を持つて存在せるもので平田[19] 氏の行つた硝子板抗曲試驗に於ける破壞點分布は明かに之れが關係を示してゐる．

今斯くの如き虛弱點が物質の內部に分布せるか表面に分布せるかを吟味せん．Griffith[20] の曲率半徑 (ρ) を有する毛狀裂目により，發生し得る最大張力の關係式を考慮に入れ，彼及び Gooding[21] 氏による硝子棒の抗張試驗結果より第 5 圖の如き直徑 (d) と抗張强度 (f_t) との關係を得た．



第　5　圖

直徑卽ち圓周の減少するに伴ひ (d =1.02 mm～d=0.0033 mm) 抗張强度 (f_t) は 1750 kg/cm²～34600 kg/cm² と增大し (5) 式 f_u と同じ程度の値を示す．$d\to 0$ に相當する f_t を硝子の f_u と考ふ．斯く材料として耐え得る荷重は斷面積 $\pi d^2/4$ によらず周圍 (πd) との比卽ち d に從つてゐる樣である．第 5 圖より d, f_t を大體直角拋物線と考へ圖示の如く，曲線に漸近的な軸を X, Y とし，d 軸，f_t 軸よりの距離を d_0, f_0 とし，直徑 (d) の棒に對する全荷重を P とし K を定數とすれば次式を得．

$$f_t\times\pi d^2/4=P, \qquad (d+d_0)(f_t-f_0)\fallingdotseq K \quad \cdots\cdots(6)$$

$$\left.\begin{aligned} &\therefore\ P=\pi/4\cdot d\left(\frac{K}{1+d_0/d}\right)+f_0\cdot\pi d^2/4 \\ &\therefore\ \text{若し } d\gg,\quad P\approx f_0\cdot\pi d^2/4 \\ &\qquad d\gg,\quad P\approx(\pi/4)\cdot dK \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(7)$$

(7) の如き實驗上の事實は破壞の素因の，主として材料の表面に分布せるを示すものである．表面を弗化水素の稀薄溶液[22] で處理すれば强度の增大する事も實驗上知られてゐる．

要するに A, B 二種の脆性物質の破壞强度に對する材料の組織構造の本質的研究は未だ十分に行はれてゐないが，分子凝集力又は其れに相當する强度と，材料工學上の强度との關係に就き其の一端を考察する事が出來た．

〔2〕 衝擊抵抗力並に試驗に關する考察

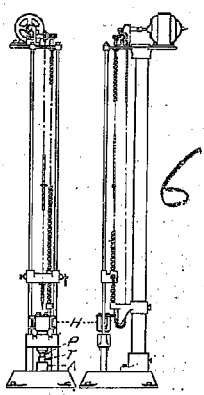
荷重の載荷速度の增大するに伴ひ，變形量に對し抵抗力は增大し脆性度の增大する事は既に第 I 章

に於て論じた．金屬の如き非脆性物質も，衝撃試驗に於て全く同じ傾向を示す．斯の如く速度大なる荷重の際に呈する脆性度の增大程度を判定し工學上の强度を明かにする爲め各種材料に對し，其の目的に應じ適當なる衝撃試驗が行れてゐる．脆性物質に對しては從來二つの形式のものが一般に使用されてゐる樣である．

i)　Paege 試驗機の形式によるもの

ii)　Föppel 試驗機の形式によるもの

(1) **Paege 靱性試驗機**　構造作用は周知のものであるが一應之を記載する．第6圖の如きものにて直徑 2.5 cm 高さ 2.5 cm の供試體上に半徑 1 cm の球面を有す 1 kg のプランジヤー P を置き 2 kg の鐵槌 (H) を 1 cm の高さより順次 1 cm づゝ高さを增し供試體の破碎せし落下高を糎にて表し，之れを "N" にて示し靱性度とする．石材等に多く用ひられてゐる．此と全く同じ形式によるもので一面 50 cm² を有する正立方體を作り球狀の支臺を中間に置き 5kg. の鐵槌を落下せしめ，最初の裂隙を生ぜし高さを N_0……とし其の落下高さを 5 cm. づゝ增し各衝撃後供試體の重量を測り 供試體重量の後 2/100 減少せし時に至る回數を N_2 とし以下同樣に N_{50}……を定義しコンクリート，モルタル等の抵抗性を調べしものに Ferét[23] の研究がある．彼によれば實驗の範圍内で

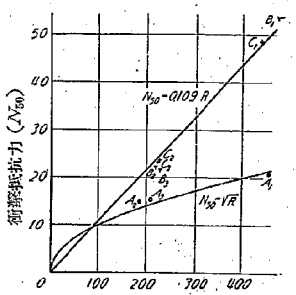


Paege 衝撃試驗機
第 6 圖

$N_2/N_{50}=0.75\sim0.92$……の間にある事を見出し且つ N_{50} と抗壓强度 (f_c) との關係を考案してゐる．相當大なる（最大約 25%）分布偏差範圍内にて純セメントでは，

$N_{50}\propto\sqrt{f_c}$ ……の如き分布式を得た．

コンクリートでは拋物線形と直線形の兩形式の間に分布してゐるから，直接的な關係式を誘導考察することは無理であつた．彼もかゝる事を試みてゐるものでない．參考までに Ferét の曲線の一つを擧げて置く（第7圖）．



第 7 圖

Paege 試驗機による靱性度の實驗に於ても一定の系統的な組織の下に脆性物質の衝撃抵抗力と他の抵抗力との關係を材料學的の立場より研究實驗せられたものは少い樣であるが實際問題としてセメント，モルタル類煉瓦，石材等の試驗に於ては靱性度 (N)，と抗壓强度 (f_c) が實測されてゐる事がある[24]．

(2) **Föppel 靱性試驗機**[25]　Föppel は供試體として一邊 3.5 cm の正立方體を用ひ 2 kg の一邊 3.5 cm 以上を有する平面衝撃面の鐵槌を落下せしめ，それによる破碎を研究し，次式により脆性度，靱性度を定義した．

$$\frac{n(n+1)}{2}Wh/V\text{〔cm-kg/cm}^3\text{〕}=Z\text{〔kg/cm}^2\text{〕}\quad\cdots\cdots(8)$$

但し　W＝落下槌の重さ (kg)

V＝供試體の容積,　n＝上述 Paege 試驗機の場合に於ける靱性度 N に相當するもの

抗壓強度 $(f_c)/Z$＝脆性度 (S)＝1/靱性度 ……(9)

斯くの如き定義により脆性度 S を求めみるに

例へば花崗岩;　S=6～12,　　硝子;　S=9～20～30……の如く廣範圍に變つてゐる.

セメントの衝撃試驗の中で F. Klokner[26] のものがある一邊 7.07 cm の正立方體供試體に 37.5 kg の荷重を落下距離 1 cm より增大しつゝ落下せしめ破碎に至らしむるものである. (8) 式の Z の代りに K_3 なる符號を用ひ抗張强度 (f_t), 抗壓强度 (f_c) との間に關係式 (10) を實驗的に求めた

$$K_3=\sqrt{f_c f_t} \quad \cdots\cdots(10)$$

f_t は普通のセメント抗張試驗型による强度である. 若し硝子の如きものを上式に假りに當てはめると該式の與ふ K_3 は非常に大となる. (10) 式の適用範圍自ら明かである. 要するに i), ii) は各々實驗條件の異つた場合の一つの判斷値 (Wertziffer) である. 且つ衝撃力による破壞の場合各試驗値の其の平均値よりの分散度は靜的實驗の場合より大なる事と推察されるが, 其の程度等の基本的研究は未だ行はれてゐない樣である, 且つ繰返し衝撃を與ふる際各階程に於ける履歷も其の影響を持つ.

今第一階程として上述の Paege, Föppel の如き試驗法による脆性の判斷値 (Wertziffer) と一定せる條件の下で行ひ得る靜的試驗値卽ち, f_t (抗張强度), f_c (抗壓强度), f_b (抗曲强度), E (Young 彈性率), G (剛性率), μ (Poisson 比), 等の如きものとの間に密接な關係を求むることが出來れば脆性物質の特性を知るに資する事多大である. 此等の關係に就ては第 III 章に於て論ずる.

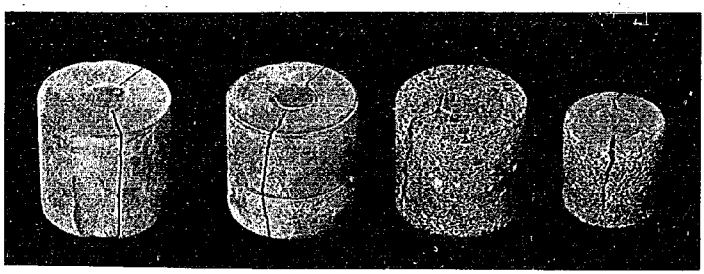
(3) Paege 靱性試驗に於ける破碎面を見るに寫眞第 I に示すは Paege 試驗機にて破碎せし結果を示すものである. 此等セメント, モルタル各種岩石の破面の走路を見るに, 中央に同心圓の破損面があり且つ其の周圍より發生せる放射狀破面がある. 各試料の靱性度 "N" は下記第 3 表の如きものである. 岩石は產地により同一名稱のものにても "N" の値のとり得る範圍大にして詳しくは本所試驗報告第二十四號附錄高田技師の[27] 報告を參照され度し. 本文は唯破碎面の狀況を示す程度に止めこれが形態上の議論は又機會を得て試みん.

第　3　表

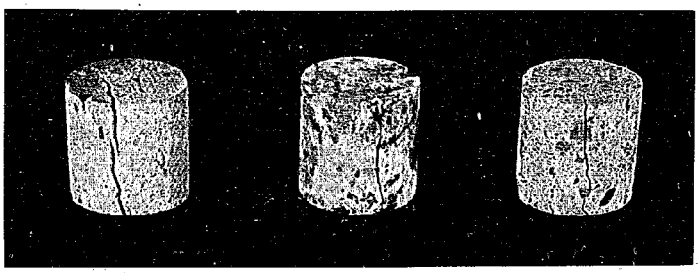
名　稱	靱性度 N	$(f_c$ kg/cm$^2)$	名　稱	靱性度 N	f_c(kg/cm^2)
セメント(W/C=0.5)	7	500	流紋岩	7～10	800
1：3 モルタル (W/C=0.5)	7	300	輝石安山岩	20～10	2,200～1,000～300
凝灰岩	3～6	500	石英安山岩	17～10	1,500(角閃安山岩)
黒雲母花崗岩	14～8	2000～1500	石灰岩	30～20	1400～1200

附記　第3表の "N" 及び f_c は文獻 (27) より適宜之れをとつた, 上表中特に著しきは N, f_c の値は竝行せず各々獨立せるかの如くみゆ, 且つ各試驗値に同一名稱のものも產地により相當大なる偏差がある.

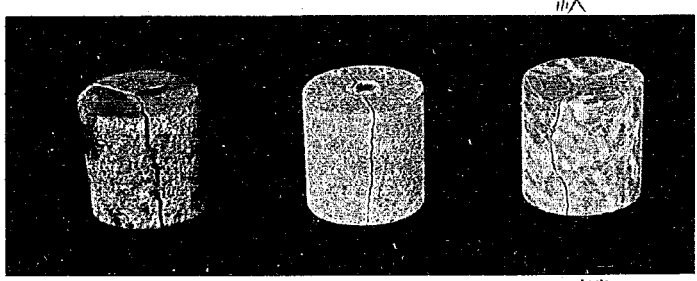
寫眞第 I



セメント (W/C=0.5)　　モルタル (1:3 W/C=0.5)



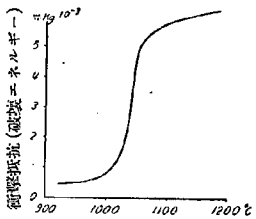
凝灰岩　　黑雲母花崗岩　　流紋岩



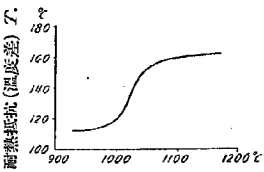
粗石安山岩　　石英安山岩　　石灰岩

〔3〕 機械的及び熱應力的衝撃試驗の類似性に就て

一方骨材の如き熱傳導度の小なる物質は機械力に對し脆性を呈すと共に熱的衝撃力に對しても抵抗性が小である．其の代表的のものとして耐火材料は勿論 第I章に云ふ A 屬の硝子も其の適例とされてゐる．兩衝撃の特性を系統的に竝行し研究せしものは餘りない．唯硝子中にても脆性度の特に大なる照明用乳色硝子の電球の如き球に就き熱的衝撃強度と機械的強度とを竝行研究[28] したものがある．第8圖 (I), (II) の如き傾向を示す．(I) 圖は硝子球に鐵槌にて與へし破壞衝撃値と製造に際しての加



第 8 圖 (I)



第 8 圖 (II)

工温度 t との關係，(II) 圖は同上溫度と急劇に與へし熱應力としての溫度差 (T) との關係を示す．兩者の竝行せる事は破碎に至る原因の甚人の取扱ふ範圍に於て同一傾向にあることを示し注目に値するものである．

斯の如き特性に急變あるは明かに其の材質に急變ある事を示すものにて事實顯微鏡にて之を見れば明瞭に其の差異を認め得る．要するに脆性物質 A 屬混濁硝子は分散度の大さ 0.001 mm 程度の固體—固體分散係の特徵を明瞭に示してゐる．個々の分散係の問題の議論は之を避くるも衝撃抵抗熱應力的抵抗性の增大せる點は粒子の分散の增大せるもの>點を示す．實際モルタル，コンクリート，瀝青混合物等の骨材との關係も類似せる關係に立つてゐる．勿論熱應力の場合には材料の力學的性質の外に比熱，熱傳導率，密度，膨張係數等熱的特性も顯現的に考察に入れられ，一方力學的衝撃力の場合には此等特性が內容的にも影響を持たないと斷言する事は出來ない．O. Knapp[29] は斯る立場より透明硝子球の熱的衝撃抵抗性と衝撃力との間の關係を考察し膨張係數を導入し之れが相類性を求めた．斯くして材料の熱的特性が衝撃力による破損に關係を持つ事を示した．第 III 章に於て更に類似の實例を示す．

III 脆性物質の衝撃抵抗力の判斷値 (Wertziffer) と靜力學的强度との關係

前章〔2〕に骨材の如き脆性物質の衝撃試驗判斷値の事を述べた．今資料不十分であるが靜力學的實驗上の數値の如何なるものと特に密接な關係にあるかを考察しよう．

一般に靱性物質は破壞即ち凝集力の平衡の破れる迄載荷速度大ならば大器 ($d\sigma/d\varepsilon$) の値に不連續的變化なきものと考へられる可能性を持つてゐる．以下衝撃値として Paege 試驗機による靱性度 "N" 又は之に相當し供試體の破壞に至る迄に吸收せしエネルギー量 "A" を用ひて之を示す ($A = VZ$, 但し，Z は (8) 式に準じ單位容積當り，破壞に至る衝撃總エネルギー又は破壞度のみに對する衝撃エネルギーを，V は試料容積を表す．) 今多數の研究より上述の如く特性相互間の關係を考察しよう．

〔1〕 抗壓强度 (f_c) と衝撃抵抗性との關係：

第 II 章〔2〕に詳論せし Ferét, Klokner 等の實驗的研究を始め斷片的に一供試體に就き f_c, N を測りしものは多數あるも N と f_c との間には密接な關係はない樣で，唯脆性度を示す一つの概念として兩者を比較してゐる樣である．

今本論に於ては "N" 値そのもの>由つて立つ所を洞察せんと試みる．

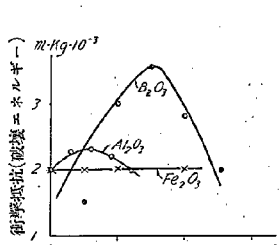
〔2〕 抗壓强度 (f_c) 抗張强度 (f_t) と衝撃抵抗性 "Z" との關係

此種の强度間の關係を本論の如き研究の對照として或る系統の下に研究せしものは少し．第 1 章に述べし如く各種强度の外に應力歪の關係を示す．彈性率；$\left(\frac{d\sigma}{d\varepsilon}\right)_m$ =全曲線の平均値，及び $\left(\frac{d\sigma}{d\varepsilon}\right)_u$ =破壞點に於ける値；の測定も衝撃抵抗性を斷定するに必要なる事明かである．更に本章以下の記述

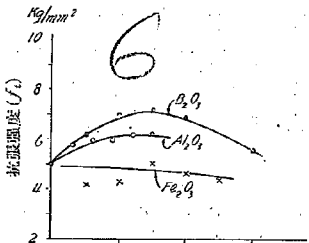
を見れば一層其の感を深くするものである．斯る見地に立ち第 I 章及び第 II 章の〔2〕,〔3〕に述べし諸性質を參照し衝撃抵抗性に就き考察しよう．

材料の諸強度を明かにする目的を以て Gehlhoff[30] 氏の試みた硝子の各強度と成分との關係を見るに，一つの骨材の如き脆性物質の抵抗性を推察する事が出來る．衝撃試驗としては 2×17×1.5 mm の板を Charpy 試驗機に於ける如き取扱びにて試驗した．第 9 圖 I, II, III は衝撃抵抗力 (A), 抗張強度 (f_t), 彈性率 (E) と成分との關係を示すものにて，全成分を 82% (SiO_2+酸化物)+18% Na_2O ……とする場合に酸化物として，B_2O_3, Al_2O_3, 又は Fe_2O_3 を上式の如く添加し其等の百分率 (%) に對する諸性質の變化を示す．以上の結果を見るに A と f_t, E の間に下式の如き關係が見られる．

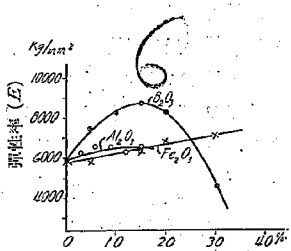
$$A \propto f_t/Ea \quad \cdots\cdots(11)$$



第 9 圖 (I)



第 9 圖 (II)



第 9 圖 (III)

但し a は線膨張係數を示すもので例へば Schott, Winkelman, Mayer, Havas によれば "a" は下記の如き値を有するものである．

$$3a \times 10^{-7} = \Sigma a_i \varphi_i$$

但し，a_i は常數にて各酸化物に對し右の如き値をとるものとす …

B_2O_3; 0.1	SiO_2; 0.8
Al_2O_3; 5.0	Na_2O; 10.0
Fe_2O_3; 4.0	etc.

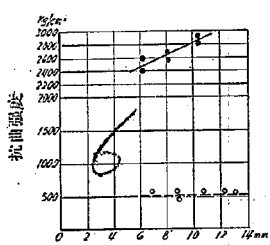
φ_i は硝子組成各成分の % 數を表すものとす．

斯る關係が成立つものとすれば (11) 式より若し膨張係數が同一程度のものならば，

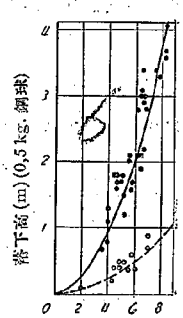
$$A \propto f_t/E \quad \cdots\cdots(12)$$

の如き關係になる．

更に一つの適切な例を示す．即ち板硝子の外側兩面を軟化溫度より急冷し初應力とし强度の壓縮應力をもたせるものと然らざるものとに就き，抗曲強度 (f_b) と落下鋼球による破壊落下高 "h" との關係を求めたものがある[31]．



第 10 圖 (I)



第 10 圖 (II)

第 10 圖 (I) は硝子板厚み (mm) と抗曲強度 (f_b) との關係で "•" 點は強化せしものに對し "○" は通常のものに對する値を示す, "•" の場合に於ては f_b=2400～3000 kg/cm². と實驗範圍内で非常に增大した値を出してゐる. 且つ抗曲試驗の撓み荷重變形曲線は殆んど完全に近い直線であるから f_b は抗張强度を示すものと考へられる. 第 10 圖 (II) は破壞落下高 h (m) 硝子板の厚みとの關係を示す上述の Reiss 氏實驗結果によれば, 抗張强度 (f_t) と靱性度 (N) との間に實驗の誤差範圍に於て

$$f_t \propto h \propto N \quad \cdots\cdots(13)$$

の如き其の數値間の關係を推察することが出來る.

更に II の〔3〕に略述せし如く急激に加へられた熱應力に對する脆性物の抵抗力と機械的抵抗力に對する抵抗力との密接な關係を骨材に近き耐火材料に就きて考察する.

最近の發表になる Endell[32] 氏の耐火材料に對する熱應力に對する研究を見るに Winkelman-Schott[33] 氏の耐熱式を用ひ其の係數に適當なる數値を用ひ耐熱强度との關係を求めてゐるが, 此等より衝撃力に對しての抵抗力を簡かんに上述 (11) (12) 式の如き概念を用ひ之が解釋を試みん.

Endell 氏は實驗結果より第 4 表の如きものを得た. 表中及後述の式中の記號を說明すれば下記の如し. 但し單位は同一系に適當にとる.

$\alpha=\sqrt{\lambda/\rho c_p}$ (λ=熱傳導率, ρ=密度, c_p=比熱) a=溫度傳導率
β=線膨張係數 E=彈性係數 P=彈性强度
f_t, f_c=抗張, 抗壓强度 δ=扭角 W=衝撃的耐熱抵抗力=$\frac{1}{S}$
S=感應度 N=供試體を攝氏 650 度より常溫水に投入し破壞に至る迄の急冷回數 (Din. 1068 に由る).

一般に耐熱抵抗力は Winkelman-Schott[33] の式により下記の如く示される:

$$W=\text{常數}(P/E)\times\frac{\sqrt{\lambda/\rho c_p}}{\beta}=K_1\cdot P/E\cdot a/\beta \quad \cdots\cdots(14)$$

(14) 式に示される W を計算するに强度 (P) として, 抗張强度 (f_t) を用ふべきであるが, 若し不可能なれば脆性物質にては剪應强度 (f_s) を用ふべきである. Endell 氏は便宜上 f_c を用ひて W を計算

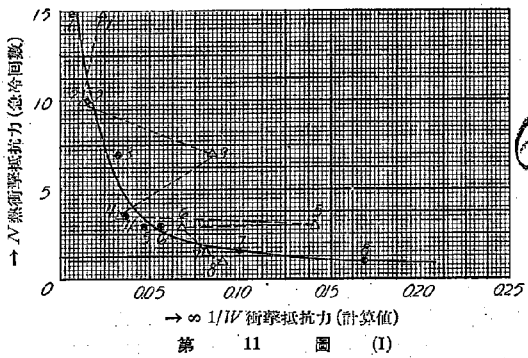
第 4 表[33]

番號	試料名稱	α C.G.S	β ($\times10^{-6}$)	a/β ($\times10^{6}$)	f_c kg/cm²	E($\times10^{5}$) kg/cm²	δ ($\times10^{-5}$) C.G.S	N
1°	シリカ煉瓦	0.08	2.5	0.032	150	1.00	2.8	>15
2°	シリカカーバイト煉瓦	0.228	4.5	0.051	800	4.5	6.6	10
3°	シャモット煉瓦	0.07	4.5	0.0158	200	2.7	9.4	6～3
4°	シリマニット煉瓦	0.094	4.0	0.0235	600	4.4	5.9	3～4
5°	マグネシヤ煉瓦	0.096	10.0	0.01	200	2.7	9.4	2～4
6°	シャモット煉瓦(密)	0.07	4.5	0.015	400	4.2	6.2	2～4
7°	クローム煉瓦	0.107	7.0	0.015	800	8.5	3.3	1～2
8°	マグネシヤ煉瓦	0.113	10.6	0.0113	1000	10.14	2.8	1

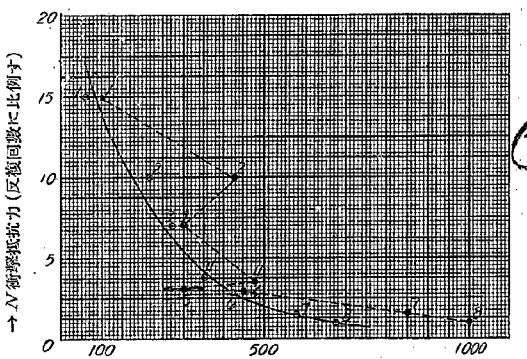
し $N-(1/W)$ の關係を圖示するに第 11 圖 (I) の "△" 點にて示せる如くなる．圖中番號 1°, 2°……8° は第5表による．

(P/E) の代りに振力の場合は剪應强度 (f_s) 及び剛性率 (G) を考ふべきであるが資料の僅少の爲め剪應力 0—10 kg/cm² の範圍内に於ける平均變位 (δ) を考へた．卽ち δ は脆性物質に於ては破壞點附近に於ける强度を支配するものと假定した事になる．今 (P/E) の代りに δ を (13) 式に代入すれば第 11 圖 (I) の "•" の如きものを得．斯く脆性物質の抵抗力を示す "N" と耐壓强度 (f_c) を用ひしに "W" との間には密接な直接的の關係の少き事を示す．

$N-\delta$ 曲線は平滑な曲線をなしてゐるが，破壞强度を用ひてゐないから，[34] かゝる傾向から衝擊力に對する抵抗性との連關性を見出す事は困難である．上述の如き衝擊的耐熱實驗にては熱的性質を持つ部分卽ち $\sqrt{\lambda/\rho c_p}=a$, の影響大なるも材料の强度に對しては先づ a, 及び β の影響を共に度外視し，此等を $(a/\beta)\infty 1$ と置き $N-(1/W)$ の關係を圖示すれば第 11 圖 (II) の如きものを得．"•" 點は (P/E) に對して (f_c/E) を用ひしものであるが圖示の如く N, W の間には密接な關係なきもの>如く分布してゐる．抗張强度を測定せしものなき故抗張强度 f_t, 彈性率 E, 靱性度 N の間の關係を考察せんとするに先づ E, f_c の値よりして (f_t) の値を推察せん．蓋し多くの脆性物質特に石材，煉瓦，モルタル等に對する實驗値をみるに，耐壓强度 f_c の大なるものはそれに應じて f_t の値も大であるが一方 E の値に影響され E の大なるものは f_t の增大する割合大ならず．



第　11　圖　(I)



第　11　圖　(II)

斯の如き一般通有性によりて推測し f_c, E の値より f_t/E を推定した．斯くの如くして第 11 圖 (II) に於て "⊙" 點にて示す如き點を得た．但し 5° と 3° の場合とを比較せんに f_c, E の値のみにより判定すれば 3° と同傾向なる 5° の "⊙" も "•" に對し左方に移動せし位置に來るべきである (←)，然れども 5° は "β" が特に大なる事を合せ考ふれば (11) 式等により外見上 (f_t) に相當するものが (3°) の場合より小なる値をとると考らる．其れ故 "•" を右に移動し (→)，"⊙" の位置を定む．斯くして，f_t, E, N の間に簡單な代數

式の成立する事が推察される.

勿論度々述べし如く衝撃試驗に際して材料の熱的性質が機械的強度に内容的にも全く關係なきか否やは簡單に定める事は出來ない.

熱的特性中特に膨張係數の同じ程度の材質に於ては之を度外視するも大過ないやうである. 兎に角第 11 圖 (II) の "⊙" 屬の如きは一つの特定された物性に就ての關係式を示すものである. かゝる關係式を擴張し, 他の條件の外力に對する抵抗力を誘導する事が出來る. 第 11 圖 (II) の "⊙" 屬にて示す $N-W$ の關係は勿論機械的衝撃に對する靱性度 "N" と W との關係と解すべきは論を俟たない. 第 II 章 〔3〕 節に述べし機械的及び熱的衝撃抵抗性の並行性とを合せ考ふれば更に上述論據の誤りならざるを推察する事が出來る.

〔3〕 各種骨材等 (脆性材料) に於ける靱性度 "N" と抗壓强度 (f_c) 抗張强度 (f_t) とに關する實驗に就て

以上各章節の論說及び實驗的結果の吟味により骨材の如き脆性物質の脆性度に對する判斷値の目安を樹立する事を得た. 以下斷片的ではあるが, 此等の關係に就き實驗値により吟味する. 各種の材料に就き其の試驗の際通常測定されるものは Paege 試驗機による靱性度 "N" 竝びに抗壓强度 (f_c) である. 時には抗張强度 (f_t), 抗曲强度 (f_b), の測定される事もある. 今上記の測定値よりして此等の間の關係を考察せんとする. 骨材に對する此種實驗値は本所にて行はれし結果より引用せしものである. 靱性度 "N" は破碎せしと認めし時のものであるから, 破壞の開始點卽ち Feret の實驗の場合の N_0 等と如何に關係せるか明かならず, 且つ一般に衝撃試驗は材料の不均等性により各實驗値は其の平均値よりの偏差大にして, 且人爲的誤差も大であるから, 各種多數の實驗を同時に引用し總括的に論ずるは稍々危險であると想像されるも, 傾向を判斷する上に充分役立つと思ふ. 第 5 表, 第 6 表に其の大略を記す.[36] 第 5 表は骨材及び此に類似するもの卽ち第 I 章の分類によれば脆性物質 B

第 5 表

名稱	靱性度 N	抗壓强度 f_c: kg/cm²	抗張强度 f_t: kg/cm²	名稱	靱性度 N	抗壓强度 f_c: kg/cm²	抗張强度 f_t: kg/cm²
煉瓦	6	300	13	砂岩	8	560	28
遲骨ブロック	10	590	30	輝石安山岩	11	500	40
純セメント	8	800	65	石灰岩	17 9	1638 1160	86 33
1:3 モルタル	7	320	28	橄欖石	14	2200	98
雲母花崗岩	10	1420	51	蛇紋石	10	2501	59

屬のもの N, f_c, f_t の表である. 此によれば第 (11) 式に示せし如く N, と f_t その間には f_c との間より密接な關係ある事を知る.[35] 例へば表中石灰石, 蛇紋石, 橄欖石等に對する値を比較考察すれば著しく其傾向を知る事が出來る. 然れども應力歪曲線の傾向 ($d\sigma/d\varepsilon$) を異にせる此等材料の衝撃抵抗性 "N" を f_t のみにて論じ去る事の不可なるは當然にて是非應力歪の變化傾向を示す彈性率 (E) を誘導する必要がある.

Endell 氏の結果を論じ第 11 圖 (II) の "⊙" 屬を得た場合に推論せし如く此場合に於ても表中

f_c と f_t の差の大なるものほど E の値が大なる如く "N" に其の影響を及ぼしてゐる.

然れども一方熱的特性例へば膨張係數の影響が内容的に靱性度に對して意義を持つが如き傾向が洞察された.

更に脆性度の特に大なる第Ⅰ章の A 屬なる硝子に對しても如何なる關係あるやを吟味し, 且つ A 屬, B 屬兩者に於て衝撃抵抗性の判斷値が共通普遍的でなくてはならぬ.

第6表は Föppel[37] 氏の行ひし硝子の脆性度に對する實驗結果より供試體の大きさ竝に落下鐵槌の重さを Paege 試驗機に於ける値に相當する如く換算せるものである. 特に目立つ事は總括的に硝子と云ふも, 其の成分により靱性度は $N=10\sim45$ の如き約 2 倍の範圍に渉り抗壓强度 (f_c) とは竝行的な關係は勿論それに類似の傾向をも示してゐない. 少くとも他に密接な關係を有する性質の存在性を示してゐる. Gehloff 氏の研究を引用せし場合に論ぜし如く是非とも抗張强度 (f_t), 彈性率 (E) を合せ考へねばならない.

硝子は一般に抗張强度として, $f_t=500\sim1000\ \mathrm{kg/cm^2}$ の範圍の如き値を有するを以て第5表骨材等の $50\ \mathrm{kg/cm^2}$ 程程度のものと比較すれば其の靱性度 "N" 卽ち衝撃抵抗力には 抗張强度 (f_t) 以外更に重要な關係を持つ特性のある事が "N" の値の比較より推察し得.

第6表

名稱	靱性度 N	抗壓强度 f_c: $\mathrm{kg/cm^2}$
鉛硝子	6	6273
重鉛硝子	5.6	4470
硼酸鉛硝子	10.3	6223
普通硝子	4.5	8770
金晶硝子	8.3	8910
ニナ No. 59	4.5	6380
空洞硝子	5.7	9397

第Ⅰ章の脆性物質の概念の所で述べし事柄及び各章にて詳說せし所により最も簡潔に之れを考ふるに彈性率, 特に破壞點附近の彈性的變形に對する $(d\sigma/d\varepsilon)_u=E_u$ が脆性度に影響する所大なるを推論し得. 斯る考察の下に其の第Ⅰ章に述べし "分裂性" と共に衝撃力に對する靱性度を明かにする事が出來る.

以上第 III 章 〔1〕, 〔2〕, 〔3〕 の各節に於て記述せし如く骨材の如き脆性物質が急激なる外的變化特に機械的衝撃力竝に急劇なる熱應力に對する抵抗性に就き巨視的に其の外貌を明かにする事が出來た.

IV 結　　論

各種の土木建築の主要材料の一なる骨材の如き脆性物質に對し材料工學の見地より其の特性, 特に衝撃性外力に對する抵抗性を考察し脆性物質の概念を明かにし第Ⅰ章に於て四種の特性を擧げた.

一方通常脆きものと呼稱せるものを形態上より "均等質のもの" (A 屬と稱す), 及び "不均等質のもの" (B 屬と稱す) の二種に分類し抵抗性を兩者の立場より考察した.

兩者は夫々特長ある應力歪曲線を持ち, 前者は Hooke の法則に從ふも後者は從はず. 其の代表的なものとして A 屬には硝子, B 屬には石材, コンクリート類を擧ける事が出來る.

最大强度及び脆性物質の定義を詳しく論じた.

力學的衝撃力に對し脆きものは又急劇な熱應力に對しても一般に抵抗性少きものと考へられる. 兩性質の關係を實例に就き吟味し

$$\text{抵抗性}\ (W)\propto(P/E)\times(a/\beta) \qquad (15)$$

の如きもの兩抵抗性に於ける意義を考察し竝行性を認むる事が出來た. 且つ機械的と熱的たるとを問

はず衝撃性外力に對しては材料の强度 P には抗張强度 (f_t) を用ひる事により急冷回數 "N", 靱性度 "N" と W との間に密接な關係の存する事が推察された.

斯くして "N" と抗張强度 (f_t) 彈性係數 (E_u) 等の間に一つの關係を推測する事が出來る.

一方骨材等の靱性試驗法には二種卽ち "Paege" 試驗機と "Föppel" 試驗機あるも一般に本邦にて規準として使用せる "Paege" 試驗機による靱性度 "N" と抗張强度 (f_t) 及び彈性率 E_u (又は f_t, f_c の差異を考察す) との關係を石材, モルタル, 硝子等に就き考察した. 此種の全般に亘り組織立つた實驗は未だ行はれて居らぬも代表的實驗と見做されてゐる Klokner, Ferét, Gehloff, Föppel 諸氏の結果を見るに, "N" と "f_c" "f_t" の間に種々關係式を求めてゐるが第 II 章に詳しく說明せし如く本論の目的には適切でない.

以上諸氏の結果を見るも第 III 章に多數述べし "N" 及び f_c, f_t 等の試驗結果を見るも, 同じ熱的性質の材料にては下記の事が云へる卽ち, 靱性度 "N" と抗壓强度 (f_c) との間には密接な關係なく, "N" は f_t, $1/E$ と密接なる關係あるもの>如く衝撃性外力に對しては, か>る靜的性質で其の傾向を判定する事が出來る. 衝撃的外力が加はる場合機械的のものにても特に熱傳導率少き此種脆性物質に於ては斷熱的變化に近きものが發生し, 其の爲め材料の熱的性質が力學的抵抗性に影響を持つか否かは非常に興味ある課題であり第 III 章に於て其の傾向を屢々論じた. 以上の事柄を更に理論, 實驗上明かにする機會があらう.

此等脆性物質の衝撃抵抗性は第 I 章に述べし A, B 各分類に於て詳細に研究し兩者を綜合したる後脆性物質の特性が一層明かになる. 但し兩者の本質上の差異, 疲勞性の差異竝に素朴的な脆性としての類似點を明かに區別し論ずべきであるが, 此等の特性に關しては更に機會を得て論ずる積りである. 終りに臨み實驗結果を引用せし各著者に對し深く感謝の意を捧ぐものである. 引用文獻名, 著者名を記載し其の出所を明かにして置いた.

本研究は本試驗所長物部博士の御指導により試みしものにて絶大なる諸顧慮に對し萬腔の感謝を捧ぐものである. 著者の淺學不才の爲め不備若しくは誤謬を含んでゐるかも知れない事を最も懸念するものである.

引用文獻

1. 宮城音五郎, Failure of Bars due to Impact.; 機會學會誌, 30 卷 124 號 8, 1927.
2. F. W. Preston, On shooting thro. glass with a life.; J. Soc. of glasstechn., 1927, Vol. 11, 283.
3. Lord Rayleigh, Do glass tubes or rods bend under their own weight?; Nature, 1930, **125**, 311, F. C. Harris, The photo-elastic properties of glass; J. Soc. of glasstechn., 1928, Vol. **12**, 213, etc.
4. W. Gehler, Festigkeit, Elastizität und Schwinden von Eisenbeton; B, C; I. V. M. Congrés de Zurich, 1931.
5. G. Gehloff, M. Thomas, The Brittleness of opal glass; J. Soc. of glasstechn., 1927, Vol. II, 347.
6. F. Schmeer, Prüfung des glases auf Biege und Schlagfestigkeit; Glastech. Ber., 1931, 3 jah. **10** H. 547.

7. Bach-Bauchmann, Elastizität und Festigkeit, 9 aufgabe.
8. Schlechtweg, Über ein allgemeines Elastizität Gesetz Spröder Körper; Zst. f. angew. Math. u. Mech., 1934, **17**, 1.
9. Th. v. Kärman, Festigkeitsversuche unter allseitigen Druch; V. D. I., 1911, Nr. **42**.
10. G. Gehloff u. M. Thomas, Die Physikalischen Eigenschaften der gläser in abhängigkeit Von Zusammensetzung; Zst. f. techn. Physik, 1926, Nr. **3**.
11. 宮本武之輔; 混凝土及び鐵筋混凝土抗拉試驗報告, 土木試驗所報告, 第 **6** 號.
12. T. Terada, On crack and fissures, their physical natures and significances; Scientific Paper of I. P. C. R. Vol. **16**, 1931.
13. 田口彌三郎, 破損の傳播, 理彙 10 輯, **2** 號, 昭和 6 年 111 頁.
14. 辻二郎, 高速度光彈性, 理彙 13 輯, 3 號, 1934.
15. S. L. Quimby, On the experimental determination of viscosity of vibrating solids; Phys. Review, (2) **25**, 558, 1925.
16. A. Mesnager, Cours de rèsistance des matériaux, 1928, 326.
17. E. Berger, Glas als vierter Zustand der Materie; Zst. f. techn. Phy., 1931, H. **7**, 345. Simon, Über den Zustand der unterkuhlen Flüssigkeiten und Gläser, Zst. anorg. u. allg. Chemie, 1929, **184**, 293, etc.
18. A. Joffé, M. Lewitzky, Über die Festizitätsgrenze des naturalischen Steinsalzes; Zst. f. Physik. Bd. **31**, 1925, 576. Auerbauch-Hort, Gittertheorische Berechnung der Zerreissfestigkeit, Handbuch u. physikalischen u. technischen Mechnik, 4, **2**, S. 39.
19. 平田森三, Experimental studies on form and growth of crack in glass Plate; Sci. Paper of I.P.C.R. Vol. **16**, 1931.
20. A. A. Grifith, The Phenomena of rupture and flow in solids; Phil. Trans. A. Bd. **221**, 1921, 163.
21. E. J. Gooding, Investigetion on the tensile strength of glass; J. Soc. of glass techn., 1932, **16**, 145.
22. J. B. Murgalroyd, The strength of glass; J. Soc. of glass techn., 1932, Vol. **17**, 260.
23. R. Feret, Resistance des Betons; Paris Revue des Materiaux de Construction et de Travaux publics, 1930.
24. 西川榮三, 高田昭; 急硬セメントに關する試驗; 土木試驗所報告第 9 號. 西川榮三, 瀝青滲透プロツク試驗成績; 土木試驗所報告第 11 號. 高田昭, 本邦產鋪裝用石材; 土木試驗所報告第 24 號附錄.
25. A. Föppel, Die Sprödigkeit von Glas; Müchen Akademie Math. Phys. Klasse., Sitz. Berichte, 1911, 505.
26. F. Klokner, Rapport entre la ténacité et la Resistance de differentes sortes de ciments; I.N.C., Zurich. 1931, 709.
27. 高田技師, 前揭 24; 土木試驗所報告第 **24** 號.
28. Gerhart Schott, Herstellung und Eigenschaften Lichtzerstreuender gläser; Glastech. Ber., 1925, III, **9**, 315. G. Gehloff und M. Thomas. 前揭 5.
29. O. Knapp, The Brittleness of glass as a function of composition; J. Soc. of glasstechn., 1929, Vol. **13**, A. 188.
30. Gehloff. 前揭 5.

31. L. V. Reiss, Vorgespanntes Spiegelglas; V.D.I. Bd. **77**, Nr. 23, 1933.
32. K. Endell, Zur Berechnung Temp. Weschelbeständigkeit feuerfester Steine aus ihren physicalischen Konstanten; Glastech. Berichte, 1933, 11 jahr. H. 5.
33. A. Winkelmann und O. Schott, Über thermische Widerstandskoeffizienten verschiedener Gläser in ihrer abhändigkeit von der chemischen Zusammensetzung; Ann. d. Physik, **51**, 1894, 731.
34. F. H. Norton, A general theory of spalling; J. Amer. Cer. Soc., 1925, **8**, 29.
35. Ferèt; 前掲 23.
36. 西川榮三, 高田昭, 前掲 24.
37. A. Föppel, 前掲 25.

終 り

6×19 = 114
16×6 = 96
φ3×6 = 18 鋼線
114

鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計 (1)

內務技師　大　野　　博

內容梗概

鐵筋コンクリート無鉸拱橋の經濟的竝に耐震的設計を簡易にする爲，先づ 96 種の無鉸拱に就て鉛直荷重，橋梁の縱方向の水平荷重及力率の作用を受ける場合の不靜定量の影響線，拱頂，起拱點及支間の 1/4 の點の彎曲率等の表を作製したものである．

目　次

I　緒　言 …… (1)
II　對稱無鉸拱の理論 …… (2)
III　拱軸線 …… (4)
IV　斷面の變化 …… (6)
V　不靜定量の影響線 …… (8)
VI　對稱荷重の場合の不靜定量 …… (11)
VII　反力及彎曲率 …… (11)
VIII　軸力の影響 …… (14)
IX　溫度變化，收縮及支點移動の影響 …… (17)
表及圖表 …… (18)

I　緒　言

鐵筋コンクリート無鉸拱は良好なる地盤に於て屢々用ひられる橋型であり，其の設計法に關する研究も亦尠くないが何れも主として鉛直荷重に對するものである．然るに本邦に於ては常に地震力の影響を考慮する必要があり，從つて橋梁の縱及橫方向の水平力或は力率を受ける場合に就ての研究も亦必要である．

本編は通常多く用ひられる對稱無鉸拱に就て，先づ鉛直荷重，縱方向の水平荷重及力率を受ける場合の近似計算法に基き其の計算表を作り，以て耐震的竝に經濟的設計に資せんとするものである．鉛直荷重に對しては Strassner, Whitney, Kögler, Manning, Melan[1] 等の表があるが，水平荷重に關する表は未だ發表せられたものを見ない．

尙玆に對稱無鉸拱とは拱軸線及び斷面の變化の對稱性を意味するものである．

---

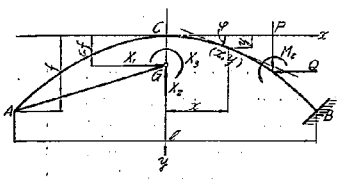
1) A. Strassner—Neuere Methoden zur Statik Bd. 2, 第 3 版 1927.
C.S. Whitney—"Design of Symmetrical Concrete Arches," Transactions of the Am. Soc. of C. E. Vol. 88, 1925 p. 931.
F. Kögler—Gewölbetabellen 1928.
G.P. Manning—"A Method of Arch Design" Concrete and Constructional Engineering 1930.
Melan—Bogenbrücken, Handbuch für Eisenbetonbau Bd. 11. 1932.

II 對稱無鉸拱の理論

無鉸拱の三つの不靜定量は其の靜定基本系の選び方に從つて定まるのであるが，玆には第1圖の如く B 端を固定し A 端自由なる突桁 ACB を靜定基本系とし，A 端に剛桿 AG を剛結し彈性重心 G に作用する三反力を不靜定量とする．

今剪應力の影響を無視し，內働 W を求めれば

$$W=\int_A^B\frac{M^2}{2EI}ds+\int_A^B M\frac{\varepsilon\Delta t}{h}ds+\int_A^B\frac{N^2}{2EA}ds+\int_A^B N\varepsilon t ds$$



第 1 圖

M…彎曲率（下側張應力なる場合を正）

N…軸力（張應力なる場合を正）

I…斷面の慣性能率

A…斷面積

E…彈性係數

ε…膨脹係數

t…標準狀態よりの溫度の上昇

Δt…拱腹面と拱背面との溫度差

h…拱斷面の高さ

荷重は下向鉛直力，左向水平力，時計と反對方向の力率を正，不靜定水平反力 X_1 は右向，鉛直反力 X_2 は上向，力率 X_3 は時計の方向を正とする．

卽ち正荷重は B に負彎曲率を，正反力は正彎曲率を生ぜしめることゝなる．

次に拱軸線の原點を拱頂 C にとり，拱の支間を ℓ，拱矢を f，G 點を $(o,\ cf)$ とすれば，任意の斷面に於ける彎曲率 M，軸力 N，剪力 S（斷面の左方に上向を正とす）は

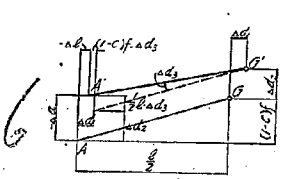
$$M=M_0+X_1(y-cf)+X_2x+X_3 \quad\cdots\cdots(1)$$

$$N=N_0-X_1\cos\varphi+X_2\sin\varphi \quad\cdots\cdots(2)$$

$$S=S_0+X_1\sin\varphi+X_2\cos\varphi \quad\cdots\cdots(3)$$

M_0，N_0，S_0…靜定基本系の彎曲率，軸力及剪力

φ…$(x,\ y)$ 點に於ける拱軸線への接線が x 軸の正の方向となす角，但し時計の方向を正とする．



第 2 圖

Δl…支間の伸び

Δa…A の B に對する沈下

$\Delta\theta$…A の B に對する回轉（時計の方向を正とする）

Δd_1…G の X_1 の方向への移動

Δd_2…G の X_2 の方向への移動

Δd_3…G の X_3 の方向への回轉

とすれば

$$-\Delta l=\Delta d_1-(1-c)f\Delta d_3$$

$$-\Delta a=\Delta d_2+\tfrac{1}{2}l\cdot\Delta d_3$$

$$\Delta\theta=\Delta d_3$$

$$\therefore\quad \Delta d_1=-\Delta l+(1-c)f\cdot\Delta\theta,\qquad \Delta d_2=-\Delta a-\tfrac{1}{2}\cdot l\cdot\Delta\theta,\qquad \Delta d_3=\Delta\theta \quad\cdots\cdots(4)$$

故に G を彈性重心にとり，$\frac{\partial W}{\partial X_n}=\Delta d_n$ より X_1, X_2, X_3 を求めれば次の様になる．但し l は一定とし，Δt は拱の中心に對し對稱なるものとする．

$$X_1=-\frac{\int_A^B M_0(y-cf)\frac{ds}{I}-\int_A^B N_0\cos\varphi\frac{ds}{A}}{\int_A^B(y-cf)^2\frac{ds}{I}+\int_A^B\cos^2\varphi\frac{ds}{A}}-\frac{E\Delta l-E(1-c)f\Delta\theta}{\int_A^B(y-cf)^2\frac{ds}{I}+\int_A^B\cos^2\varphi\frac{ds}{A}}+\frac{E\varepsilon l-E\int_A^B(y-cf)\frac{\varepsilon\Delta t}{h}ds}{\int_A^B(y-cf)^2\frac{ds}{I}+\int_A^B\cos^2\varphi\frac{ds}{A}}\quad\cdots\cdots(5)$$

$$X_2=-\frac{\int_A^B M_0x\frac{ds}{I}+\int_A^B N_0\sin\varphi\frac{ds}{A}}{\int_A^B x^2\frac{ds}{I}+\int_A^B\sin^2\varphi\frac{ds}{A}}-\frac{E\Delta a+E\frac{1}{2}l\Delta\theta}{\int_A^B x^2\frac{ds}{I}+\int_A^B\sin^2\varphi\frac{ds}{A}}\quad\cdots\cdots(6)$$

$$X_3=-\frac{\int_A^B M_0\frac{ds}{I}}{\int_A^B\frac{ds}{I}}+\frac{E\Delta\theta}{\int_A^B\frac{ds}{I}}-\frac{E\int_A^B\frac{\varepsilon\Delta t}{h}ds}{\int_A^B\frac{ds}{I}}\quad\cdots\cdots(7)$$

$$cf=\frac{\int_A^B\frac{y}{I}ds}{\int_A^B\frac{ds}{I}}\quad\cdots\cdots(8)$$

(5), (6), (7) 第 1 項は荷重，第 2 項は橋臺の變位，第 3 項は溫度の變化の影響である．(6) に於ては拱及溫度の對稱性により第 3 項を缺除する．

第 2, 第 3 項の計算は簡單で之を切離して補正計算を行ふことが出來る．

第 1 項の値を支配するものは彎曲率の影響即ち分母分子の第 1 項で軸力の影響は少い，故に先づ彎曲率の影響を求め，軸力に對しては補正計算を行へば足る．

荷重による彎曲率の影響のみに就て考へれば X_1, X_2 及 X_3 は次の様になる．

$$X_1=-\frac{\int_A^B M_0(y-cf)\frac{ds}{I}}{\int_A^B(y-cf)^2\frac{ds}{I}}\quad\cdots\cdots(9)$$

$$X_2=-\frac{\int_A^B M_0x\frac{ds}{I}}{\int_A^B x^2\frac{ds}{I}}\quad\cdots\cdots(10)$$

$$X_3=-\frac{\int_A^B M_0\frac{ds}{I}}{\int_A^B\frac{ds}{I}}\quad\cdots\cdots(11)$$

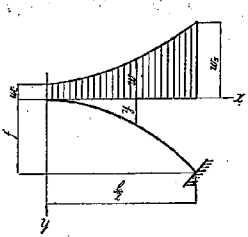
上式の計算は稍〻煩雜となる爲，通常圖式法又は圖式的代數法が用ひられ，或は近似計算法が工夫せられてゐる．近似計算法の最簡單なるものは拱軸線を拋物線とし，斷面の慣性能率の變化を $I=I_0\sec\varphi$ (I_0…拱頂の慣性能率) とするものであるが，實際の無鉸拱は之に該當しない場合が多い．故に比較的

實際に近い拱軸線及斷面の變化を與へ且式中の積分を簡單に行ひ得る樣な假定を用ひなければならない.

III 拱 軸 線

拱軸線として通常用ひられるものは，死荷重又は之に活荷重の½を滿載した場合の壓力線である.

今第 3 圖の如く拱頂に於ける荷重强度を w_c，起拱點に於けるものを w_s とすれば，任意の點に於ける荷重强度 w は近似的に次式を以て與へられる.



第 3 圖

$$w=w_c\left\{1+(m-1)\frac{y}{f}\right\}$$

但し　$m=\dfrac{w_s}{w_c}$

故に水平反力を H とすれば

$$\frac{d^2y}{dx^2}=\frac{w_c}{H}\left\{1+(m-1)\frac{y}{f}\right\}$$

$$\therefore\ y=C_1e^{kx}+C_2e^{-kx}-\frac{f}{m-1},\qquad k^2=\frac{(m-1)w_c}{Hf}$$

對稱なる爲に　$C_1=C_2=C$

$x=0$ に於て $y=0$ なる爲に　$C=\dfrac{f}{2(m-1)}$

$$\therefore\ y=\frac{f}{(m-1)}\left\{\frac{1}{2}(e^{kx}+e^{-kx})-1\right\}\qquad\cdots\cdots(12)$$

$x=\frac{1}{2}l$ に於て $y=f$ として

$$e^{\frac{1}{2}kl}+e^{-\frac{1}{2}kl}=2m$$

$$\therefore\ k^2=\frac{(m-1)w_c}{Hf}=\frac{4}{l^2}\left\{\log\left(m+\sqrt{m^2-1}\right)\right\}^2\qquad\cdots\cdots(13)$$

(12) を展開すれば

$$y=\frac{f}{(m-1)}\left\{\frac{k^2x^2}{\lfloor 2}+\frac{k^4x^4}{\lfloor 4}+\frac{k^6x^6}{\lfloor 6}+\cdots\cdots\right\}\qquad\cdots\cdots(14)$$

第 3 項以下を無視すれば

$$y=\frac{f}{(m-1)}\left\{\frac{k^2l^2}{8}\left(\frac{2x}{l}\right)^2+\frac{k^4l^4}{384}\left(\frac{2x}{l}\right)^4\right\}\qquad\cdots\cdots(15)$$

更に $\dfrac{k^2l^2}{8(m-1)}=a_1$ として，k を $x=\pm\frac{1}{2}l$ の時 $y=f$ なる樣に定めれば

$$y=f\left\{a_1\left(\frac{2x}{l}\right)^2+(1-a_1)\left(\frac{2x}{l}\right)^4\right\}\qquad\cdots\cdots(16)$$

$$a_1=\frac{1}{m-1}\left\{\sqrt{9+6(m-1)}-3\right\}\qquad\cdots\cdots(17)$$

$$m=\frac{6(1-a_1)}{a_1^2}+1\qquad\cdots\cdots(18)$$

(15) は m の小なる場合 (12) の近似値を與へ，m 大となるに從つて其差も亦大となる.

荷重強度が拱頂より起拱點に向つて抛物線的に增加する場合に就て考へれば

$$w=w_c+(m-1)w_c\frac{4x^2}{l^2}$$

$$\therefore\quad y=\frac{w_c}{2H}x^2+\frac{(m-1)w_c}{3Hl^2}x^4 \qquad \cdots\cdots(19)$$

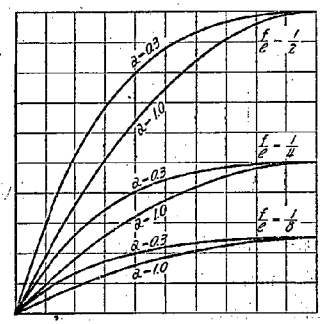
故に之を (16) の形に直せば

$$y=f\left\{a_2\left(\frac{2x}{l}\right)^2+(1-a_2)\left(\frac{2x}{l}\right)^4\right\} \qquad \cdots\cdots(20)$$

$$a_2=\frac{6}{5+m},\qquad m=\frac{6(1-a_2)}{a_2}+1 \qquad \cdots\cdots(21)$$

以上の如く 2 次及 4 次の抛物線の適當なる組合せにより近似的の壓力線が得られるのみならず，第 4 圖に示す如く通常用ひられる多くの拱軸線を得ることが出來る．故に近似計算に於ける拱軸線として次式を用ふることゝした．而して式中 a を拱軸の係數と云ふ．

$$y=f\left\{a\left(\frac{2x}{l}\right)^2+(1-a)\left(\frac{2x}{l}\right)^4\right\} \qquad \cdots\cdots(22)$$



第　4　圖

〔1〕 拱軸線の縱距

(22) に於て $\frac{y}{f}=\eta$, $\frac{2x}{l}=\xi$ とすれば

$$\eta=a\xi^2+(1-a)\xi^4 \qquad \cdots\cdots(23)$$

第 1 表は a の種々の値に對して η を計算したものである．

第 1 表　拱軸線の縱距 (η の値)

a \ ξ	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1.0	0	0.01000	0.04000	0.09000	0.16000	0.25000	0.36000	0.49000	0.64000	0.81000	1
0.9	0	0.00901	0.03616	0.08181	0.14656	0.23125	0.33696	0.46501	0.61696	0.79461	1
0.8	0	0.00802	0.03232	0.07362	0.13312	0.21250	0.31392	0.44002	0.59392	0.77922	1
0.7	0	0.00703	0.02848	0.06543	0.11968	0.19375	0.29088	0.41503	0.57088	0.76383	1
0.6	0	0.00604	0.02464	0.05724	0.10624	0.17500	0.26784	0.39004	0.54784	0.74844	1
0.5	0	0.00505	0.02080	0.04905	0.09280	0.15625	0.24480	0.36505	0.52480	0.73305	1
0.4	0	0.00406	0.01696	0.04086	0.07936	0.13750	0.22176	0.34006	0.50176	0.71766	1
0.3	0	0.00307	0.01312	0.03267	0.06592	0.11875	0.19872	0.31507	0.47872	0.70227	1

〔2〕 拱軸線の接線

拱軸線の任意の點に於ける接線が x 軸の正の方向となす角 φ (時計の方向を正) に就ては次の關係がある．

$$\tan\varphi=\frac{dy}{dx}=\frac{2f}{l}\frac{d\eta}{d\xi} \qquad \cdots\cdots(24)$$

$$\frac{d\eta}{d\xi}=2\alpha\xi+4(1-\alpha)\xi^3 \quad \cdots\cdots(25)$$

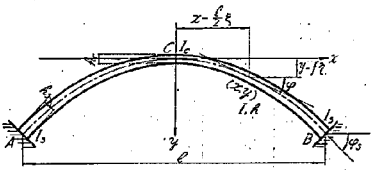
第 2 表は種々の α に對し各點の $\frac{d\eta}{d\xi}$ を計算したものである．從つて f/l を知れば $\tan\varphi$ の値を求められる．

第 2 表 拱軸線の Tangent $\left(\frac{d\eta}{d\xi}\text{ の値}\right)$

α \ ξ	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1.0	0	0.2000	0.4000	0.6000	0.8000	1.0000	1.2000	1.4000	1.6000	1.8000	2.0000
0.9	0	0.1804	0.3632	0.5508	0.7456	0.9500	1.1664	1.3972	1.6448	1.9116	2.2000
0.8	0	0.1608	0.3264	0.5016	0.6912	0.9000	1.1328	1.3944	1.6896	2.0232	2.4000
0.7	0	0.1412	0.2896	0.4524	0.6368	0.8500	1.0992	1.3916	1.7344	2.1348	2.6000
0.6	0	0.1216	0.2528	0.4032	0.5824	0.8000	1.0656	1.3888	1.7792	2.2464	2.8000
0.5	0	0.1020	0.2160	0.3540	0.5280	0.7500	1.0320	1.3860	1.8240	2.3580	3.0000
0.4	0	0.0824	0.1792	0.3048	0.4736	0.7000	0.9984	1.3832	1.8688	2.4696	3.2000
0.3	0	0.0628	0.1424	0.2556	0.4192	0.6500	0.9648	1.3804	1.9136	2.5812	3.4000

IV 斷面の變化

特別な例を除き，現今用ひられる無鉸拱は起拱點に於て大なる剛性を有する．故に彎曲率は中央 2/4 の部分は比較的小に，兩端の 1/4 の部分に於て急增する．水平荷重の影響を考慮する場合には此傾向を一層助長することゝなる．從つて比較的兩端部に於て斷面の慣性能率 I を急增せしめる樣に假定しなければならない．又積分中の ds を dx に置換することの爲に Max Ritter の假定に從ふのが便利である．卽ち



第 5 圖

$$\frac{I_c}{I\cos\varphi}=1-(\gamma-1)\xi^{\nu}$$

$$\gamma=\frac{I_c}{I_s\cos\varphi_s}$$

I_c, I_s…夫々拱頂及起拱點の慣性能率

φ_s…起拱點の接線の x 軸となす角

Ritter[2] は $\nu=2$ を，Strassner[3] は $\nu=1$ を用ひたが，斷面を兩端部に於て急增せしめる目的の爲に本編に於ては前者を採用した．卽ち

2) Max Ritter—"Vereinfachung der Berechung gelenkloser Brückengewölbe". (Schweizerische Bauzeitung 1908 Bd. 51)

3) A. Strassner—Neuere Methoden Bd. II.

尙一般的には γ 及 ν を其場合に應じて適當に定めれば，實際に近い結果を得られる．

Stockholm Tranebergssund 橋 (Bauingenieur 1933 s. 451) の拱架の計算には，拱軸線を

$$\eta=a_1\xi^2+a_2\xi^m$$

とし，a, m, γ 及 ν を拱頂，起拱點及 $\frac{1}{4}$ 點に於て實際と一致させた．

$$I=\frac{I_c \sec\varphi}{1-\beta\xi^2} \quad \cdots\cdots(26)$$

$$\beta=1-\frac{I_c}{I_s}\sec\varphi_s \quad \cdots\cdots(27)$$

茲に β を斷面變化の係數と云ふ.

〔1〕 慣性能率の變化

(26) より任意の點に於ける I と拱頂の I_c との比を n とすれば

$$n=\frac{I}{I_c}=\left(\frac{1}{1-\beta\xi^2}\right)\sec\varphi \quad \cdots\cdots(28)$$

第 3 表は (28) の括弧内の値を示す.

第 3 表　$\dfrac{1}{1-\beta\xi^2}$

β \ ξ	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.1	1	1.001	1.004	1.009	1.016	1.026	1.037	1.052	1.068	1.088	1.111
0.2	1	1.002	1.008	1.018	1.033	1.053	1.078	1.109	1.147	1.193	1.250
0.3	1	1.003	1.012	1.028	1.050	1.081	1.121	1.172	1.238	1.321	1.429
0.4	1	1.004	1.016	1.037	1.068	1.111	1.168	1.244	1.344	1.479	1.667
0.5	1	1.005	1.020	1.047	1.087	1.143	1.220	1.325	1.471	1.681	2.000
0.6	1	1.006	1.025	1.057	1.106	1.176	1.276	1.416	1.623	1.946	2.500
0.7	1	1.007	1.029	1.067	1.126	1.212	1.337	1.522	1.812	2.309	3.333
0.75	1	1.008	1.031	1.072	1.136	1.231	1.370	1.581	1.923	2.548	4.000
0.8	1	1.008	1.033	1.078	1.147	1.250	1.404	1.645	2.049	2.841	5.000
0.85	1	1.009	1.035	1.083	1.157	1.270	1.441	1.714	2.193	3.210	6.667
0.9	1	1.009	1.037	1.088	1.168	1.290	1.479	1.789	2.358	3.690	10.000

第 4 表　$\sqrt[3]{\dfrac{1}{1-\beta\xi^2}}$

β \ ξ	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.1	1	1.000	1.001	1.003	1.005	1.009	1.012	1.017	1.022	1.029	1.036
0.2	1	1.001	1.003	1.006	1.011	1.017	1.025	1.035	1.047	1.061	1.077
0.3	1	1.001	1.004	1.009	1.016	1.026	1.039	1.054	1.074	1.097	1.126
0.4	1	1.001	1.005	1.012	1.022	1.036	1.053	1.075	1.104	1.139	1.186
0.5	1	1.002	1.007	1.015	1.028	1.046	1.069	1.098	1.137	1.189	1.260
0.6	1	1.002	1.008	1.019	1.034	1.056	1.085	1.123	1.175	1.248	1.357
0.7	1	1.002	1.010	1.022	1.040	1.066	1.102	1.150	1.219	1.322	1.494
0.75	1	1.002	1.010	1.024	1.043	1.072	1.111	1.165	1.244	1.366	1.588
0.8	1	1.003	1.011	1.025	1.047	1.077	1.120	1.180	1.270	1.416	1.710
0.85	1	1.003	1.012	1.027	1.050	1.083	1.129	1.197	1.299	1.475	1.882
0.9	1	1.003	1.012	1.029	1.053	1.089	1.139	1.214	1.331	1.545	2.154

〔2〕 斷面の高さ

基頂の斷面の高さを h_c とし，任意の點の其れを h とし，慣性能率を高さの 3 乘に比例するものとすれば，

$$\frac{h}{h_c}=\sqrt[3]{n}=\left(\sqrt[3]{\frac{1}{1-\beta\xi^2}}\right)\sec^{\frac{1}{3}}\varphi \quad\cdots\cdots(29)$$

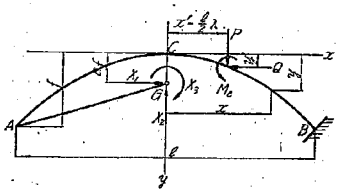
第 4 表は (29) の括弧内の値を示す．

V 不靜定量の影響線

第 6 圖に示す如く $x'=\frac{l}{2}\lambda$ なる點に，

鉛直荷重 $P=1$，　水平荷重 $Q=1$，　力率 $M_c=1$

が作用するものとして不靜定量を求めれば，夫々の影響線の式を得る．但し荷重の符號は II の規定により第 6 圖に示せるものが正である．



第 6 圖

荷重による彎曲率の影響のみを考慮せる (9) 乃至 (11) 式に (22), (26) の假定を入れれば，不靜定量 X_1, X_2, 及 X_3 の影響線の積分は簡單に求められる．

先づ (8) より彈性重心 G の縱距 cf を求める．

$$\int_A^B\frac{ds}{I}=\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)\frac{l}{I_c}$$

$$\int_A^B y\frac{ds}{I}=\left\{\alpha\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{5}\beta\right)+(1-\alpha)\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{7}\beta\right)\right\}\frac{fl}{I_c}$$

$$\therefore\quad c=\frac{\alpha\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{5}\beta\right)+(1-\alpha)\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{7}\beta\right)}{\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)} \quad\cdots\cdots(30)$$

次に (9), (10) 及 (11) の分母の値を夫々 χ_1, χ_2 及 χ_3 とすれば，

$$\chi_1=\int_A^B(y-cf)^2\frac{ds}{I}$$

$$=\left\{\alpha^2\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{7}\beta\right)+2\alpha(1-\alpha)\left(\frac{1}{7}-\frac{1}{9}\beta\right)+(1-\alpha)^2\left(\frac{1}{9}-\frac{1}{11}\beta\right)-c^2\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)\right\}\frac{f^2l}{I_c} \quad\cdots\cdots(31)$$

$$\chi_2=\int_A^B x^2\frac{ds}{I}=\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{5}\beta\right)\frac{l^3}{4I_c} \quad\cdots\cdots(32)$$

$$\chi_3=\int_A^B\frac{ds}{I}=\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)\frac{l}{I_c} \quad\cdots\cdots(33)$$

第 5 表は c の値，第 6 表は $\chi_1\frac{I_c}{f^2l}$ の値を示すものである．

第 5 表　c の 値

α \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
1	0.33333	0.32414	0.31429	0.30370	0.29231	0.28000	0.26667	0.25217	0.24444	0.23636	0.22791	0.21905
0.9	0.32000	0.31094	0.30123	0.29079	0.27956	0.26743	0.25429	0.24000	0.23238	0.22442	0.21608	0.20735
0.8	0.30667	0.29773	0.28816	0.27788	0.26681	0.25486	0.24191	0.22783	0.22032	0.21247	0.20425	0.19565
0.7	0.29333	0.28453	0.27510	0.26497	0.25407	0.24229	0.22952	0.21565	0.20825	0.20052	0.19243	0.18395
0.6	0.28000	0.27133	0.26204	0.25206	0.24132	0.22972	0.21714	0.20348	0.19619	0.18857	0.18060	0.17225
0.5	0.26667	0.25813	0.24898	0.23915	0.22857	0.21714	0.20476	0.19131	0.18413	0.17662	0.16877	0.16055
0.4	0.25333	0.24493	0.23592	0.22624	0.21582	0.20457	0.19238	0.17913	0.17206	0.16467	0.15694	0.14884
0.3	0.24000	0.23172	0.22286	0.21333	0.20308	0.19200	0.18000	0.16696	0.16000	0.15273	0.14512	0.13714

第 6 表　$\chi_1\frac{J_c}{f^3l}$ の値

α \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
1	0.08889	0.08415	0.07924	0.07413	0.06881	0.06324	0.05740	0.05125	0.04804	0.04475	0.04135	0.03784
0.9	0.08643	0.08170	0.07682	0.07174	0.06644	0.06092	0.05512	0.04903	0.04586	0.04259	0.03923	0.03577
0.8	0.08411	0.07941	0.07454	0.06948	0.06421	0.05872	0.05297	0.04693	0.04379	0.04056	0.03723	0.03381
0.7	0.08196	0.07726	0.07240	0.06736	0.06212	0.05666	0.05095	0.04495	0.04184	0.03864	0.03534	0.03195
0.6	0.07995	0.07525	0.07040	0.06538	0.06016	0.05472	0.04905	0.04309	0.04000	0.03683	0.03356	0.03020
0.5	0.07809	0.07340	0.06855	0.06353	0.05833	0.05292	0.04727	0.04135	0.03828	0.03513	0.03190	0.02857
0.4	0.07640	0.07169	0.06684	0.06183	0.05664	0.05124	0.04561	0.03973	0.03668	0.03355	0.03034	0.02704
0.3	0.07484	0.07013	0.06527	0.06027	0.05507	0.04969	0.04408	0.03822	0.03519	0.03208	0.02589	0.02562

〔1〕 鉛直荷重に對する影響線

$x'=\lambda\frac{l}{2}$ なる點に $P=1$ なる鉛直荷重が作用するものとすれば

$x\geqq x'$ に於て　$M_0=-(x-x')$

$x<x'$ に於て　$M_0=0$

故に (9), (10), (11) より

$$X_1=\frac{\left\{\left\{-c\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\beta\right)+\alpha\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{6}\beta\right)+(1-\alpha)\left(\frac{1}{6}-\frac{1}{8}\beta\right)\right\}-\frac{1}{2}c\lambda^3\right.}{\left.+\frac{1}{12}(\alpha+c\beta)\lambda^4+\frac{1}{30}\left\{(1-\alpha)-\alpha\beta\right\}\lambda^5-\frac{1}{56}(1-\alpha)\beta\lambda^8\right\}}\cdot\frac{l}{f^2}\quad\cdots\cdots(34)$$
$$4\left\{\alpha^2\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{7}\beta\right)+2\alpha(1-\alpha)\left(\frac{1}{7}-\frac{1}{9}\beta\right)+(1-\alpha)^2\left(\frac{1}{9}-\frac{1}{11}\beta\right)-c^2\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)\right\}$$

$$X_2=\frac{1}{2}-\frac{\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\beta\right)\lambda-\frac{1}{6}\lambda^3+\frac{1}{20}\beta\lambda^5}{2\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{5}\beta\right)}\quad\cdots\cdots(35)$$

$$X_3=\frac{\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\beta\right)-\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)\lambda+\frac{1}{2}\lambda^2-\frac{1}{12}\beta\lambda^4}{4\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)}\cdot l\quad\cdots\cdots(36)$$

第 15 表乃至第 24 表は鉛直荷重に對する X_1, X_2 及 X_3 の影響線表である．又第 11 圖乃至第14圖は之を圖示したものである．

〔2〕 水平荷重に對する影響線

$x'=\frac{l}{2}\lambda$ なる點に $Q=1$ なる水平荷重が作用するものとすれば,

$x\geqq x'$ に於て $M_0=-(y-y')$

$x<x'$ に於て $M_0=0$

故に (9), (10), (11) より

$$X_1=\frac{1}{2}-\frac{\left\{\frac{1}{3}c\alpha\lambda^3-\left\{\frac{1}{15}\alpha^2+\frac{1}{15}c\alpha\beta-\frac{2}{5}c(1-\alpha)\right\}\lambda^5-\left\{-\frac{1}{35}\alpha^2\beta+\frac{13}{105}\alpha(1-\alpha)+\frac{2}{21}c(1-\alpha)\beta\right\}\lambda^7 -\left\{\frac{2}{45}(1-\alpha)^2-\frac{19}{315}\alpha(1-\alpha)\beta\right\}\lambda^9+\frac{2}{77}(1-\alpha)^2\beta\lambda^{11}\right\}}{\alpha^2\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{7}\beta\right)+2\alpha(1-\alpha)\left(\frac{1}{7}-\frac{1}{9}\beta\right)+(1-\alpha)^2\left(\frac{1}{9}-\frac{1}{11}\beta\right)-c^2\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)} \cdots(37)$$

$$X_2=\frac{\left\{\left\{\alpha\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{6}\beta\right)+(1-\alpha)\left(\frac{1}{6}-\frac{1}{8}\beta\right)\right\}-\alpha\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\beta\right)\lambda^2+\left\{\frac{1}{4}\alpha-(1-\alpha)\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\beta\right)\right\}\lambda^4 -\left\{\frac{1}{12}\alpha\beta-\frac{1}{3}(1-\alpha)\right\}\lambda^6-\frac{1}{8}(1-\alpha)\beta\lambda^8\right\}}{\frac{1}{3}-\frac{1}{5}\beta}\cdot\frac{f}{l} \cdots(38)$$

$$X_3=\frac{\left\{\left\{\alpha\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{5}\beta\right)+(1-\alpha)\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{7}\beta\right)\right\}-\alpha\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)\lambda^2+\frac{2}{3}\alpha\lambda^3-(1-\alpha)\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)\lambda^4 +\left\{\frac{4}{5}(1-\alpha)-\frac{2}{15}\alpha\beta\right\}\lambda^5-\frac{4}{21}(1-\alpha)\beta\lambda^7\right\}}{2\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)}\cdot f \cdots(39)$$

第 49 表乃至第 72 表は水平荷重に對する影響線表である. 又第 21 圖乃至第 26 圖は之を圖示したものである.

〔3〕 力率に對する影響線

$x'=\frac{l}{2}\lambda$ なる點に $M_e=1$ なる力率が作用するものとすれば

$x\geqq x'$ に於て $M_0=-1$

$x<x'$ に於て $M_0=0$

故に (9), (10), (11) より

$$X_1=\frac{c\lambda-\frac{1}{3}(\alpha+c\beta)\lambda^3+\frac{1}{5}\left\{\alpha\beta-(1-\alpha)\right\}\lambda^5+\frac{1}{7}(1-\alpha)\beta\lambda^7}{2\left\{\alpha^2\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{7}\beta\right)+2\alpha(1-\alpha)\left(\frac{1}{7}-\frac{1}{9}\beta\right)+(1-\alpha)^2\left(\frac{1}{9}-\frac{1}{11}\beta\right)-c^2\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)\right\}}\cdot\frac{1}{f} \cdots(40)$$

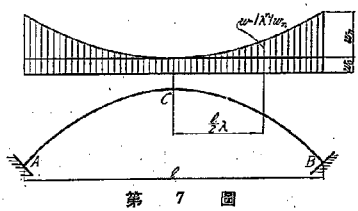
$$X_2=\frac{\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\beta\right)-\frac{1}{2}\lambda^2+\frac{1}{4}\beta\lambda^4}{\frac{1}{3}-\frac{1}{5}\beta}\cdot\frac{1}{l} \cdots(41)$$

$$X_3=\frac{1}{2}-\frac{\lambda-\frac{1}{3}\beta\lambda^3}{2\left(1-\frac{1}{3}\beta\right)} \cdots(42)$$

第 75 表乃至第 84 表は力率に對する影響線の表である.

VI　對稱荷重の場合の不靜定量

對稱拱の死荷重は通常殆ど對稱に分布するものと考へられる，從つて地震による縱方向の水平荷重又は力率も亦對稱なる强度に分布するものと考へて差支ない．而して其の强度の分布狀態は一般に次式に於て n を色々にとつた場合の組合せとして表はされる.



第　7　圖

鉛直荷重强度　$w=|\lambda^n|w_n$

水平荷重强度　$q=|\lambda^n|q_n$

力率强度　$m=|\lambda^n|m_n$

斯樣な荷重は鉛直荷重の場合にのみ眞に對稱で，水平荷重及力率の場合にはその向きが對稱とならず從つて眞の對稱荷重と云ふことを得ないが，本稿に於ては以下斯樣に同一符號にて對稱なる强度に分布するものを對稱荷重と稱する.

與へられたる荷重に對する不靜定量は，其の影響線縱距に荷重强度を乘じ全支間に積分したものである．例へば上記の對稱鉛直荷重を受ける場合 (34), (35), (36) 等の式を一般に $f(\lambda)$ を以て表はせば，不靜定量は次の形で求められる.

$$X=\frac{w_n\ell}{2}\int_{-1}^{+1}f(\lambda)|\lambda^n|d\lambda$$

此積分に於て $f(\lambda)$ 中 λ の奇數乘に相當する項は，荷重の對稱性の爲に消滅し幾分簡單な式が得られる.

尙此場合次の不靜定量は甚だ簡單に表はされる.

鉛直荷重　$X_2=\dfrac{1}{2(n+1)}w_n\ell$

水平荷重　$X_1=\dfrac{1}{2(n+1)}q_n\ell$

力率　$X_3=\dfrac{1}{2(n+1)}m_n\ell$

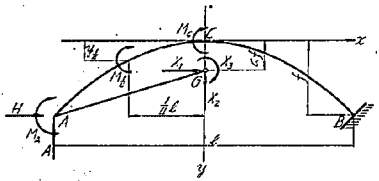
$X_1=0$

不靜定量の夫々の影響線表の下方に $n=0$, 2, 4 (力率の作用する場合は更に 8) なる對稱荷重を受ける場合の不靜定量を計算してある．故に之等の適當なる組合せにより與へられたる對稱荷重に對する不靜定量の近似値を求めることが出來る.

VII　反力及彎曲率

〔1〕 反力の影響線

第 8 圖の如く起拱點 A に於ける鉛直上向反力を A，水平右向反力を H とすれば，



第　8　圖

$$A=X_2,\quad H=X_1 \cdots\cdots(43)$$

故に影響線及對稱荷重に對する計算はすべて V. に述べた式が適用せられる.

〔2〕 彎曲率の影響線

不靜定量の影響線を知れば (1) より各點の彎曲率の影響線を求められる. 拱頂 C, 起拱點 A, A より $\frac{1}{4}l$ の點の彎曲率を夫々 M_C, M_A, $M_{\frac{1}{4}}$ とすれば,

$$M_A=(1-c)fX_1-\frac{l}{2}X_2+X_3 \cdots\cdots(44)$$

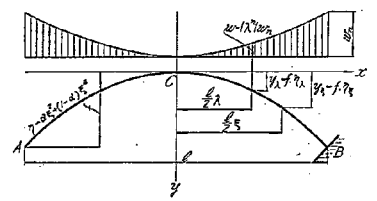
$$M_C=M_{0C}-cfX_1+X_3 \cdots\cdots(45)$$

$$M_{\frac{1}{4}}=M_{0\frac{1}{4}}+(y_{\frac{1}{4}}-cf)X_1-\frac{l}{4}X_2+X_3 \cdots\cdots(46)$$

茲に $y_{\frac{1}{4}}$ は $\frac{1}{4}l$ 點の拱軸線の縱距, M_{0C}, $M_{0\frac{1}{4}}$ は夫々の點の突桁としての彎曲率の影響線を示すものである. 第 25 表乃至第 48 表は (44), (45), (46) より鉛直荷重に對する影響線を求めたものである.

〔3〕 對稱荷重による靜定基本系の彎曲率 M_0

與へられたる荷重に對する任意の點 $x=\frac{l}{2}\xi$ の彎曲率を求める爲に, 此點の靜定基本系の彎曲率 $M_{0\xi}$ を計算しなければならない. 今前述の對稱分布荷重の中 n が 0 又は偶數なる場合に之を求めれば次の樣になる.



第　9　圖

鉛直荷重

$$M_{0\xi}=-\frac{1}{4}w_n l^2\int_{-1}^{\xi}(\xi-\lambda)\lambda^n d\lambda$$

$$=-\frac{w_n l^2}{n+1}\left[\frac{1}{4}\left\{\left(1-\frac{n+1}{n+2}\right)\xi^{n+2}+\xi+\frac{n+1}{n+2}\right\}\right]$$

$$=\frac{w_n l^2}{n+1}W(n,\xi) \cdots\cdots(47)$$

水平荷重

$$M_{0\xi}=-\frac{1}{2}q_n lf\int_{-1}^{\xi}(\eta_\xi-\eta_\lambda)\lambda^n d\lambda$$

$$=-\frac{q_n fl}{n+1}\left[\frac{1}{2}a\left\{\left(1-\frac{n+1}{n+3}\right)\xi^{n+3}+\xi^2-\frac{n+1}{n+3}\right\}+\frac{1}{2}(1-a)\left\{\left(1-\frac{n+1}{n+5}\right)\xi^{n+5}+\xi^4-\frac{n+1}{n+5}\right\}\right]$$

$$=\frac{q_n fl}{n+1}[aQ_1(n,\xi)+(1-a)Q_2(n,\xi)] \cdots\cdots(48)$$

力率

$$M_{0\xi}=-\frac{1}{2}m_n l\int_{-1}^{\xi}\lambda^n d\lambda$$

$$=-\frac{m_n l}{n+1}\left[\frac{1}{2}\xi^{n+1}+\frac{1}{2}\right]$$

$$=\frac{m_n l}{n+1}M(n,\xi) \cdots\cdots(49)$$

第 7, 8 及 9 表は夫々 $n=0$, 2, 4 (力率に對しては更に 8) の場合に就て, $W(n,\xi)$, $Q_1(n,\xi)$, $Q_2(n,\xi)$ 及 $M(n,\xi)$ の値を計算したものである.

第 7 表　鉛直荷重の $W(n, \xi)$ の値

ξ \ w	w_0	$\lambda^2 w_2$	$\lambda^4 w_4$
−1.0	0	0	0
−0.9	−0.0013	−0.0035	−0.0055
−0.8	−0.0050	−0.0131	−0.0193
−0.7	−0.0113	−0.0275	−0.0382
−0.6	−0.0200	−0.0456	−0.0603
−0.5	−0.0313	−0.0664	−0.0840
−0.4	−0.0450	−0.0891	−0.1085
−0.3	−0.0613	−0.1130	−0.1334
−0.2	−0.0800	−0.1376	−0.1583
−0.1	−0.1013	−0.1625	−0.1833
0	−0.1250	−0.1875	−0.2083
0.1	−0.1513	−0.2125	−0.2333
0.2	−0.1800	−0.2376	−0.2583
0.3	−0.2113	−0.2630	−0.2834
0.4	−0.2450	−0.2891	−0.3085
0.5	−0.2813	−0.3164	−0.3340
0.6	−0.3200	−0.3456	−0.3603
0.7	−0.3613	−0.3775	−0.3882
0.8	−0.4050	−0.4131	−0.4193
0.9	−0.4513	−0.4535	−0.4555
1.0	−0.5000	−0.5000	−0.5000

第 9 表　力率の $M(n, \xi)$ の値

ξ \ m	m_0	$\lambda^2 m_2$	$\lambda^4 m_4$	$\lambda^8 m_8$
−1.0	0	0	0	0
−0.9	−0.0500	−0.1355	−0.2048	−0.3063
−0.8	−0.1000	−0.2440	−0.3362	−0.4329
−0.7	−0.1500	−0.3285	−0.4160	−0.4798
−0.6	−0.2000	−0.3920	−0.4611	−0.4950
−0.5	−0.2500	−0.4375	−0.4844	−0.4990
−0.4	−0.3000	−0.4680	−0.4949	−0.4999
−0.3	−0.3500	−0.4865	−0.4988	−0.5000
−0.2	−0.4000	−0.4960	−0.4998	−0.5000
−0.1	−0.4500	−0.4995	−0.5000	−0.5000
0	−0.5000	−0.5000	−0.5000	−0.5000
0.1	−0.5500	−0.5005	−0.5000	−0.5000
0.2	−0.6000	−0.5040	−0.5002	−0.5000
0.3	−0.6500	−0.5135	−0.5012	−0.5000
0.4	−0.7000	−0.5320	−0.5051	−0.5001
0.5	−0.7500	−0.5625	−0.5156	−0.5010
0.6	−0.8000	−0.6080	−0.5389	−0.5050
0.7	−0.8500	−0.6715	−0.5840	−0.5202
0.8	−0.9000	−0.7560	−0.6638	−0.5671
0.9	−0.9500	−0.8645	−0.7953	−0.6937
1.0	−1.0000	−1.0000	−1.0000	−1.0000

第 8 表　水平荷重の $Q_1(n, \xi)$ 及 $Q_2(n, \xi)$ の値

ξ \ q	q_0		$\lambda^2 q_2$		$\lambda^4 q_4$	
	$Q_1(n, \xi)$	$Q_2(n, \xi)$	$Q_1(n, \xi)$	$Q_2(n, \xi)$	$Q_1(n, \xi)$	$Q_2(n, \xi)$
−1.0	0	0	0	0	0	0
−0.9	0.0047	0.0082	0.0131	0.0229	0.0205	0.0358
−0.8	0.0173	0.0263	0.0455	0.0694	0.0671	0.1028
−0.7	0.0360	0.0472	0.0886	0.1178	0.1329	0.1667
−0.6	0.0587	0.0663	0.1356	0.1575	0.1811	0.2152
−0.5	0.0833	0.0813	0.1813	0.1853	0.2333	0.2470
−0.4	0.1080	0.0913	0.2221	0.2020	0.2774	0.2650
−0.3	0.1307	0.0969	0 2555	0.2103	0.3122	0.2737
−0.2	0.1493	0.0993	0.2801	0·2135	0.3357	0.2770
−0.1	0.1620	0.1000	0.2950	0.2142	0.3521	0.2777
0	0.1667	0.1000	0.3000	0.2143	0.3572	0.2778
0.1	0.1613	0.0999	0.2950	0.2142	0.3521	0.2777
0.2	0.1440	0.0991	0.2799	0.2135	0.3371	0.2770
0.3	0.1127	0.0950	0.2545	0.2102	0.3121	0.2737
0.4	0.0653	0.0831	0.2180	0.2010	0.2769	0.2649
0.5	0	0.0563	0.1688	0.1808	0.2310	0.2461
0.6	−0.0853	0.0041	0.1045	0.1415	0.1732	0.2107
0.7	−0.1927	−0.0873	0.0214	0.0707	0.1004	0.1488
0.8	−0.3240	−0.2359	−0.0855	−0.0504	0.0072	0.0432
0.9	−0.4813	−0.4642	−0.2231	−0.2504	−0.0948	−0.1364
1.0	−0.6667	−0.8000	−0.4000	−0.5714	−0.2857	−0.4444

〔4〕對稱荷重による彎曲率

VI に述べた方法により對稱荷重の不靜定量が求められゝば (1) より各點の彎曲率を計算出來る。

第 25 表乃至第 48 表の下方に夫々 $n=0, 2, 4$ なる鉛直對稱荷重に對する M_A, M_C 及び $M_{\frac{1}{4}}$ が計算してある.

對稱水平荷重及力率の場合には, 拱の對稱性の爲に $M_C=0$ となる. 第 73 表及第 74 表に夫々 $n=0, 2, 4$ なる水平荷重の場合の M_A 及び $M_{\frac{1}{4}}$ を, 第85表及第86表に夫々 $n=0, 2, 4, 8$ なる力率の場合の M_A 及 $M_{\frac{1}{4}}$ を計算してある.

〔5〕 等布部分荷重による彎曲率

各點の彎曲率の影響線を見るに, M_A 及 $M_{\frac{1}{4}}$ は凡そ $\lambda=-0.3$ 附近に於て, M_C は凡そ $\lambda=\pm0.3$ 附近に於て符號が變つてゐる. 故に活荷重として相當等布荷重を用ひるものとすれば次の載荷狀態に於て, 略ゝ M_A, M_C 及 $M_{\frac{1}{4}}$ の正負最大彎曲率の近似値を求めることが出來る.

M_A……(−) $\lambda=-1.0$ より $\lambda=-0.3$ 迄載荷
(+) $\lambda=-0.3$ より $\lambda=+1.0$ 〃
M_C……(−) $\lambda=-1.0$ より $\lambda=-0.3$ 迄と $\lambda=+0.3$ より $\lambda=+1.0$ 迄載荷
(+) $\lambda=-0.3$ より $\lambda=+0.3$ 迄載荷
$M_{\frac{1}{4}}$……(+) $\lambda=-1.0$ より $\lambda=-0.3$ 迄載荷
(−) $\lambda=-0.3$ より $\lambda=+1.0$ 〃

之等の載荷狀態に於ける反力, 及彎曲率の値は第 15 表乃至第 48 表の夫々の影響線表の下端に掲けてある.

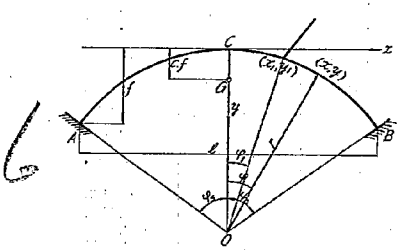
VIII 軸 力 の 影 響

〔1〕 軸力の影響の程度

以上の如く彎曲率のみを考へた場合の計算に對しては II に述べた如く軸力の影響を補正することを要するが, 其程度によつては之を無視しても差支ない.

今此影響の程度の大體を知る爲に定斷面の圓弧拱に就て檢べて見る.

第 10 圖の如く拱軸線の半徑は r, 中心角は $2\varphi_s$ とし, 荷重は $(x_1 y_1)$ 卽 $\varphi=\varphi_1$ に作用するものとする.



第 10 圖

$$x=r\sin\varphi, \qquad y=r(1-\cos\varphi)$$

$$r=\frac{f}{2}+\frac{l^2}{8f}, \qquad \sin\varphi_s=\frac{l}{2r}$$

彈性重心 G の縱距は $cf=r\left(1-\dfrac{\sin\varphi_s}{\varphi_s}\right)$

又拱の斷面を矩形と假定すれば

$$I=\frac{1}{12}bh^3=\frac{1}{12}Ah^2$$

$$\frac{r}{A}\Big/\frac{r^2}{I}=\frac{1}{12}\left(\frac{h}{r}\right)^2$$

以下 f/l が 0.1, 0.2, 0.3 及 0.4, l/h が 15, 30 の場合に就て檢べることとし, 之等の場合に應ずる上記の必要數値を第 10 表に計算しておく.

第 10 表

f/l	r/l	$\sin\varphi_s$	φ_s	$100\times\frac{r}{A}\Big/\frac{r^3}{I}=\frac{100}{12}\left(\frac{h}{r}\right)^2$	
				$l/h=15$	$l/h=30$
0.1	1.300	0.385	0.395	0.022	0.005
0.2	0.725	0.690	0.762	0.071	0.018
0.3	0.567	0.882	1.080	0.115	0.029
0.4	0.513	0.976	1.351	0.140	0.035

(1) (5) 式の分母

$$\int_A^B \cos^2\varphi\frac{ds}{A}=\frac{r}{A}\left[\varphi_s+\frac{1}{2}\sin 2\varphi_s\right] \quad\cdots\cdots(a)$$

$$\int_A^B (y-cf)^2\frac{ds}{I}=\frac{r^3}{I}\left[\varphi_s+\frac{1}{2}\sin 2\varphi_s-2\frac{\sin 2\varphi_s}{\varphi_s}\right] \quad\cdots\cdots(b)$$

(a), (b) の値を比較すれば第 11 表の如く，拱矢比小なる時は (a) は (b) の數 % 乃至十數 % に及び，從つて水平反力に對して軸力の影響の補正を要するも，拱矢比大なる時は之を無視しても差支ないことを知る．

第 11 表　$(a)/(b)$ の値 %

l/h \ f/l	0.1	0.2	0.3	0.4
15	16.5	7.5	3.1	1.4
30	3.8	1.9	0.8	0.4

(2) (6) 式の分母

$$\int_A^B \sin^2\varphi\frac{ds}{A}=\frac{r}{A}\left[\varphi_s-\frac{1}{2}\sin 2\varphi_s\right] \quad\cdots\cdots(c)$$

$$\int_A^B x^2\frac{ds}{I}=\frac{r^3}{I}\left[\varphi_s-\frac{1}{2}\sin 2\varphi_s\right] \quad\cdots\cdots(d)$$

(c) の (d) に對する比は $\frac{r}{A}\Big/\frac{r^3}{I}$ にして第 10 表に示す如く軸力の影響は僅少なる爲之を無視して差支ない．

(3) (5) 式の分子

鉛直荷重の場合，φ_1 に單位荷重があるものとすれば，

$$\int_D^B N_0\cos\varphi\frac{ds}{A}=-\frac{r}{A}\left[\frac{1}{2}\sin^2\varphi\right]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad\cdots\cdots(e)$$

$$\int_D^B M_0(y-cf)\frac{ds}{I}=\frac{r^3}{I}\left[\frac{1}{2}\sin^2\varphi+\frac{\sin\varphi_s\sin\varphi_1}{\varphi_s}\varphi+\frac{\sin\varphi_s}{\varphi_s}\cos\varphi-\sin\varphi_1\sin\varphi\right]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad\cdots\cdots(f)$$

第 12 表　$(e)/(f)$ の値 %

f/l \ l/h	$\varphi_1=0$				$\varphi_1=\frac{1}{2}\varphi_s$			
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
15	0.0	0.0	0.1	0.1	1.2	1.7	1.4	1.0
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.4	0.3

$\varphi_1=0$ 即ち拱頂に荷重のある時，及 $\varphi_1=\frac{1}{2}\varphi_s$ 即ち支間の約 1/4 の處に荷重のある時に就て (c), (f) の値を比較すれば第 12 表の如く，軸力の影響を無視して差支ない．

(4) (6) 式の分子

鉛直荷重の場合

$$\int_D^B N_0 \sin\varphi \frac{ds}{A} = -\frac{r}{A}\left[\frac{\varphi}{2} - \frac{\sin 2\varphi}{4}\right]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(g)$$

$$\int_D^B M_0 v \frac{ds}{I} = -\frac{r^2}{I}\left[\frac{\varphi}{2} - \frac{\sin 2\varphi}{4} + \sin\varphi_1 \cos\varphi\right]_{\varphi_1}^{\varphi_s} \quad \cdots\cdots(h)$$

$\varphi_1=0$ の場合には (g), (f) の比は (c), (d) の場合と同様になり，$\frac{1}{4}l$ 點附近に載荷する場合には第 13 表の様になるが，何れも軸力の影響を無視し得る程度である．

第 13 表 (g)/(h) の値 %

f/l \ l/h	$\varphi_1=\frac{1}{4}\varphi_s$				$\varphi_1=-\frac{1}{4}\varphi_s$			
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
15	0.1	0.2	0.4	0.5	0.0	0.0	0.1	0.1
30	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

(5) 水平荷重の場合に就ては (6) 式の分子に於て軸力の影響が數 % の程度に及ぶも，多くは地震力に對する計算の場合で其影響は結果に於て僅少であるから之を無視するものとする．

〔2〕 水平反力に及ぼす軸力の影響

前述の如く拱矢比小なる場合には，水平反力に及ぼす軸力の影響は相當の値に達し，之を無視することを得ない．而して此の影響の計算には (26) に假定せる慣性能率の變化に應ずる斷面積の變化を假定するを要する．

今與へられたる斷面積の變化を近似的に次式を以て表はし得るものとする．

$$A = A_c \frac{\cos\varphi}{1-\gamma\xi^\delta} \quad \cdots\cdots(50)$$

茲に γ 及 δ は拱頂，起拱點及支間の $\frac{1}{4}$ の點に於て與へられたる斷面と一致する様に定めるもので，$\xi=1$ に於て $A=A_s$, $\xi=\frac{1}{2}$ に於て $A=A_{\frac{1}{2}}$ である爲に．

$$\gamma = 1 - \frac{A_c}{A_s}\cos\varphi_s \quad \cdots\cdots(51)$$

$$\delta = \frac{\log\gamma}{\log 2} - \frac{\log\left(1-\frac{A_c}{A_{\frac{1}{2}}}\cos\varphi_{\frac{1}{2}}\right)}{\log 2} \quad \cdots\cdots(52)$$

故に之等より γ, δ を知れば

$$\int_A^B \cos^2\varphi \frac{ds}{A} = \frac{L}{A_c}\left(1 - \frac{\gamma}{\delta+1}\right) \quad \cdots\cdots(53)$$

第 14 表は $\beta=0.6$ なる場合 (a) $f/l=0.2$, $\alpha=1$ 及 (b) $f/l=0.4$, $\alpha=0.8$ の二つの拱に就て，(26) 式に示す慣性能率の變化より h は I に比例するものとして計算せる h の變化狀態と，(50) 式の假

定により適當に γ, δ を定めて計算せる h の變化狀態とを比較したものであるが兩者は相當に一致し，(50) 式の假定の適當なることを示す．

第 14 表

ξ		0	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
*(a)	$h\propto I^{\frac{1}{2}}$ より	1	1.012	1.051	1.081	1.120	1.245	1.493
	(50) 式より	1	1.016	1.053	1.081	1.119	1.243	1.493
*(b)	$h\propto I^{\frac{1}{2}}$ より	1	1.011	1.046	1.077	1.116	1.251	1.533
	(50) 式より	1	1.011	1.047	1.077	1.116	1.244	1.533

* $\beta=0.6$　(a) $f/l=0.2$, $\alpha=1.$, $\gamma=0.477$, $\delta=1.758$
(b) $f/l=0.4$, $\alpha=0.8$, $\gamma=0.530$, $\delta=2.066$

IX　溫度變化，收縮及支點移動の影響

溫度の變化及支點移動の影響は (5), (6), (7) 第 2, 第 3 項に示すものであるが，普通の設計に於ては拱背，拱腹の溫度の差 Δt は無視せられ，尙支點の沈下の差及廻轉の影響をも無視せられる．從つて溫度變化及支點移動卽ち支間の增減の影響を受けるものは水平不靜定力のみとなる．卽ち

溫度變化　$$X_{1t}=\frac{E\varepsilon t l}{\int_A^B(y-cf)^2\frac{ds}{I}+\int_A^B\cos^2\varphi\frac{ds}{I}} \quad\cdots\cdots(54)$$

支間の增大　$$X_{1d}=\frac{-Ed l}{\int_A^B(y-cf)^2\frac{ds}{I}+\int_A^B\cos^2\varphi\frac{ds}{I}} \quad\cdots\cdots(55)$$

コンクリートの硬化收縮の影響は斷面の形，斷面の變化狀態，施工の方法等種々の事項に影響せられ，個々の場合に從ひ甚だ樣子を異にするのであるが，設計上の簡單の爲通常溫度の降下を以て此影響に置換へてゐる．從つて (54) 式を用ひて計算せられる．

土木學會鐵筋コンクリート標準示方書によれば，鐵筋コンクリートの溫度の變化 t は ±15°C を標準とし，膨脹係數 ε は 1°C につき 1/100,000，コンクリートの彈性係數 E は 210,000 kg/cm² ($n=10$) と定め，硬化收縮の影響は溫度降下 15°C に相當するものと規定してある．故に鐵筋をコンクリート斷面に換算せる換算斷面を用ひるならば，

溫度の上昇又は降下に對し　$\pm E\varepsilon t l=\pm\frac{210{,}000\times 15}{100{,}000}l=\pm 31.5l$

硬化收縮に對し　$E\varepsilon t l=-31.5l$　(單位何れも kg, cm)

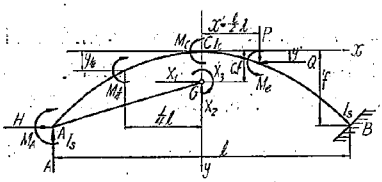
尙分母中 $\int_A^B(y-cf)^2\frac{ds}{I}=\chi_1$ の値は第 6 表に計算してある．

表及圖表

目次

鉛直荷重 水平反力 $X_1=H$……(20)
鉛直反力 $X_2=A$……(24)
不靜定力率 X_3……(24)
起拱點彎曲率 M_A……(27)
1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$……(33)
拱頂彎曲率 M_C……(39)
水平荷重 水平反力 $X_1=H$……(43)
鉛直反力 $X_2=A$……(49)
不靜定力率 X_3……(53)
起拱點彎曲率 M_A(對稱荷重)…(59)
1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$(對稱荷重)…(60)
力率 水平反力 $X_1=H$……(61)
鉛直反力 $X_2=A$……(63)
不靜定力率 X_3……(64)
起拱點彎曲率 M_A(對稱荷重)…(64)
1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$(對稱荷重)…(64)
鉛直對稱荷重の反力及彎曲率圖表……(65)
鉛直等布部分荷重の反力及彎曲率圖表…(67)
水平對稱荷重の反力及彎曲率圖表……(70)
對稱力率の反力及彎曲率圖表……(71)

記號其他



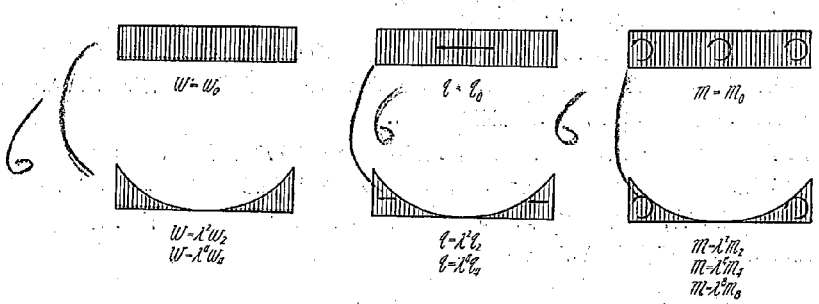
$$y=\eta f$$

$$\eta=\alpha\xi^2+(1-\alpha)\xi^4$$

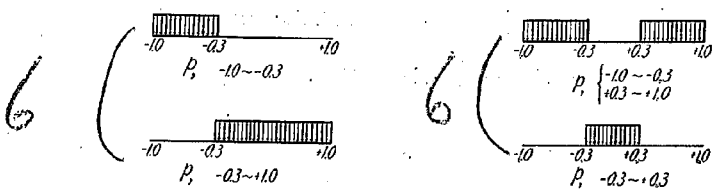
$$I=\frac{I_c\sec\varphi}{1-\beta\xi^2}$$

$$\beta=1-\frac{I_c}{I_s}\sec\varphi_s$$

對稱滿載荷重は次の如き强度に分布し，水平荷重及力率は其の矢の方向を正とする．



等布部分荷重は次の如く分布する．



表の配列

影響線其他の配列は主として先づ

拱軸の係數 $\alpha=1.0,\ 0.9,\ 0.8,\ 0.7,\ 0.6,\ 0.5,\ 0.4,\ 0.3.$

に從つて夫々表を更め（但し α— と記載せるものは α に關係せぬことを示す.）各表は

斷面變化の係數 $\beta=0,\ 0.1,\ 0.2,\ 0.3,\ 0.4,\ 0.5,\ 0.6,\ 0.7,\ 0.75,\ 0.8,\ 0.85,\ 0.9.$

に從つて夫々行を更め，特別の場合の外次の標準に從つて配列してある.

1. **影響線縱距** 表中には夫々係數を示し右端の欄に之に乘すべき項を示す.

2. **對稱滿載荷重** 死荷重又は自重に作用する地震力の影響の算定に用ひる爲，圖の如き對稱なる强度に分布する荷重に對する標記の量を示す.

3. **等布部分荷重** 鉛直荷重の場合に限り，起拱點，1/4 點及拱頂に對し畧々最大正負彎曲率を與へる如き活荷重（相當等布荷重）の配置に於ける標記の量を示す.

尙鉛直竝に水平荷重に對しては，影響線の代表的なものとして $\alpha=0.6$ にして $\beta=0\sim0.9$ の場合及び $\beta=0.6$ にして $\alpha=1.0\sim0.3$ なる場合の影響線圖を附加する. 又最後に對稱滿載荷重，等布部分荷重に對する各種の圖表を一括掲載してある.

圖中 α, β の數値記載なき曲線は，其の上下の曲線に記載せるものよりの順序に從ふ. 但し $\beta=0.75$ 及 0.85 に相當する曲線は描いてない. 又曲線相接近して明瞭を缺く場合には，$\alpha=1.0,\ 0.6,\ 0.3$ $\beta=0,\ (0.3),\ 0.6,\ 0.9$ の曲線のみを示してある.

16×6=96 [illegible]

外 [illegible]

~~628.10~~ [illegible]

$\alpha=1.0$ 第 15 表 鉛直荷重 水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{l}{f}$
	∓0.9	0.0085	0.0082	0.0079	0.0077	0.0073	0.0069	0.0064	0.0057	0.0053	0.0049	0.0043	0.0037	
	∓0.8	0.0304	0.0297	0.0290	0.0282	0.0272	0.0261	0.0248	0.0231	0.0220	0.0208	0.0193	0.0176	
	∓0.7	0.0610	0.0601	0.0591	0.0579	0.0566	0.0550	0.0531	0.0507	0.0492	0.0475	0.0455	0.0431	
	∓0.6	0.0960	0.0951	0.0941	0.0930	0.0917	0.0901	0.0883	0.0859	0.0844	0.0828	0.0808	0.0784	
	∓0.5	0.1318	0.1312	0.1306	0.1298	0.1289	0.1279	0.1266	0.1250	0.1240	0.1229	0.1215	0.1199	
	∓0.4	0.1654	0.1653	0.1651	0.1650	0.1648	0.1646	0.1643	0.1640	0.1638	0.1636	0.1633	0.1630	
	∓0.3	0.1941	0.1945	0.1950	0.1956	0.1962	0.1970	0.1979	0.1991	0.1998	0.2006	0.2016	0.2028	
	∓0.2	0.2160	0.2170	0.2180	0.2192	0.2206	0.2223	0.2243	0.2268	0.2283	0.2301	0.2322	0.2348	
	∓0.1	0.2297	0.2310	0.2325	0.2341	0.2360	0.2383	0.2411	0.2445	0.2467	0.2491	0.2520	0.2555	
	0	0.2344	0.2358	0.2374	0.2392	0.2413	0.2438	0.2468	0.2506	0.2530	0.2557	0.2588	0.2627	
對稱載荷重	$w=w_0$	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	$\frac{w_0 l^2}{f}$
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0536	0.0531	0.0527	0.0521	0.0515	0.0507	0.0498	0.0486	0.0479	0.0471	0.0461	0.0449	$\frac{w_2 l^2}{3f}$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0298	0.0294	0.0289	0.0284	0.0278	0.0272	0.0263	0.0253	0.0246	0.0239	0.0230	0.0219	$\frac{w_4 l^2}{5f}$
等布部分荷重 p	$-1.0\sim-0.3$	0.0294	0.0292	0.0291	0.0289	0.0286	0.0283	0.0280	0.0276	0.0273	0.0270	0.0266	0.0262	$\frac{pl^2}{f}$
	$-0.3\sim+1.0$	0.0956	0.0958	0.0959	0.0961	0.0964	0.0967	0.0970	0.0974	0.0977	0.0980	0.0984	0.0988	
	$\begin{cases}-1.0\sim-0.3\\+0.3\sim+1.0\end{cases}$	0.0588	0.0585	0.0581	0.0577	0.0572	0.0567	0.0560	0.0551	0.0546	0.0540	0.0533	0.0524	
	$-0.3\sim+0.3$	0.0562	0.0565	0.0569	0.0573	0.0578	0.0583	0.0590	0.0599	0.0704	0.0710	0.0717	0.0726	

$\alpha=0.9$ 第 16 表 鉛直荷重 水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{l}{f}$
	∓0.9	0.0038	0.0036	0.0033	0.0030	0.0026	0.0022	0.0017	0.0060	0.0056	0.0051	0.0046	0.0039	
	∓0.8	0.0314	0.0308	0.0301	0.0293	0.0283	0.0272	0.0258	0.0241	0.0231	0.0218	0.0203	0.0186	
	∓0.7	0.0627	0.0618	0.0609	0.0598	0.0584	0.0569	0.0551	0.0527	0.0513	0.0496	0.0476	0.0452	
	∓0.6	0.0982	0.0974	0.0965	0.0954	0.0942	0.0928	0.0910	0.0887	0.0874	0.0858	0.0839	0.0816	
	∓0.5	0.1342	0.1337	0.1332	0.1326	0.1318	0.1309	0.1299	0.1285	0.1276	0.1267	0.1255	0.1241	
	∓0.4	0.1678	0.1678	0.1678	0.1678	0.1678	0.1678	0.1679	0.1679	0.1679	0.1679	0.1679	0.1679	
	∓0.3	0.1964	0.1969	0.1976	0.1983	0.1992	0.2002	0.2015	0.2031	0.2040	0.2052	0.2065	0.2082	
	∓0.2	0.2181	0.2192	0.2204	0.2218	0.2235	0.2254	0.2278	0.2308	0.2326	0.2348	0.2373	0.2404	
	∓0.1	0.2316	0.2331	0.2347	0.2366	0.2388	0.2413	0.2445	0.2485	0.2509	0.2537	0.2571	0.2642	
	0	0.2362	0.2378	0.2396	0.2416	0.2440	0.2468	0.2502	0.2545	0.2572	0.2603	0.2639	0.2684	
對稱載荷重	$w=w_0$	0.1267	0.1268	0.1269	0.1270	0.1272	0.1273	0.1275	0.1277	0.1279	0.1281	0.1283	0.1285	$\frac{w_0 l^2}{f}$
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0547	0.0543	0.0539	0.0534	0.0528	0.0521	0.0512	0.0501	0.0494	0.0487	0.0477	0.0466	$\frac{w_2 l^2}{3f}$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0306	0.0302	0.0298	0.0293	0.0287	0.0280	0.0272	0.0262	0.0256	0.0248	0.0239	0.0229	$\frac{w_4 l^2}{5f}$
等布部分荷重 p	$-1.0\sim-0.3$	0.0300	0.0298	0.0297	0.0295	0.0293	0.0290	0.0287	0.0283	0.0281	0.0278	0.0275	0.0271	$\frac{pl^2}{f}$
	$-0.3\sim+1.0$	0.0968	0.0970	0.0973	0.0976	0.0979	0.0983	0.0988	0.0994	0.0998	0.1002	0.1008	0.1014	
	$\begin{cases}-1.0\sim-0.3\\+0.3\sim+1.0\end{cases}$	0.0599	0.0596	0.0593	0.0590	0.0585	0.0581	0.0575	0.0567	0.0562	0.0557	0.0550	0.0542	
	$-0.3\sim+0.3$	0.0668	0.0672	0.0676	0.0681	0.0686	0.0693	0.0701	0.0711	0.0717	0.0724	0.0733	0.0743	

$\alpha=0.8$ 第 17 表 鉛直荷重 水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{l}{f}$
	∓0.9	0.0092	0.0089	0.0087	0.0084	0.0080	0.0076	0.0070	0.0064	0.0060	0.0055	0.0049	0.0042	
	∓0.8	0.0325	0.0319	0.0312	0.0304	0.0294	0.0283	0.0270	0.0252	0.0242	0.0229	0.0215	0.0196	
	∓0.7	0.0644	0.0636	0.0626	0.0616	0.0603	0.0589	0.0571	0.0548	0.0534	0.0517	0.0498	0.0473	
	∓0.6	0.1003	0.0996	0.0988	0.0978	0.0967	0.0954	0.0937	0.0917	0.0904	0.0889	0.0872	0.0850	
	∓0.5	0.1365	0.1362	0.1357	0.1352	0.1346	0.1339	0.1331	0.1320	0.1313	0.1306	0.1296	0.1285	
	∓0.4	0.1700	0.1702	0.1703	0.1705	0.1707	0.1710	0.1713	0.1717	0.1719	0.1722	0.1726	0.1729	
	∓0.3	0.1984	0.1991	0.1999	0.2009	0.2020	0.2038	0.2049	0.2069	0.2082	0.2097	0.2114	0.2135	
	∓0.2	0.2199	0.2211	0.2225	0.2242	0.2260	0.2283	0.2311	0.2345	0.2367	0.2392	0.2422	0.2459	
	∓0.1	0.2332	0.2349	0.2367	0.2388	0.2412	0.2441	0.2476	0.2521	0.2549	0.2581	0.2620	0.2667	
	0	0.2378	0.2395	0.2415	0.2437	0.2464	0.2495	0.2533	0.2581	0.2611	0.2646	0.2688	0.2738	
對稱載荷重	$w=w_0$	0.1283	0.1285	0.1287	0.1289	0.1292	0.1296	0.1299	0.1304	0.1308	0.1311	0.1315	0.1321	$\frac{w_0 l^2}{f}$
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0559	0.0555	0.0551	0.0546	0.0541	0.0534	0.0526	0.0516	0.0510	0.0503	0.0494	0.0484	$\frac{w_2 l^2}{3f}$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0313	0.0310	0.0306	0.0301	0.0296	0.0289	0.0281	0.0271	0.0265	0.0258	0.0250	0.0239	$\frac{w_4 l^2}{5f}$
等布部分荷重 p	$-1.0\sim-0.3$	0.0305	0.0304	0.0302	0.0301	0.0299	0.0297	0.0295	0.0291	0.0289	0.0287	0.0284	0.0281	$\frac{pl^2}{f}$
	$-0.3\sim+1.0$	0.0978	0.0981	0.0985	0.0989	0.0993	0.0998	0.1005	0.1013	0.1018	0.1024	0.1031	0.1040	
	$\begin{cases}-1.0\sim-0.3\\+0.3\sim+1.0\end{cases}$	0.0610	0.0608	0.0605	0.0602	0.0598	0.0594	0.0589	0.0582	0.0579	0.0574	0.0568	0.0561	
	$-0.3\sim+0.3$	0.0673	0.0678	0.0682	0.0688	0.0694	0.0701	0.0710	0.0722	0.0729	0.0737	0.0747	0.0759	

$\alpha=0.7$　　第 18 表　　鉛直荷重　水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{l}{f}$
	∓0.9	0.0095	0.0093	0.0090	0.0087	0.0083	0.0079	0.0074	0.0067	0.0063	0.0058	0.0052	0.0044	
	∓0.8	0.0335	0.0329	0.0322	0.0315	0.0305	0.0294	0.0281	0.0264	0.0253	0.0241	0.0226	0.0208	
	∓0.7	0.0660	0.0653	0.0644	0.0634	0.0622	0.0608	0.0591	0.0569	0.0555	0.0539	0.0520	0.0496	
	∓0.6	0.1024	0.1017	0.1010	0.1001	0.0991	0.0979	0.0963	0.0946	0.0935	0.0921	0.0903	0.0885	
	∓0.5	0.1387	0.1384	0.1381	0.1378	0.1373	0.1369	0.1363	0.1355	0.1350	0.1344	0.1338	0.1329	
	∓0.4	0.1720	0.1723	0.1727	0.1730	0.1734	0.1739	0.1746	0.1754	0.1759	0.1764	0.1771	0.1780	
	∓0.3	0.2001	0.2010	0.2021	0.2032	0.2045	0.2061	0.2081	0.2105	0.2121	0.2139	0.2161	0.2183	
	∓0.2	0.2213	0.2228	0.2244	0.2262	0.2283	0.2309	0.2340	0.2380	0.2405	0.2434	0.2469	0.2512	
	∓0.1	0.2345	0.2363	0.2383	0.2406	0.2433	0.2465	0.2504	0.2554	0.2585	0.2622	0.2665	0.2719	
	0	0.2389	0.2409	0.2430	0.2455	0.2484	0.2518	0.2560	0.2614	0.2647	0.2686	0.2733	0.2791	
對稱荷重	$w=w_0$	0.1298	0.1301	0.1304	0.1307	0.1311	0.1316	0.1323	0.1330	0.1335	0.1341	0.1347	0.1356	$\frac{w_0l^2}{f}$
	$w=\lambda^2w_2$	0.0569	0.0566	0.0563	0.0559	0.0554	0.0548	0.0541	0.0532	0.0526	0.0519	0.0512	0.0502	$\frac{w_2l^2}{3f}$
載荷重	$w=\lambda^4w_4$	0.0321	0.0318	0.0314	0.0310	0.0304	0.0298	0.0291	0.0281	0.0275	0.0268	0.0260	0.0249	$\frac{w_4l^2}{5f}$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3	0.0310	0.0309	0.0308	0.0307	0.0305	0.0304	0.0302	0.0299	0.0297	0.0295	0.0293	0.0290	
	−0.3～+1.0	0.0988	0.0991	0.0996	0.1000	0.1006	0.1013	0.1021	0.1031	0.1038	0.1045	0.1054	0.1065	$\frac{pl^2}{f}$
	(−1.0～−0.3)(+0.3～+1.0)	0.0620	0.0618	0.0616	0.0614	0.0611	0.0608	0.0603	0.0598	0.0595	0.0591	0.0586	0.0581	
	−0.3～+0.3	0.0677	0.0682	0.0688	0.0693	0.0701	0.0709	0.0719	0.0732	0.0740	0.0750	0.0761	0.0775	

$\alpha=0.6$　　第 19 表　　鉛直荷重　水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{l}{f}$
	∓0.9	0.0099	0.0096	0.0094	0.0090	0.0087	0.0083	0.0076	0.0070	0.0066	0.0061	0.0055	0.0047	
	∓0.8	0.0345	0.0339	0.0333	0.0325	0.0316	0.0306	0.0293	0.0276	0.0265	0.0253	0.0238	0.0219	
	∓0.7	0.0677	0.0669	0.0661	0.0652	0.0641	0.0628	0.0611	0.0590	0.0577	0.0562	0.0543	0.0520	
	∓0.6	0.1043	0.1038	0.1031	0.1024	0.1015	0.1005	0.0992	0.0976	0.0965	0.0953	0.0939	0.0921	
	∓0.5	0.1407	0.1406	0.1404	0.1402	0.1400	0.1397	0.1393	0.1389	0.1386	0.1383	0.1379	0.1374	
	∓0.4	0.1739	0.1743	0.1748	0.1753	0.1760	0.1767	0.1777	0.1789	0.1797	0.1806	0.1816	0.1830	
	∓0.3	0.2016	0.2027	0.2038	0.2052	0.2069	0.2087	0.2110	0.2140	0.2158	0.2180	0.2207	0.2239	
	∓0.2	0.2225	0.2241	0.2258	0.2279	0.2303	0.2331	0.2366	0.2412	0.2440	0.2473	0.2513	0.2562	
	∓0.1	0.2354	0.2373	0.2395	0.2420	0.2449	0.2485	0.2528	0.2583	0.2618	0.2658	0.2707	0.2768	
	0	0.2397	0.2418	0.2441	0.2468	0.2499	0.2537	0.2583	0.2642	0.2679	0.2722	0.2774	0.2839	
對稱荷重	$w=w_0$	0.1310	0.1314	0.1318	0.1323	0.1329	0.1336	0.1344	0.1355	0.1361	0.1369	0.1378	0.1390	$\frac{w_0l^2}{f}$
	$w=\lambda^2w_2$	0.0580	0.0577	0.0574	0.0570	0.0566	0.0561	0.0555	0.0547	0.0542	0.0536	0.0529	0.0520	$\frac{w_2l^2}{3f}$
載荷重	$w=\lambda^4w_4$	0.0329	0.0325	0.0322	0.0318	0.0313	0.0307	0.0300	0.0291	0.0285	0.0279	0.0270	0.0260	$\frac{w_4l^2}{5f}$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3	0.0315	0.0314	0.0313	0.0313	0.0311	0.0310	0.0309	0.0307	0.0305	0.0304	0.0302	0.0300	
	−0.3～+1.0	0.0996	0.1000	0.1005	0.1011	0.1017	0.1025	0.1035	0.1048	0.1056	0.1065	0.1076	0.1090	$\frac{pl^2}{f}$
	(−1.0～−0.3)(+0.3～+1.0)	0.0630	0.0628	0.0627	0.0625	0.0623	0.0621	0.0617	0.0613	0.0611	0.0608	0.0604	0.0600	
	−0.3～+0.3	0.0681	0.0686	0.0691	0.0698	0.0706	0.0715	0.0727	0.0741	0.0750	0.0761	0.0774	0.0790	

$\alpha=0.5$　　第 20 表　　鉛直荷重　水平反力 X_1

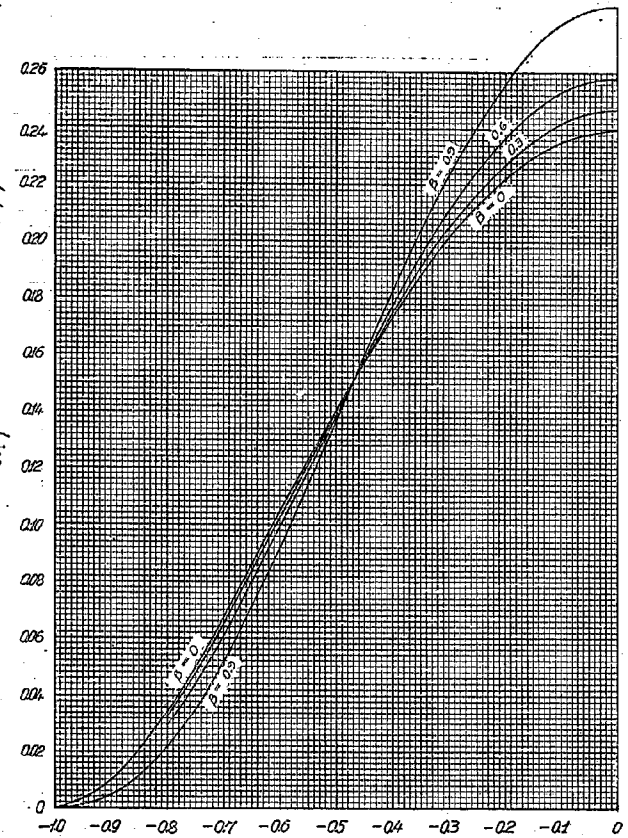
	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{l}{f}$
	∓0.9	0.0102	0.0100	0.0097	0.0094	0.0091	0.0086	0.0081	0.0074	0.0070	0.0065	0.0059	0.0051	
	∓0.8	0.0356	0.0350	0.0343	0.0336	0.0328	0.0317	0.0304	0.0288	0.0278	0.0265	0.0251	0.0232	
	∓0.7	0.0693	0.0686	0.0678	0.0669	0.0659	0.0647	0.0631	0.0612	0.0600	0.0585	0.0567	0.0545	
	∓0.6	0.1062	0.1057	0.1052	0.1046	0.1038	0.1029	0.1019	0.1005	0.0996	0.0986	0.0973	0.0957	
	∓0.5	0.1426	0.1425	0.1425	0.1425	0.1424	0.1423	0.1423	0.1422	0.1422	0.1421	0.1420	0.1419	
	∓0.4	0.1754	0.1760	0.1767	0.1774	0.1783	0.1793	0.1806	0.1822	0.1833	0.1845	0.1860	0.1878	
	∓0.3	0.2028	0.2040	0.2054	0.2069	0.2087	0.2109	0.2136	0.2170	0.2192	0.2218	0.2249	0.2288	
	∓0.2	0.2232	0.2250	0.2269	0.2292	0.2318	0.2349	0.2388	0.2439	0.2470	0.2507	0.2552	0.2609	
	∓0.1	0.2358	0.2379	0.2403	0.2430	0.2462	0.2500	0.2547	0.2607	0.2645	0.2690	0.2745	0.2812	
	0	0.2401	0.2423	0.2448	0.2477	0.2510	0.2551	0.2601	0.2665	0.2705	0.2753	0.2810	0.2882	
對稱荷重	$w=w_0$	0.1321	0.1326	0.1331	0.1337	0.1344	0.1353	0.1364	0.1379	0.1385	0.1396	0.1403	0.1423	$\frac{w_0l^2}{f}$
	$w=\lambda^2w_2$	0.0590	0.0587	0.0584	0.0581	0.0578	0.0574	0.0568	0.0562	0.0557	0.0552	0.0546	0.0538	$\frac{w_2l^2}{3f}$
載荷重	$w=\lambda^4w_4$	0.0336	0.0333	0.0329	0.0326	0.0321	0.0316	0.0309	0.0300	0.0295	0.0289	0.0281	0.0271	$\frac{w_4l^2}{5f}$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3	0.0319	0.0319	0.0318	0.0318	0.0317	0.0316	0.0315	0.0315	0.0313	0.0312	0.0311	0.0310	
	−0.3～+1.0	0.1002	0.1007	0.1013	0.1019	0.1027	0.1037	0.1048	0.1064	0.1072	0.1083	0.1097	0.1114	$\frac{pl^2}{f}$
	(−1.0～−0.3)(+0.3～+1.0)	0.0639	0.0638	0.0637	0.0636	0.0634	0.0633	0.0631	0.0630	0.0626	0.0625	0.0622	0.0620	
	−0.3～+0.3	0.0683	0.0688	0.0695	0.0702	0.0710	0.0720	0.0733	0.0749	0.0759	0.0771	0.0785	0.0804	

$\alpha=0.4$ 第 21 表 鉛直荷重 水平反力 X_1

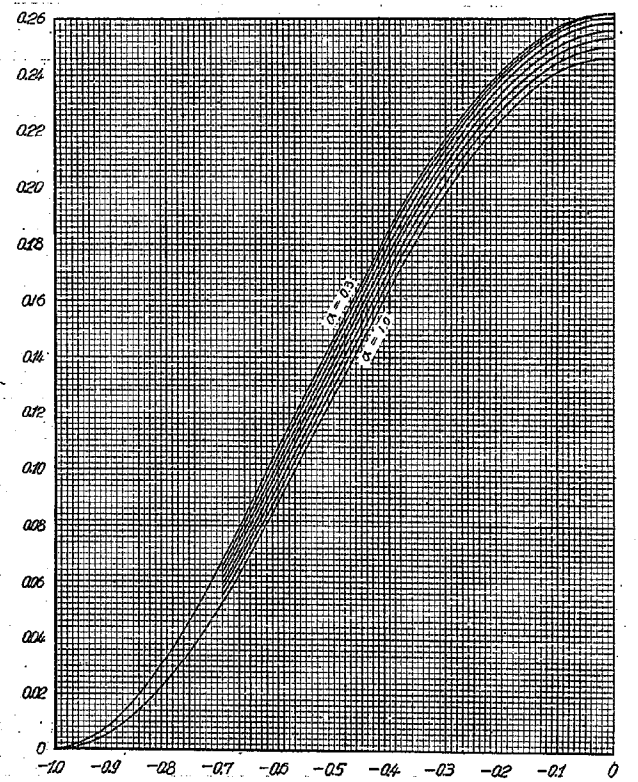
	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{l}{f}$
	∓0.9	0.0106	0.0104	0.0101	0.0098	0.0094	0.0090	0.0085	0.0078	0.0074	0.0068	0.0062	0.0054	
	∓0.8	0.0365	0.0360	0.0354	0.0347	0.0338	0.0328	0.0316	0.0300	0.0290	0.0278	0.0263	0.0245	
	∓0.7	0.0708	0.0702	0.0695	0.0686	0.0677	0.0666	0.0652	0.0633	0.0622	0.0608	0.0592	0.0571	
	∓0.6	0.1080	0.1076	0.1071	0.1066	0.1060	0.1053	0.1045	0.1033	0.1026	0.1018	0.1007	0.0995	
	∓0.5	0.1442	0.1443	0.1444	0.1445	0.1447	0.1448	0.1451	0.1454	0.1456	0.1458	0.1461	0.1464	
	∓0.4	0.1767	0.1774	0.1782	0.1792	0.1803	0.1815	0.1832	0.1853	0.1866	0.1882	0.1901	0.1926	
	∓0.3	0.2036	0.2050	0.2065	0.2082	0.2103	0.2127	0.2158	0.2197	0.2222	0.2252	0.2288	0.2333	
	∓0.2	0.2236	0.2255	0.2276	0.2300	0.2329	0.2363	0.2406	0.2461	0.2496	0.2537	0.2587	0.2650	
	∓0.1	0.2358	0.2381	0.2406	0.2435	0.2469	0.2509	0.2560	0.2626	0.2667	0.2716	0.2775	0.2851	
	0	0.2400	0.2423	0.2450	0.2481	0.2516	0.2559	0.2613	0.2682	0.2725	0.2777	0.2840	0.2919	
對稱荷重	$w=w_0$	0.1330	0.1325	0.1342	0.1349	0.1358	0.1368	0.1381	0.1398	0.1408	0.1420	0.1436	0.1455	$\frac{w_0 l^2}{f}$
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0599	0.0597	0.0594	0.0592	0.0589	0.0586	0.0581	0.0576	0.0573	0.0568	0.0563	0.0557	$\frac{w_2 l^2}{3f}$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0343	0.0340	0.0337	0.0333	0.0329	0.0324	0.0318	0.0310	0.0305	0.0299	0.0292	0.0283	$\frac{w_4 l^2}{5f}$
等布部分荷重	−1.0～−0.3	0.0323	0.0323	0.0323	0.0323	0.0322	0.0322	0.0322	0.0321	0.0321	0.0320	0.0320	0.0319	$\frac{pl^2}{f}$
	−0.3～+1.0	0.1057	0.1012	0.1019	0.1027	0.1035	0.1046	0.1059	0.1076	0.1087	0.1100	0.1116	0.1135	
	(−1.0～−0.3)(+0.3～+1.0)	0.0647	0.0645	0.0646	0.0645	0.0645	0.0644	0.0643	0.0642	0.0642	0.0641	0.0640	0.0639	
	−0.3～+0.3	0.0683	0.0689	0.0696	0.0704	0.0713	0.0724	0.0738	0.0755	0.0766	0.0780	0.0796	0.0816	

$\alpha=0.3$ 第 22 表 鉛直荷重 水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{l}{f}$
	∓0.9	0.0109	0.0107	0.0104	0.0101	0.0098	0.0093	0.0088	0.0081	0.0077	0.0072	0.0065	0.0057	
	∓0.8	0.0375	0.0370	0.0364	0.0357	0.0349	0.0340	0.0328	0.0312	0.0302	0.0290	0.0276	0.0258	
	∓0.7	0.0722	0.0717	0.0710	0.0703	0.0694	0.0684	0.0671	0.0655	0.0644	0.0632	0.0616	0.0597	
	∓0.6	0.1096	0.1093	0.1089	0.1086	0.1081	0.1076	0.1070	0.1061	0.1056	0.1049	0.1042	0.1032	
	∓0.5	0.1456	0.1458	0.1461	0.1464	0.1467	0.1471	0.1476	0.1483	0.1488	0.1493	0.1499	0.1507	
	∓0.4	0.1777	0.1786	0.1795	0.1806	0.1819	0.1835	0.1855	0.1880	0.1897	0.1916	0.1940	0.1970	
	∓0.3	0.2041	0.2055	0.2072	0.2091	0.2114	0.2141	0.2175	0.2220	0.2248	0.2281	0.2322	0.2374	
	∓0.2	0.2235	0.2255	0.2278	0.2304	0.2334	0.2371	0.2417	0.2477	0.2515	0.2560	0.2616	0.2685	
	∓0.1	0.2354	0.2378	0.2404	0.2435	0.2470	0.2514	0.2567	0.2637	0.2682	0.2734	0.2799	0.2881	
	0	0.2394	0.2419	0.2447	0.2479	0.2516	0.2562	0.2618	0.2692	0.2738	0.2793	0.2862	0.2948	
對稱荷重	$w=w_0$	0.1336	0.1343	0.1350	0.1359	0.1369	0.1381	0.1396	0.1415	0.1428	0.1442	0.1461	0.1484	$\frac{w_0 l^2}{f}$
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0607	0.0605	0.0604	0.0602	0.0600	0.0597	0.0594	0.0589	0.0587	0.0584	0.0580	0.0575	$\frac{w_2 l^2}{3f}$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0349	0.0347	0.0344	0.0341	0.0337	0.0332	0.0327	0.0320	0.0315	0.0309	0.0303	0.0294	$\frac{w_4 l^2}{5f}$
等布部分荷重	−1.0～−0.3	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0328	0.0328	0.0328	0.0328	0.0329	0.0329	$\frac{pl^2}{f}$
	−0.3～+1.0	0.1009	0.1016	0.1023	0.1032	0.1041	0.1053	0.1068	0.1087	0.1100	0.1114	0.1132	0.1155	
	(−1.0～−0.3)(+0.3～+1.0)	0.0654	0.0654	0.0654	0.0654	0.0654	0.0655	0.0655	0.0656	0.0656	0.0657	0.0657	0.0658	
	−0.3～+3.0	0.0683	0.0689	0.0696	0.0705	0.0714	0.0726	0.0741	0.0760	0.0772	0.0786	0.0804	0.0826	



第 11 圖　鉛直荷重　水平反力影響線 $X_1=H$
($\alpha=0.6$　$\beta=0,\ 0.3,\ 06.,\ 0.9$)



第 12 圖　鉛直荷重　水平反力影響線 $X_1=H$
($\beta=0.6$　$\alpha=1.0,\ 0.9,\ 0.8,\ 0.7,\ 0.6,\ 0.5,\ 0.4,\ 0.3$)

第 23 表　鉛直荷重　鉛直反力 X_2

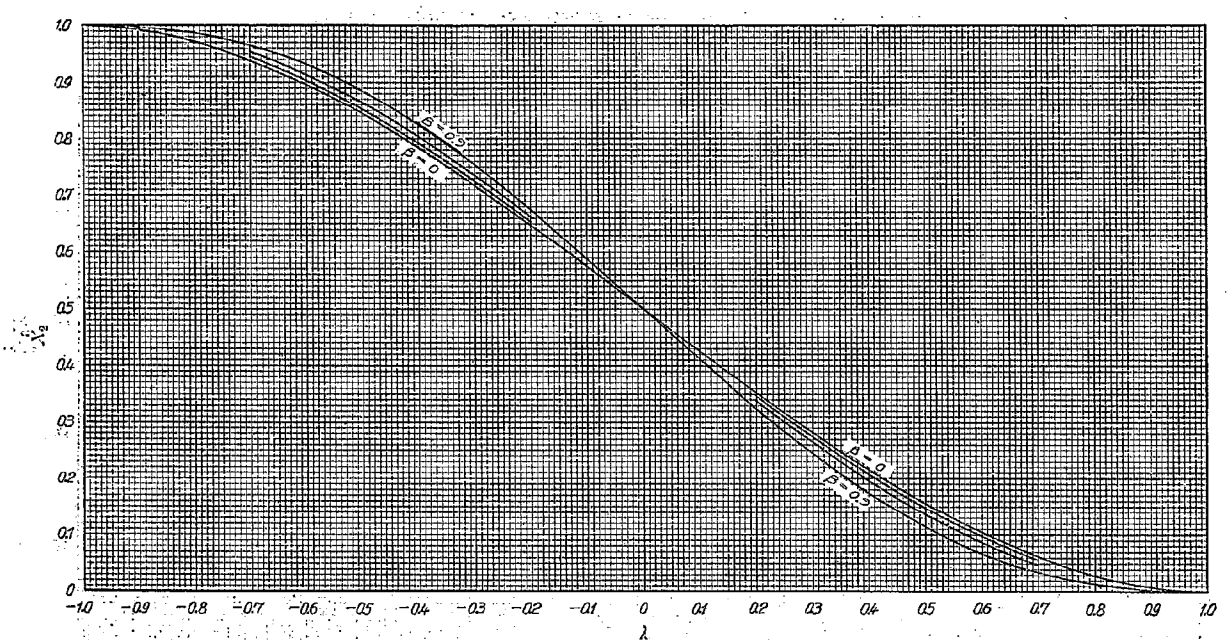
	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線	−1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
	−0.9	0.9928	0.9920	0.9933	0.9936	0.9940	0.9945	0.9950	0.9957	0.9961	0.9965	0.9970	0.9975	
	−0.8	0.9720	0.9728	0.9738	0.9745	0.9761	0.9776	0.9793	0.9814	0.9826	0.9840	0.9855	0.9872	
	−0.7	0.9393	0.9407	0.9424	0.9443	0.9464	0.9450	0.9521	0.9557	0.9579	0.9603	0.9629	0.9660	
	−0.6	0.8960	0.8980	0.9002	0.9027	0.9057	0.9092	0.9133	0.9183	0.9211	0.9244	0.9280	0.9321	
縦	−0.5	0.8438	0.8460	0.8486	0.8515	0.8549	0.8588	0.8635	0.8692	0.8725	0.8762	0.8803	0.8850	
	−0.4	0.7840	0.7863	0.7888	0.7918	0.7951	0.7991	0.8036	0.8096	0.8129	0.8166	0.8207	0.8254	
	−0.3	0.7183	0.7202	0.7225	0.7251	0.7281	0.7316	0.7357	0.7407	0.7437	0.7469	0.7506	0.7547	
	−0.2	0.6480	0.6495	0.6512	0.6531	0.6553	0.6579	0.6610	0.6647	0.6668	0.6693	0.6720	0.6751	
線	−0.1	0.5748	0.5755	0.5764	0.5774	0.5786	0.5800	0.5816	0.5836	0.5848	0.5861	0.5875	0.5891	
	0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	
	0.1	0.4253	0.4245	0.4236	0.4225	0.4214	0.4200	0.4184	0.4164	0.4152	0.4139	0.4125	0.4109	
	0.2	0.3520	0.3505	0.3489	0.3469	0.3447	0.3421	0.3390	0.3353	0.3332	0.3307	0.3280	0.3250	
	0.3	0.2818	0.2798	0.2775	0.2749	0.2719	0.2684	0.2643	0.2593	0.2563	0.2531	0.2494	0.2453	
距	0.4	0.2160	0.2138	0.2112	0.2083	0.2049	0.2009	0.1962	0.1905	0.1871	0.1834	0.1793	0.1746	
	0.5	0.1563	0.1540	0.1515	0.1485	0.1452	0.1412	0.1365	0.1308	0.1275	0.1238	0.1197	0.1150	
	0.6	0.1040	0.1020	0.0998	0.0973	0.0943	0.0908	0.0867	0.0818	0.0789	0.0757	0.0720	0.0679	
	0.7	0.0608	0.0593	0.0576	0.0558	0.0536	0.0510	0.0479	0.0443	0.0421	0.0397	0.0371	0.0340	
	0.8	0.0280	0.0272	0.0262	0.0252	0.0239	0.0225	0.0207	0.0186	0.0174	0.0160	0.0145	0.0128	
	0.9	0.0073	0.0070	0.0067	0.0064	0.0060	0.0055	0.0050	0.0043	0.0039	0.0035	0.0030	0.0025	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

對稱讀載荷重　$w=\lambda^n w_n$　　$X_2=\frac{1}{2(n+1)}w_n l$

等布部分荷重 p	−1.0～−0.3	0.3145	0.3151	0.3157	0.3164	0.3171	0.3180	0.3190	0.3203	0.3210	0.3219	0.3228	0.3238	pl
	−0.3～+1.0	0.1854	0.1849	0.1843	0.1837	0.1829	0.1820	0.1810	0.1797	0.1790	0.1781	0.1772	0.1762	
	−1.0～−0.3 / +0.3～+1.0	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500	0.3500	
	−0.3～+0.3	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	

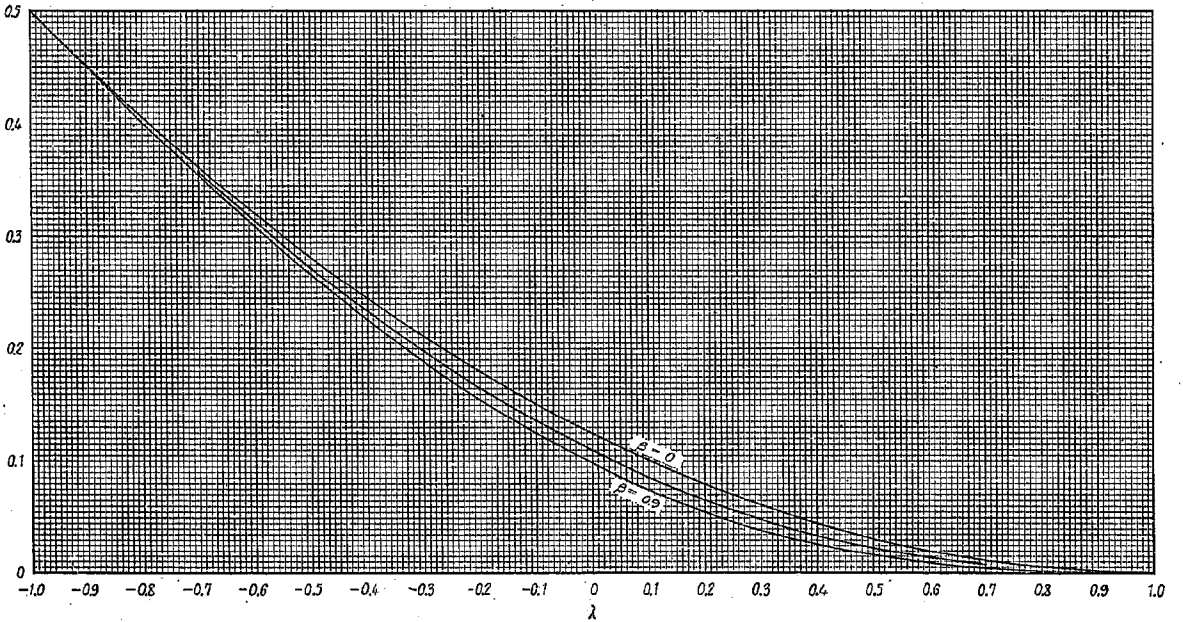
第 24 表　鉛直荷重　X_3

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線	−1.0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	
	−0.9	0.4513	0.4512	0.4511	0.4510	0.4509	0.4508	0.4507	0.4506	0.4505	0.4504	0.4504	0.4503	
	−0.8	0.4050	0.4047	0.4044	0.4041	0.4038	0.4034	0.4030	0.4025	0.4023	0.4021	0.4018	0.4015	
	−0.7	0.3613	0.3607	0.3601	0.3595	0.3587	0.3580	0.3572	0.3563	0.3558	0.3553	0.3548	0.3543	
	−0.6	0.3200	0.3191	0.3182	0.3172	0.3161	0.3149	0.3136	0.3122	0.3115	0.3107	0.3099	0.3090	
縦	−0.5	0.2813	0.2800	0.2787	0.2774	0.2758	0.2742	0.2725	0.2706	0.2695	0.2685	0.2674	0.2662	
	−0.4	0.2450	0.2435	0.2419	0.2401	0.2382	0.2362	0.2340	0.2316	0.2303	0.2290	0.2276	0.2261	
	−0.3	0.2113	0.2095	0.2076	0.2055	0.2033	0.2009	0.1983	0.1955	0.1940	0.1924	0.1908	0.1891	
	−0.2	0.1800	0.1780	0.1759	0.1736	0.1711	0.1685	0.1656	0.1625	0.1608	0.1591	0.1572	0.1553	
線	−0.1	0.1513	0.1491	0.1469	0.1445	0.1418	0.1390	0.1359	0.1326	0.1308	0.1290	0.1270	0.1250	l
	0	0.1250	0.1228	0.1205	0.1181	0.1154	0.1125	0.1094	0.1060	0.1042	0.1023	0.1003	0.0982	
	0.1	0.1013	0.0991	0.0969	0.0945	0.0918	0.0890	0.0859	0.0826	0.0808	0.0790	0.0770	0.0750	
	0.2	0.0800	0.0780	0.0759	0.0736	0.0711	0.0685	0.0656	0.0625	0.0608	0.0591	0.0572	0.0553	
	0.3	0.0613	0.0595	0.0576	0.0555	0.0533	0.0509	0.0483	0.0455	0.0440	0.0424	0.0408	0.0391	
距	0.4	0.0450	0.0435	0.0419	0.0401	0.0382	0.0362	0.0340	0.0316	0.0303	0.0290	0.0276	0.0261	
	0.5	0.0313	0.0300	0.0287	0.0274	0.0258	0.0242	0.0225	0.0206	0.0195	0.0185	0.0174	0.0162	
	0.6	0.0200	0.0191	0.0182	0.0172	0.0161	0.0149	0.0136	0.0122	0.0115	0.0107	0.0099	0.0090	
	0.7	0.0113	0.0107	0.0101	0.0095	0.0087	0.0080	0.0072	0.0063	0.0058	0.0053	0.0048	0.0043	
	0.8	0.0050	0.0047	0.0044	0.0041	0.0038	0.0034	0.0030	0.0025	0.0023	0.0021	0.0018	0.0015	
	0.9	0.0013	0.0012	0.0011	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0006	0.0005	0.0004	0.0004	0.0003	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱讀載荷重	$w=w_0$	0.1667	0.1655	0.1643	0.1630	0.1615	0.1600	0.1583	0.1565	0.1556	0.1545	0.1535	0.1524	$w_0 l^2$
	$w=\lambda^2 w_2$	0.2000	0.1995	0.1990	0.1984	0.1978	0.1971	0.1964	0.1957	0.1952	0.1948	0.1944	0.1939	$\frac{1}{5}w_2 l^2$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.2143	0.2140	0.2137	0.2134	0.2131	0.2127	0.2123	0.2119	0.2117	0.2114	0.2112	0.2109	$\frac{3}{35}w_4 l^2$



第 13 圖　鉛直荷重　鉛直反力影響線 $X_2=A$　(a に關係せず $\beta=0,\ 0.3,\ 0.6,\ 0.9$)

34X1(25)221



第 14 圖　鉛直荷重　不靜定力率影響線 X_3　(α に關係せず $\beta=0,\ 0.6,\ 0.9$)

$\alpha=1.0$ 第 25 表 鉛直荷重 起拱點彎曲率 M_A

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縱距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	−0.0395	−0.0398	−0.0401	−0.0405	−0.0410	−0.0415	−0.0422	−0.0430	−0.0435	−0.0441	−0.0448	−0.0456	
	−0.8	−0.0608	−0.0616	−0.0626	−0.0637	−0.0650	−0.0666	−0.0685	−0.0709	−0.0724	−0.0741	−0.0760	−0.0784	
	−0.7	−0.0678	−0.0691	−0.0706	−0.0724	−0.0744	−0.0769	−0.0799	−0.0837	−0.0859	−0.0885	−0.0915	−0.0951	
	−0.6	−0.0640	−0.0656	−0.0674	−0.0695	−0.0719	−0.0748	−0.0783	−0.0827	−0.0853	−0.0883	−0.0918	−0.0958	
	−0.5	−0.0527	−0.0543	−0.0560	−0.0580	−0.0604	−0.0631	−0.0665	−0.0706	−0.0730	−0.0758	−0.0790	−0.0827	
	−0.4	−0.0368	−0.0380	−0.0393	−0.0409	−0.0428	−0.0449	−0.0474	−0.0506	−0.0524	−0.0544	−0.0567	−0.0593	
	−0.3	−0.0185	−0.0192	−0.0200	−0.0209	−0.0219	−0.0231	−0.0244	−0.0260	−0.0269	−0.0278	−0.0289	−0.0300	
	−0.2	−0.0000	−0.0001	−0.0002	−0.0003	−0.0004	−0.0004	−0.0004	−0.0003	−0.0001	0.0002	0.0005	0.0011	
	−0.1	0.0170	0.0175	0.0181	0.0187	0.0195	0.0206	0.0219	0.0237	0.0248	0.0262	0.0279	0.0300	
	0	0.0313	0.0322	0.0333	0.0346	0.0361	0.0380	0.0404	0.0434	0.0453	0.0475	0.0501	0.0534	l
	0.1	0.0418	0.0430	0.0445	0.0462	0.0482	0.0506	0.0535	0.0573	0.0596	0.0622	0.0654	0.0691	
	0.2	0.0480	0.0494	0.0509	0.0528	0.0549	0.0574	0.0605	0.0614	0.0668	0.0694	0.0725	0.0762	
	0.3	0.0498	0.0510	0.0525	0.0542	0.0561	0.0585	0.0613	0.0647	0.0668	0.0691	0.0717	0.0748	
	0.4	0.0473	0.0483	0.0495	0.0508	0.0524	0.0542	0.0564	0.0590	0.0605	0.0622	0.0640	0.0661	
	0.5	0.0410	0.0417	0.0425	0.0435	0.0445	0.0457	0.0471	0.0486	0.0495	0.0504	0.0513	0.0523	
	0.6	0.0320	0.0324	0.0328	0.0333	0.0338	0.0344	0.0350	0.0356	0.0358	0.0361	0.0362	0.0363	
	0.7	0.0215	0.0216	0.0218	0.0219	0.0220	0.0221	0.0222	0.0221	0.0220	0.0217	0.0214	0.0209	
	0.8	0.0113	0.0112	0.0112	0.0112	0.0111	0.0110	0.0108	0.0105	0.0102	0.0099	0.0095	0.0089	
	0.9	0.0033	0.0032	0.0032	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0027	0.0026	0.0024	0.0022	0.0019	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱滿載荷重	$w=w_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	w_0l^2
	$w=\lambda^2w_2$	−0.0143	−0.0146	−0.0149	−0.0153	−0.0158	−0.0164	−0.0171	−0.0180	−0.0186	−0.0192	−0.0201	−0.0210	$\frac{1}{3}w_2l^2$
	$w=\lambda^4w_4$	−0.0159	−0.0162	−0.0165	−0.0168	−0.0172	−0.0178	−0.0184	−0.0193	−0.0198	−0.0204	−0.0211	−0.0220	$\frac{1}{5}w_4l^2$
等布部分荷重 p	−1.0〜−0.3	−0.0168	−0.0172	−0.0176	−0.0181	−0.0186	−0.0193	−0.0201	−0.0210	−0.0216	−0.0223	−0.0231	−0.0239	pl^2
	−0.3〜+1.0	0.0168	0.0172	0.0176	0.0181	0.0186	0.0193	0.0201	0.0210	0.0216	0.0223	0.0231	0.0239	

$\alpha=0.9$ 第 26 表 鉛直荷重 起拱點彎曲率 M_A

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縱距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	−0.0391	−0.0394	−0.0398	−0.0401	−0.0406	−0.0412	−0.0419	−0.0427	−0.0432	−0.0438	−0.0446	−0.0454	
	−0.8	−0.0596	−0.0605	−0.0614	−0.0625	−0.0639	−0.0655	−0.0674	−0.0698	−0.0713	−0.0730	−0.0750	−0.0774	
	−0.7	−0.0658	−0.0671	−0.0686	−0.0703	−0.0724	−0.0748	−0.0778	−0.0815	−0.0838	−0.0864	−0.0894	−0.0929	
	−0.6	−0.0612	−0.0628	−0.0645	−0.0665	−0.0689	−0.0718	−0.0752	−0.0795	−0.0820	−0.0850	−0.0884	−0.0923	
	−0.5	−0.0494	−0.0508	−0.0525	−0.0544	−0.0566	−0.0593	−0.0625	−0.0664	−0.0687	−0.0714	−0.0744	−0.0779	
	−0.4	−0.0329	−0.0340	−0.0353	−0.0368	−0.0385	−0.0404	−0.0428	−0.0455	−0.0473	−0.0491	−0.0512	−0.0535	
	−0.3	−0.0144	−0.0150	−0.0156	−0.0164	−0.0172	−0.0182	−0.0193	−0.0205	−0.0212	−0.0219	−0.0226	−0.0233	
	−0.2	0.0043	0.0043	0.0043	0.0044	0.0045	0.0047	0.0050	0.0055	0.0059	0.0065	0.0072	0.0083	
	−0.1	0.0214	0.0220	0.0227	0.0235	0.0245	0.0258	0.0274	0.0296	0.0310	0.0327	0.0348	0.0398	
	0	0.0356	0.0367	0.0380	0.0394	0.0412	0.0433	0.0460	0.0494	0.0516	0.0541	0.0572	0.0609	l
	0.1	0.0461	0.0475	0.0491	0.0510	0.0531	0.0558	0.0591	0.0632	0.0658	0.0688	0.0723	0.0790	
	0.2	0.0523	0.0538	0.0555	0.0575	0.0598	0.0625	0.0659	0.0702	0.0728	0.0758	0.0792	0.0834	
	0.3	0.0539	0.0553	0.0569	0.0587	0.0608	0.0634	0.0664	0.0702	0.0725	0.0750	0.0780	0.0814	
	0.4	0.0511	0.0522	0.0535	0.0550	0.0567	0.0587	0.0611	0.0639	0.0656	0.0675	0.0695	0.0719	
	0.5	0.0444	0.0452	0.0461	0.0471	0.0482	0.0496	0.0511	0.0528	0.0538	0.0548	0.0559	0.0571	
	0.6	0.0348	0.0352	0.0357	0.0362	0.0368	0.0374	0.0381	0.0388	0.0391	0.0394	0.0396	0.0398	
	0.7	0.0235	0.0236	0.0238	0.0240	0.0241	0.0242	0.0243	0.0242	0.0241	0.0239	0.0236	0.0231	
	0.8	0.0124	0.0124	0.0123	0.0123	0.0122	0.0121	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110	0.0105	0.0099	
	0.9	0.0036	0.0036	0.0036	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0030	0.0028	0.0027	0.0024	0.0021	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱滿載荷重	$w=w_0$	0.0029	0.0029	0.0030	0.0031	0.0032	0.0033	0.0034	0.0036	0.0037	0.0039	0.0040	0.0043	w_0l^2
	$w=\lambda^2w_2$	−0.0128	−0.0131	−0.0134	−0.0137	−0.0142	−0.0147	−0.0154	−0.0163	−0.0168	−0.0175	−0.0182	−0.0192	$\frac{1}{3}w_2l^2$
	$w=\lambda^4w_4$	−0.0149	−0.0152	−0.0155	−0.0158	0.0163	−0.0168	−0.0174	−0.0182	−0.0187	−0.0194	−0.0201	−0.0210	$\frac{1}{5}w_4l^2$
等布部分荷重 p	−1.0〜−0.3	−0.0160	−0.0164	−0.0168	−0.0172	−0.0178	−0.0184	−0.0192	−0.0201	−0.0207	−0.0213	−0.0221	−0.0229	pl^2
	−0.3〜+1.0	0.0189	0.0193	0.0198	0.0203	0.0209	0.0217	0.0226	0.0237	0.0244	0.0252	0.0261	0.0272	

$\alpha=0.8$ 第 27 表 鉛直荷重 起拱點彎曲率 M_A

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縱距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	−0.0383	−0.0391	−0.0394	−0.0397	−0.0403	−0.0408	−0.0415	−0.0424	−0.0429	−0.0435	−0.0442	−0.0451	
	−0.8	−0.0585	−0.0593	−0.0603	−0.0614	−0.0627	−0.0643	−0.0662	−0.0687	−0.0701	−0.0719	−0.0739	−0.0763	
	−0.7	−0.0638	−0.0650	−0.0665	−0.0682	−0.0703	−0.0727	−0.0756	−0.0793	−0.0815	−0.0841	−0.0871	−0.0906	
	−0.6	−0.0585	−0.0599	−0.0616	−0.0635	−0.0659	−0.0687	−0.0720	−0.0761	−0.0786	−0.0815	−0.0848	−0.0885	
	−0.5	−0.0460	−0.0473	−0.0489	−0.0508	−0.0529	−0.0554	−0.0584	−0.0621	−0.0643	−0.0668	−0.0697	−0.0730	
	−0.4	−0.0291	−0.0302	−0.0313	−0.0327	−0.0342	−0.0360	−0.0381	−0.0405	−0.0421	−0.0437	−0.0455	−0.0475	
	−0.3	−0.0103	−0.0108	−0.0114	−0.0120	−0.0127	−0.0130	−0.0142	−0.0151	−0.0155	−0.0159	−0.0163	−0.0166	
	−0.2	0.0084	0.0086	0.0087	0.0089	0.0092	0.0097	0.0103	0.0112	0.0119	0.0128	0.0140	0.0155	
	−0.1	0.0256	0.0263	0.0271	0.0281	0.0294	0.0309	0.0328	0.0355	0.0372	0.0392	0.0417	0.0449	
	0	0.0399	0.0411	0.0424	0.0441	0.0460	0.0484	0.0514	0.0553	0.0578	0.0607	0.0642	0.0685	l
	0.1	0.0503	0.0518	0.0536	0.0556	0.0580	0.0609	0.0645	0.0691	0.0719	0.0753	0.0792	0.0841	
	0.2	0.0564	0.0580	0.0599	0.0620	0.0645	0.0675	0.0712	0.0759	0.0788	0.0821	0.0859	0.0906	
	0.3	0.0579	0.0594	0.0611	0.0631	0.0654	0.0685	0.0715	0.0757	0.0782	0.0810	0.0843	0.0882	
	0.4	0.0549	0.0561	0.0575	0.0591	0.0610	0.0631	0.0658	0.0689	0.0708	0.0729	0.0752	0.0779	
	0.5	0.0478	0.0487	0.0496	0.0507	0.0520	0.0534	0.0551	0.0571	0.0582	0.0594	0.0607	0.0620	
	0.6	0.0376	0.0380	0.0386	0.0392	0.0398	0.0405	0.0413	0.0421	0.0425	0.0429	0.0432	0.0434	
	0.7	0.0255	0.0257	0.0259	0.0261	0.0262	0.0264	0.0265	0.0264	0.0264	0.0262	0.0259	0.0253	
	0.8	0.0135	0.0135	0.0135	0.0135	0.0134	0.0132	0.0131	0.0127	0.0125	0.0121	0.0116	0.0109	
	0.9	0.0040	0.0040	0.0039	0.0039	0.0038	0.0037	0.0035	0.0033	0.0032	0.0030	0.0027	0.0024	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$w=w_0$	0.0057	0.0058	0.0059	0.0061	0.0063	0.0065	0.0068	0.0073	0.0075	0.0078	0.0082	0.0086	wol^2
	$w=\lambda^2 w_2$	−0.0113	−0.0115	−0.0118	−0.0121	−0.0126	−0.0131	−0.0137	−0.0145	−0.0150	−0.0156	−0.0163	−0.0172	$\frac{1}{3}wol^2$
反荷重	$w=\lambda^4 w_4$	−0.0140	−0.0142	−0.0145	−0.0148	−0.0153	−0.0158	−0.0164	−0.0172	−0.0177	−0.0183	−0.0190	−0.0199	$\frac{1}{5}wol^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3	−0.0153	−0.0156	−0.0160	−0.0164	−0.0169	−0.0175	−0.0183	−0.0192	−0.0197	−0.0203	−0.0210	−0.0218	pl^2
	−0.3～+1.0	0.0209	0.0214	0.0219	0.0225	0.0232	0.0241	0.0251	0.0264	0.0272	0.0281	0.0292	0.0304	

$\alpha=0.7$ 第 28 表 鉛直荷重 起拱點彎曲率 M_A

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縱距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	−0.0384	−0.0387	−0.0391	−0.0394	−0.0399	−0.0405	−0.0411	−0.0420	−0.0425	−0.0432	−0.0439	−0.0449	
	−0.8	−0.0573	−0.0582	−0.0591	−0.0602	−0.0615	−0.0631	−0.0650	−0.0675	−0.0689	−0.0707	−0.0727	−0.0752	
	−0.7	−0.0617	−0.0630	−0.0644	−0.0661	−0.0681	−0.0704	−0.0733	−0.0770	−0.0791	−0.0817	−0.0847	−0.0882	
	−0.6	−0.0557	−0.0571	−0.0587	−0.0606	−0.0629	−0.0655	−0.0687	−0.0727	−0.0751	−0.0779	−0.0810	−0.0848	
	−0.5	−0.0426	−0.0439	−0.0454	−0.0471	−0.0491	−0.0515	−0.0543	−0.0578	−0.0598	−0.0622	−0.0648	−0.0679	
	−0.4	−0.0254	−0.0264	−0.0274	−0.0285	−0.0300	−0.0316	−0.0334	−0.0357	−0.0369	−0.0383	−0.0397	−0.0414	
	−0.3	−0.0065	−0.0068	−0.0072	−0.0077	−0.0082	−0.0087	−0.0092	−0.0097	−0.0099	−0.0100	−0.0100	−0.0097	
	−0.2	0.0124	0.0127	0.0130	0.0133	0.0138	0.0145	0.0154	0.0168	0.0178	0.0190	0.0206	0.0228	
	−0.1	0.0296	0.0304	0.0314	0.0326	0.0340	0.0358	0.0380	0.0411	0.0431	0.0455	0.0485	0.0523	
	0	0.0439	0.0452	0.0467	0.0485	0.0506	0.0533	0.0566	0.0610	0.0637	0.0670	0.0710	0.0760	l
	0.1	0.0543	0.0559	0.0578	0.0600	0.0626	0.0658	0.0697	0.0748	0.0779	0.0816	0.0860	0.0915	
	0.2	0.0604	0.0621	0.0641	0.0664	0.0691	0.0724	0.0764	0.0815	0.0846	0.0883	0.0926	0.0978	
	0.3	0.0618	0.0634	0.0653	0.0674	0.0699	0.0729	0.0768	0.0819	0.0848	0.0883	0.0926	0.0950	
	0.4	0.0585	0.0599	0.0614	0.0631	0.0651	0.0675	0.0704	0.0739	0.0760	0.0783	0.0810	0.0841	
	0.5	0.0511	0.0521	0.0531	0.0544	0.0557	0.0573	0.0592	0.0614	0.0627	0.0640	0.0655	0.0672	
	0.6	0.0403	0.0409	0.0415	0.0421	0.0428	0.0437	0.0446	0.0455	0.0460	0.0465	0.0469	0.0473	
	0.7	0.0275	0.0277	0.0280	0.0282	0.0284	0.0286	0.0288	0.0288	0.0287	0.0285	0.0283	0.0278	
	0.8	0.0147	0.0147	0.0147	0.0147	0.0146	0.0145	0.0143	0.0139	0.0137	0.0133	0.0128	0.0121	
	0.9	0.0043	0.0043	0.0043	0.0042	0.0041	0.0040	0.0039	0.0037	0.0035	0.0033	0.0030	0.0027	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$w=w_0$	0.0084	0.0086	0.0088	0.0091	0.0093	0.0097	0.0102	0.0109	0.0113	0.0117	0.0123	0.0130	wol^2
	$w=\lambda^2 w_2$	−0.0098	−0.0100	−0.0102	−0.0105	−0.0109	−0.0114	−0.0119	−0.0127	−0.0131	−0.0137	−0.0143	−0.0152	$\frac{1}{3}wol^2$
反荷重	$w=\lambda^4 w_4$	−0.0130	−0.0133	−0.0135	−0.0138	−0.0143	−0.0147	−0.0153	−0.0161	−0.0166	−0.0172	−0.0179	−0.0188	$\frac{1}{5}wol^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3	−0.0145	−0.0148	−0.0152	−0.0156	−0.0161	−0.0166	−0.0173	−0.0182	−0.0187	−0.0193	−0.0199	−0.0207	pl^2
	−0.3～+1.0	0.0229	0.0234	0.0240	0.0247	0.0254	0.0264	0.0276	0.0290	0.0300	0.0310	0.0322	0.0337	

$\alpha=0.6$　　第 29 表　鉛直荷重　起拱點彎曲率 M_A

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縱距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	−0.0380	−0.0383	−0.0387	−0.0391	−0.0395	−0.0401	−0.0409	−0.0417	−0.0422	−0.0429	−0.0436	−0.0446	
	−0.8	−0.0561	−0.0570	−0.0579	−0.0590	−0.0603	−0.0618	−0.0638	−0.0662	−0.0677	−0.0694	−0.0715	−0.0740	
	−0.7	−0.0597	−0.0609	−0.0623	−0.0639	−0.0659	−0.0682	−0.0710	−0.0746	−0.0767	−0.0792	−0.0821	−0.0856	
	−0.6	−0.0529	−0.0543	−0.0558	−0.0576	−0.0598	−0.0623	−0.0654	−0.0692	−0.0715	−0.0741	−0.0772	−0.0808	
	−0.5	−0.0393	−0.0406	−0.0420	−0.0435	−0.0454	−0.0476	−0.0502	−0.0534	−0.0553	−0.0574	−0.0598	−0.0626	
	−0.4	−0.0218	−0.0227	−0.0236	−0.0247	−0.0259	−0.0272	−0.0288	−0.0307	−0.0317	−0.0328	−0.0340	−0.0352	
	−0.3	−0.0027	−0.0030	−0.0033	−0.0036	−0.0039	−0.0042	−0.0044	−0.0044	−0.0044	−0.0041	−0.0037	−0.0029	
	−0.2	0.0162	0.0165	0.0170	0.0175	0.0182	0.0191	0.0204	0.0222	0.0235	0.0251	0.0271	0.0299	
	−0.1	0.0333	0.0343	0.0354	0.0367	0.0383	0.0404	0.0430	0.0466	0.0489	0.0517	0.0551	0.0596	
	0	0.0476	0.0490	0.0507	0.0527	0.0550	0.0579	0.0516	0.0664	0.0695	0.0731	0.0776	0.0832	l
	0.1	0.0581	0.0598	0.0618	0.0642	0.0670	0.0704	0.0746	0.0802	0.0836	0.0877	0.0926	0.0987	
	0.2	0.0642	0.0660	0.0681	0.0705	0.0735	0.0770	0.0813	0.0869	0.0903	0.0943	0.0991	0.1049	
	0.3	0.0656	0.0673	0.0692	0.0715	0.0742	0.0774	0.0813	0.0863	0.0893	0.0928	0.0969	0.1018	
	0.4	0.0622	0.0635	0.0652	0.0671	0.0693	0.0719	0.0750	0.0789	0.0812	0.0838	0.0868	0.0903	
	0.5	0.0544	0.0554	0.0566	0.0579	0.0594	0.0612	0.0633	0.0658	0.0672	0.0688	0.0705	0.0724	
	0.6	0.0431	0.0437	0.0444	0.0451	0.0459	0.0469	0.0479	0.0490	0.0496	0.0502	0.0508	0.0513	
	0.7	0.0295	0.0298	0.0301	0.0303	0.0305	0.0308	0.0311	0.0312	0.0312	0.0311	0.0308	0.0303	
	0.8	0.0159	0.0159	0.0159	0.0158	0.0158	0.0157	0.0155	0.0152	0.0149	0.0146	0.0140	0.0133	
	0.9	0.0047	0.0047	0.0047	0.0046	0.0045	0.0044	0.0042	0.0040	0.0039	0.0036	0.0033	0.0030	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$w=w_0$	0.0110	0.0113	0.0116	0.0119	0.0124	0.0129	0.0135	0.0144	0.0150	0.0156	0.0164	0.0174	w_0l^2
	$w=\lambda^2 w_2$	−0.0083	−0.0085	−0.0087	−0.0089	−0.0093	−0.0096	−0.0102	−0.0108	−0.0112	−0.0117	−0.0123	−0.0131	$\frac{1}{8}w_2l^2$
	$w=\lambda^4 w_4$	−0.0121	−0.0123	−0.0126	−0.0128	−0.0132	−0.0137	−0.0142	−0.0150	−0.0154	−0.0160	−0.0167	−0.0176	$\frac{1}{6}w_4l^2$
等布荷重	−1.0～−0.3	−0.0138	−0.0141	−0.0144	−0.0148	−0.0152	−0.0158	−0.0164	−0.0172	−0.0177	−0.0182	−0.0189	−0.0196	Pl^2
	−0.3～+1.0	0.0243	0.0253	0.0260	0.0267	0.0276	0.0286	0.0300	0.0316	0.0327	0.0339	0.0353	0.0370	

$\alpha=0.5$　　第 30 表　鉛直荷重　起拱點彎曲率 M_A

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縱距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	−0.0376	−0.0379	−0.0383	−0.0386	−0.0391	−0.0397	−0.0404	−0.0413	−0.0418	−0.0425	−0.0433	−0.0442	
	−0.8	−0.0549	−0.0558	−0.0567	−0.0578	−0.0590	−0.0606	−0.0625	−0.0649	−0.0664	−0.0681	−0.0701	−0.0727	
	−0.7	−0.0576	−0.0588	−0.0602	−0.0618	−0.0636	−0.0659	−0.0686	−0.0721	−0.0742	−0.0766	−0.0795	−0.0830	
	−0.6	−0.0501	−0.0514	−0.0529	−0.0547	−0.0567	−0.0591	−0.0621	−0.0657	−0.0678	−0.0704	−0.0732	−0.0766	
	−0.5	−0.0361	−0.0372	−0.0385	−0.0400	−0.0418	−0.0438	−0.0462	−0.0491	−0.0507	−0.0527	−0.0548	−0.0572	
	−0.4	−0.0164	−0.0191	−0.0199	−0.0208	−0.0219	−0.0230	−0.0244	−0.0258	−0.0266	−0.0274	−0.0282	−0.0289	
	−0.3	0.0008	0.0007	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002	0.0003	0.0006	0.0010	0.0016	0.0025	0.0038	
	−0.2	0.0197	0.0202	0.0207	0.0214	0.0223	0.0235	0.0251	0.0273	0.0289	0.0309	0.0334	0.0368	
	−0.1	0.0368	0.0379	0.0391	0.0406	0.0424	0.0447	0.0476	0.0516	0.0543	0.0574	0.0614	0.0665	
	0	0.0511	0.0526	0.0544	0.0565	0.0590	0.0622	0.0662	0.0715	0.0749	0.0789	0.0839	0.0902	l
	0.1	0.0616	0.0634	0.0656	0.0681	0.0710	0.0747	0.0793	0.0853	0.0890	0.0935	0.0989	0.1056	
	0.2	0.0677	0.0696	0.0719	0.0745	0.0776	0.0813	0.0860	0.0920	0.0958	0.1001	0.1054	0.1118	
	0.3	0.0691	0.0709	0.0730	0.0754	0.0783	0.0818	0.0860	0.0914	0.0947	0.0985	0.1030	0.1085	
	0.4	0.0657	0.0672	0.0689	0.0709	0.0733	0.0761	0.0795	0.0837	0.0863	0.0892	0.0926	0.0965	
	0.5	0.0577	0.0588	0.0600	0.0615	0.0631	0.0651	0.0674	0.0701	0.0718	0.0736	0.0756	0.0778	
	0.6	0.0459	0.0465	0.0473	0.0481	0.0490	0.0501	0.0512	0.0526	0.0533	0.0540	0.0548	0.0554	
	0.7	0.0317	0.0319	0.0322	0.0325	0.0328	0.0331	0.0334	0.0336	0.0337	0.0336	0.0335	0.0330	
	0.8	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0170	0.0168	0.0165	0.0163	0.0159	0.0154	0.0146	
	0.9	0.0051	0.0051	0.0051	0.0050	0.0049	0.0048	0.0047	0.0044	0.0042	0.0040	0.0037	0.0033	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$w=w_0$	0.0136	0.0139	0.0143	0.0147	0.0153	0.0159	0.0168	0.0181	0.0186	0.0195	0.0205	0.0219	w_0l^2
	$w=\lambda^2 w_2$	−0.0068	−0.0069	−0.0071	−0.0074	−0.0076	−0.0080	−0.0084	−0.0089	−0.0093	−0.0097	−0.0103	−0.0109	$\frac{1}{8}w_2l^2$
	$w=\lambda^4 w_4$	−0.0111	−0.0113	−0.0115	−0.0118	−0.0122	−0.0126	−0.0131	−0.0138	−0.0143	−0.0148	−0.0155	−0.0164	$\frac{1}{6}w_4l^2$
等布荷重	−1.0～−0.3	−0.0130	−0.0133	−0.0136	−0.0140	−0.0144	−0.0149	−0.0155	−0.0162	−0.0167	−0.0172	−0.0177	−0.0184	Pl^2
	−0.3～+1.0	0.0266	0.0272	0.0279	0.0287	0.0296	0.0308	0.0323	0.0342	0.0353	0.0366	0.0383	0.0402	

$\alpha=0.4$

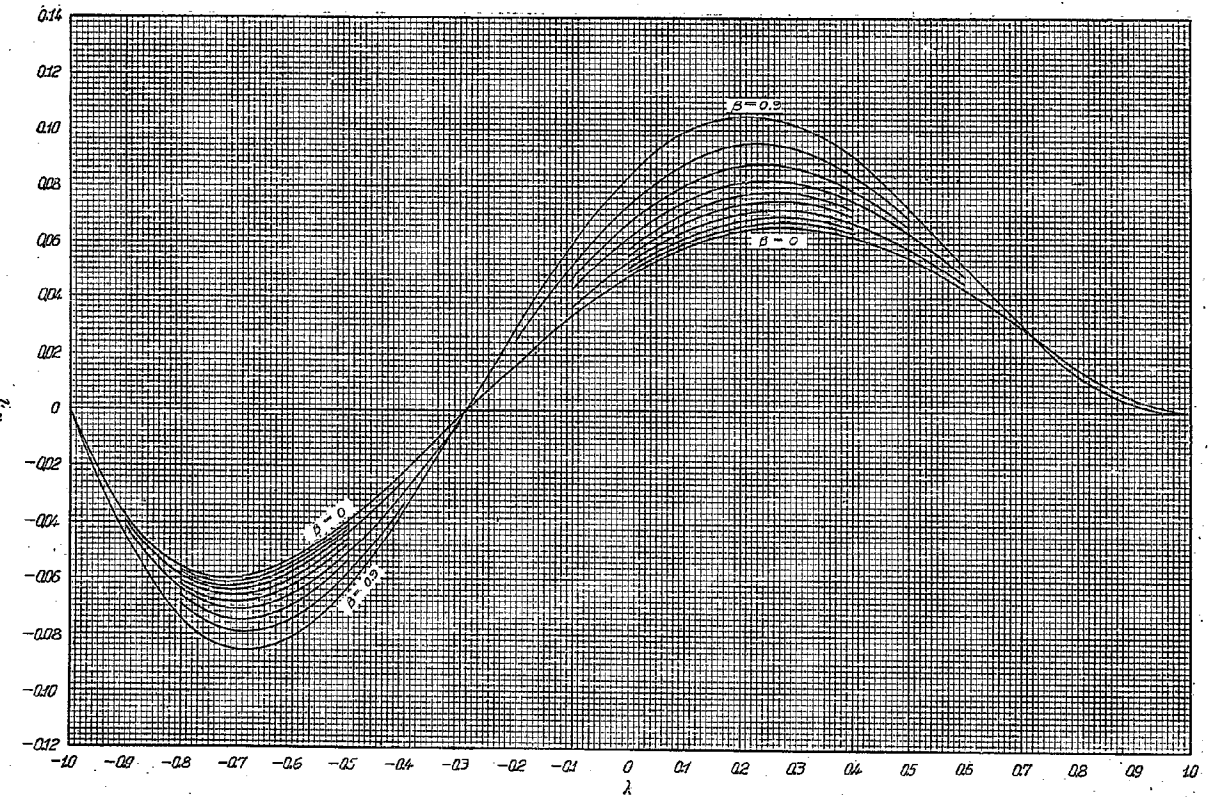
第 31 表　鉛直荷重　起拱點彎曲率 M_A

影響線縱距 λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
−0.9	−0.0372	−0.0375	−0.0379	−0.0382	−0.0387	−0.0393	−0.0400	−0.0409	−0.0414	−0.0421	−0.0429	−0.0439	
−0.8	−0.0537	−0.0545	−0.0554	−0.0565	−0.0578	−0.0593	−0.0612	−0.0636	−0.0650	−0.0667	−0.0688	−0.0713	
−0.7	−0.0556	−0.0567	−0.0580	−0.0596	−0.0614	−0.0636	−0.0662	−0.0696	−0.0716	−0.0740	−0.0768	−0.0801	
−0.6	−0.0474	−0.0485	−0.0501	−0.0517	−0.0537	−0.0559	−0.0587	−0.0621	−0.0641	−0.0665	−0.0692	−0.0724	
−0.5	−0.0330	−0.0340	−0.0352	−0.0366	−0.0382	−0.0400	−0.0422	−0.0447	−0.0462	−0.0479	−0.0497	−0.0517	
−0.4	−0.0151	−0.0157	−0.0164	−0.0172	−0.0180	−0.0190	−0.0200	−0.0211	−0.0216	−0.0221	−0.0225	−0.0227	
−0.3	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0041	0.0043	0.0047	0.0055	0.0052	0.0071	0.0084	0.0103	
−0.2	0.0229	0.0235	0.0242	0.0250	0.0261	0.0275	0.0294	0.0321	0.0340	0.0363	0.0391	0.0434	
−0.1	0.0400	0.0411	0.0425	0.0441	0.0461	0.0486	0.0519	0.0563	0.0593	0.0628	0.0673	0.0731	
0	0.0542	0.0558	0.0577	0.0600	0.0627	0.0661	0.0704	0.0761	0.0798	0.0842	0.0897	0.0967	l
0.1	0.0647	0.0667	0.0689	0.0716	0.0747	0.0785	0.0835	0.0900	0.0940	0.0988	0.1043	0.1122	
0.2	0.0709	0.0730	0.0753	0.0781	0.0814	0.0854	0.0904	0.0968	0.1008	0.1056	0.1113	0.1184	
0.3	0.0724	0.0743	0.0766	0.0791	0.0822	0.0859	0.0904	0.0962	0.0998	0.1040	0.1090	0.1150	
0.4	0.0690	0.0706	0.0725	0.0746	0.0771	0.0801	0.0838	0.0884	0.0913	0.0945	0.0982	0.1027	
0.5	0.0608	0.0620	0.0633	0.0649	0.0667	0.0688	0.0714	0.0745	0.0763	0.0783	0.0807	0.0833	
0.6	0.0486	0.0493	0.0501	0.0510	0.0520	0.0532	0.0546	0.0561	0.0570	0.0579	0.0588	0.0597	
0.7	0.0337	0.0340	0.0344	0.0347	0.0350	0.0354	0.0358	0.0362	0.0363	0.0363	0.0362	0.0358	
0.8	0.0183	0.0183	0.0183	0.0184	0.0183	0.0183	0.0181	0.0178	0.0176	0.0172	0.0167	0.0159	
0.9	0.0055	0.0055	0.0055	0.0054	0.0053	0.0052	0.0050	0.0048	0.0046	0.0044	0.0041	0.0036	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重 $w=w_0$	0.0160	0.0163	0.0168	0.0174	0.0180	0.0188	0.0199	0.0213	0.0222	0.0232	0.0245	0.0262	w_0l^2
對稱荷重 $w=\lambda^2w_2$	−0.0053	−0.0054	−0.0056	−0.0058	−0.0060	−0.0063	−0.0065	−0.0071	−0.0074	−0.0077	−0.0082	−0.0087	$\frac{1}{8}w_2l^2$
對稱荷重 $w=\lambda^4w_4$	−0.0101	−0.0103	−0.0106	−0.0108	−0.0111	−0.0115	−0.0120	−0.0127	−0.0131	−0.0136	−0.0143	−0.0151	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重 −1.0～−0.3	−0.0123	−0.0126	−0.0129	−0.0132	−0.0136	−0.0140	−0.0145	−0.0153	−0.0157	−0.0161	−0.0166	−0.0172	pl^2
等布部分荷重 −0.3～+1.0	0.0282	0.0289	0.0297	0.0305	0.0316	0.0329	0.0345	0.0365	0.0378	0.0393	0.0412	0.0434	pl^2

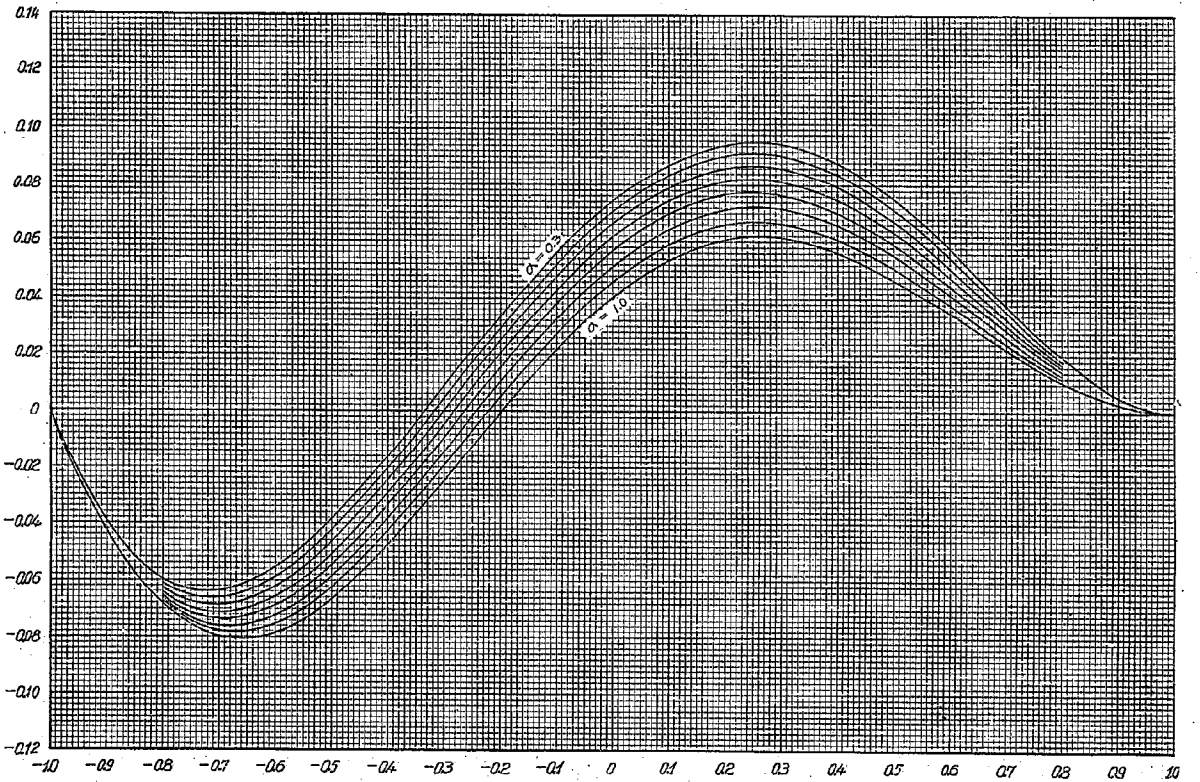
$\alpha=0.3$

第 32 表　鉛直荷重　起拱點彎曲率 M_A

影響線縱距 λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
−0.9	−0.0368	−0.0371	−0.0375	−0.0378	−0.0383	−0.0389	−0.0396	−0.0405	−0.0411	−0.0418	−0.0425	−0.0436	
−0.8	−0.0525	−0.0533	−0.0542	−0.0552	−0.0565	−0.0580	−0.0598	−0.0622	−0.0636	−0.0653	−0.0674	−0.0699	
−0.7	−0.0535	−0.0546	−0.0559	−0.0574	−0.0592	−0.0612	−0.0638	−0.0670	−0.0690	−0.0713	−0.0740	−0.0772	
−0.6	−0.0447	−0.0459	−0.0473	−0.0488	−0.0506	−0.0528	−0.0554	−0.0585	−0.0604	−0.0626	−0.0651	−0.0680	
−0.5	−0.0300	−0.0309	−0.0320	−0.0333	−0.0347	−0.0363	−0.0383	−0.0405	−0.0418	−0.0432	−0.0447	−0.0463	
−0.4	−0.0119	−0.0125	−0.0130	−0.0137	−0.0144	−0.0151	−0.0159	−0.0166	−0.0168	−0.0170	−0.0170	−0.0167	
−0.3	0.0072	0.0073	0.0073	0.0075	0.0077	0.0081	0.0088	0.0100	0.0110	0.0122	0.0140	0.0165	
−0.2	0.0259	0.0265	0.0273	0.0283	0.0295	0.0311	0.0333	0.0365	0.0385	0.0413	0.0448	0.0495	
−0.1	0.0428	0.0440	0.0455	0.0473	0.0494	0.0521	0.0557	0.0605	0.0637	0.0676	0.0726	0.0790	
0	0.0569	0.0587	0.0607	0.0631	0.0659	0.0695	0.0741	0.0802	0.0842	0.0890	0.0949	0.1025	l
0.1	0.0675	0.0696	0.0719	0.0747	0.0780	0.0821	0.0873	0.0941	0.0985	0.1037	0.1101	0.1181	
0.2	0.0739	0.0760	0.0785	0.0814	0.0848	0.0890	0.0943	0.1012	0.1055	0.1106	0.1168	0.1245	
0.3	0.0755	0.0775	0.0798	0.0826	0.0858	0.0897	0.0945	0.1008	0.1046	0.1091	0.1146	0.1213	
0.4	0.0721	0.0738	0.0758	0.0781	0.0808	0.0840	0.0880	0.0930	0.0961	0.0996	0.1038	0.1088	
0.5	0.0638	0.0651	0.0665	0.0682	0.0702	0.0725	0.0753	0.0787	0.0808	0.0830	0.0857	0.0888	
0.6	0.0513	0.0520	0.0529	0.0539	0.0551	0.0564	0.0579	0.0597	0.0607	0.0617	0.0629	0.0641	
0.7	0.0357	0.0361	0.0365	0.0369	0.0373	0.0378	0.0383	0.0387	0.0389	0.0390	0.0390	0.0387	
0.8	0.0195	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0195	0.0192	0.0190	0.0186	0.0181	0.0174	
0.9	0.0059	0.0059	0.0059	0.0058	0.0057	0.0056	0.0055	0.0052	0.0050	0.0047	0.0044	0.0039	
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重 $w=w_0$	0.0182	0.0187	0.0192	0.0199	0.0206	0.0216	0.0228	0.0244	0.0255	0.0267	0.0284	0.0304	w_0l^2
對稱荷重 $w=\lambda^2w_2$	−0.0039	−0.0040	−0.0041	−0.0042	−0.0044	−0.0046	−0.0049	−0.0053	−0.0055	−0.0058	−0.0061	−0.0065	$\frac{1}{8}w_2l^2$
對稱荷重 $w=\lambda^4w_4$	−0.0092	−0.0094	−0.0096	−0.0098	−0.0101	−0.0105	−0.0109	−0.0115	−0.0119	−0.0124	−0.0130	−0.0138	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重 −1.0～−0.3	−0.0116	−0.0118	−0.0121	−0.0124	−0.0128	−0.0132	−0.0137	−0.0143	−0.0147	−0.0151	−0.0155	−0.0160	pl^2
等布部分荷重 −0.3～+1.0	0.0298	0.0305	0.0313	0.0323	0.0334	0.0348	0.0365	0.0388	0.0402	0.0418	0.0439	0.0464	pl^2



第 15 圖　鉛直荷重　起拱點彎曲率影響線 M_A　($\alpha=0.6$　$\beta=0,\ 0.1,\ 0.2,\ 0.3,\ 0.4,\ 0.5,\ 0.6,\ 0.7,\ 0.8,\ 0.9$)



第 16 圖　鉛直荷重　起拱點彎曲率影響線 M_A　($\beta=0.6$　$\alpha=1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3$)

$\alpha=1.0$

第 33 表　鉛直荷重　1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0020	0.0018	0.0016	0.0015	0.0014	0.0012	0.0010	
	−0.8	0.0095	0.0093	0.0091	0.0089	0.0086	0.0082	0.0078	0.0071	0.0068	0.0064	0.0059	0.0053	
	−0.7	0.0214	0.0211	0.0207	0.0203	0.0197	0.0191	0.0183	0.0173	0.0167	0.0159	0.0151	0.0141	
	−0.6	0.0380	0.0376	0.0371	0.0365	0.0357	0.0349	0.0338	0.0325	0.0317	0.0307	0.0297	0.0284	
	−0.5	0.0593	0.0588	0.0582	0.0575	0.0567	0.0557	0.0545	0.0530	0.0521	0.0511	0.0500	0.0486	
	−0.4	0.0852	0.0847	0.0841	0.0833	0.0825	0.0815	0.0803	0.0288	0.0280	0.0271	0.0260	0.0248	
	−0.3	0.0155	0.0150	0.0144	0.0137	0.0129	0.0121	0.0111	0.0099	0.0092	0.0084	0.0076	0.0067	
	−0.2	0.0060	−0.0004	−0.0009	−0.0014	−0.0020	−0.0027	−0.0034	−0.0042	−0.0046	−0.0051	−0.0056	−0.0062	
	−0.1	−0.0116	−0.0119	−0.0122	−0.0125	−0.0128	−0.0131	−0.0135	−0.0138	−0.0140	−0.0142	−0.0143	−0.0144	
	0	−0.0195	−0.0196	−0.0197	−0.0198	−0.0198	−0.0198	−0.0197	−0.0196	−0.0194	−0.0192	−0.0190	−0.0187	l
	0.1	−0.0242	−0.0241	−0.0240	−0.0238	−0.0235	−0.0231	−0.0227	−0.0220	−0.0216	−0.0211	−0.0205	−0.0198	
	0.2	−0.0260	−0.0257	−0.0253	−0.0249	−0.0244	−0.0237	−0.0229	−0.0219	−0.0212	−0.0205	−0.0197	−0.0187	
	0.3	−0.0254	−0.0249	−0.0244	−0.0237	−0.0230	−0.0221	−0.0211	−0.0198	−0.0190	−0.0181	−0.0171	−0.0160	
	0.4	−0.0228	−0.0222	−0.0216	−0.0208	−0.0200	−0.0190	−0.0178	−0.0164	−0.0156	−0.0147	−0.0137	−0.0125	
	0.5	−0.0183	−0.0182	−0.0175	−0.0168	−0.0159	−0.0149	−0.0138	−0.0124	−0.0116	−0.0108	−0.0099	−0.0089	
	0.6	−0.0140	−0.0135	−0.0128	−0.0122	−0.0114	−0.0105	−0.0096	−0.0084	−0.0078	−0.0071	−0.0064	−0.0055	
	0.7	−0.0090	−0.0086	−0.0081	−0.0076	−0.0070	−0.0064	−0.0057	−0.0049	−0.0044	−0.0040	−0.0034	−0.0029	
	0.8	−0.0045	−0.0043	−0.0040	−0.0037	−0.0034	−0.0030	−0.0026	−0.0022	−0.0019	−0.0017	−0.0014	−0.0011	
	0.9	−0.0013	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0009	−0.0008	−0.0007	−0.0005	−0.0005	−0.0004	−0.0003	−0.0002	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$w=w_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	w_0l^2
拔荷重	$w=\lambda^2 w_2$	0.0041	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0041	0.0041	0.0040	0.0040	0.0039	$\frac{1}{3}w_2l^2$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0028	0.0028	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0028	0.0028	0.0027	0.0027	0.0026	$\frac{1}{5}w_4l^2$
等布荷重 p	−1.0～−0.3	0.0085	0.0084	0.0083	0.0081	0.0080	0.0077	0.0075	0.0071	0.0069	0.0067	0.0064	0.0061	pl^2
	−0.3～+1.0	−0.0085	−0.0084	−0.0083	−0.0081	−0.0080	−0.0077	−0.0075	−0.0071	−0.0069	−0.0067	−0.0064	−0.0061	

$\alpha=0.9$

第 34 表　鉛直荷重　1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	0.0023	0.0022	0.0022	0.0021	0.0020	0.0019	0.0018	0.0016	0.0015	0.0013	0.0012	0.0010	
	−0.8	0.0092	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084	0.0080	0.0075	0.0070	0.0066	0.0062	0.0057	0.0052	
	−0.7	0.0209	0.0206	0.0203	0.0198	0.0193	0.0187	0.0179	0.0169	0.0163	0.0156	0.0148	0.0139	
	−0.6	0.0373	0.0369	0.0364	0.0358	0.0351	0.0342	0.0332	0.0319	0.0311	0.0302	0.0292	0.0280	
	−0.5	0.0584	0.0579	0.0573	0.0566	0.0558	0.0548	0.0536	0.0521	0.0513	0.0503	0.0492	0.0479	
	−0.4	0.0841	0.0835	0.0829	0.0822	0.0813	0.0803	0.0292	0.0277	0.0269	0.0260	0.0249	0.0238	
	−0.3	0.0143	0.0137	0.0131	0.0124	0.0116	0.0108	0.0097	0.0085	0.0079	0.0071	0.0063	0.0054	
	−0.2	−0.0014	−0.0018	−0.0023	−0.0029	−0.0035	−0.0041	−0.0049	−0.0057	−0.0062	−0.0067	−0.0072	−0.0077	
	−0.1	−0.0150	−0.0153	−0.0157	−0.0160	−0.0164	−0.0167	−0.0171	−0.0175	−0.0176	−0.0178	−0.0180	−0.0180	
	0	−0.0210	−0.0211	−0.0212	−0.0213	−0.0214	−0.0214	−0.0214	−0.0212	−0.0211	−0.0210	−0.0207	−0.0204	l
	0.1	−0.0256	−0.0256	−0.0254	−0.0253	−0.0251	−0.0247	−0.0243	−0.0237	−0.0233	−0.0228	−0.0222	−0.0214	
	0.2	−0.0274	−0.0271	−0.0267	−0.0263	−0.0258	−0.0252	−0.0244	−0.0234	−0.0227	−0.0220	−0.0212	−0.0202	
	0.3	−0.0269	−0.0262	−0.0257	−0.0250	−0.0243	−0.0235	−0.0224	−0.0211	−0.0203	−0.0194	−0.0184	−0.0173	
	0.4	−0.0239	−0.0233	−0.0227	−0.0220	−0.0211	−0.0201	−0.0189	−0.0175	−0.0167	−0.0158	−0.0147	−0.0135	
	0.5	−0.0197	−0.0191	−0.0184	−0.0177	−0.0168	−0.0158	−0.0147	−0.0133	−0.0125	−0.0116	−0.0107	−0.0096	
	0.6	−0.0147	−0.0142	−0.0135	−0.0128	−0.0121	−0.0112	−0.0102	−0.0090	−0.0084	−0.0076	−0.0069	−0.0060	
	0.7	−0.0095	−0.0091	−0.0086	−0.0080	−0.0075	−0.0068	−0.0061	−0.0052	−0.0048	−0.0043	−0.0037	−0.0032	
	0.8	−0.0043	−0.0045	−0.0042	−0.0039	−0.0036	−0.0032	−0.0028	−0.0023	−0.0021	−0.0018	−0.0015	−0.0012	
	0.9	−0.0013	−0.0013	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0008	−0.0007	−0.0005	−0.0005	−0.0004	−0.0003	−0.0003	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$w=w_0$	−0.0008	−0.0008	−0.0008	−0.0008	−0.0009	−0.0009	−0.0009	−0.0008	−0.0008	−0.0008	−0.0008	−0.0008	w_0l^2
拔荷重	$w=\lambda^2 w_2$	0.0037	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0037	0.0037	0.0036	$\frac{1}{3}w_2l^2$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0026	0.0026	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0026	0.0026	0.0025	0.0024	$\frac{1}{5}w_4l^2$
等布荷重 p	−1.0～−0.3	0.0083	0.0082	0.0081	0.0079	0.0078	0.0075	0.0073	0.0069	0.0067	0.0064	0.0063	0.0060	pl^2
	−0.3～+1.0	−0.0092	−0.0091	−0.0089	−0.0088	−0.0086	−0.0084	−0.0081	−0.0078	−0.0076	−0.0074	−0.0071	−0.0068	

$\alpha = 0.8$ 第 35 表 鉛直荷重 1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縱距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	0.0022	0.0022	0.0021	0.0020	0.0020	0.0019	0.0017	0.0015	0.0014	0.0013	0.0012	0.0010	
	−0.8	0.0089	0.0088	0.0086	0.0084	0.0081	0.0078	0.0074	0.0068	0.0065	0.0061	0.0056	0.0051	
	−0.7	0.0204	0.0201	0.0198	0.0194	0.0189	0.0183	0.0175	0.0165	0.0160	0.0153	0.0145	0.0136	
	−0.6	0.0366	0.0361	0.0356	0.0351	0.0344	0.0336	0.0325	0.0312	0.0305	0.0296	0.0286	0.0274	
	−0.5	0.0575	0.0569	0.0563	0.0556	0.0548	0.0538	0.0527	0.0512	0.0504	0.0494	0.0483	0.0471	
	−0.4	0.0330	0.0324	0.0318	0.0310	0.0302	0.0292	0.0280	0.0266	0.0258	0.0248	0.0238	0.0226	
	−0.3	0.0130	0.0124	0.0118	0.0111	0.0103	0.0094	0.0084	0.0071	0.0065	0.0057	0.0049	0.0040	
	−0.2	−0.0027	−0.0032	−0.0037	−0.0043	−0.0050	−0.0057	−0.0064	−0.0073	−0.0078	−0.0083	−0.0088	−0.0093	
	−0.1	−0.0144	−0.0148	−0.0151	−0.0155	−0.0159	−0.0163	−0.0168	−0.0172	−0.0174	−0.0175	−0.0177	−0.0178	
	0	−0.0224	−0.0226	−0.0227	−0.0229	−0.0230	−0.0231	−0.0231	−0.0230	−0.0229	−0.0227	−0.0225	−0.0222	l
	0.1	−0.0270	−0.0270	−0.0269	−0.0268	−0.0266	−0.0263	−0.0259	−0.0254	−0.0250	−0.0245	−0.0239	−0.0232	
	0.2	−0.0287	−0.0285	−0.0282	−0.0278	−0.0273	−0.0267	−0.0260	−0.0250	−0.0243	−0.0236	−0.0228	−0.0218	
	0.3	−0.0279	−0.0275	−0.0270	−0.0264	−0.0257	−0.0248	−0.0238	−0.0225	−0.0217	−0.0208	−0.0198	−0.0187	
	0.4	−0.0250	−0.0245	−0.0238	−0.0231	−0.0223	−0.0213	−0.0201	−0.0187	−0.0178	−0.0169	−0.0158	−0.0147	
	0.5	−0.0207	−0.0201	−0.0194	−0.0186	−0.0178	−0.0168	−0.0156	−0.0142	−0.0134	−0.0125	−0.0115	−0.0104	
	0.6	−0.0154	−0.0149	−0.0143	−0.0136	−0.0128	−0.0119	−0.0108	−0.0096	−0.0090	−0.0082	−0.0074	−0.0065	
	0.7	−0.0100	−0.0096	−0.0090	−0.0085	−0.0079	−0.0072	−0.0065	−0.0056	−0.0051	−0.0046	−0.0040	−0.0034	
	0.8	−0.0051	−0.0048	−0.0045	−0.0042	−0.0038	−0.0034	−0.0030	−0.0025	−0.0022	−0.0020	−0.0017	−0.0014	
	0.9	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0009	−0.0008	−0.0006	−0.0005	−0.0005	−0.0004	−0.0003	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷載	$w=w_0$	−0.0017	−0.0017	−0.0017	−0.0017	−0.0017	−0.0017	−0.0017	−0.0017	−0.0017	−0.0017	−0.0017	−0.0017	$w_0 l^2$
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0033	0.0034	0.0034	0.0034	0.0035	0.0035	0.0035	0.0034	0.0034	0.0034	0.0034	0.0033	$\frac{1}{3}w_2 l^2$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0024	0.0024	0.0024	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0024	0.0024	$\frac{1}{5}w_4 l^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3	0.0081	0.0080	0.0079	0.0077	0.0075	0.0073	0.0071	0.0067	0.0066	0.0063	0.0061	0.0058	pl^2
	−0.3～+1.0	−0.0098	−0.0097	−0.0096	−0.0094	−0.0093	−0.0091	−0.0088	−0.0085	−0.0083	−0.0080	−0.0077	−0.0075	

$\alpha = 0.7$ 第 36 表 鉛直荷重 1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縱距	−0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	0.0021	0.0021	0.0020	0.0020	0.0019	0.0018	0.0017	0.0015	0.0014	0.0013	0.0011	0.0009	
	−0.8	0.0087	0.0085	0.0084	0.0082	0.0079	0.0076	0.0072	0.0066	0.0063	0.0059	0.0055	0.0049	
	−0.7	0.0199	0.0196	0.0193	0.0189	0.0184	0.0178	0.0171	0.0161	0.0156	0.0149	0.0142	0.0133	
	−0.6	0.0358	0.0354	0.0349	0.0343	0.0336	0.0328	0.0318	0.0306	0.0298	0.0290	0.0280	0.0269	
	−0.5	0.0565	0.0560	0.0554	0.0547	0.0539	0.0529	0.0517	0.0503	0.0495	0.0485	0.0474	0.0462	
	−0.4	0.0319	0.0313	0.0306	0.0298	0.0290	0.0280	0.0268	0.0254	0.0245	0.0236	0.0226	0.0215	
	−0.3	0.0118	0.0112	0.0105	0.0098	0.0089	0.0080	0.0069	0.0057	0.0050	0.0043	0.0034	0.0025	
	−0.2	−0.0040	−0.0046	−0.0052	−0.0058	−0.0065	−0.0072	−0.0080	−0.0089	−0.0094	−0.0099	−0.0105	−0.0110	
	−0.1	−0.0158	−0.0162	−0.0166	−0.0171	−0.0175	−0.0180	−0.0184	−0.0189	−0.0191	−0.0193	−0.0195	−0.0196	
	0	−0.0238	−0.0240	−0.0242	−0.0244	−0.0246	−0.0247	−0.0248	−0.0247	−0.0247	−0.0246	−0.0244	−0.0241	l
	0.1	−0.0284	−0.0284	−0.0284	−0.0283	−0.0282	−0.0280	−0.0276	−0.0271	−0.0267	−0.0263	−0.0258	−0.0251	
	0.2	−0.0300	−0.0298	−0.0296	−0.0292	−0.0288	−0.0283	−0.0275	−0.0266	−0.0260	−0.0253	−0.0245	−0.0235	
	0.3	−0.0291	−0.0287	−0.0283	−0.0277	−0.0271	−0.0262	−0.0252	−0.0239	−0.0232	−0.0223	−0.0213	−0.0201	
	0.4	−0.0261	−0.0256	−0.0250	−0.0243	−0.0235	−0.0225	−0.0213	−0.0199	−0.0190	−0.0181	−0.0170	−0.0158	
	0.5	−0.0216	−0.0210	−0.0204	−0.0196	−0.0187	−0.0177	−0.0165	−0.0151	−0.0143	−0.0134	−0.0124	−0.0113	
	0.6	−0.0162	−0.0156	−0.0150	−0.0143	−0.0135	−0.0126	−0.0115	−0.0103	−0.0096	−0.0089	−0.0080	−0.0071	
	0.7	−0.0105	−0.0101	−0.0096	−0.0090	−0.0084	−0.0077	−0.0069	−0.0060	−0.0055	−0.0050	−0.0044	−0.0037	
	0.8	−0.0053	−0.0051	−0.0048	−0.0044	−0.0041	−0.0037	−0.0032	−0.0027	−0.0024	−0.0021	−0.0018	−0.0015	
	0.9	−0.0015	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0005	−0.0004	−0.0003	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷載	$w=w_0$	−0.0025	−0.0025	−0.0026	−0.0026	−0.0026	−0.0026	−0.0027	−0.0026	−0.0026	−0.0026	−0.0026	−0.0026	$w_0 l^2$
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0029	0.0030	0.0030	0.0030	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0030	0.0030	0.0030	$\frac{1}{3}w_2 l^2$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0021	0.0021	0.0022	0.0022	0.0022	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0022	0.0022	0.0021	$\frac{1}{5}w_4 l^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3	0.0079	0.0078	0.0077	0.0075	0.0073	0.0071	0.0068	0.0065	0.0063	0.0061	0.0059	0.0056	pl^2
	−0.3～+1.0	−0.0104	−0.0103	−0.0102	−0.0101	−0.0099	−0.0097	−0.0095	−0.0092	−0.0090	−0.0087	−0.0085	−0.0082	

$\alpha=0.6$　　第 37 表　鉛直荷重　1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	0.0020	0.0020	0.0019	0.0019	0.0018	0.0017	0.0016	0.0014	0.0013	0.0012	0.0011	0.0009	
	−0.8	0.0084	0.0082	0.0081	0.0079	0.0076	0.0073	0.0069	0.0064	0.0061	0.0057	0.0053	0.0048	
	−0.7	0.0193	0.0191	0.0188	0.0184	0.0179	0.0173	0.0165	0.0157	0.0151	0.0145	0.0138	0.0129	
	−0.6	0.0350	0.0346	0.0341	0.0336	0.0329	0.0321	0.0311	0.0299	0.0291	0.0283	0.0274	0.0263	
	−0.5	0.0555	0.0550	0.0544	0.0537	0.0529	0.0519	0.0507	0.0493	0.0485	0.0475	0.0465	0.0453	
	−0.4	0.0808	0.0801	0.0794	0.0787	0.0778	0.0767	0.0755	0.0741	0.0733	0.0724	0.0714	0.0702	
	−0.3	0.0105	0.0099	0.0092	0.0084	0.0075	0.0066	0.0055	0.0042	0.0035	0.0027	0.0019	0.0010	
	−0.2	−0.0054	−0.0059	−0.0066	−0.0072	−0.0080	−0.0087	−0.0096	−0.0106	−0.0111	−0.0116	−0.0122	−0.0127	
	−0.1	−0.0172	−0.0176	−0.0181	−0.0185	−0.0191	−0.0196	−0.0201	−0.0207	−0.0209	−0.0212	−0.0214	−0.0215	
	0	−0.0252	−0.0255	−0.0257	−0.0260	−0.0262	−0.0264	−0.0265	−0.0266	−0.0265	−0.0264	−0.0263	−0.0260	l
	0.1	−0.0298	−0.0299	−0.0299	−0.0298	−0.0298	−0.0296	−0.0293	−0.0288	−0.0285	−0.0281	−0.0276	−0.0270	
	0.2	−0.0314	−0.0312	−0.0310	−0.0307	−0.0303	−0.0298	−0.0291	−0.0282	−0.0277	−0.0270	−0.0262	−0.0252	
	0.3	−0.0304	−0.0300	−0.0296	−0.0290	−0.0284	−0.0276	−0.0267	−0.0254	−0.0247	−0.0238	−0.0228	−0.0215	
	0.4	−0.0273	−0.0268	−0.0262	−0.0255	−0.0247	−0.0237	−0.0226	−0.0211	−0.0203	−0.0194	−0.0183	−0.0171	
	0.5	−0.0226	−0.0220	−0.0213	−0.0206	−0.0197	−0.0187	−0.0175	−0.0161	−0.0153	−0.0144	−0.0133	−0.0122	
	0.6	−0.0170	−0.0164	−0.0158	−0.0151	−0.0143	−0.0133	−0.0123	−0.0110	−0.0103	−0.0095	−0.0087	−0.0077	
	0.7	−0.0111	−0.0106	−0.0101	−0.0095	−0.0089	−0.0082	−0.0074	−0.0065	−0.0059	−0.0054	−0.0047	−0.0041	
	0.8	−0.0056	−0.0054	−0.0050	−0.0047	−0.0043	−0.0039	−0.0034	−0.0029	−0.0026	−0.0023	−0.0020	−0.0016	
	0.9	−0.0016	−0.0015	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0010	−0.0009	−0.0007	−0.0006	−0.0006	−0.0004	−0.0003	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$w=w_0$	−0.0033	−0.0034	−0.0034	−0.0035	−0.0035	−0.0036	−0.0036	−0.0036	−0.0036	−0.0036	−0.0035	−0.0035	w_0l^2
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0025	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0026	$\frac{1}{4}w_2l^2$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0019	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0020	0.0021	0.0021	0.0021	0.0020	0.0020	0.0020	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重	−1.0～−0.3	0.0077	0.0076	0.0074	0.0073	0.0071	0.0069	0.0066	0.0063	0.0061	0.0059	0.0057	0.0054	pl^2
p	−0.3～+1.0	−0.0110	−0.0110	−0.0109	0.0107	−0.0105	−0.0105	−0.0102	−0.0099	−0.0097	−0.0095	−0.0092	−0.0089	

$\alpha=0.5$　　第 38 表　鉛直荷重　1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$

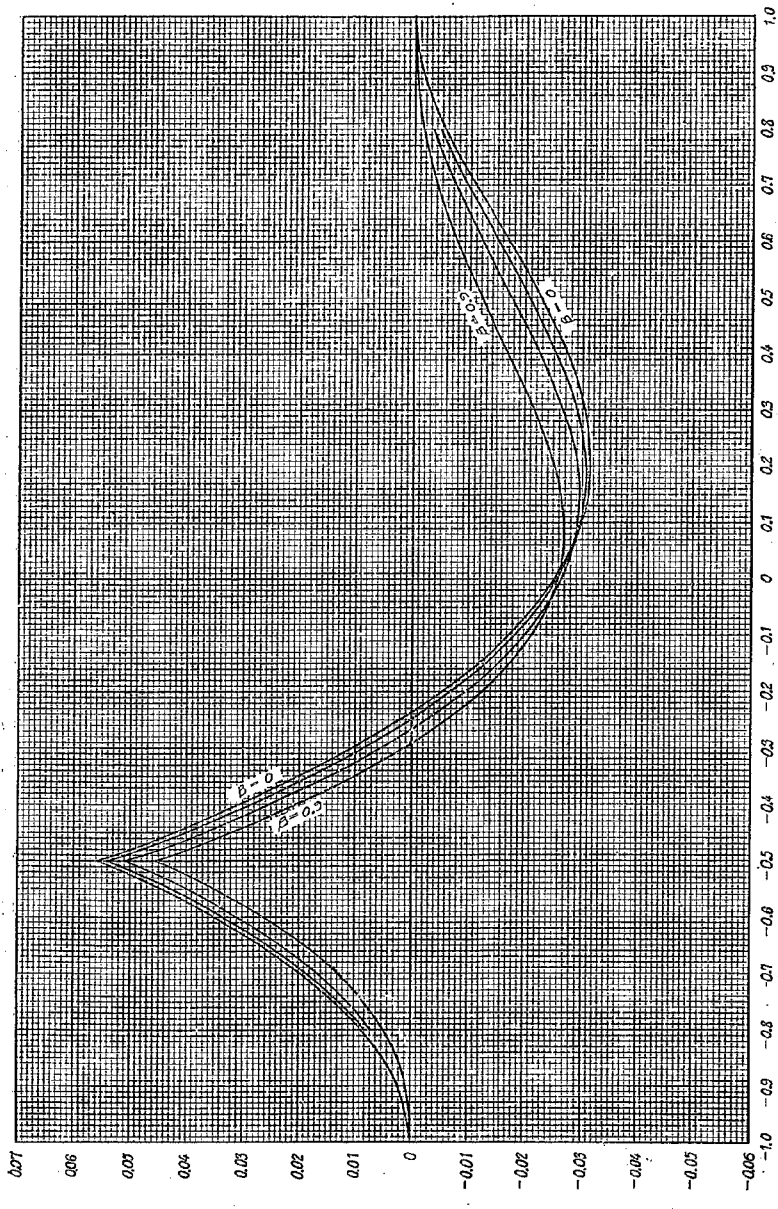
	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	0.0019	0.0019	0.0019	0.0018	0.0017	0.0017	0.0015	0.0014	0.0013	0.0012	0.0010	0.0009	
	−0.8	0.0081	0.0079	0.0078	0.0076	0.0074	0.0071	0.0067	0.0062	0.0059	0.0055	0.0051	0.0046	
	−0.7	0.0188	0.0185	0.0182	0.0178	0.0174	0.0168	0.0161	0.0152	0.0147	0.0141	0.0134	0.0126	
	−0.6	0.0343	0.0339	0.0334	0.0328	0.0321	0.0313	0.0303	0.0291	0.0284	0.0276	0.0267	0.0256	
	−0.5	0.0546	0.0540	0.0534	0.0527	0.0518	0.0508	0.0497	0.0483	0.0475	0.0465	0.0455	0.0443	
	−0.4	0.0296	0.0290	0.0283	0.0275	0.0265	0.0255	0.0243	0.0228	0.0220	0.0211	0.0201	0.0189	
	−0.3	0.0093	0.0086	0.0079	0.0071	0.0062	0.0052	0.0040	0.0027	0.0020	0.0012	0.0003	−0.0006	
	−0.2	−0.0057	−0.0073	−0.0079	−0.0087	−0.0095	−0.0103	−0.0112	−0.0123	−0.0128	−0.0134	−0.0140	−0.0146	
	−0.1	−0.0185	−0.0190	−0.0195	−0.0201	−0.0206	−0.0212	−0.0218	−0.0224	−0.0227	−0.0230	−0.0233	−0.0235	
	0	−0.0265	−0.0269	−0.0272	−0.0275	−0.0278	−0.0280	−0.0282	−0.0284	−0.0284	−0.0283	−0.0282	−0.0280	l
	0.1	−0.0311	−0.0312	−0.0313	−0.0313	−0.0313	−0.0312	−0.0310	−0.0306	−0.0304	−0.0300	−0.0295	−0.0289	
	0.2	−0.0327	−0.0325	−0.0324	−0.0321	−0.0318	−0.0314	−0.0307	−0.0299	−0.0294	−0.0287	−0.0280	−0.0271	
	0.3	−0.0316	−0.0313	−0.0309	−0.0304	−0.0298	−0.0291	−0.0281	−0.0269	−0.0262	−0.0254	−0.0244	−0.0232	
	0.4	−0.0284	−0.0279	−0.0273	−0.0267	−0.0259	−0.0250	−0.0238	−0.0224	−0.0216	−0.0207	−0.0196	−0.0184	
	0.5	−0.0236	−0.0230	−0.0223	−0.0216	−0.0208	−0.0198	−0.0185	−0.0171	−0.0163	−0.0154	−0.0143	−0.0132	
	0.6	−0.0177	−0.0172	−0.0165	−0.0158	−0.0150	−0.0141	−0.0130	−0.0118	−0.0110	−0.0102	−0.0091	−0.0081	
	0.7	−0.0116	−0.0111	−0.0106	−0.0100	−0.0094	−0.0087	−0.0079	−0.0069	−0.0064	−0.0058	−0.0052	−0.0045	
	0.8	−0.0059	−0.0057	−0.0053	−0.0050	−0.0046	−0.0042	−0.0037	−0.0031	−0.0028	−0.0025	−0.0022	−0.0018	
	0.9	−0.0017	−0.0016	−0.0015	−0.0014	−0.0012	−0.0011	−0.0009	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0005	−0.0004	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$w=w_0$	−0.0042	−0.0042	−0.0043	−0.0044	−0.0044	−0.0045	−0.0045	−0.0046	−0.0046	−0.0046	−0.0045	−0.0045	w_0l^2
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0021	0.0021	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0022	$\frac{1}{4}w_2l^2$
	$w=\lambda^4 w_4$	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重	−1.0～−0.3	0.0075	0.0074	0.0072	0.0070	0.0069	0.0067	0.0064	0.0061	0.0059	0.0057	0.0055	0.0052	pl^2
p	−0.3～+1.0	−0.0116	−0.0116	−0.0115	−0.0114	−0.0113	−0.0111	−0.0109	−0.0106	−0.0105	−0.0102	−0.0100	−0.0097	

$\alpha=0.4$ 第 39 表 鉛直荷重 1/4 點彎曲率 $\mathcal{M}_{1/4}$

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
縱	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	0.0018	0.0018	0.0018	0.0017	0.0017	0.0016	0.0015	0.0013	0.0012	0.0011	0.0010	0.0008	
	−0.8	0.0078	0.0077	0.0075	0.0073	0.0071	0.0068	0.0064	0.0059	0.0057	0.0053	0.0049	0.0044	
	−0.7	0.0182	0.0180	0.0177	0.0173	0.0168	0.0163	0.0155	0.0147	0.0142	0.0136	0.0129	0.0122	
	−0.6	0.0335	0.0331	0.0326	0.0320	0.0313	0.0305	0.0296	0.0284	0.0276	0.0268	0.0259	0.0249	
梁	−0.5	0.0536	0.0530	0.0524	0.0517	0.0508	0.0498	0.0486	0.0472	0.0464	0.0455	0.0444	0.0433	
	−0.4	0.0285	0.0279	0.0271	0.0263	0.0253	0.0242	0.0230	0.0215	0.0206	0.0197	0.0187	0.0176	
	−0.3	0.0081	0.0074	0.0066	0.0058	0.0048	0.0038	0.0025	0.0012	0.0004	−0.0004	−0.0013	−0.0023	
	−0.2	−0.0079	−0.0086	−0.0093	−0.0101	−0.0109	−0.0118	−0.0128	−0.0140	−0.0145	−0.0152	−0.0158	−0.0165	
軸	−0.1	−0.0198	−0.0203	−0.0209	−0.0215	−0.0222	−0.0228	−0.0235	−0.0242	−0.0246	−0.0249	−0.0253	−0.0255	
	0	−0.0278	−0.0282	−0.0286	−0.0290	−0.0293	−0.0297	−0.0300	−0.0302	−0.0303	−0.0303	−0.0302	−0.0301	l
線	0.1	−0.0324	−0.0326	−0.0327	−0.0328	−0.0329	−0.0328	−0.0327	−0.0324	−0.0322	−0.0319	−0.0315	−0.0310	
	0.2	−0.0339	−0.0338	−0.0337	−0.0335	−0.0333	−0.0329	−0.0324	−0.0316	−0.0311	−0.0305	−0.0298	−0.0289	
	0.3	−0.0328	−0.0325	−0.0322	−0.0317	−0.0312	−0.0305	−0.0296	−0.0285	−0.0278	−0.0270	−0.0260	−0.0249	
	0.4	−0.0295	−0.0290	−0.0285	−0.0279	−0.0271	−0.0262	−0.0251	−0.0237	−0.0229	−0.0220	−0.0210	−0.0197	
距	0.5	−0.0245	−0.0240	−0.0233	−0.0226	−0.0218	−0.0208	−0.0196	−0.0182	−0.0174	−0.0165	−0.0154	−0.0142	
	0.6	−0.0185	−0.0180	−0.0173	−0.0166	−0.0158	−0.0149	−0.0138	−0.0125	−0.0118	−0.0110	−0.0101	−0.0091	
	0.7	−0.0121	−0.0117	−0.0111	−0.0106	−0.0100	−0.0092	−0.0084	−0.0074	−0.0068	−0.0063	−0.0056	−0.0049	
	0.8	−0.0062	−0.0059	−0.0056	−0.0053	−0.0049	−0.0044	−0.0039	−0.0034	−0.0030	−0.0027	−0.0023	−0.0020	
	0.9	−0.0018	−0.0017	−0.0016	−0.0015	−0.0013	−0.0012	−0.0010	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0005	−0.0004	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$w=w_0$	−0.0050	−0.0051	−0.0052	−0.0053	−0.0053	−0.0054	−0.0055	−0.0055	−0.0056	−0.0056	−0.0056	−0.0055	w_0l^2
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0017	0.0017	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0018	0.0018	0.0018	$\frac{1}{6}w_2l^2$
較荷重	$w=\lambda^4 w_4$	0.0013	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	$\frac{1}{5}w_4l^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3	0.0072	0.0071	0.0070	0.0068	0.0066	0.0064	0.0062	0.0059	0.0057	0.0055	0.0052	0.0050	pl^2
	−0.3～+1.0	−0.0122	−0.0122	−0.0122	−0.0121	−0.0120	−0.0119	−0.0117	−0.0114	−0.0112	−0.0110	−0.0108	−0.0105	

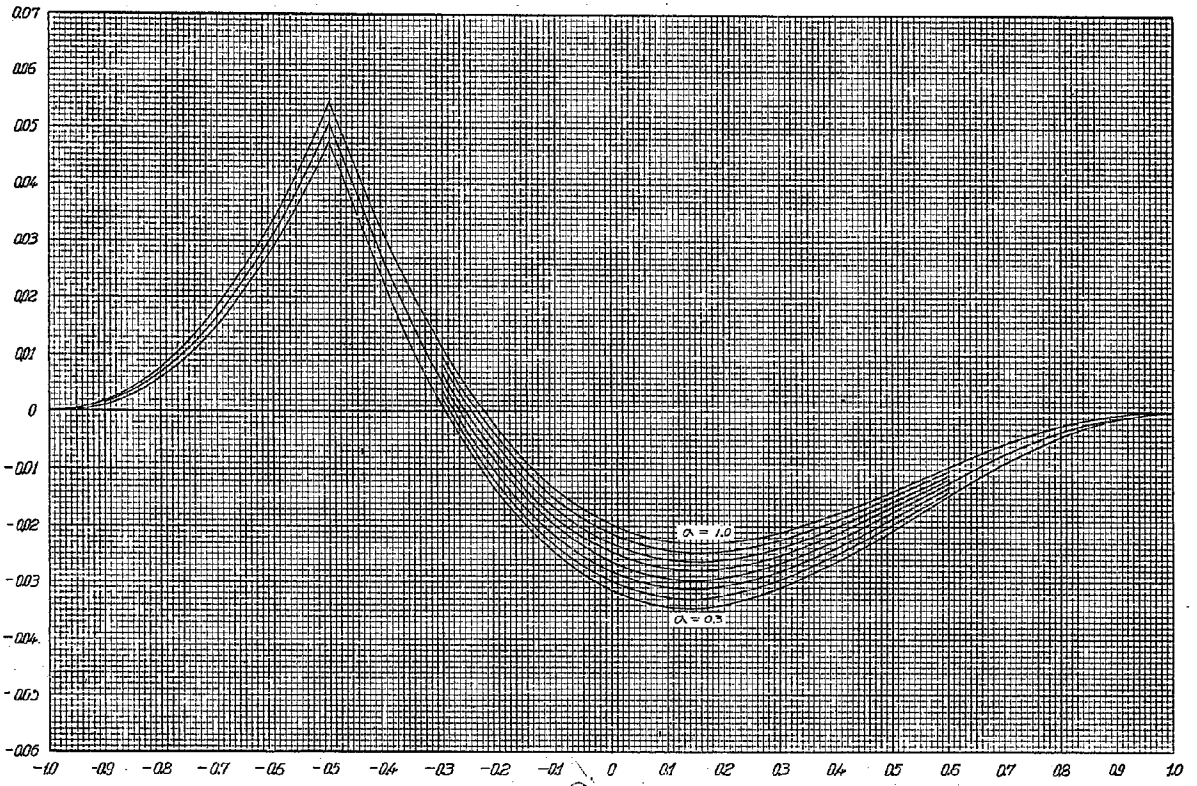
$\alpha=0.3$ 第 40 表 鉛直荷重 1/4 點彎曲率 $\mathcal{M}_{1/4}$

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
縱	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	−0.9	0.0017	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0014	0.0012	0.0012	0.0011	0.0010	0.0008	
	−0.8	0.0075	0.0073	0.0072	0.0070	0.0068	0.0065	0.0062	0.0057	0.0054	0.0051	0.0047	0.0043	
	−0.7	0.0177	0.0174	0.0171	0.0168	0.0163	0.0157	0.0151	0.0142	0.0137	0.0131	0.0125	0.0117	
	−0.6	0.0327	0.0323	0.0318	0.0312	0.0305	0.0297	0.0287	0.0275	0.0268	0.0260	0.0251	0.0241	
梁	−0.5	0.0527	0.0521	0.0514	0.0505	0.0498	0.0487	0.0475	0.0461	0.0453	0.0443	0.0433	0.0422	
	−0.4	0.0275	0.0267	0.0260	0.0251	0.0241	0.0230	0.0217	0.0201	0.0193	0.0183	0.0173	0.0161	
	−0.3	0.0070	0.0062	0.0054	0.0045	0.0034	0.0023	0.0011	−0.0004	−0.0012	−0.0021	−0.0030	−0.0040	
	−0.2	−0.0091	−0.0098	−0.0106	−0.0115	−0.0124	−0.0134	−0.0145	−0.0156	−0.0163	−0.0170	−0.0177	−0.0184	
軸	−0.1	−0.0210	−0.0216	−0.0223	−0.0229	−0.0237	−0.0244	−0.0252	−0.0260	−0.0264	−0.0268	−0.0272	−0.0276	
	0	−0.0290	−0.0295	−0.0299	−0.0304	−0.0308	−0.0313	−0.0317	−0.0320	−0.0321	−0.0322	−0.0323	−0.0322	l
線	0.1	−0.0336	−0.0339	−0.0340	−0.0342	−0.0344	−0.0344	−0.0344	−0.0342	−0.0340	−0.0338	−0.0335	−0.0330	
	0.2	−0.0351	−0.0351	−0.0350	−0.0349	−0.0347	−0.0344	−0.0340	−0.0333	−0.0329	−0.0323	−0.0317	−0.0309	
	0.3	−0.0339	−0.0337	−0.0334	−0.0330	−0.0325	−0.0319	−0.0311	−0.0300	−0.0294	−0.0286	−0.0277	−0.0266	
	0.4	−0.0306	−0.0301	−0.0296	−0.0290	−0.0284	−0.0275	−0.0264	−0.0251	−0.0243	−0.0234	−0.0224	−0.0212	
距	0.5	−0.0255	−0.0249	−0.0243	−0.0236	−0.0228	−0.0219	−0.0207	−0.0193	−0.0185	−0.0176	−0.0165	−0.0153	
	0.6	−0.0193	−0.0187	−0.0181	−0.0174	−0.0166	−0.0157	−0.0146	−0.0133	−0.0126	−0.0118	−0.0109	−0.0099	
	0.7	−0.0127	−0.0122	−0.0117	−0.0111	−0.0105	−0.0098	−0.0089	−0.0079	−0.0074	−0.0068	−0.0061	−0.0053	
	0.8	−0.0066	−0.0063	−0.0059	−0.0056	−0.0052	−0.0047	−0.0042	−0.0036	−0.0033	−0.0030	−0.0026	−0.0022	
	0.9	−0.0019	−0.0018	−0.0017	−0.0015	−0.0014	−0.0013	−0.0011	−0.0009	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0005	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$w=w_0$	−0.0058	−0.0059	−0.0060	−0.0061	−0.0063	−0.0064	−0.0065	−0.0065	−0.0066	−0.0066	−0.0066	−0.0066	w_0l^2
	$w=\lambda^2 w_2$	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	$\frac{1}{8}w_2l^2$
較荷重	$w=\lambda^4 w_4$	0.0011	0.0011	0.0012	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	$\frac{1}{5}w_4l^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3	0.0070	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064	0.0062	0.0059	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0047	pl^2
	−0.3～+1.0	−0.0128	−0.0128	−0.0128	−0.0127	−0.0127	−0.0125	−0.0124	−0.0122	−0.0120	−0.0118	−0.0116	−0.0113	



第 17 圖　鉛直荷重　1/4 點撓曲率影響線 $\beta M_{1/4}$　($\alpha=0.6$　$\beta=0$, 0.3, 0.6, 0.9)

$6.7\times4.8=28.8$



第 18 圖　鉛直荷重 1/4 點彎曲率影響線 $M_{1/4}$　($\beta=0.6$　$\alpha=1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3$)

$\alpha=1.0$　　第 41 表　　鉛直荷重　　拱頂彎曲率 M_c

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	∓0.9	−0.0016	−0.0015	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0009	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0005	
	∓0.8	−0.0031	−0.0049	−0.0047	−0.0045	−0.0042	−0.0039	−0.0036	−0.0033	−0.0031	−0.0029	−0.0026	−0.0023	
	∓0.7	−0.0091	−0.0088	−0.0085	−0.0081	−0.0078	−0.0074	−0.0070	−0.0065	−0.0062	−0.0059	−0.0055	−0.0052	
	∓0.6	−0.0120	−0.0117	−0.0114	−0.0111	−0.0108	−0.0104	−0.0099	−0.0094	−0.0092	−0.0089	−0.0085	−0.0081	
	∓0.5	−0.0127	−0.0125	−0.0123	−0.0121	−0.0118	−0.0116	−0.0113	−0.0110	−0.0108	−0.0106	−0.0103	−0.0101	l
	∓0.4	−0.0101	−0.0101	−0.0100	−0.0100	−0.0100	−0.0099	−0.0098	−0.0098	−0.0097	−0.0097	−0.0097	−0.0096	
	∓0.3	−0.0034	−0.0035	−0.0037	−0.0039	−0.0041	−0.0043	−0.0045	−0.0047	−0.0048	−0.0050	−0.0052	−0.0054	
	∓0.2	0.0080	0.0077	0.0074	0.0070	0.0067	0.0063	0.0058	0.0053	0.0050	0.0047	0.0043	0.0039	
	∓0.1	0.0247	0.0243	0.0238	0.0234	0.0228	0.0223	0.0217	0.0210	0.0205	0.0201	0.0196	0.0190	
	0	0.0469	0.0464	0.0459	0.0454	0.0449	0.0442	0.0436	0.0428	0.0423	0.0418	0.0413	0.0407	
對稱荷重	$w=w_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	w_0l^2
	$w=\lambda^2w_2$	−0.0054	−0.0052	−0.0051	−0.0049	−0.0047	−0.0046	−0.0043	−0.0041	−0.0040	−0.0038	−0.0037	−0.0035	$\frac{1}{8}w_2l^2$
	$w=\lambda^4w_4$	−0.0040	−0.0039	−0.0037	−0.0036	−0.0034	−0.0032	−0.0030	−0.0028	−0.0027	−0.0025	−0.0024	−0.0023	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3, +0.3～+1.0	−0.0053	−0.0052	−0.0051	−0.0050	−0.0048	−0.0047	−0.0046	−0.0044	−0.0043	−0.0042	−0.0041	−0.0039	pl^2
	−0.3～+0.3	0.0053	0.0052	0.0051	0.0050	0.0048	0.0047	0.0046	0.0044	0.0043	0.0042	0.0041	0.0039	

$\alpha=0.9$　　第 42 表　　鉛直荷重　　拱頂彎曲率 M_c

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	∓0.9	−0.0016	−0.0015	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0009	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0005	
	∓0.8	−0.0031	−0.0049	−0.0046	−0.0044	−0.0042	−0.0039	−0.0036	−0.0033	−0.0031	−0.0028	−0.0026	−0.0023	
	∓0.7	−0.0088	−0.0085	−0.0082	−0.0079	−0.0076	−0.0072	−0.0068	−0.0064	−0.0061	−0.0058	−0.0054	−0.0051	
	∓0.6	−0.0114	−0.0112	−0.0109	−0.0106	−0.0103	−0.0099	−0.0095	−0.0091	−0.0088	−0.0084	−0.0083	−0.0079	
	∓0.5	−0.0117	−0.0116	−0.0114	−0.0112	−0.0110	−0.0108	−0.0106	−0.0103	−0.0101	−0.0100	−0.0098	−0.0096	l
	∓0.4	−0.0087	−0.0087	−0.0087	−0.0087	−0.0087	−0.0087	−0.0087	−0.0087	−0.0087	−0.0087	−0.0087	−0.0087	
	∓0.3	−0.0016	−0.0018	−0.0020	−0.0022	−0.0024	−0.0027	−0.0029	−0.0032	−0.0034	−0.0035	−0.0038	−0.0041	
	∓0.2	0.0102	0.0099	0.0095	0.0091	0.0087	0.0082	0.0077	0.0071	0.0068	0.0064	0.0060	0.0055	
	∓0.1	0.0271	0.0267	0.0262	0.0257	0.0251	0.0245	0.0238	0.0230	0.0225	0.0220	0.0215	0.0202	
	0	0.0494	0.0489	0.0484	0.0478	0.0472	0.0465	0.0458	0.0449	0.0444	0.0439	0.0433	0.0426	
對稱荷重	$w=w_0$	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010	0.0010	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	w_0l^2
	$w=\lambda^2w_2$	−0.0050	−0.0049	−0.0047	−0.0046	−0.0045	−0.0043	−0.0041	−0.0039	−0.0038	−0.0036	−0.0035	−0.0033	$\frac{1}{8}w_2l^2$
	$w=\lambda^4w_4$	−0.0038	−0.0037	−0.0036	−0.0034	−0.0033	−0.0031	−0.0030	−0.0028	−0.0026	−0.0025	−0.0024	−0.0022	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3, +0.3～+1.0	−0.0049	−0.0048	−0.0047	−0.0046	−0.0045	−0.0044	−0.0043	−0.0041	−0.0040	−0.0039	−0.0038	−0.0037	pl^2
	−0.3～+0.3	0.0060	0.0059	0.0058	0.0056	0.0055	0.0053	0.0052	0.0050	0.0048	0.0047	0.0046	0.0044	

$\alpha=0.8$　　第 43 表　　鉛直荷重　　拱頂彎曲率 M_c

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	∓0.9	−0.0016	−0.0015	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0009	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0005	
	∓0.8	−0.0050	−0.0048	−0.0046	−0.0043	−0.0041	−0.0038	−0.0035	−0.0032	−0.0030	−0.0028	−0.0026	−0.0023	
	∓0.7	−0.0085	−0.0082	−0.0079	−0.0077	−0.0074	−0.0070	−0.0066	−0.0062	−0.0059	−0.0057	−0.0053	−0.0050	
	∓0.6	−0.0103	−0.0105	−0.0103	−0.0100	−0.0097	−0.0094	−0.0091	−0.0087	−0.0085	−0.0082	−0.0079	−0.0076	
	∓0.5	−0.0106	−0.0105	−0.0104	−0.0102	−0.0101	−0.0099	−0.0097	−0.0095	−0.0094	−0.0093	−0.0091	−0.0090	l
	∓0.4	−0.0071	−0.0072	−0.0072	−0.0073	−0.0073	−0.0074	−0.0075	−0.0075	−0.0076	−0.0076	−0.0077	−0.0078	
	∓0.3	0.0004	0.0002	−0.0001	−0.0003	−0.0006	−0.0010	−0.0013	−0.0016	−0.0019	−0.0021	−0.0024	−0.0027	
	∓0.2	0.0126	0.0122	0.0118	0.0113	0.0108	0.0103	0.0097	0.0090	0.0087	0.0082	0.0078	0.0072	
	∓0.1	0.0297	0.0292	0.0287	0.0281	0.0275	0.0268	0.0260	0.0252	0.0247	0.0241	0.0235	0.0228	
	0	0.0521	0.0515	0.0510	0.0503	0.0497	0.0489	0.0481	0.0472	0.0466	0.0461	0.0454	0.0446	
對稱荷重	$w=w_0$	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0015	w_0l^2
	$w=\lambda^2w_2$	−0.0046	−0.0045	−0.0044	−0.0043	−0.0041	−0.0040	−0.0038	−0.0036	−0.0035	−0.0034	−0.0033	−0.0031	$\frac{1}{8}w_2l^2$
	$w=\lambda^4w_4$	−0.0037	−0.0035	−0.0034	−0.0033	−0.0032	−0.0030	−0.0028	−0.0027	−0.0025	−0.0024	−0.0023	−0.0021	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3, +0.3～+1.0	−0.0044	−0.0043	−0.0043	−0.0042	−0.0041	−0.0040	−0.0039	−0.0038	−0.0037	−0.0036	−0.0035	−0.0034	pl^2
	−0.3～+0.3	0.0057	0.0056	0.0055	0.0053	0.0052	0.0050	0.0048	0.0046	0.0044	0.0043	0.0042	0.0040	

$\alpha=0.7$ 第 44 表 鉛直荷重 拱頂彎曲率 M_c

影響線縱距	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	∓0.9	−0.0015	−0.0015	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0009	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0006	
	∓0.8	−0.0048	−0.0046	−0.0044	−0.0042	−0.0040	−0.0038	−0.0035	−0.0032	−0.0030	−0.0028	−0.0026	−0.0023	
	∓0.7	−0.0081	−0.0079	−0.0076	−0.0074	−0.0071	−0.0067	−0.0064	−0.0060	−0.0057	−0.0055	−0.0052	−0.0049	
	∓0.6	−0.0100	−0.0098	−0.0096	−0.0094	−0.0091	−0.0089	−0.0085	−0.0082	−0.0080	−0.0078	−0.0075	−0.0072	l
	∓0.5	−0.0094	−0.0094	−0.0093	−0.0092	−0.0091	−0.0089	−0.0088	−0.0087	−0.0086	−0.0085	−0.0084	−0.0083	
	∓0.4	−0.0055	−0.0056	−0.0056	−0.0058	−0.0059	−0.0060	−0.0061	−0.0062	−0.0063	−0.0064	−0.0065	−0.0067	
	∓0.3	0.0025	0.0023	0.0019	0.0017	0.0013	0.0010	0.0006	0.0001	−0.0002	−0.0005	−0.0008	−0.0012	
	∓0.2	0.0151	0.0146	0.0142	0.0137	0.0131	0.0125	0.0119	0.0111	0.0107	0.0102	0.0097	0.0091	
	∓0.1	0.0325	0.0319	0.0313	0.0307	0.0300	0.0293	0.0285	0.0275	0.0270	0.0264	0.0257	0.0250	
	0	0.0549	0.0543	0.0537	0.0530	0.0523	0.0515	0.0506	0.0496	0.0491	0.0484	0.0477	0.0469	
對稱滿載荷重	$w=w_0$	0.0036	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0028	0.0028	0.0027	0.0026	0.0024	w_0l^2
	$w=\lambda^2w_2$	−0.0042	−0.0041	−0.0040	−0.0039	−0.0038	−0.0036	−0.0035	−0.0033	−0.0032	−0.0031	−0.0030	−0.0029	$\frac{1}{24}w_2l^2$
	$w=\lambda^4w_4$	−0.0035	−0.0034	−0.0033	−0.0031	−0.0030	−0.0029	−0.0027	−0.0025	−0.0024	−0.0023	−0.0022	−0.0021	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重 p	$\begin{cases}-1.0\sim-0.3\\+0.3\sim+1.0\end{cases}$	−0.0039	−0.0038	−0.0038	−0.0037	−0.0036	−0.0036	−0.0035	−0.0034	−0.0033	−0.0033	−0.0032	−0.0031	pl^2
	−0.3～+0.3	0.0075	0.0074	0.0072	0.0071	0.0069	0.0067	0.0065	0.0062	0.0061	0.0059	0.0058	0.0056	

$\alpha=0.6$ 第 45 表 鉛直荷重 拱頂彎曲率 M_c

影響線縱距	λ \ β	0	0.1	0.2	0.5	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	∓0.9	−0.0015	−0.0014	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0009	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0006	
	∓0.8	−0.0047	−0.0045	−0.0043	−0.0041	−0.0039	−0.0036	−0.0034	−0.0031	−0.0029	−0.0027	−0.0025	−0.0023	
	∓0.7	−0.0077	−0.0075	−0.0072	−0.0070	−0.0067	−0.0064	−0.0061	−0.0057	−0.0055	−0.0053	−0.0050	−0.0047	
	∓0.6	−0.0092	−0.0091	−0.0089	−0.0086	−0.0084	−0.0082	−0.0079	−0.0076	−0.0075	−0.0073	−0.0071	−0.0068	l
	∓0.5	−0.0082	−0.0081	−0.0081	−0.0080	−0.0079	−0.0079	−0.0078	−0.0077	−0.0077	−0.0076	−0.0075	−0.0075	
	∓0.4	−0.0037	−0.0038	−0.0039	−0.0041	−0.0043	−0.0044	−0.0046	−0.0048	−0.0049	−0.0051	−0.0052	−0.0054	
	∓0.3	0.0048	0.0045	0.0041	0.0038	0.0034	0.0030	0.0025	0.0020	0.0017	0.0013	0.0009	0.0005	
	∓0.2	0.0177	0.0172	0.0167	0.0162	0.0156	0.0149	0.0142	0.0134	0.0130	0.0124	0.0119	0.0112	
	∓0.1	0.0353	0.0347	0.0341	0.0335	0.0327	0.0319	0.0311	0.0301	0.0295	0.0288	0.0281	0.0273	
	0	0.0579	0.0572	0.0566	0.0559	0.0551	0.0542	0.0533	0.0522	0.0516	0.0509	0.0502	0.0493	
對稱滿載荷重	$w=w_0$	0.0050	0.0049	0.0048	0.0046	0.0045	0.0043	0.0042	0.0040	0.0039	0.0037	0.0036	0.0034	w_0l^2
	$w=\lambda^2w_2$	−0.0037	−0.0036	−0.0036	−0.0035	−0.0034	−0.0033	−0.0031	−0.0030	−0.0029	−0.0028	−0.0027	−0.0026	$\frac{1}{24}w_2l^2$
	$w=\lambda^4w_4$	−0.0033	−0.0032	−0.0031	−0.0029	−0.0028	−0.0027	−0.0025	−0.0024	−0.0023	−0.0022	−0.0021	−0.0019	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重 p	$\begin{cases}-1.0\sim-0.3\\+0.3\sim+1.0\end{cases}$	−0.0034	−0.0033	−0.0033	−0.0032	−0.0032	−0.0031	−0.0030	−0.0030	−0.0029	−0.0029	−0.0028	−0.0028	pl^2
	−0.3～+0.3	0.0083	0.0082	0.0080	0.0078	0.0076	0.0074	0.0072	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064	0.0062	

$\alpha=0.5$ 第 46 表 鉛直荷重 拱頂彎曲率 M_c

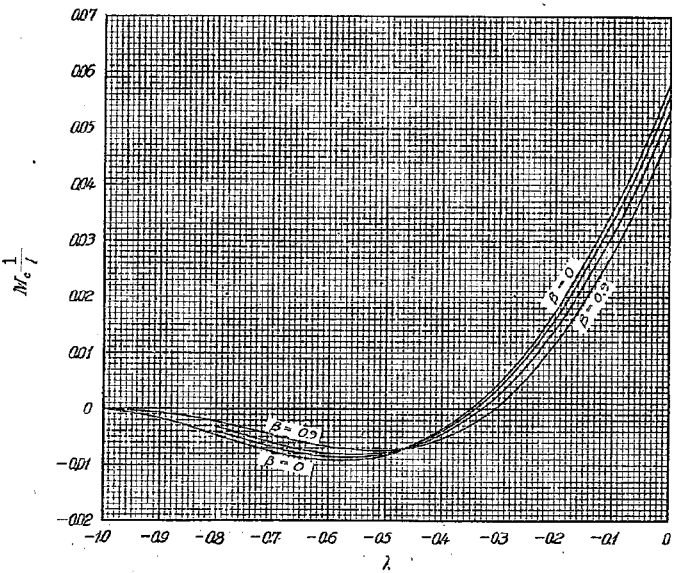
影響線縱距	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	7.0	0.75	0.8	0.85	0.9	
	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	∓0.9	−0.0015	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0009	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0005	
	∓0.8	−0.0045	−0.0043	−0.0041	−0.0039	−0.0037	−0.0035	−0.0033	−0.0030	−0.0028	−0.0026	−0.0024	−0.0022	
	∓0.7	−0.0072	−0.0070	−0.0068	−0.0066	−0.0063	−0.0060	−0.0057	−0.0054	−0.0052	−0.0050	−0.0047	−0.0045	
	∓0.6	−0.0083	−0.0082	−0.0080	−0.0078	−0.0077	−0.0075	−0.0073	−0.0070	−0.0069	−0.0067	−0.0065	−0.0063	l
	∓0.5	−0.0068	−0.0068	−0.0067	−0.0067	−0.0067	−0.0067	−0.0067	−0.0067	−0.0066	−0.0066	−0.0066	−0.0066	
	∓0.4	−0.0018	−0.0020	−0.0021	−0.0023	−0.0025	−0.0028	−0.0030	−0.0033	−0.0034	−0.0036	−0.0038	−0.0041	
	∓0.3	0.0072	0.0068	0.0064	0.0060	0.0055	0.0051	0.0046	0.0040	0.0036	0.0033	0.0028	0.0023	
	∓0.2	0.0205	0.0199	0.0194	0.0188	0.0182	0.0175	0.0167	0.0158	0.0153	0.0148	0.0142	0.0134	
	∓0.1	0.0384	0.0377	0.0371	0.0363	0.0356	0.0347	0.0338	0.0327	0.0321	0.0315	0.0307	0.0299	
	0	0.0610	0.0603	0.0596	0.0588	0.0580	0.0571	0.0561	0.0550	0.0544	0.0537	0.0529	0.0519	
對稱滿載荷重	$w=w_0$	0.0064	0.0063	0.0061	0.0060	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0047	0.0045	w_0l^2
	$w=\lambda^2w_2$	−0.0032	−0.0031	−0.0031	−0.0030	−0.0029	−0.0028	−0.0027	−0.0025	−0.0025	−0.0025	−0.0024	−0.0023	$\frac{1}{24}w_2l^2$
	$w=\lambda^4w_4$	−0.0030	−0.0029	−0.0028	−0.0027	−0.0026	−0.0025	−0.0024	−0.0022	−0.0021	−0.0021	−0.0019	−0.0018	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重 p	$\begin{cases}-1.0\sim-0.3\\+0.3\sim+1.0\end{cases}$	−0.0027	−0.0027	−0.0027	−0.0027	−0.0026	−0.0026	−0.0026	−0.0025	−0.0025	−0.0024	−0.0024	−0.0024	pl^2
	−0.3～+0.3	0.0092	0.0090	0.0088	0.0087	0.0084	0.0082	0.0080	0.0077	0.0075	0.0073	0.0072	0.0069	

$\alpha=0.4$　　第 47 表　　鉛直荷重　　拱頂彎曲率 M_c

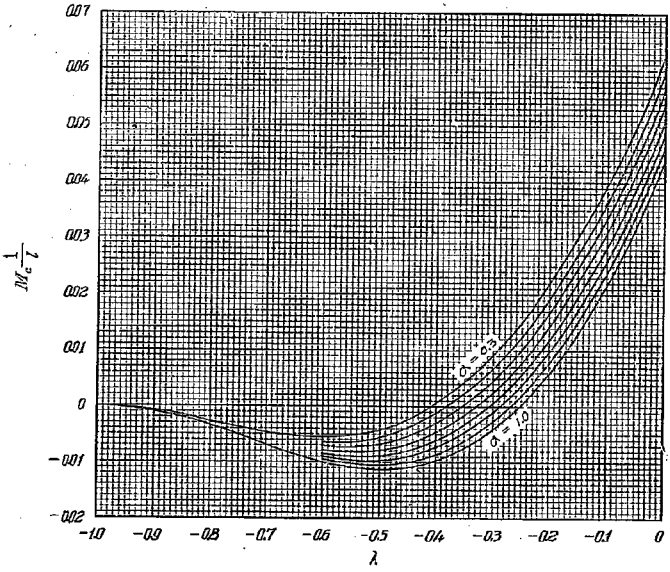
	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l
	∓0.9	−0.0014	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0009	−0.0008	−0.0008	−0.0007	−0.0006	−0.0005	
	∓0.8	−0.0043	−0.0041	−0.0039	−0.0037	−0.0036	−0.0033	−0.0031	−0.0028	−0.0027	−0.0025	−0.0023	−0.0021	
	∓0.7	−0.0067	−0.0065	−0.0063	−0.0061	−0.0059	−0.0056	−0.0053	−0.0050	−0.0049	−0.0047	−0.0045	−0.0042	
	∓0.6	−0.0074	−0.0072	−0.0071	−0.0070	−0.0068	−0.0067	−0.0065	−0.0063	−0.0062	−0.0061	−0.0059	−0.0058	
	∓0.5	−0.0053	−0.0053	−0.0053	−0.0053	−0.0054	−0.0054	−0.0054	−0.0055	−0.0055	−0.0055	−0.0056	−0.0056	
	∓0.4	0.0002	0.0000	−0.0002	−0.0004	−0.0007	−0.0010	−0.0013	−0.0016	−0.0018	−0.0020	−0.0023	−0.0026	
	∓0.3	0.0097	0.0093	0.0088	0.0084	0.0079	0.0074	0.0068	0.0061	0.0058	0.0054	0.0049	0.0043	
	∓0.2	0.0234	0.0228	0.0222	0.0216	0.0209	0.0201	0.0193	0.0184	0.0179	0.0173	0.0166	0.0159	
	∓0.1	0.0415	0.0408	0.0401	0.0394	0.0385	0.0377	0.0367	0.0356	0.0350	0.0343	0.0335	0.0326	
	0	0.0642	0.0635	0.0627	0.0619	0.0611	0.0602	0.0591	0.0579	0.0573	0.0566	0.0557	0.0548	
對稱荷重	$w=w_0$	0.0080	0.0078	0.0076	0.0075	0.0072	0.0070	0.0068	0.0065	0.0063	0.0062	0.0060	0.0057	w_0l^2
	$w=\lambda^2w_2$	−0.0027	−0.0026	−0.0025	−0.0025	−0.0024	−0.0023	−0.0023	−0.0022	−0.0021	−0.0021	−0.0020	−0.0019	$\frac{1}{8}w_2l^2$
	$w=\lambda^4w_4$	−0.0027	−0.0027	−0.0026	−0.0025	−0.0024	−0.0023	−0.0022	−0.0020	−0.0019	−0.0019	−0.0018	−0.0017	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3 +0.3～+1.0	−0.0021	−0.0021	−0.0021	−0.0021	−0.0020	−0.0020	−0.0020	−0.0020	−0.0020	−0.0020	−0.0020	−0.0019	pl^2
	−0.3～+0.3	0.0101	0.0099	0.0097	0.0095	0.0093	0.0090	0.0088	0.0085	0.0083	0.0081	0.0079	0.0077	

$\alpha=0.3$　　第 48 表　　鉛直荷重　　拱頂彎曲率 M_c

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	l
	∓0.9	−0.0014	−0.0013	−0.0012	−0.0012	−0.0011	−0.0010	−0.0009	−0.0008	−0.0007	−0.0007	−0.0005	−0.0005	
	∓0.8	−0.0040	−0.0039	−0.0037	−0.0035	−0.0033	−0.0031	−0.0029	−0.0027	−0.0025	−0.0024	−0.0022	−0.0020	
	∓0.7	−0.0061	−0.0059	−0.0057	−0.0055	−0.0054	−0.0051	−0.0049	−0.0046	−0.0045	−0.0043	−0.0041	−0.0039	
	∓0.6	−0.0063	−0.0062	−0.0061	−0.0060	−0.0059	−0.0058	−0.0057	−0.0055	−0.0054	−0.0053	−0.0052	−0.0051	
	∓0.5	−0.0037	−0.0038	−0.0038	−0.0039	−0.0040	−0.0040	−0.0041	−0.0042	−0.0043	−0.0043	−0.0044	−0.0045	
	∓0.4	0.0024	0.0021	0.0019	0.0016	0.0013	0.0010	0.0006	0.0002	0.0000	−0.0003	−0.0006	−0.0009	
	∓0.3	0.0123	0.0118	0.0114	0.0109	0.0104	0.0098	0.0092	0.0084	0.0080	0.0076	0.0071	0.0065	
	∓0.2	0.0264	0.0258	0.0251	0.0245	0.0237	0.0230	0.0221	0.0211	0.0206	0.0200	0.0193	0.0185	
	∓0.1	0.0448	0.0440	0.0433	0.0425	0.0417	0.0407	0.0397	0.0385	0.0379	0.0372	0.0364	0.0355	
	0	0.0676	0.0668	0.0660	0.0652	0.0643	0.0633	0.0623	0.0610	0.0604	0.0596	0.0588	0.0578	
對稱荷重	$w=w_0$	0.0096	0.0094	0.0092	0.0090	0.0088	0.0085	0.0082	0.0079	0.0077	0.0075	0.0073	0.0070	w_0l^2
	$w=\lambda^2w_2$	−0.0021	−0.0020	−0.0020	−0.0019	−0.0019	−0.0018	−0.0018	−0.0017	−0.0017	−0.0016	−0.0016	−0.0015	$\frac{1}{8}w_2l^2$
	$w=\lambda^4w_4$	−0.0024	−0.0024	−0.0023	−0.0022	−0.0021	−0.0020	−0.0019	−0.0018	−0.0017	−0.0017	−0.0016	−0.0015	$\frac{1}{8}w_4l^2$
等布部分荷重 p	−1.0～−0.3 +0.3～+1.0	−0.0014	−0.0014	−0.0014	−0.0014	−0.0014	−0.0014	−0.0014	−0.0014	−0.0014	−0.0014	−0.0014	−0.0014	pl^2
	−0.3～+0.3	0.0110	0.0108	0.0106	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0093	0.0091	0.0090	0.0088	0.0085	



第 19 圖　鉛直荷重　排頂彎曲率影響線 M_c
($\alpha=0.6$　$\beta=0$, 0.3, 0.6, 0.9)



第 20 圖　鉛直荷重　排頂彎曲率影響線 M_c
($\beta=0.6$　$\alpha=1.0$, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3)

$\alpha=1.0$　　第 49 表　水平荷重　水平反力 X_1.

λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
−1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
−0.9	0.9684	0.9693	0.9703	0.9714	0.9728	0.9743	0.9763	0.9786	0.9801	0.9818	0.9839	0.9863
−0.8	0.8942	0.8965	0.8990	0.9019	0.9053	0.9092	0.9141	0.9201	0.9238	0.9281	0.9333	0.9393
−0.7	0.8027	0.8057	0.8091	0.8130	0.8175	0.8229	0.8294	0.8375	0.8425	0.8483	0.8551	0.8633
−0.6	0.7117	0.7147	0.7181	0.7219	0.7264	0.7317	0.7381	0.7462	0.7511	0.7569	0.7636	0.7718
−0.5	0.6328	0.6352	0.6379	0.6409	0.6445	0.6487	0.6538	0.6603	0.6642	0.6687	0.6741	0.6805
−0.4	0.5723	0.5739	0.5756	0.5775	0.5798	0.5825	0.5858	0.5899	0.5925	0.5954	0.5988	0.6030
−0.3	0.5319	0.5327	0.5336	0.5345	0.5274	0.5370	0.5386	0.5407	0.5419	0.5433	0.5451	0.5471
−0.2	0.5098	0.5100	0.5103	0.5106	0.5110	0.5114	0.5120	0.5126	0.5130	0.5135	0.5141	0.5148
−0.1	0.5012	0.5013	0.5013	0.5014	0.5014	0.5015	0.5015	0.5016	0.5017	0.5018	0.5018	0.5019
0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
0.1	0.4988	0.4987	0.4987	0.4986	0.4986	0.4985	0.4985	0.4984	0.4983	0.4983	0.4982	0.4981
0.2	0.4902	0.4900	0.4897	0.4894	0.4890	0.4886	0.4880	0.4874	0.4870	0.4865	0.4859	0.4852
0.3	0.4681	0.4673	0.4665	0.4655	0.4726	0.4630	0.4614	0.4593	0.4581	0.4567	0.4549	0.4529
0.4	0.4277	0.4261	0.4244	0.4225	0.4202	0.4175	0.4142	0.4101	0.4075	0.4046	0.4012	0.3970
0.5	0.3672	0.3648	0.3621	0.3591	0.3555	0.3513	0.3462	0.3398	0.3358	0.3313	0.3259	0.3194
0.6	0.2883	0.2853	0.2819	0.2781	0.2736	0.2683	0.2619	0.2538	0.2489	0.2431	0.2364	0.2282
0.7	0.1973	0.1943	0.1909	0.1870	0.1825	0.1772	0.1707	0.1625	0.1575	0.1517	0.1449	0.1367
0.8	0.1058	0.1035	0.1010	0.0981	0.0947	0.0908	0.0859	0.0799	0.0762	0.0719	0.0667	0.0607
0.9	0.0316	0.0307	0.0297	0.0286	0.0273	0.0257	0.0238	0.0214	0.0199	0.0182	0.0161	0.0137
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

對稱滿載荷重　$q=\lambda^n q_n$　　$X_1=\frac{1}{2(n+1)}q_n l$

$\alpha=0.9$　　第 50 表　水平荷重　水平反力 X_1

λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
−1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
−0.9	0.9646	0.9656	0.9667	0.9679	0.9694	0.9711	0.9732	0.9758	0.9774	0.9793	0.9816	0.9843
−0.8	0.8848	0.8872	0.8898	0.8928	0.8963	0.9005	0.9056	0.9121	0.9160	0.9206	0.9261	0.9327
−0.7	0.7901	0.7931	0.7966	0.8005	0.8051	0.8105	0.8172	0.8256	0.8307	0.8359	0.8433	0.8525
−0.6	0.6992	0.7022	0.7055	0.7193	0.7137	0.7190	0.7254	0.7335	0.7384	0.7442	0.7511	0.7594
−0.5	0.6229	0.6252	0.6278	0.6308	0.6342	0.6383	0.6432	0.6495	0.6534	0.6579	0.6632	0.6696
−0.4	0.5660	0.5675	0.5691	0.5709	0.5731	0.5757	0.5788	0.5828	0.5852	0.5880	0.5913	0.5954
−0.3	0.5288	0.5295	0.5303	0.5312	0.5323	0.5335	0.5350	0.5370	0.5382	0.5395	0.5412	0.5431
−0.2	0.5087	0.5090	0.5092	0.5095	0.5099	0.5103	0.5108	0.5114	0.5118	0.5122	0.5128	0.5134
−0.1	0.5011	0.5011	0.5012	0.5012	0.5013	0.5013	0.5014	0.5015	0.5015	0.5016	0.5016	0.5017
0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
0.1	0.4989	0.4989	0.4988	0.4988	0.4988	0.4987	0.4986	0.4985	0.4985	0.4984	0.4984	0.4983
0.2	0.4913	0.4910	0.4908	0.4905	0.4901	0.4897	0.4892	0.4886	0.4882	0.4878	0.4872	0.4866
0.3	0.4712	0.4705	0.4697	0.4688	0.4677	0.4665	0.4650	0.4630	0.4619	0.4605	0.4588	0.4569
0.4	0.4340	0.4326	0.4309	0.4291	0.4269	0.4244	0.4212	0.4173	0.4148	0.4120	0.4087	0.4046
0.5	0.3771	0.3748	0.3722	0.3693	0.3658	0.3617	0.3568	0.3505	0.3466	0.3421	0.3368	0.3304
0.6	0.3008	0.2978	0.2945	0.2907	0.2863	0.2810	0.2746	0.2665	0.2616	0.2558	0.2489	0.2406
0.7	0.2100	0.2069	0.2034	0.1995	0.1949	0.1895	0.1828	0.1744	0.1693	0.1642	0.1582	0.1475
0.8	0.1152	0.1128	0.1102	0.1072	0.1037	0.0995	0.0944	0.0879	0.0840	0.0794	0.0739	0.0673
0.9	0.0354	0.0344	0.0334	0.0321	0.0307	0.0289	0.0268	0.0242	0.0226	0.0207	0.0184	0.0157
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

對稱滿載荷重　$q=\lambda^n q_n$　　$X_1=\frac{1}{2(n+1)}q_n l$

$\alpha=0.8$ 第 51 表 水平荷重 水平反力 X_1

λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
−1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
−0.9	0.9606	0.9616	0.9628	0.9641	0.9657	0.9676	0.9699	0.9728	0.9745	0.9766	0.9791	0.9821
−0.8	0.8749	0.8773	0.8801	0.8832	0.8860	0.8913	0.8966	0.9035	0.9076	0.9125	0.9184	0.9255
−0.7	0.7770	0.7801	0.7836	0.7875	0.7922	0.7977	0.8044	0.8130	0.8183	0.8245	0.8318	0.8408
−0.6	0.6865	0.6893	0.6926	0.6963	0.7006	0.7058	0.7121	0.7202	0.7251	0.7309	0.7378	0.7462
−0.5	0.6129	0.6151	0.6176	0.6204	0.6236	0.6276	0.6324	0.6384	0.6422	0.6466	0.6518	0.6581
−0.4	0.5595	0.5610	0.5623	0.5642	0.5662	0.5686	0.5716	0.5753	0.5776	0.5803	0.5836	0.5875
−0.3	0.5257	0.5263	0.5271	0.5279	0.5289	0.5300	0.5314	0.5332	0.5343	0.5356	0.5371	0.5390
−0.2	0.5077	0.5079	0.5082	0.5084	0.5087	0.5091	0.5096	0.5101	0.5105	0.5109	0.5114	0.5120
−0.1	0.5010	0.5010	0.5010	0.5011	0.5011	0.5012	0.5012	0.5013	0.5013	0.5014	0.5015	0.5015
0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
0.1	0.4990	0.4990	0.4990	0.4989	0.4989	0.4989	0.4988	0.4987	0.4987	0.4986	0.4986	0.4985
0.2	0.4923	0.4921	0.4919	0.4916	0.4913	0.4909	0.4905	0.4899	0.4895	0.4891	0.4886	0.4880
0.3	0.4743	0.4737	0.4730	0.4721	0.4712	0.4700	0.4686	0.4668	0.4657	0.4644	0.4629	0.4610
0.4	0.4404	0.4390	0.4375	0.4358	0.4338	0.4314	0.4284	0.4247	0.4224	0.4197	0.4165	0.4125
0.5	0.3871	0.3849	0.3825	0.3796	0.3764	0.3724	0.3676	0.3616	0.3579	0.3535	0.3483	0.3419
0.6	0.3136	0.3107	0.3074	0.3037	0.2994	0.2942	0.2879	0.2798	0.2749	0.2691	0.2622	0.2538
0.7	0.2230	0.2199	0.2165	0.2125	0.2079	0.2023	0.1956	0.1870	0.1817	0.1755	0.1682	0.1592
0.8	0.1251	0.1227	0.1199	0.1168	0.1140	0.1087	0.1034	0.0966	0.0924	0.0875	0.0817	0.0745
0.9	0.0394	0.0384	0.0372	0.0359	0.0343	0.0324	0.0302	0.0273	0.0255	0.0234	0.0209	0.0179
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

對稱荷重 $q=\lambda^n q_n$ $X_1=\frac{1}{2(n+1)}q_n l$

$\alpha=0.7$ 第 52 表 水平荷重 水平反力 X_1

λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
−1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
−0.9	0.9564	0.9575	0.9588	0.9602	0.9619	0.9639	0.9663	0.9694	0.9713	0.9736	0.9764	0.9797
−0.8	0.8646	0.8672	0.8700	0.8732	0.8771	0.8816	0.8871	0.8943	0.8986	0.9038	0.9100	0.9177
−0.7	0.7636	0.7666	0.7701	0.7741	0.7787	0.7843	0.7910	0.7997	0.8051	0.8114	0.8190	0.8283
−0.6	0.6734	0.6762	0.6794	0.6830	0.6872	0.6922	0.6984	0.7063	0.7112	0.7169	0.7238	0.7323
−0.5	0.6028	0.6048	0.6072	0.6098	0.6129	0.6166	0.6212	0.6270	0.6306	0.6348	0.6398	0.6461
−0.4	0.5532	0.5545	0.5559	0.5575	0.5593	0.5616	0.5643	0.5678	0.5699	0.5725	0.5755	0.5792
−0.3	0.5226	0.5231	0.5238	0.5245	0.5254	0.5265	0.5277	0.5294	0.5304	0.5316	0.5330	0.5348
−0.2	0.5067	0.5069	0.5071	0.5073	0.5076	0.5079	0.5083	0.5089	0.5092	0.5096	0.5100	0.5106
−0.1	0.5008	0.5009	0.5009	0.5009	0.5010	0.5010	0.5011	0.5011	0.5012	0.5012	0.5013	0.5013
0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
0.1	0.4992	0.4991	0.4991	0.4991	0.4991	0.4990	0.4990	0.4989	0.4988	0.4988	0.4987	0.4987
0.2	0.4933	0.4931	0.4929	0.4927	0.4924	0.4921	0.4917	0.4911	0.4908	0.4905	0.4900	0.4894
0.3	0.4774	0.4769	0.4762	0.4755	0.4746	0.4736	0.4723	0.4706	0.4696	0.4684	0.4670	0.4652
0.4	0.4468	0.4455	0.4441	0.4425	0.4407	0.4385	0.4357	0.4322	0.4301	0.4275	0.4245	0.4208
0.5	0.3972	0.3952	0.3928	0.3902	0.3871	0.3834	0.3788	0.3730	0.3695	0.3652	0.3602	0.3539
0.6	0.3266	0.3238	0.3206	0.3170	0.3128	0.3078	0.3016	0.2937	0.2888	0.2831	0.2762	0.2677
0.7	0.2364	0.2334	0.2299	0.2259	0.2213	0.2158	0.2090	0.2003	0.1949	0.1886	0.1810	0.1717
0.8	0.1354	0.1329	0.1300	0.1268	0.1230	0.1184	0.1129	0.1058	0.1014	0.0962	0.0900	0.0823
0.9	0.0436	0.0425	0.0412	0.0398	0.0381	0.0361	0.0337	0.0306	0.0287	0.0264	0.0236	0.0203
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

對稱荷重 $q=\lambda^n q_n$ $X_1=\frac{1}{2(n+1)}q_n l$

$\alpha=0.6$　　第 53 表　水平荷重　水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
	−1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	−0.9	0.9520	0.9532	0.9545	0.9560	0.9578	0.9599	0.9625	0.9659	0.9679	0.9705	0.9735	0.9771
影	−0.8	0.8540	0.8566	0.8595	0.8628	0.8667	0.8713	0.8771	0.8845	0.8891	0.8945	0.9011	0.9092
	−0.7	0.7498	0.7528	0.7563	0.7602	0.7648	0.7703	0.7771	0.7858	0.7913	0.7977	0.8054	0.8150
	−0.6	0.6602	0.6629	0.6659	0.6691	0.6735	0.6783	0.6843	0.6920	0.6967	0.7024	0.7091	0.7176
響	−0.5	0.5926	0.5945	0.5967	0.5992	0.6020	0.6055	0.6098	0.6152	0.6186	0.6226	0.6275	0.6335
	−0.4	0.5469	0.5480	0.5492	0.5507	0.5524	0.5544	0.5569	0.5601	0.5621	0.5644	0.5667	0.5707
	−0.3	0.5195	0.5200	0.5206	0.5212	0.5220	0.5229	0.5241	0.5255	0.5264	0.5275	0.5288	0.5304
	−0.2	0.5057	0.5059	0.5060	0.5062	0.5065	0.5068	0.5071	0.5076	0.5079	0.5082	0.5086	0.5091
線	−0.1	0.5007	0.5007	0.5007	0.5008	0.5008	0.5008	0.5009	0.5009	0.5010	0.5010	0.5011	0.5011
	0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
綫	0.1	0.4993	0.4993	0.4993	0.4992	0.4992	0.4992	0.4991	0.4991	0.4990	0.4990	0.4989	0.4989
	0.2	0.4943	0.4942	0.4940	0.4938	0.4935	0.4932	0.4929	0.4924	0.4922	0.4918	0.4914	0.4909
	0.3	0.4805	0.4800	0.4794	0.4788	0.4780	0.4771	0.4760	0.4745	0.4736	0.4725	0.4712	0.4696
	0.4	0.4531	0.4520	0.4508	0.4493	0.4476	0.4456	0.4431	0.4399	0.4379	0.4356	0.4333	0.4293
距	0.5	0.4074	0.4055	0.4033	0.4009	0.3980	0.3945	0.3903	0.3848	0.3814	0.3774	0.3725	0.3665
	0.6	0.3398	0.3371	0.3341	0.3306	0.3265	0.3217	0.3157	0.3080	0.3033	0.2977	0.2909	0.2824
	0.7	0.2502	0.2472	0.2438	0.2398	0.2352	0.2297	0.2229	0.2142	0.2087	0.2023	0.1946	0.1850
	0.8	0.1460	0.1434	0.1405	0.1372	0.1333	0.1287	0.1229	0.1155	0.1109	0.1055	0.0989	0.0908
	0.9	0.0480	0.0468	0.0455	0.0440	0.0422	0.0401	0.0375	0.0341	0.0321	0.0296	0.0266	0.0229
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

對稱荷重　$q=\lambda^n q_n$　　$X_1=\frac{1}{2(n+1)}q_n l$

$\alpha=0.5$　　第 54 表　水平荷重　水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
	−1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	−0.9	0.9474	0.9487	0.9500	0.9516	0.9535	0.9557	0.9585	0.9620	0.9643	0.9669	0.9702	0.9742
影	−0.8	0.8430	0.8456	0.8486	0.8519	0.8559	0.8607	0.8666	0.8742	0.8790	0.8846	0.8915	0.9001
	−0.7	0.7357	0.7387	0.7421	0.7460	0.7505	0.7559	0.7627	0.7713	0.7768	0.7832	0.7910	0.8008
	−0.6	0.6469	0.6495	0.6523	0.6556	0.6594	0.6641	0.6698	0.6771	0.6818	0.6872	0.6938	0.7021
響	−0.5	0.5824	0.5842	0.5862	0.5884	0.5911	0.5943	0.5982	0.6032	0.6064	0.6102	0.6147	0.6204
	−0.4	0.5405	0.5415	0.5427	0.5439	0.5454	0.5472	0.5494	0.5523	0.5541	0.5562	0.5588	0.5620
	−0.3	0.5164	0.5169	0.5174	0.5179	0.5186	0.5194	0.5204	0.5217	0.5225	0.5234	0.5245	0.5260
	−0.2	0.5047	0.5048	0.5050	0.5052	0.5054	0.5056	0.5059	0.5063	0.5065	0.5068	0.5072	0.5076
線	−0.1	0.5006	0.5006	0.5006	0.5006	0.5007	0.5007	0.5007	0.5008	0.5008	0.5008	0.5009	0.5009
	0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
綫	0.1	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4993	0.4993	0.4992	0.4992	0.4992	0.4991	0.4991
	0.2	0.4953	0.4952	0.4950	0.4949	0.4947	0.4944	0.4941	0.4937	0.4935	0.4932	0.4928	0.4924
	0.3	0.4836	0.4831	0.4826	0.4821	0.4814	0.4806	0.4796	0.4783	0.4776	0.4766	0.4755	0.4741
	0.4	0.4595	0.4585	0.4574	0.4561	0.4546	0.4528	0.4506	0.4477	0.4459	0.4433	0.4412	0.4380
距	0.5	0.4176	0.4158	0.4133	0.4116	0.4089	0.4057	0.4018	0.3968	0.3936	0.3898	0.3853	0.3796
	0.6	0.3531	0.3506	0.3477	0.3444	0.3405	0.3359	0.3302	0.3229	0.3183	0.3128	0.3062	0.2979
	0.7	0.2643	0.2613	0.2579	0.2541	0.2495	0.2441	0.2373	0.2287	0.2232	0.2168	0.2090	0.1992
	0.8	0.1570	0.1544	0.1514	0.1481	0.1441	0.1393	0.1334	0.1258	0.1210	0.1154	0.1085	0.1000
	0.9	0.0526	0.0514	0.0500	0.0484	0.0466	0.0443	0.0415	0.0380	0.0357	0.0331	0.0298	0.0258
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

對稱荷重　$q=\lambda^n q_n$　　$X_1=\frac{1}{2(n+1)}q_n l$

$\alpha=0.4$ 第 55 表 水平荷重 水平反力 X_1

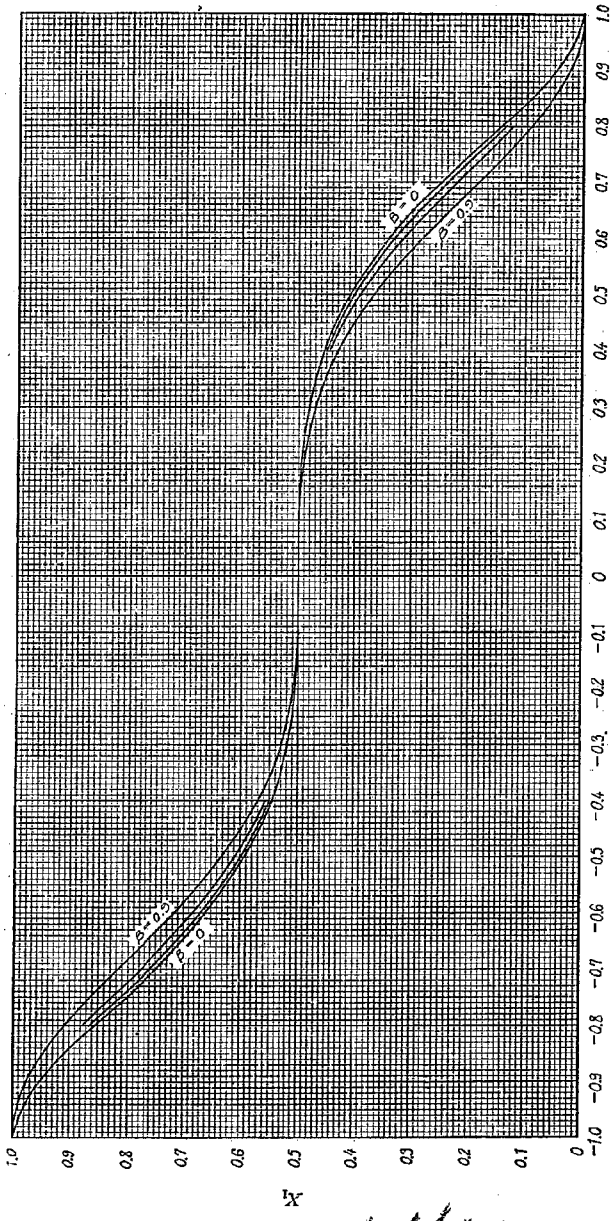
λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
−1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
−0.9	0.9427	0.9439	0.9454	0.9470	0.9490	0.9513	0.9542	0.9580	0.9604	0.9632	0.9667	0.9711
−0.8	0.8317	0.8344	0.8373	0.8408	0.8448	0.8496	0.8556	0.8634	0.8683	0.8741	0.8813	0.8902
−0.7	0.7215	0.7244	0.7277	0.7314	0.7358	0.7411	0.7477	0.7563	0.7617	0.7681	0.7759	0.7857
−0.6	0.6335	0.6359	0.6386	0.6417	0.6453	0.6496	0.6550	0.6620	0.6663	0.6715	0.6779	0.6859
−0.5	0.5723	0.5739	0.5757	0.5777	0.5801	0.5830	0.5865	0.5911	0.5940	0.5974	0.6016	0.6069
−0.4	0.5343	0.5352	0.5362	0.5373	0.5385	0.5407	0.5420	0.5445	0.5461	0.5480	0.5502	0.5531
−0.3	0.5134	0.5138	0.5142	0.5147	0.5153	0.5159	0.5168	0.5178	0.5185	0.5193	0.5203	0.5215
−0.2	0.5038	0.5039	0.5040	0.5041	0.5043	0.5045	0.5047	0.5050	0.5052	0.5055	0.5058	0.5061
−0.1	0.5005	0.5005	0.5005	0.5005	0.5005	0.5005	0.5006	0.5006	0.5006	0.5007	0.5007	0.5007
0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
0.1	0.4996	0.4995	0.4995	0.4995	0.4995	0.4995	0.4994	0.4994	0.4994	0.4993	0.4993	0.4993
0.2	0.4963	0.4962	0.4960	0.4959	0.4957	0.4955	0.4953	0.4950	0.4948	0.4945	0.4942	0.4939
0.3	0.4866	0.4862	0.4858	0.4853	0.4847	0.4841	0.4833	0.4822	0.4815	0.4807	0.4797	0.4785
0.4	0.4657	0.4648	0.4639	0.4628	0.4615	0.4598	0.4580	0.4555	0.4539	0.4521	0.4498	0.4469
0.5	0.4277	0.4261	0.4243	0.4223	0.4199	0.4171	0.4135	0.4089	0.4060	0.4026	0.3984	0.3931
0.6	0.3665	0.3641	0.3614	0.3584	0.3547	0.3504	0.3450	0.3380	0.3337	0.3285	0.3221	0.3141
0.7	0.2785	0.2756	0.2724	0.2686	0.2642	0.2589	0.2523	0.2437	0.2383	0.2319	0.2241	0.2143
0.8	0.1683	0.1657	0.1627	0.1593	0.1553	0.1504	0.1444	0.1366	0.1317	0.1259	0.1188	0.1098
0.9	0.0573	0.0561	0.0546	0.0530	0.0511	0.0487	0.0458	0.0420	0.0396	0.0368	0.0333	0.0289
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

對稱讀載荷重 $q=\lambda^n q_n$ $X_1=\frac{1}{2(n+1)}q_n l$

$\alpha=0.3$ 第 56 表 水平荷重 水平反力 X_1

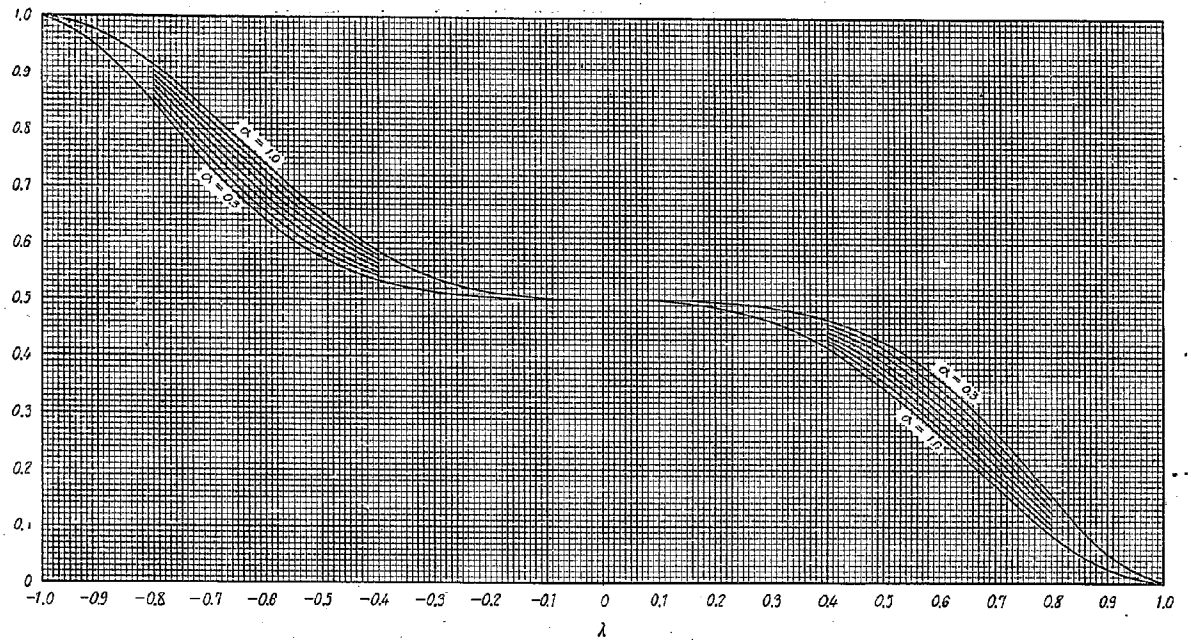
λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
−1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
−0.9	0.9377	0.9390	0.9406	0.9422	0.9443	0.9467	0.9498	0.9538	0.9563	0.9595	0.9630	0.9677
−0.8	0.8202	0.8228	0.8258	0.8292	0.8332	0.8381	0.8442	0.8521	0.8571	0.8631	0.8704	0.8797
−0.7	0.7071	0.7099	0.7130	0.7166	0.7209	0.7260	0.7324	0.7408	0.7460	0.7523	0.7601	0.7699
−0.6	0.6202	0.6224	0.6249	0.6277	0.6310	0.6350	0.6400	0.6465	0.6506	0.6555	0.6615	0.6692
−0.5	0.5624	0.5637	0.5653	0.5671	0.5692	0.5717	0.5748	0.5789	0.5815	0.5846	0.5884	0.5931
−0.4	0.5282	0.5290	0.5298	0.5307	0.5318	0.5331	0.5347	0.5368	0.5381	0.5397	0.5417	0.5441
−0.3	0.5106	0.5108	0.5112	0.5116	0.5120	0.5125	0.5132	0.5140	0.5146	0.5152	0.5160	0.5170
−0.2	0.5028	0.5029	0.5030	0.5031	0.5032	0.5034	0.5036	0.5038	0.5040	0.5041	0.5044	0.5046
−0.1	0.5003	0.5003	0.5004	0.5004	0.5004	0.5004	0.5004	0.5005	0.5005	0.5005	0.5005	0.5006
0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
0.1	0.4997	0.4997	0.4997	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4995	0.4995	0.4995	0.4995
0.2	0.4972	0.4971	0.4970	0.4969	0.4968	0.4966	0.4964	0.4962	0.4960	0.4959	0.4956	0.4954
0.3	0.4894	0.4892	0.4888	0.4885	0.4880	0.4875	0.4868	0.4860	0.4854	0.4848	0.4840	0.4830
0.4	0.4718	0.4710	0.4702	0.4693	0.4682	0.4669	0.4653	0.4632	0.4619	0.4603	0.4584	0.4559
0.5	0.4377	0.4363	0.4347	0.4329	0.4308	0.4283	0.4252	0.4211	0.4185	0.4154	0.4117	0.4069
0.6	0.3798	0.3776	0.3752	0.3723	0.3690	0.3650	0.3600	0.3535	0.3494	0.3445	0.3385	0.3309
0.7	0.2929	0.2902	0.2870	0.2834	0.2791	0.2740	0.2676	0.2592	0.2540	0.2477	0.2399	0.2301
0.8	0.1798	0.1772	0.1742	0.1708	0.1668	0.1619	0.1559	0.1479	0.1429	0.1370	0.1296	0.1203
0.9	0.0623	0.0610	0.0594	0.0578	0.0557	0.0533	0.0503	0.0462	0.0437	0.0407	0.0370	0.0324
1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

對稱讀載荷重 $q=\lambda^n q_n$ $X_1=\frac{1}{2(n+1)}q_n l$



第 21 圖　水平荷重　水平反力影響線 $X_1=H$　($\alpha=0.6$　$\beta=0, 0.3, 0.6, 0.9$)

6.5×3.3=21.45



第 22 圖　水平荷重　水平反力影響線 $X_1=H$　($\beta=0.6$　$\alpha=1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3$)

$\alpha=1.0$　　第 57 表　水平荷重　鉛直反力 X_2

影響線縦距	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	∓0.9	0.0271	0.0261	0.0250	0.0237	0.0223	0.0206	0.0185	0.0161	0.0147	0.0131	0.0113	0.0092	
	∓0.8	0.0972	0.0943	0.0910	0.0872	0.0828	0.0778	0.0717	0.0644	0.0601	0.0553	0.0500	0.0438	
	∓0.7	0.1951	0.1903	0.1849	0.1787	0.1715	0.1630	0.1530	0.1409	0.1339	0.1261	0.1173	0.1073	
	∓0.6	0.3072	0.3011	0.2942	0.2862	0.2770	0.2663	0.2534	0.2380	0.2290	0.2189	0.2077	0.1950	$\frac{f}{l}$
	∓0.5	0.4219	0.4151	0.4075	0.3982	0.3886	0.3767	0.3626	0.3455	0.3356	0.3245	0.3121	0.2981	
	∓0.4	0.5292	0.5225	0.5143	0.5060	0.4958	0.4839	0.4705	0.4526	0.4426	0.4315	0.4190	0.4050	
	∓0.3	0.6211	0.6147	0.6074	0.5991	0.5895	0.5782	0.5648	0.5486	0.5392	0.5287	0.5169	0.5036	
	∓0.2	0.6912	0.6853	0.6786	0.6710	0.6621	0.6517	0.6391	0.6245	0.6158	0.6061	0.5953	0.5830	
	∓0.1	0.7351	0.7296	0.7234	0.7163	0.7080	0.6983	0.6868	0.6730	0.6649	0.6559	0.6458	0.6344	
	0	0.7500	0.7447	0.7386	0.7317	0.7237	0.7143	0.7031	0.6897	0.6818	0.6731	0.6633	0.6522	
對稱荷重	$q=q_0$	0.4000	0.3951	0.3896	0.3833	0.3759	0.3674	0.3572	0.3448	0.3377	0.3297	0.3207	0.3106	$q_0 f$
被荷重	$q=\lambda^2 q_2$	0.1714	0.1682	0.1645	0.1603	0.1554	0.1497	0.1429	0.1347	0.1299	0.1245	0.1185	0.1118	$\frac{1}{4}q_2 f$
	$q=\lambda^4 q_4$	0.0962	0.0930	0.0905	0.0876	0.0843	0.0804	0.0758	0.0702	0.0669	0.0633	0.0592	0.0546	$\frac{1}{6}q_4 f$

$\alpha=0.9$　　第 58 表　水平荷重　鉛直反力 X_2

影響線縦距	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	∓0.9	0.0291	0.0281	0.0269	0.0255	0.0239	0.0221	0.0199	0.0173	0.0157	0.0140	0.0121	0.0099	
	∓0.8	0.1023	0.1005	0.0957	0.0908	0.0872	0.0818	0.0753	0.0676	0.0631	0.0581	0.0525	0.0461	
	∓0.7	0.2013	0.1964	0.1907	0.1843	0.1768	0.1681	0.1577	0.1451	0.1378	0.1296	0.1205	0.1102	
	∓0.6	0.3117	0.3055	0.2983	0.2902	0.2807	0.2697	0.2565	0.2406	0.2314	0.2211	0.2095	0.1965	$\frac{f}{l}$
	∓0.5	0.4219	0.4150	0.4072	0.3982	0.3879	0.3757	0.3613	0.3439	0.3338	0.3225	0.3098	0.2955	
	∓0.4	0.5229	0.5160	0.5081	0.4991	0.4887	0.4766	0.4621	0.4446	0.4345	0.4231	0.4104	0.3960	
	∓0.3	0.6078	0.6013	0.5938	0.5853	0.5754	0.5638	0.5501	0.5335	0.5238	0.5131	0.5009	0.4873	
	∓0.2	0.6719	0.6658	0.6588	0.6509	0.6417	0.6312	0.6182	0.6027	0.5937	0.5837	0.5725	0.5598	
	∓0.1	0.7116	0.7058	0.6993	0.6919	0.6832	0.6731	0.6611	0.6466	0.6382	0.6283	0.6182	0.6063	
	0	0.7250	0.7194	0.7131	0.7058	0.6974	0.6875	0.6758	0.6616	0.6534	0.6442	0.6339	0.6223	
對稱荷重	$q=q_0$	0.3943	0.3893	0.3836	0.3770	0.3694	0.3605	0.3500	0.3373	0.3299	0.3216	0.3123	0.3019	$q_0 f$
被荷重	$q=\lambda^2 q_2$	0.1733	0.1700	0.1662	0.1618	0.1567	0.1508	0.1437	0.1352	0.1303	0.1247	0.1185	0.1115	$\frac{1}{4}q_2 f$
	$q=\lambda^4 q_4$	0.0978	0.0955	0.0929	0.0899	0.0864	0.0823	0.0775	0.0717	0.0683	0.0645	0.0602	0.0554	$\frac{1}{6}q_4 f$

$\alpha=0.8$　　第 59 表　水平荷重　鉛直反力 X_2

影響線縦距	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	∓0.9	0.0311	0.0300	0.0287	0.0273	0.0256	0.0236	0.0213	0.0185	0.0168	0.0150	0.0129	0.0106	
	∓0.8	0.1073	0.1041	0.1005	0.0963	0.0914	0.0858	0.0790	0.0709	0.0661	0.0609	0.0549	0.0483	
	∓0.7	0.2076	0.2024	0.1966	0.1899	0.1821	0.1731	0.1623	0.1493	0.1417	0.1333	0.1233	0.1131	
	∓0.6	0.3162	0.3093	0.3025	0.2941	0.2844	0.2731	0.2596	0.2433	0.2338	0.2233	0.2114	0.1980	$\frac{f}{l}$
	∓0.5	0.4219	0.4149	0.4069	0.3978	0.3872	0.3748	0.3601	0.3423	0.3320	0.3205	0.3075	0.2929	
	∓0.4	0.5165	0.5095	0.5015	0.4910	0.4817	0.4693	0.4545	0.4367	0.4263	0.4148	0.4018	0.3871	
	∓0.3	0.5946	0.5879	0.5802	0.5715	0.5613	0.5496	0.5353	0.5183	0.5084	0.4974	0.4849	0.4709	
	∓0.2	0.6525	0.6462	0.6390	0.6308	0.6213	0.6102	0.5969	0.5810	0.5717	0.5613	0.5497	0.5365	
	∓0.1	0.6880	0.6821	0.6753	0.6675	0.6585	0.6479	0.6354	0.6202	0.6114	0.6016	0.5906	0.5781	
	0	0.7000	0.6942	0.6875	0.6799	0.6711	0.6607	0.6484	0.6336	0.6250	0.6154	0.6046	0.5924	
對稱荷重	$q=q_0$	0.3885	0.3834	0.3775	0.3707	0.3629	0.3538	0.3429	0.3297	0.3221	0.3136	0.3040	0.2932	$q_0 f$
被荷重	$q=\lambda^2 q_2$	0.1752	0.1718	0.1678	0.1633	0.1580	0.1519	0.1446	0.1358	0.1307	0.1249	0.1185	0.1113	$\frac{1}{4}q_2 f$
	$q=\lambda^4 q_4$	0.1004	0.0980	0.0953	0.0922	0.0885	0.0843	0.0793	0.0732	0.0696	0.0657	0.0612	0.0562	$\frac{1}{6}q_4 f$

$\alpha=0.7$ 第 60 表 水平荷重 鉛直反力 X_2

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{f}{l}$
	∓0.9	0.0331	0.0319	0.0306	0.0291	0.0273	0.0252	0.0227	0.0196	0.0179	0.0160	0.0137	0.0113	
	∓0.8	0.1124	0.1080	0.1032	0.1008	0.0957	0.0898	0.0827	0.0741	0.0692	0.0636	0.0574	0.0504	
	∓0.7	0.2138	0.2085	0.2024	0.1955	0.1875	0.1781	0.1669	0.1534	0.1456	0.1369	0.1270	0.1159	
	∓0.6	0.3207	0.3141	0.3066	0.2980	0.2881	0.2765	0.2626	0.2459	0.2362	0.2254	0.2132	0.1995	
	∓0.5	0.4219	0.4147	0.4066	0.3973	0.3865	0.3739	0.3588	0.3407	0.3302	0.3184	0.3052	0.2903	
	∓0.4	0.5102	0.5030	0.4948	0.4855	0.4747	0.4620	0.4469	0.4287	0.4182	0.4064	0.3932	0.3782	
	∓0.3	0.5813	0.5741	0.5666	0.5576	0.5473	0.5351	0.5206	0.5032	0.4930	0.4817	0.4690	0.4546	
	∓0.2	0.6331	0.6266	0.6192	0.6107	0.6009	0.5894	0.5757	0.5592	0.5496	0.5389	0.5269	0.5133	
	∓0.1	0.6645	0.6583	0.6512	0.6431	0.6337	0.6227	0.6096	0.5939	0.5847	0.5745	0.5630	0.5500	
	0	0.6750	0.6689	0.6619	0.6540	0.6447	0.6339	0.6211	0.6056	0.5966	0.5865	0.5753	0.5625	
對稱荷重	$q=q_0$	0.3829	0.3775	0.3714	0.3645	0.3564	0.3469	0.3357	0.3222	0.3143	0.3055	0.2956	0.2845	$q_0 f$
逆對稱荷重	$q=\lambda^3 q_2$	0.1771	0.1736	0.1695	0.1648	0.1594	0.1530	0.1455	0.1364	0.1311	0.1251	0.1185	0.1110	$\frac{1}{3}q_2 f$
	$q=\lambda^5 q_4$	0.1030	0.1005	0.0977	0.0944	0.0907	0.0862	0.0810	0.0747	0.0710	0.0669	0.0623	0.0571	$\frac{1}{5}q_4 f$

$\alpha=0.6$ 第 61 表 水平荷重 鉛直反力 X_2

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{f}{l}$
	∓0.9	0.0388	0.0339	0.0325	0.0308	0.0289	0.0267	0.0240	0.0209	0.0190	0.0169	0.0146	0.0120	
	∓0.8	0.1174	0.1139	0.1099	0.1053	0.1000	0.0987	0.0863	0.0774	0.0722	0.0664	0.0599	0.0525	
	∓0.7	0.2200	0.2146	0.2083	0.2011	0.1928	0.1831	0.1715	0.1576	0.1495	0.1405	0.1303	0.1188	
	∓0.6	0.3252	0.3185	0.3108	0.3020	0.2918	0.2799	0.2657	0.2486	0.2386	0.2275	0.2151	0.2010	
	∓0.5	0.4219	0.4146	0.4063	0.3968	0.3858	0.3729	0.3576	0.3391	0.3284	0.3164	0.3030	0.2878	
	∓0.4	0.5038	0.4965	0.4882	0.4786	0.4676	0.4547	0.4393	0.4208	0.4101	0.3980	0.3845	0.3693	
	∓0.3	0.5681	0.5610	0.5530	0.5438	0.5332	0.5207	0.5059	0.4880	0.4776	0.4660	0.4530	0.4383	
	∓0.2	0.6138	0.6071	0.5994	0.5906	0.5805	0.5686	0.5545	0.5375	0.5275	0.5165	0.5041	0.4900	
	∓0.1	0.6410	0.6345	0.6272	0.6187	0.6090	0.5975	0.5839	0.5675	0.5580	0.5473	0.5354	0.5219	
	0	0.6500	0.6436	0.6364	0.6281	0.6184	0.6071	0.5938	0.5776	0.5682	0.5577	0.5459	0.5326	
對稱荷重	$q=q_0$	0.3771	0.3716	0.3654	0.3582	0.3499	0.3401	0.3286	0.3146	0.3065	0.2974	0.2873	0.2758	$q_0 f$
逆對稱荷重	$q=\lambda^3 q_2$	0.1750	0.1753	0.1711	0.1663	0.1607	0.1541	0.1463	0.1369	0.1314	0.1253	0.1185	0.1108	$\frac{1}{3}q_2 f$
	$q=\lambda^5 q_4$	0.1056	0.1030	0.1001	0.0967	0.0928	0.0882	0.0827	0.0762	0.0724	0.0681	0.0633	0.0579	$\frac{1}{5}q_4 f$

$\alpha=0.5$ 第 62 表 水平荷重 鉛直反力 X_2

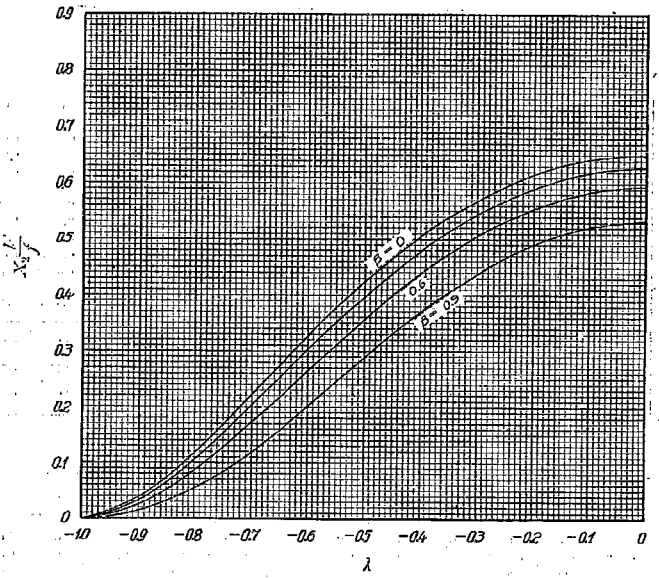
	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{f}{l}$
	∓0.9	0.0372	0.0359	0.0343	0.0326	0.0306	0.0282	0.0254	0.0221	0.0201	0.0179	0.0154	0.0126	
	∓0.8	0.1225	0.1188	0.1146	0.1098	0.1043	0.0977	0.0900	0.0807	0.0752	0.0692	0.0623	0.0547	
	∓0.7	0.2263	0.2206	0.2141	0.2067	0.1982	0.1881	0.1762	0.1618	0.1534	0.1441	0.1335	0.1217	
	∓0.6	0.3297	0.3228	0.3149	0.3059	0.2955	0.2833	0.2688	0.2512	0.2410	0.2297	0.2169	0.2025	
	∓0.5	0.4219	0.4144	0.4060	0.3963	0.3851	0.3720	0.3564	0.3376	0.3266	0.3144	0.3007	0.2852	
	∓0.4	0.4973	0.4900	0.4813	0.4718	0.4606	0.4474	0.4318	0.4129	0.4019	0.3897	0.3759	0.3604	
	∓0.3	0.5548	0.5476	0.5394	0.5300	0.5191	0.5063	0.4912	0.4729	0.4622	0.4503	0.4370	0.4219	
	∓0.2	0.5944	0.5875	0.5796	0.5706	0.5601	0.5478	0.5333	0.5157	0.5055	0.4941	0.4813	0.4668	
	∓0.1	0.6175	0.6107	0.6031	0.5943	0.5842	0.5723	0.5582	0.5411	0.5312	0.5202	0.5078	0.4937	
	0	0.6250	0.6184	0.6108	0.6021	0.5921	0.5804	0.5664	0.5496	0.5398	0.5289	0.5166	0.5027	
對稱荷重	$q=q_0$	0.3714	0.3658	0.3593	0.3519	0.3434	0.3334	0.3214	0.3071	0.2987	0.2894	0.2789	0.2671	$q_0 f$
逆對稱荷重	$q=\lambda^3 q_2$	0.1810	0.1771	0.1728	0.1678	0.1620	0.1552	0.1472	0.1375	0.1319	0.1256	0.1185	0.1105	$\frac{1}{3}q_2 f$
	$q=\lambda^5 q_4$	0.1082	0.1055	0.1025	0.0990	0.0949	0.0902	0.0845	0.0777	0.0737	0.0693	0.0643	0.0587	$\frac{1}{5}q_4 f$

$\alpha=0.4$　　第 63 表　水平荷重　鉛直反力 X_2

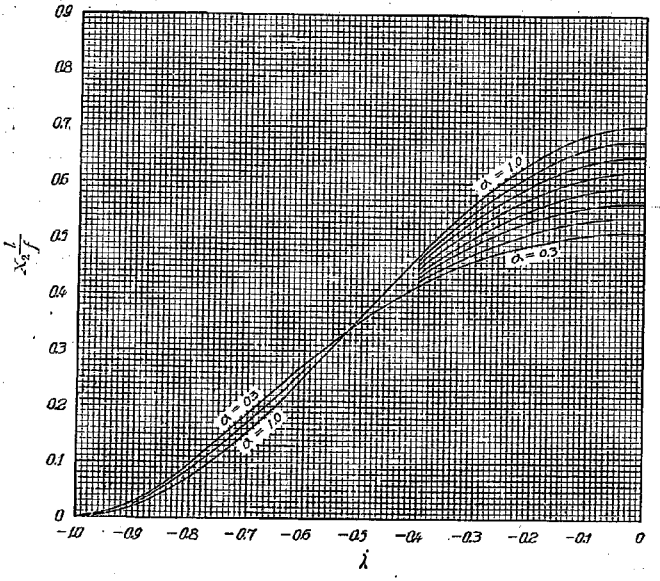
	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{f}{l}$
	∓0.9	0.0392	0.0378	0.0362	0.0344	0.0322	0.0298	0.0268	0.0233	0.0211	0.0189	0.0162	0.0133	
	∓0.8	0.1275	0.1237	0.1193	0.1143	0.1085	0.1017	0.0937	0.0839	0.0782	0.0719	0.0648	0.0569	
	∓0.7	0.2325	0.2267	0.2200	0.2124	0.2035	0.1931	0.1803	0.1660	0.1573	0.1476	0.1368	0.1246	
	∓0.6	0.3342	0.3271	0.3191	0.3099	0.2992	0.2867	0.2718	0.2539	0.2435	0.2318	0.2187	0.2040	
	∓0.5	0.4219	0.4143	0.4057	0.3958	0.3844	0.3710	0.3551	0.3360	0.3248	0.3123	0.2984	0.2826	
	∓0.4	0.4911	0.4835	0.4749	0.4650	0.4535	0.4401	0.4242	0.4049	0.3938	0.3813	0.3673	0.3515	
	∓0.3	0.5416	0.5342	0.5258	0.5162	0.5050	0.4919	0.4764	0.4577	0.4468	0.4347	0.4210	0.4056	
	∓0.2	0.5751	0.5679	0.5598	0.5505	0.5397	0.5271	0.5120	0.4939	0.4834	0.4716	0.4585	0.4433	
	∓0.1	0.5939	0.5870	0.5790	0.5699	0.5594	0.5471	0.5325	0.5148	0.5045	0.4930	0.4802	0.4656	
	0	0.6000	0.5931	0.5852	0.5762	0.5658	0.5536	0.5391	0.5216	0.5114	0.5000	0.4873	0.4728	
對稱荷重	$q=q_0$	0.3657	0.3599	0.3533	0.3457	0.3368	0.3265	0.3143	0.2995	0.2909	0.2813	0.2706	0.2584	$q_0 f$
載荷重	$q=\lambda^2 q_2$	0.1829	0.1789	0.1744	0.1693	0.1633	0.1563	0.1481	0.1381	0.1322	0.1257	0.1185	0.1102	$\frac{1}{2}q_2 f$
	$q=\lambda^4 q_4$	0.1108	0.1080	0.1049	0.1012	0.0970	0.0921	0.0863	0.0792	0.0751	0.0705	0.0654	0.0595	$\frac{1}{4}q_4 f$

$\alpha=0.3$　　第 64 表　水平荷重　鉛直反力 X_2

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{f}{l}$
	∓0.9	0.0412	0.0397	0.0381	0.0361	0.0339	0.0313	0.0282	0.0244	0.0222	0.0198	0.0170	0.0140	
	∓0.8	0.1326	0.1285	0.1240	0.1188	0.1128	0.1057	0.0973	0.0872	0.0813	0.0747	0.0673	0.0590	
	∓0.7	0.2388	0.2327	0.2258	0.2179	0.2088	0.1981	0.1855	0.1701	0.1611	0.1513	0.1400	0.1275	
	∓0.6	0.3397	0.3315	0.3233	0.3138	0.3029	0.2901	0.2749	0.2565	0.2459	0.2339	0.2206	0.2055	
	∓0.5	0.4219	0.4142	0.4054	0.3953	0.3837	0.3701	0.3539	0.3344	0.3230	0.3103	0.2961	0.2800	
	∓0.4	0.4848	0.4770	0.4682	0.4582	0.4465	0.4328	0.4166	0.3970	0.3856	0.3729	0.3587	0.3425	
	∓0.3	0.5283	0.5208	0.5122	0.5023	0.4909	0.4776	0.4617	0.4426	0.4314	0.4190	0.4051	0.3893	
	∓0.2	0.5557	0.5484	0.5400	0.5304	0.5193	0.5063	0.4908	0.4722	0.4613	0.4492	0.4356	0.4203	
	∓0.1	0.5704	0.5632	0.5550	0.5456	0.5347	0.5219	0.5067	0.4884	0.4778	0.4659	0.4526	0.4375	
	0	0.5750	0.5678	0.5597	0.5503	0.5395	0.5268	0.5117	0.4935	0.4830	0.4712	0.4579	0.4429	
對稱荷重	$q=q_0$	0.3600	0.3540	0.3472	0.3394	0.3303	0.3193	0.3072	0.2920	0.2831	0.2733	0.2622	0.2497	$q_0 f$
載荷重	$q=\lambda^2 q_2$	0.1848	0.1807	0.1761	0.1708	0.1646	0.1575	0.1489	0.1386	0.1326	0.1259	0.1184	0.1100	$\frac{1}{2}q_2 f$
	$q=\lambda^4 q_4$	0.1134	0.1105	0.1073	0.1035	0.0992	0.0941	0.0880	0.0807	0.0765	0.0717	0.0664	0.0604	$\frac{1}{4}q_4 f$



第 23 圖　水平荷重　鉛直反力影響線 $X_2=A$
($\alpha=0.6$　$\beta=0$, 0.3, 0.6, 0.9)



第 24 圖　水平荷重　鉛直反力影響線 $X_2=A$
($\beta=0.6$　$\alpha=1.0$, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3)

$\alpha=1.0$

第 65 表　水平荷重　X_3

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	−1.0	−0.6667	−0.6759	−0.6857	−0.6963	−0.7077	−0.7200	−0.7333	−0.7478	−0.7556	−0.7636	−0.7721	−0.7810	f
	−0.9	−0.4813	−0.4902	−0.4998	−0.5100	−0.5211	−0.5330	−0.5459	−0.5599	−0.5674	−0.5752	−0.5834	−0.5920	
	−0.8	−0.3240	−0.3322	−0.3410	−0.3505	−0.3607	−0.3717	−0.3836	−0.3966	−0.4035	−0.4107	−0.4183	−0.4262	
	−0.7	−0.1927	−0.2001	−0.2080	−0.2165	−0.2256	−0.2355	−0.2462	−0.2578	−0.2640	−0.2705	−0.2773	−0.2844	
	−0.6	−0.0853	−0.0919	−0.0989	−0.1064	−0.1145	−0.1233	−0.1323	−0.1431	−0.1486	−0.1544	−0.1604	−0.1667	
	−0.5	0.0000	−0.0058	−0.0121	−0.0183	−0.0260	−0.0338	−0.0422	−0.0514	−0.0563	−0.0614	−0.0667	−0.0723	
	−0.4	0.0653	0.0601	0.0544	0.0484	0.0419	0.0348	0.0272	0.0189	0.0145	0.0093	0.0050	−0.0001	
	−0.3	0.1127	0.1078	0.1025	0.0969	0.0908	0.0843	0.0772	0.0695	0.0654	0.0611	0.0566	0.0519	
	−0.2	0.1440	0.1393	0.1343	0.1289	0.1231	0.1168	0.1100	0.1026	0.0987	0.0946	0.0903	0.0857	
	−0.1	0.1613	0.1567	0.1518	0.1465	0.1408	0.1346	0.1279	0.1207	0.1168	0.1127	0.1085	0.1040	
	0	0.1667	0.1621	0.1571	0.1519	0.1462	0.1400	0.1333	0.1261	0.1222	0.1182	0.1140	0.1095	
	0.1	0.1620	0.1574	0.1525	0.1472	0.1415	0.1354	0.1288	0.1215	0.1177	0.1136	0.1094	0.1050	
	0.2	0.1493	0.1448	0.1400	0.1348	0.1292	0.1232	0.1166	0.1096	0.1058	0.1018	0.0976	0.0933	
	0.3	0.1307	0.1264	0.1218	0.1168	0.1115	0.1057	0.0995	0.0927	0.0891	0.0853	0.0813	0.0772	
	0.4	0.1080	0.1041	0.0999	0.0953	0.0904	0.0852	0.0795	0.0733	0.0700	0.0665	0.0629	0.0591	
	0.5	0.0833	0.0800	0.0763	0.0725	0.0683	0.0638	0.0589	0.0535	0.0507	0.0477	0.0446	0.0414	
	0.6	0.0587	0.0560	0.0532	0.0501	0.0468	0.0433	0.0394	0.0353	0.0330	0.0307	0.0283	0.0257	
	0.7	0.0360	0.0342	0.0322	0.0302	0.0279	0.0255	0.0228	0.0200	0.0185	0.0169	0.0152	0.0135	
	0.8	0.0173	0.0164	0.0153	0.0142	0.0130	0.0117	0.0103	0.0087	0.0079	0.0071	0.0062	0.0052	
	0.9	0.0047	0.0044	0.0041	0.0037	0.0034	0.0030	0.0026	0.0021	0.0019	0.0016	0.0013	0.0011	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱滿載荷重	$q=q_0$	0	−0.0046	−0.0095	−0.0148	−0.0205	−0.0267	−0.0333	−0.0406	−0.0445	−0.0485	−0.0527	−0.0572	q_0fl
	$q=\lambda^2q_2$	−0.1333	−0.1379	−0.1429	−0.1482	−0.1539	−0.1600	−0.1667	−0.1739	−0.1778	−0.1818	−0.1861	−0.1905	$\frac{1}{3}q_2fl$
	$q=\lambda^4q_4$	−0.1905	−0.1951	−0.2000	−0.2053	−0.2110	−0.2172	−0.2238	−0.2311	−0.2349	−0.2390	−0.2432	−0.2476	$\frac{1}{5}q_4fl$

$\alpha=0.9$

第 66 表　水平荷重　X_3

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	−1.0	−0.6800	−0.6896	−0.6988	−0.7092	−0.7204	−0.7326	−0.7457	−0.7600	−0.7676	−0.7756	−0.7839	−0.7927	f
	−0.9	−0.4796	−0.4884	−0.4978	−0.5078	−0.5187	−0.5304	−0.5431	−0.5569	−0.5642	−0.5719	−0.5800	−0.5884	
	−0.8	−0.3152	−0.3232	−0.3318	−0.3411	−0.3511	−0.3618	−0.3735	−0.3861	−0.3929	−0.4000	−0.4074	−0.4151	
	−0.7	−0.1821	−0.1893	−0.1970	−0.2053	−0.2142	−0.2238	−0.2342	−0.2456	−0.2516	−0.2579	−0.2645	−0.2715	
	−0.6	−0.0764	−0.0828	−0.0896	−0.0969	−0.1048	−0.1133	−0.1225	−0.1326	−0.1379	−0.1435	−0.1494	−0.1555	
	−0.5	0.0056	0.0000	−0.0061	−0.0126	−0.0197	−0.0273	−0.0355	−0.0444	−0.0492	−0.0541	−0.0594	−0.0648	
	−0.4	0.0671	0.0620	0.0565	0.0506	0.0442	0.0373	0.0298	0.0217	0.0174	0.0129	0.0082	0.0032	
	−0.3	0.1109	0.1061	0.1010	0.0954	0.0895	0.0831	0.0761	0.0685	0.0645	0.0603	0.0559	0.0512	
	−0.2	0.1395	0.1349	0.1300	0.1246	0.1189	0.1128	0.1061	0.0988	0.0949	0.0909	0.0866	0.0822	
	−0.1	0.1552	0.1507	0.1458	0.1406	0.1350	0.1289	0.1223	0.1151	0.1113	0.1073	0.1031	0.0987	
	0	0.1600	0.1555	0.1506	0.1454	0.1398	0.1337	0.1272	0.1200	0.1162	0.1122	0.1080	0.1037	
	0.1	0.1558	0.1513	0.1464	0.1412	0.1356	0.1296	0.1230	0.1159	0.1121	0.1081	0.1040	0.0996	
	0.2	0.1443	0.1399	0.1351	0.1300	0.1245	0.1185	0.1121	0.1051	0.1013	0.0974	0.0933	0.0890	
	0.3	0.1273	0.1230	0.1185	0.1136	0.1083	0.1026	0.0964	0.0896	0.0861	0.0823	0.0784	0.0743	
	0.4	0.1063	0.1024	0.0982	0.0937	0.0888	0.0836	0.0779	0.0717	0.0684	0.0650	0.0614	0.0576	
	0.5	0.0831	0.0797	0.0761	0.0722	0.0680	0.0634	0.0585	0.0531	0.0503	0.0473	0.0442	0.0409	
	0.6	0.0594	0.0567	0.0538	0.0507	0.0474	0.0438	0.0399	0.0356	0.0333	0.0310	0.0285	0.0259	
	0.7	0.0371	0.0352	0.0332	0.0311	0.0287	0.0262	0.0235	0.0205	0.0190	0.0173	0.0156	0.0138	
	0.8	0.0182	0.0172	0.0161	0.0149	0.0137	0.0123	0.0108	0.0092	0.0083	0.0074	0.0065	0.0055	
	0.9	0.0050	0.0047	0.0044	0.0040	0.0036	0.0032	0.0028	0.0022	0.0020	0.0017	0.0014	0.0011	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱滿載荷重	$q=q_0$	0	−0.0045	−0.0094	−0.0146	−0.0202	−0.0263	−0.0329	−0.0400	−0.0438	−0.0478	−0.0520	−0.0563	q_0fl
	$q=\lambda^2q_2$	−0.1314	−0.1360	−0.1408	−0.1460	−0.1517	−0.1577	−0.1643	−0.1714	−0.1752	−0.1792	−0.1834	−0.1878	$\frac{1}{3}q_2fl$
	$q=\lambda^4q_4$	−0.1892	−0.1937	−0.1986	−0.2038	−0.2094	−0.2155	−0.2221	−0.2292	−0.2330	−0.2370	−0.2412	−0.2455	$\frac{1}{5}q_4fl$

$\alpha=0.8$

第 67 表 水平荷重 X_3

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線	−1.0	−0.6933	−0.7023	−0.7118	−0.7221	−0.7332	−0.7452	−0.7581	−0.7722	−0.7797	−0.7875	−0.7957	−0.8044	
	−0.9	−0.4779	−0.4865	−0.4957	−0.5056	−0.5163	−0.5278	−0.5403	−0.5538	−0.5610	−0.5686	−0.5765	−0.5848	
	−0.8	−0.3064	−0.3143	−0.3226	−0.3317	−0.3414	−0.3520	−0.3633	−0.3757	−0.3823	−0.3892	−0.3965	−0.4040	
	−0.7	−0.1716	−0.1786	−0.1861	−0.1941	−0.2028	−0.2122	−0.2223	−0.2333	−0.2392	−0.2454	−0.2518	−0.2585	
	−0.6	−0.0675	−0.0736	−0.0803	−0.0874	−0.0950	−0.1033	−0.1123	−0.1220	−0.1272	−0.1327	−0.1383	−0.1443	
	−0.5	0.0113	0.0057	−0.0002	−0.0065	−0.0134	−0.0207	−0.0287	−0.0374	−0.0421	−0.0469	−0.0520	−0.0573	
	−0.4	0.0689	0.0639	0.0585	0.0527	0.0465	0.0397	0.0325	0.0246	0.0203	0.0159	0.0113	0.0065	
	−0.3	0.1091	0.1044	0.0994	0.0940	0.0881	0.0818	0.0750	0.0676	0.0636	0.0595	0.0552	0.0506	
	−0.2	0.1350	0.1305	0.1256	0.1204	0.1148	0.1087	0.1021	0.0950	0.0911	0.0871	0.0830	0.0786	
	−0.1	0.1491	0.1446	0.1398	0.1346	0.1291	0.1231	0.1166	0.1095	0.1058	0.1019	0.0978	0.0934	
線	0	0.1533	0.1489	0.1441	0.1389	0.1334	0.1274	0.1210	0.1139	0.1102	0.1062	0.1021	0.0978	f
縦	0.1	0.1496	0.1451	0.1404	0.1352	0.1297	0.1237	0.1173	0.1103	0.1065	0.1026	0.0985	0.0942	
	0.2	0.1393	0.1349	0.1302	0.1252	0.1197	0.1138	0.1075	0.1006	0.0969	0.0930	0.0890	0.0847	
	0.3	0.1239	0.1197	0.1152	0.1103	0.1051	0.0994	0.0933	0.0866	0.0831	0.0794	0.0755	0.0714	
	0.4	0.1047	0.1008	0.0966	0.0921	0.0872	0.0820	0.0763	0.0702	0.0669	0.0634	0.0598	0.0561	
	0.5	0.0829	0.0795	0.0758	0.0719	0.0677	0.0631	0.0581	0.0527	0.0499	0.0469	0.0437	0.0404	
距	0.6	0.0602	0.0574	0.0545	0.0513	0.0479	0.0442	0.0403	0.0359	0.0336	0.0312	0.0287	0.0260	
	0.7	0.0382	0.0363	0.0342	0.0320	0.0296	0.0270	0.0242	0.0211	0.0195	0.0178	0.0160	0.0141	
	0.8	0.0191	0.0181	0.0169	0.0157	0.0143	0.0129	0.0113	0.0096	0.0087	0.0078	0.0068	0.0058	
	0.9	0.0054	0.0050	0.0047	0.0043	0.0039	0.0034	0.0029	0.0024	0.0021	0.0018	0.0015	0.0012	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$q=q_0$	0	−0.0045	−0.0093	−0.0144	−0.0199	−0.0259	−0.0324	−0.0394	−0.0432	−0.0471	−0.0512	−0.0555	q_0fl
載荷重	$q=\lambda^2q_2$	−0.1295	−0.1340	−0.1388	−0.1439	−0.1495	−0.1554	−0.1619	−0.1690	−0.1727	−0.1766	−0.1807	−0.1850	$\frac{1}{8}q_2fl$
	$q=\lambda^4q_4$	−0.1880	−0.1924	−0.1972	−0.2023	−0.2079	−0.2139	−0.2203	−0.2274	−0.2311	−0.2351	−0.2392	−0.2435	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=0.7$

第 68 表 水平荷重 X_3

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線	−1.0	−0.7067	−0.7155	−0.7249	−0.7350	−0.7459	−0.7577	−0.7705	−0.7843	−0.7917	−0.7995	−0.8076	−0.8161	
	−0.9	−0.4762	−0.4847	−0.4937	−0.5034	−0.5139	−0.5252	−0.5374	−0.5507	−0.5578	−0.5653	−0.5730	−0.5812	
	−0.8	−0.2976	−0.3053	−0.3135	−0.3223	−0.3318	−0.3421	−0.3532	−0.3653	−0.3718	−0.3785	−0.3856	−0.3929	
	−0.7	−0.1611	−0.1679	−0.1752	−0.1830	−0.1914	−0.2005	−0.2104	−0.2211	−0.2268	−0.2328	−0.2390	−0.2456	
	−0.6	−0.0585	−0.0545	−0.0709	−0.0778	−0.0853	−0.0933	−0.1020	−0.1115	−0.1165	−0.1218	−0.1273	−0.1331	
	−0.5	0.0169	0.0115	0.0058	−0.0004	−0.0071	−0.0142	−0.0220	−0.0305	−0.0350	−0.0397	−0.0446	−0.0498	
	−0.4	0.0707	0.0658	0.0605	0.0549	0.0488	0.0422	0.0351	0.0274	0.0233	0.0190	0.0144	0.0097	
	−0.3	0.1074	0.1027	0.0978	0.0925	0.0868	0.0806	0.0739	0.0666	0.0627	0.0587	0.0544	0.0500	
	−0.2	0.1305	0.1261	0.1213	0.1161	0.1106	0.1046	0.0982	0.0911	0.0874	0.0834	0.0793	0.0750	
	−0.1	0.1429	0.1385	0.1338	0.1287	0.1232	0.1173	0.1110	0.1040	0.1003	0.0964	0.0924	0.0881	
線	0	0.1467	0.1423	0.1376	0.1325	0.1270	0.1211	0.1148	0.1078	0.1041	0.1003	0.0962	0.0920	f
縦	0.1	0.1434	0.1390	0.1343	0.1292	0.1238	0.1179	0.1115	0.1046	0.1009	0.0971	0.0930	0.0888	
	0.2	0.1343	0.1300	0.1254	0.1204	0.1150	0.1092	0.1029	0.0961	0.0924	0.0886	0.0846	0.0804	
	0.3	0.1205	0.1164	0.1119	0.1071	0.1019	0.0963	0.0902	0.0836	0.0801	0.0764	0.0725	0.0685	
	0.4	0.1030	0.0991	0.0949	0.0904	0.0856	0.0804	0.0747	0.0686	0.0653	0.0619	0.0583	0.0545	
	0.5	0.0827	0.0793	0.0756	0.0716	0.0674	0.0628	0.0578	0.0524	0.0495	0.0464	0.0433	0.0400	
距	0.6	0.0610	0.0582	0.0552	0.0519	0.0485	0.0447	0.0407	0.0363	0.0339	0.0314	0.0289	0.0262	
	0.7	0.0394	0.0378	0.0352	0.0329	0.0304	0.0278	0.0249	0.0217	0.0200	0.0183	0.0164	0.0145	
	0.8	0.0200	0.0189	0.0177	0.0164	0.0150	0.0135	0.0118	0.0101	0.0091	0.0081	0.0071	0.0060	
	0.9	0.0057	0.0053	0.0050	0.0046	0.0041	0.0036	0.0031	0.0026	0.0023	0.0020	0.0016	0.0013	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$q=q_0$	0	−0.0044	−0.0091	−0.0142	−0.0196	−0.0255	−0.0319	−0.0388	−0.0425	−0.0464	−0.0505	−0.0547	q_0fl
載荷重	$q=\lambda^2q_2$	−0.1276	−0.1320	−0.1367	−0.1418	−0.1473	−0.1532	−0.1595	−0.1665	−0.1702	−0.1740	−0.1781	−0.1823	$\frac{1}{8}q_2fl$
	$q=\lambda^4q_4$	−0.1867	−0.1911	−0.1958	−0.2008	−0.2063	−0.2122	−0.2186	−0.2255	−0.2292	−0.2331	−0.2371	−0.2414	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=0.6$

第 69 表　水平荷重 X_3

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線	−1.0	−0.7200	−0.7287	−0.7380	−0.7479	−0.7587	−0.7703	−0.7829	−0.7965	−0.8038	−0.8114	−0.8194	−0.8278	
	−0.9	−0.4745	−0.4828	−0.4917	−0.5012	−0.5115	−0.5226	−0.5346	−0.5477	−0.5547	−0.5619	−0.5696	−0.5776	
	−0.8	−0.2688	−0.2962	−0.3043	−0.3129	−0.3222	−0.3322	−0.3431	−0.3549	−0.3612	−0.3677	−0.3746	−0.3819	
	−0.7	−0.1505	−0.1571	−0.1642	−0.1718	−0.1800	−0.1888	−0.1984	−0.2088	−0.2144	−0.2202	−0.2263	−0.2326	
	−0.6	−0.0496	−0.0534	−0.0616	−0.0653	−0.0755	−0.0833	−0.0918	−0.1010	−0.1058	−0.1110	−0.1163	−0.1219	
	−0.5	0.0225	0.0173	0.0117	0.0057	−0.0007	−0.0077	−0.0153	−0.0235	−0.0279	−0.0324	−0.0372	−0.0423	
	−0.4	0.0724	0.0677	0.0625	0.0570	0.0511	0.0447	0.0378	0.0302	0.0262	0.0220	0.0176	0.0130	
	−0.3	0.1056	0.1011	0.0962	0.0910	0.0854	0.0794	0.0728	0.0657	0.0619	0.0579	0.0537	0.0494	
	−0.2	0.1260	0.1216	0.1169	0.1119	0.1064	0.1006	0.0942	0.0873	0.0836	0.0797	0.0757	0.0715	
	−0.1	0.1368	0.1324	0.1278	0.1228	0.1174	0.1116	0.1053	0.0985	0.0948	0.0910	0.0870	0.0828	
	0	0.1400	0.1357	0.1310	0.1260	0.1207	0.1149	0.1086	0.1017	0.0981	0.0943	0.0903	0.0861	f
	0.1	0.1372	0.1329	0.1282	0.1232	0.1179	0.1121	0.1058	0.0990	0.0954	0.0915	0.0876	0.0834	
	0.2	0.1293	0.1251	0.1205	0.1156	0.1102	0.1043	0.0983	0.0916	0.0880	0.0842	0.0803	0.0762	
	0.3	0.1172	0.1130	0.1086	0.1038	0.0987	0.0931	0.0871	0.0806	0.0771	0.0734	0.0696	0.0656	
	0.4	0.1013	0.0974	0.0933	0.0888	0.0840	0.0788	0.0731	0.0670	0.0638	0.0603	0.0568	0.0530	
	0.5	0.0825	0.0790	0.0753	0.0714	0.0671	0.0624	0.0574	0.0520	0.0491	0.0460	0.0428	0.0395	
	0.6	0.0617	0.0589	0.0558	0.0526	0.0490	0.0452	0.0411	0.0366	0.0342	0.0317	0.0291	0.0263	
	0.7	0.0405	0.0384	0.0362	0.0338	0.0313	0.0285	0.0255	0.0223	0.0205	0.0187	0.0168	0.0148	
	0.8	0.0209	0.0197	0.0185	0.0171	0.0156	0.0141	0.0124	0.0105	0.0095	0.0085	0.0074	0.0063	
	0.9	0.0061	0.0057	0.0053	0.0049	0.0044	0.0039	0.0033	0.0027	0.0024	0.0021	0.0017	0.0014	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$q=q_0$	0	−0.0043	−0.0090	−0.0140	−0.0193	−0.0251	−0.0314	−0.0383	−0.0419	−0.0457	−0.0497	−0.0539	q_0fl
載荷重	$q=\lambda^2q_2$	−0.1257	−0.1301	−0.1347	−0.1397	−0.1451	−0.1509	−0.1572	−0.1640	−0.1676	−0.1714	−0.1754	−0.1796	$\frac{1}{11}q_2fl$
	$q=\lambda^4q_4$	−0.1854	−0.1897	−0.1944	−0.1994	−0.2047	−0.2105	−0.2168	−0.2237	−0.2273	−0.2311	−0.2351	−0.2393	$\frac{1}{5}q_4$

$\alpha=0.5$

第 70 表　水平荷重 X_3

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線	−1.0	−0.7333	−0.7419	−0.7510	−0.7609	−0.7714	−0.7829	−0.7952	−0.8087	−0.8159	−0.8234	−0.8312	−0.8395	
	−0.9	−0.4728	−0.4809	−0.4897	−0.4990	−0.5091	−0.5200	−0.5318	−0.5446	−0.5515	−0.5586	−0.5661	−0.5739	
	−0.8	−0.2800	−0.2873	−0.2951	−0.3035	−0.3125	−0.3223	−0.3329	−0.3444	−0.3506	−0.3570	−0.3637	−0.3718	
	−0.7	−0.1400	−0.1464	−0.1533	−0.1606	−0.1686	−0.1772	−0.1865	−0.1966	−0.2020	−0.2076	−0.2135	−0.2197	
	−0.6	−0.0406	−0.0463	−0.0523	−0.0588	−0.0658	−0.0733	−0.0815	−0.0904	−0.0952	−0.1001	−0.1053	−0.1107	
	−0.5	0.0281	0.0231	0.0177	0.0118	0.0056	−0.0012	−0.0085	−0.0165	−0.0208	−0.0252	−0.0299	−0.0347	
	−0.4	0.0742	0.0696	0.0646	0.0592	0.0534	0.0472	0.0404	0.0331	0.0291	0.0250	0.0208	0.0163	
	−0.3	0.1038	0.0994	0.0946	0.0895	0.0841	0.0781	0.0717	0.0647	0.0614	0.0571	0.0530	0.0487	
	−0.2	0.1213	0.1172	0.1126	0.1076	0.1023	0.0965	0.0902	0.0833	0.0793	0.0760	0.0721	0.0679	
	−0.1	0.1306	0.1264	0.1218	0.1169	0.1116	0.1059	0.0996	0.0929	0.0893	0.0856	0.0816	0.0775	
	0	0.1333	0.1291	0.1245	0.1196	0.1143	0.1086	0.1024	0.0957	0.0921	0.0883	0.0844	0.0803	f
	0.1	0.1310	0.1267	0.1221	0.1172	0.1120	0.1063	0.1001	0.0934	0.0898	0.0860	0.0821	0.0780	
	0.2	0.1243	0.1201	0.1156	0.1107	0.1053	0.0999	0.0937	0.0871	0.0835	0.0798	0.0759	0.0719	
	0.3	0.1138	0.1097	0.1053	0.1006	0.0955	0.0900	0.0840	0.0776	0.0737	0.0705	0.0667	0.0628	
	0.4	0.0997	0.0958	0.0916	0.0872	0.0824	0.0772	0.0716	0.0655	0.0622	0.0588	0.0552	0.0515	
	0.5	0.0823	0.0788	0.0751	0.0711	0.0668	0.0621	0.0570	0.0516	0.0486	0.0456	0.0424	0.0390	
	0.6	0.0625	0.0596	0.0565	0.0532	0.0496	0.0457	0.0415	0.0369	0.0345	0.0319	0.0293	0.0265	
	0.7	0.0416	0.0395	0.0372	0.0347	0.0321	0.0293	0.0262	0.0228	0.0211	0.0192	0.0172	0.0152	
	0.8	0.0218	0.0206	0.0193	0.0179	0.0165	0.0147	0.0129	0.0110	0.0099	0.0088	0.0077	0.0065	
	0.9	0.0064	0.0060	0.0056	0.0051	0.0046	0.0041	0.0035	0.0029	0.0025	0.0022	0.0018	0.0014	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$q=q_0$	0	−0.0043	−0.0088	−0.0138	−0.0190	−0.0248	−0.0310	−0.0377	−0.0413	−0.0450	−0.0489	−0.0531	q_0fl
載荷重	$q=\lambda^2q_2$	−0.1238	−0.1281	−0.1327	−0.1376	−0.1429	−0.1486	−0.1548	−0.1615	−0.1651	−0.1688	−0.1728	−0.1769	$\frac{1}{9}q_2fl$
	$q=\lambda^4q_4$	−0.1841	−0.1894	−0.1950	−0.1979	−0.2032	−0.2089	−0.2151	−0.2218	−0.2254	−0.2291	−0.2331	−0.2372	$\frac{1}{5}q_4fl$

$\alpha=0.4$

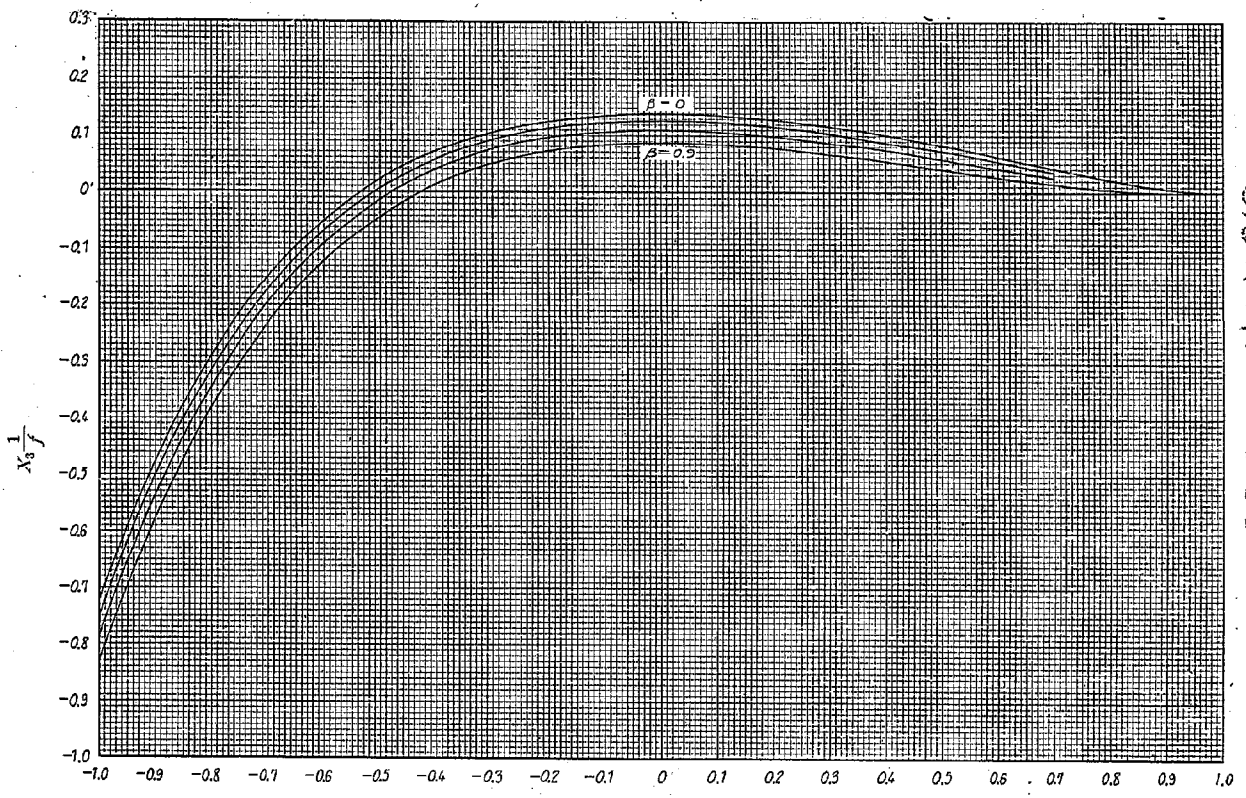
第 71 表　水平荷重　X_3

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線	−1.0	−0.7467	−0.7551	−0.7641	−0.7738	−0.7842	−0.7954	−0.8076	−0.8208	−0.8279	−0.8353	−0.8422	−0.8512	
	−0.9	−0.4711	−0.4791	−0.4876	−0.4968	−0.5067	−0.5174	−0.5290	−0.5415	−0.5483	−0.5553	−0.5627	−0.5703	
	−0.8	−0.2711	−0.2783	−0.2859	−0.2941	−0.3029	−0.3125	−0.3228	−0.3340	−0.3400	−0.3463	−0.3528	−0.3597	
	−0.7	−0.1294	−0.1357	−0.1423	−0.1495	−0.1572	−0.1655	−0.1745	−0.1843	−0.1896	−0.1950	−0.2008	−0.2068	
	−0.6	−0.0318	−0.0371	−0.0430	−0.0493	−0.0560	−0.0634	−0.0713	−0.0799	−0.0845	−0.0893	−0.0943	−0.0995	
	−0.5	0.0338	0.0289	0.0236	0.0179	0.0119	0.0053	−0.0018	−0.0095	−0.0137	−0.0180	−0.0225	−0.0272	
	−0.4	0.0760	0.0715	0.0666	0.0614	0.0557	0.0496	0.0430	0.0359	0.0321	0.0281	0.0239	0.0195	
	−0.3	0.1021	0.0977	0.0931	0.0881	0.0827	0.0769	0.0706	0.0638	0.0601	0.0563	0.0523	0.0481	
	−0.2	0.1170	0.1128	0.1083	0.1034	0.0981	0.0924	0.0863	0.0796	0.0760	0.0723	0.0684	0.0643	
	−0.1	0.1245	0.1203	0.1158	0.1109	0.1057	0.1001	0.0940	0.0874	0.0838	0.0801	0.0763	0.0722	
載荷線	0	0.1267	0.1225	0.1180	0.1131	0.1079	0.1023	0.0962	0.0896	0.0860	0.0823	0.0785	0.0744	f
	0.1	0.1248	0.1206	0.1161	0.1112	0.1060	0.1004	0.0943	0.0877	0.0842	0.0805	0.0766	0.0726	
	0.2	0.1193	0.1152	0.1107	0.1059	0.1008	0.0952	0.0891	0.0826	0.0791	0.0754	0.0716	0.0676	
	0.3	0.1104	0.1064	0.1020	0.0973	0.0923	0.0868	0.0809	0.0745	0.0711	0.0675	0.0638	0.0599	
	0.4	0.0980	0.0941	0.0900	0.0855	0.0808	0.0756	0.0700	0.0639	0.0606	0.0573	0.0537	0.0500	
	0.5	0.0821	0.0786	0.0748	0.0708	0.0665	0.0618	0.0567	0.0512	0.0482	0.0452	0.0419	0.0386	
	0.6	0.0633	0.0603	0.0572	0.0538	0.0501	0.0462	0.0419	0.0372	0.0348	0.0322	0.0295	0.0266	
	0.7	0.0427	0.0405	0.0382	0.0357	0.0330	0.0300	0.0269	0.0234	0.0216	0.0197	0.0177	0.0155	
	0.8	0.0227	0.0214	0.0200	0.0186	0.0170	0.0153	0.0134	0.0114	0.0103	0.0092	0.0080	0.0068	
	0.9	0.0068	0.0063	0.0059	0.0054	0.0049	0.0043	0.0037	0.0030	0.0027	0.0023	0.0019	0.0015	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$q=q_0$	0	−0.0042	−0.0087	−0.0136	−0.0188	−0.0244	−0.0305	−0.0371	−0.0406	−0.0443	−0.0482	−0.0523	q_0fl
載荷重	$q=\lambda^2q_2$	−0.1219	−0.1261	−0.1306	−0.1355	−0.1407	−0.1463	−0.1524	−0.1590	−0.1625	−0.1662	−0.1701	−0.1742	$\frac{1}{8}q_2fl$
	$q=\lambda^4q_4$	−0.1829	−0.1871	−0.1916	−0.1964	−0.2016	−0.2073	−0.2133	−0.2200	−0.2235	−0.2272	−0.2311	−0.2351	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=0.3$

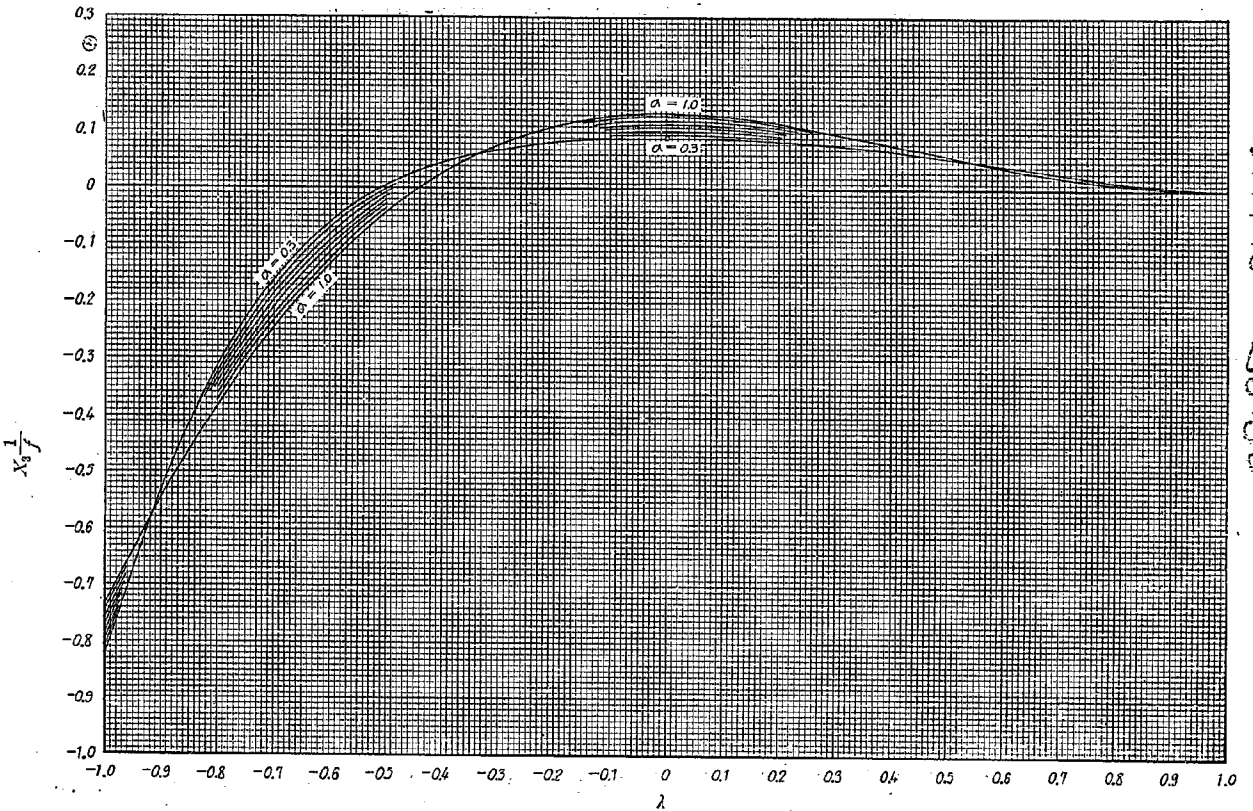
第 72 表　水平荷重　X_3

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線	−1.0	−0.7600	−0.7683	−0.7771	−0.7867	−0.7969	−0.8080	−0.8200	−0.8330	−0.8400	−0.8473	−0.8549	−0.8629	
	−0.9	−0.4694	−0.4772	−0.4856	−0.4946	−0.5043	−0.5148	−0.5262	−0.5385	−0.5451	−0.5520	−0.5592	−0.5667	
	−0.8	−0.2623	−0.2693	−0.2767	−0.2847	−0.2933	−0.3026	−0.3126	−0.3236	−0.3294	−0.3355	−0.3419	−0.3486	
	−0.7	−0.1189	−0.1249	−0.1314	−0.1383	−0.1458	−0.1539	−0.1626	−0.1721	−0.1772	−0.1825	−0.1880	−0.1938	
	−0.6	−0.0227	−0.0280	−0.0337	−0.0397	−0.0463	−0.0534	−0.0610	−0.0693	−0.0738	−0.0784	−0.0833	−0.0884	
	−0.5	0.0394	0.0346	0.0295	0.0241	0.0182	0.0118	0.0049	−0.0026	−0.0066	−0.0107	−0.0151	−0.0197	
	−0.4	0.0778	0.0734	0.0686	0.0635	0.0580	0.0521	0.0457	0.0387	0.0350	0.0311	0.0270	0.0228	
	−0.3	0.1003	0.0960	0.0915	0.0866	0.0813	0.0756	0.0695	0.0628	0.0592	0.0555	0.0516	0.0475	
	−0.2	0.1126	0.1084	0.1039	0.0991	0.0940	0.0884	0.0823	0.0758	0.0723	0.0686	0.0648	0.0608	
	−0.1	0.1184	0.1142	0.1093	0.1050	0.0999	0.0943	0.0883	0.0818	0.0783	0.0747	0.0709	0.0669	
載荷線	0	0.1200	0.1159	0.1114	0.1067	0.1015	0.0960	0.0900	0.0835	0.0800	0.0764	0.0726	0.0686	f
	0.1	0.1186	0.1144	0.1100	0.1052	0.1001	0.0946	0.0885	0.0821	0.0786	0.0750	0.0712	0.0672	
	0.2	0.1143	0.1102	0.1058	0.1011	0.0960	0.0905	0.0846	0.0781	0.0746	0.0710	0.0672	0.0633	
	0.3	0.1070	0.1030	0.0987	0.0941	0.0891	0.0837	0.0778	0.0715	0.0681	0.0646	0.0609	0.0570	
	0.4	0.0963	0.0925	0.0883	0.0839	0.0791	0.0740	0.0684	0.0623	0.0591	0.0557	0.0522	0.0484	
	0.5	0.0819	0.0784	0.0746	0.0705	0.0662	0.0614	0.0563	0.0508	0.0478	0.0447	0.0415	0.0381	
	0.6	0.0640	0.0610	0.0578	0.0544	0.0506	0.0466	0.0423	0.0376	0.0350	0.0324	0.0297	0.0268	
	0.7	0.0433	0.0416	0.0392	0.0366	0.0338	0.0308	0.0275	0.0240	0.0221	0.0201	0.0181	0.0159	
	0.8	0.0236	0.0223	0.0208	0.0193	0.0176	0.0159	0.0139	0.0118	0.0107	0.0095	0.0083	0.0070	
	0.9	0.0071	0.0067	0.0062	0.0057	0.0051	0.0045	0.0039	0.0032	0.0028	0.0024	0.0020	0.0016	
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
對稱荷重	$q=q_0$	0	−0.0041	−0.0086	−0.0133	−0.0185	−0.0240	−0.0300	−0.0365	−0.0400	−0.0436	−0.0474	−0.0514	q_0fl
載荷重	$q=\lambda^2q_2$	−0.1200	−0.1241	−0.1286	−0.1333	−0.1385	−0.1440	−0.1500	−0.1565	−0.1600	−0.1636	−0.1674	−0.1714	$\frac{1}{8}q_2fl$
	$q=\lambda^4q_4$	−0.1816	−0.1857	−0.1902	−0.1949	−0.2001	−0.2056	−0.2116	−0.2181	−0.2216	−0.2252	−0.2290	−0.2330	$\frac{1}{8}q_4fl$



第 25 圖　水平荷重　不靜定力率影響線 X_3　($\alpha=0.6$　$\beta=0,\ 0.3,\ 0.6,\ 0.9$)

6.6×4.3=28.38



第 26 圖　水平荷重・不靜定力率影響線 X_3　($\beta=0.6$　$\alpha=1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3$)

(88)

第 73 表　水平荷重　起拱點彎曲率 M_A

（對稱滿載荷重）

$\alpha=1.0$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	0.1333	0.1358	0.1385	0.1417	0.1454	0.1497	0.1548	0.1609	0.1645	0.1685	0.1730	0.1781	q_0l^2
$q=\lambda^2q_2$	0.1142	0.1159	0.1177	0.1199	0.1223	0.1252	0.1286	0.1327	0.1351	0.1377	0.1407	0.1441	$\frac{1}{4}q_2l^2$
$q=\lambda^4q_4$	0.0947	0.0963	0.0976	0.0990	0.1007	0.1027	0.1050	0.1078	0.1094	0.1112	0.1133	0.1156	$\frac{1}{16}q_4l^2$

$\alpha=0.9$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	0.1429	0.1454	0.1482	0.1515	0.1553	0.1597	0.1650	0.1714	0.1751	0.1792	0.1838	0.1891	q_0l^2
$q=\lambda^2q_2$	0.1219	0.1236	0.1255	0.1277	0.1302	0.1332	0.1372	0.1410	0.1434	0.1462	0.1493	0.1528	$\frac{1}{4}q_2l^2$
$q=\lambda^4q_4$	0.1019	0.1030	0.1043	0.1058	0.1076	0.1096	0.1120	0.1150	0.1167	0.1186	0.1207	0.1231	$\frac{1}{16}q_4l^2$

$\alpha=0.8$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.7	
$q=q_0$	0.1524	0.1550	0.1579	0.1613	0.1652	0.1698	0.1752	0.1818	0.1805	0.1899	0.1947	0.2001	q_0l^2
$q=\lambda^2q_2$	0.1295	0.1312	0.1332	0.1355	0.1381	0.1412	0.1448	0.1493	0.1518	0.1547	0.1579	0.1615	$\frac{1}{4}q_2l^2$
$q=\lambda^4q_4$	0.1085	0.1097	0.1111	0.1126	0.1144	0.1166	0.1191	0.1221	0.1239	0.1259	0.1281	0.1306	$\frac{1}{16}q_4l^2$

$\alpha=0.7$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	8.0	0.85	0.9	
$q=q_0$	0.1619	0.1646	0.1676	0.1711	0.1751	0.1799	0.1855	0.1923	0.1962	0.2006	0.2055	0.2111	q_0l^2
$q=\lambda^2q_2$	0.1371	0.1389	0.1410	0.1433	0.1460	0.1492	0.1530	0.1575	0.1602	0.1631	0.1665	0.1702	$\frac{1}{4}q_2l^2$
$q=\lambda^4q_4$	0.1152	0.1164	0.1178	0.1195	0.1213	0.1236	0.1262	0.1293	0.1312	0.1332	0.1355	0.1381	$\frac{1}{16}q_4l^2$

$\alpha=0.6$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	0.1714	0.1742	0.1773	0.1809	0.1851	0.1899	0.1957	0.2027	0.2068	0.2113	0.2164	0.2221	q_0l^2
$q=\lambda^2q_2$	0.1448	0.1466	0.1487	0.1512	0.1539	0.1572	0.1611	0.1658	0.1686	0.1716	0.1750	0.1789	$\frac{1}{4}q_2l^2$
$q=\lambda^4q_4$	0.1218	0.1231	0.1246	0.1263	0.1282	0.1305	0.1332	0.1365	0.1384	0.1405	0.1430	0.1457	$\frac{1}{16}q_4l^2$

$\alpha=0.5$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	0.1810	0.1838	0.1870	0.1907	0.1950	0.2000	0.2060	0.2131	0.2173	0.2220	0.2272	0.2331	q_0l^2
$q=\lambda^2q_2$	0.1524	0.1543	0.1565	0.1590	0.1618	0.1653	0.1693	0.1741	0.1769	0.1801	0.1836	0.1876	$\frac{1}{4}q_2l^2$
$q=\lambda^4q_4$	0.1284	0.1298	0.1313	0.1331	0.1351	0.1375	0.1403	0.1437	0.1457	0.1479	0.1504	0.1532	$\frac{1}{16}q_4l^2$

$\alpha=0.4$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	0.1905	0.1934	0.1967	0.2005	0.2049	0.2101	0.2162	0.2236	0.2279	0.2327	0.2381	0.2441	q_0l^2
$q=\lambda^2q_2$	0.1600	0.1620	0.1642	0.1668	0.1698	0.1733	0.1774	0.1824	0.1853	0.1886	0.1922	0.1963	$\frac{1}{4}q_2l^2$
$q=\lambda^4q_4$	0.1351	0.1365	0.1380	0.1399	0.1420	0.1444	0.1473	0.1509	0.1529	0.1552	0.1578	0.1607	$\frac{1}{16}q_4l^2$

$\alpha=0.3$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	0.2000	0.2030	0.2064	0.2103	0.2148	0.2201	0.2264	0.2340	0.2384	0.2434	0.2489	0.2551	q_0l^2
$q=\lambda^2q_2$	0.1676	0.1697	0.1720	0.1746	0.1777	0.1813	0.1855	0.1907	0.1937	0.1970	0.2008	0.2050	$\frac{1}{4}q_2l^2$
$q=\lambda^4q_4$	0.1417	0.1431	0.1448	0.1467	0.1488	0.1514	0.1544	0.1581	0.1602	0.1626	0.1652	0.1682	$\frac{1}{16}q_4l^2$

第 74 表　水平荷重　1/4 點彎曲率 lf_1
(對稱荷載荷重)

$\alpha=1.0$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	−0.0583	−0.0571	−0.0557	−0.0542	−0.0523	−0.0502	−0.0476	−0.0445	−0.0428	−0.0408	−0.0385	−0.0360	q_0fl
$q=\lambda^2q_2$	−0.0366	−0.0358	−0.0349	−0.0338	−0.0326	−0.0312	−0.0295	−0.0274	−0.0262	−0.0249	−0.0234	−0.0217	$\frac{1}{8}q_2fl$
$q=\lambda^4q_4$	−0.0230	−0.0221	−0.0215	−0.0208	−0.0200	−0.0190	−0.0178	−0.0164	−0.0156	−0.0147	−0.0137	−0.0125	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=0.9$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	−0.0598	−0.0586	−0.0571	−0.0555	−0.0536	−0.0514	−0.0487	−0.0456	−0.0437	−0.0416	−0.0393	−0.0367	q_0fl
$q=\lambda^2q_2$	−0.0375	−0.0366	−0.0357	−0.0346	−0.0333	−0.0318	−0.0301	−0.0279	−0.0267	−0.0253	−0.0238	−0.0220	$\frac{1}{8}q_2fl$
$q=\lambda^4q_4$	−0.0234	−0.0228	−0.0222	−0.021 ∠	−0.0206	−0.0195	−0.0183	−0.0169	−0.0160	−0.0151	−0.0140	−0.0128	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=0.8$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	−0.0613	−0.0600	−0.0585	−0.0569	−0.0549	−0.0526	−0.0499	−0.0466	−0.0447	−0.0426	−0.0402	−0.0375	q_0fl
$q=\lambda^2q_2$	−0.0384	−0.0375	−0.0365	−0.0354	−0.0341	−0.0325	−0.0307	−0.0285	−0.0272	−0.0258	−0.0242	−0.0224	$\frac{1}{8}q_2fl$
$q=\lambda^4q_4$	−0.0241	−0.0236	−0.0229	−0.0221	−0.0212	−0.0201	−0.0189	−0.0173	−0.0164	−0.0155	−0.0143	−0.0131	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=0.7$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	−0.0628	−0.0615	−0.0599	−0.0582	−0.0562	−0.0538	−0.0510	−0.0476	−0.0457	−0.0435	−0.0410	−0.0382	q_0fl
$q=\lambda^2q_2$	−0.0392	−0.0384	−0.0373	−0.0361	−0.0348	−0.0332	−0.0313	−0.0290	−0.0277	−0.0262	−0.0246	−0.0227	$\frac{1}{8}q_2fl$
$q=\lambda^4q_4$	−0.0248	−0.0242	−0.0235	−0.0227	−0.0218	−0.0206	−0.0193	−0.0178	−0.0168	−0.0158	−0.0147	−0.0134	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=0.6$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	−0.0643	−0.0629	−0.0614	−0.0595	−0.0575	−0.0550	−0.0522	−0.0487	−0.0466	−0.0444	−0.0418	−0.0390	q_0fl
$q=\lambda^2q_2$	−0.0401	−0.0392	−0.0381	−0.0369	−0.0355	−0.0339	−0.0319	−0.0296	−0.0282	−0.0267	−0.0250	−0.0231	$\frac{1}{8}q_2fl$
$q=\lambda^4q_4$	−0.0256	−0.0249	−0.0242	−0.0233	−0.0224	−0.0212	−0.0199	−0.0182	−0.0173	−0.0162	−0.0150	−0.0136	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=0.5$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	−0.0658	−0.0643	−0.0627	−0.0609	−0.0588	−0.0562	−0.0533	−0.0497	−0.0476	−0.0452	−0.0426	−0.0397	q_0fl
$q=\lambda^2q_2$	−0.0410	−0.0400	−0.0389	−0.0377	−0.0363	−0.0346	−0.0326	−0.0301	−0.0287	−0.0271	−0.0254	−0.0234	$\frac{1}{8}q_2fl$
$q=\lambda^4q_4$	−0.0263	−0.0256	−0.0248	−0.0240	−0.0230	−0.0218	−0.0204	−0.0186	−0.0177	−0.0165	−0.0153	−0.0139	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=0.4$

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	−0.0673	−0.0658	−0.0642	−0.0622	−0.0600	−0.0575	−0.0544	−0.0507	−0.0486	−0.0462	−0.0435	−0.0404	q_0fl
$q=\lambda^2q_2$	−0.0419	−0.0409	−0.0398	−0.0385	−0.0370	−0.0353	−0.0332	−0.0307	−0.0292	−0.0276	−0.0258	−0.0237	$\frac{1}{8}q_2fl$
$q=\lambda^4q_4$	−0.0270	−0.0263	−0.0255	−0.0246	−0.0236	−0.0223	−0.0209	−0.0191	−0.0181	−0.0169	−0.0156	−0.0142	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=0.3$

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$q=q_0$	−0.0687	−0.0672	−0.0655	−0.0635	−0.0613	−0.0587	−0.0555	−0.0517	−0.0495	−0.0471	−0.0443	−0.0412	q_0fl
$q=\lambda^2q_2$	−0.0427	−0.0417	−0.0406	−0.0392	−0.0377	−0.0359	−0.0338	−0.0312	−0.0297	−0.0280	−0.0262	−0.0240	$\frac{1}{8}q_2fl$
$q=\lambda^4q_4$	−0.0287	−0.0280	−0.0272	−0.0262	−0.0252	−0.0239	−0.0224	−0.0205	−0.0195	−0.0182	−0.0170	−0.0155	$\frac{1}{8}q_4fl$

$\alpha=1.0$　　第 75 表　力　率　水平反力 X_1

影響線縦距 λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
−0.9	−0.3206	−0.3129	−0.3042	−0.2942	−0.2827	−0.2691	−0.2525	−0.2315	−0.2188	−0.2040	−0.1865	−0.1655	
−0.8	−0.5400	−0.5328	−0.5247	−0.5154	−0.5046	−0.4919	−0.4764	−0.4563	−0.4449	−0.4311	−0.4148	−0.3952	
−0.7	−0.6694	−0.6668	−0.6639	−0.6605	−0.6566	−0.6520	−0.6465	−0.6394	−0.6351	−0.6302	−0.6243	−0.6172	
−0.6	−0.7200	−0.7232	−0.7267	−0.7306	−0.7353	−0.7408	−0.7475	−0.7559	−0.7611	−0.7671	−0.7741	−0.7826	$\frac{1}{f}$
−0.5	−0.7031	−0.7111	−0.7201	−0.7302	−0.7421	−0.7561	−0.7731	−0.7946	−0.8077	−0.8228	−0.8408	−0.8624	
−0.4	−0.6300	−0.6407	−0.6528	−0.6665	−0.6825	−0.7018	−0.7248	−0.7533	−0.7709	−0.7913	−0.8155	−0.8446	
−0.3	−0.5119	−0.5229	−0.5352	−0.5493	−0.5656	−0.5850	−0.6085	−0.6381	−0.6562	−0.6771	−0.7019	−0.7317	
−0.2	−0.3600	−0.3689	−0.3788	−0.3902	−0.4034	−0.4190	−0.4380	−0.4619	−0.4765	−0.4934	−0.5134	−0.5375	
−0.1	−0.1856	−0.1906	−0.1961	−0.2024	−0.2097	−0.2184	−0.2289	−0.2422	−0.2503	−0.2597	−0.2708	−0.2842	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
+λ	右半は全部 +												

對稱荷載力率　$m=\lambda^n m_n$　　$X_1=0$

$\alpha=0.9$　　第 76 表　力　率　水平反力 X_1

影響線縦距 λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
−0.9	−0.3326	−0.3249	−0.3162	−0.3063	−0.2943	−0.2811	−0.2644	−0.2432	−0.2303	−0.2152	−0.1973	−0.1756	
−0.8	−0.5545	−0.5476	−0.5399	−0.5310	−0.5208	−0.5086	−0.4937	−0.4748	−0.4633	−0.4498	−0.4339	−0.4145	
−0.7	−0.6812	−0.6792	−0.6769	−0.6743	−0.6714	−0.6679	−0.6636	−0.6581	−0.6548	−0.6509	−0.6462	−0.6407	
−0.6	−0.7269	−0.7308	−0.7350	−0.7400	−0.7457	−0.7525	−0.7608	−0.7712	−0.7777	−0.7852	−0.7940	−0.8048	$\frac{1}{f}$
−0.5	−0.7051	−0.7137	−0.7233	−0.7344	−0.7472	−0.7624	−0.7810	−0.8045	−0.8189	−0.8357	−0.8556	−0.8798	
−0.4	−0.6283	−0.6395	−0.6520	−0.6664	−0.6832	−0.7030	−0.7273	−0.7579	−0.7767	−0.7985	−0.8245	−0.8560	
−0.3	−0.5053	−0.5196	−0.5322	−0.5467	−0.5636	−0.5836	−0.6080	−0.6389	−0.6578	−0.6799	−0.7060	−0.7377	
−0.2	−0.3563	−0.3654	−0.3755	−0.3871	−0.4006	−0.4166	−0.4361	−0.4608	−0.4759	−0.4936	−0.5145	−0.5398	
−0.1	−0.1834	−0.1884	−0.1940	−0.2004	−0.2078	−0.2167	−0.2275	−0.2411	−0.2495	−0.2592	−0.2708	−0.2848	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
+λ	右半は全部 +												

對稱荷載力率　$m=\lambda^n m_n$　　$X_1=0$

$\alpha=0.8$　　第 77 表　力　率　水平反力 X_1

影響線縦距 λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
−0.9	−0.3447	−0.3370	−0.3284	−0.3185	−0.3071	−0.2934	−0.2767	−0.2554	−0.2423	−0.2270	−0.2087	−0.1864	
−0.8	−0.5688	−0.5623	−0.5550	−0.5467	−0.5370	−0.5254	−0.5113	−0.4933	−0.4822	−0.4692	−0.4538	−0.4349	
−0.7	−0.6924	−0.6910	−0.6895	−0.6878	−0.6853	−0.6834	−0.6805	−0.6768	−0.6745	−0.6719	−0.6687	−0.6638	
−0.6	−0.7324	−0.7374	−0.7425	−0.7489	−0.7552	−0.7633	−0.7733	−0.7860	−0.7937	−0.8029	−0.8137	−0.8270	$\frac{1}{f}$
−0.5	−0.7059	−0.7151	−0.7254	−0.7373	−0.7511	−0.7676	−0.7877	−0.8134	−0.8291	−0.8476	−0.8695	−0.8964	
−0.4	−0.6253	−0.6369	−0.6500	−0.6650	−0.6825	−0.7033	−0.7287	−0.7611	−0.7808	−0.8042	−0.8319	−0.8659	
−0.3	−0.5055	−0.5150	−0.5280	−0.5429	−0.5602	−0.5808	−0.6060	−0.6381	−0.6578	−0.6809	−0.7084	−0.7420	
−0.2	−0.3518	−0.3610	−0.3713	−0.3830	−0.3967	−0.4131	−0.4331	−0.4585	−0.4748	−0.4924	−0.5141	−0.5407	
−0.1	−0.1807	−0.1857	−0.1914	−0.1979	−0.2054	−0.2144	−0.2254	−0.2393	−0.2479	−0.2580	−0.2699	−0.2846	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
+λ	右半は全部 +												

對稱荷載力率　$m=\lambda^n m_n$　　$X_1=0$

$\alpha=0.7$

第 78 表　力 率　水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{f}$
	−0.9	−0.3567	−0.3492	−0.3407	−0.3309	−0.3196	−0.3060	−0.2893	−0.2680	−0.2548	−0.2393	−0.2207	−0.1978	
	−0.8	−0.5829	−0.5768	−0.5700	−0.5623	−0.5532	−0.5424	−0.5290	−0.5120	−0.5016	−0.4892	−0.4744	−0.4562	
	−0.7	−0.7029	−0.7022	−0.7015	−0.7007	−0.6998	−0.6986	−0.6972	−0.6954	−0.6943	−0.6930	−0.6915	−0.6897	
	−0.6	−0.7378	−0.7431	−0.7490	−0.7558	−0.7638	−0.7733	−0.7850	−0.7999	−0.8092	−0.8200	−0.8331	−0.8492	
	−0.5	−0.7054	−0.7152	−0.7263	−0.7389	−0.7538	−0.7714	−0.7931	−0.8208	−0.8379	−0.8580	−0.8822	−0.9120	
	−0.4	−0.6210	−0.6331	−0.6466	−0.6621	−0.6803	−0.7019	−0.7285	−0.7624	−0.7834	−0.8081	−0.8377	−0.8741	
	−0.3	−0.4975	−0.5093	−0.5225	−0.5377	−0.5554	−0.5765	−0.6024	−0.6355	−0.6560	−0.6800	−0.7089	−0.7444	
	−0.2	−0.3464	−0.3556	−0.3662	−0.3779	−0.3918	−0.4084	−0.4287	−0.4546	−0.4707	−0.4895	−0.5122	−0.5400	
	−0.1	−0.1775	−0.1826	−0.1883	−0.1948	−0.2034	−0.2114	−0.2225	−0.2367	−0.2455	−0.2558	−0.2682	−0.2834	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	+λ	右半は全部 +												

對稱満載力率　$m=\lambda^n m_n$　$X_1=0$

$\alpha=0.6$

第 79 表　力 率　水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{f}$
	−0.9	−0.3688	−0.3613	−0.3530	−0.3434	−0.3322	−0.3188	−0.3022	−0.2809	−0.2677	−0.2521	−0.2333	−0.2100	
	−0.8	−0.5966	−0.5910	−0.5848	−0.5776	−0.5693	−0.5592	−0.5469	−0.5311	−0.5213	−0.5092	−0.4957	−0.4784	
	−0.7	−0.7127	−0.7128	−0.7128	−0.7129	−0.7131	−0.7132	−0.7135	−0.7138	−0.7140	−0.7143	−0.7145	−0.7150	
	−0.6	−0.7416	−0.7476	−0.7544	−0.7621	−0.7713	−0.7821	−0.7956	−0.8130	−0.8237	−0.8364	−0.8518	−0.8708	
	−0.5	−0.7036	−0.7140	−0.7257	−0.7391	−0.7548	−0.7736	−0.7968	−0.8267	−0.8451	−0.8670	−0.8934	−0.9261	
	−0.4	−0.6153	−0.6277	−0.6416	−0.6577	−0.6764	−0.6988	−0.7264	−0.7619	−0.7838	−0.8099	−0.8413	−0.8801	
	−0.3	−0.4904	−0.5023	−0.5156	−0.5311	−0.5490	−0.5705	−0.5970	−0.6310	−0.6521	−0.6770	−0.7071	−0.7443	
	−0.2	−0.3401	−0.3493	−0.3597	−0.3717	−0.3856	−0.4023	−0.4229	−0.4493	−0.4656	−0.4850	−0.5083	−0.5371	
	−0.1	−0.1739	−0.1789	−0.1846	−0.1911	−0.1987	−0.2077	−0.2189	−0.2332	−0.2421	−0.2526	−0.2653	−0.2810	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	+λ	右半は全部 +												

對稱満載力率　$m=\lambda^n m_n$　$X_1=0$

$\alpha=0.5$

第 80 表　力 率　水平反力 X_1

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
影響線縦距	−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{f}$
	−0.9	−0.3806	−0.3734	−0.3653	−0.3558	−0.3449	−0.3317	−0.3153	−0.2942	−0.2811	−0.2654	−0.2464	−0.2227	
	−0.8	−0.6097	−0.6047	−0.5991	−0.5926	−0.5850	−0.5760	−0.5666	−0.5503	−0.5413	−0.5305	−0.5176	−0.5014	
	−0.7	−0.7215	−0.7223	−0.7233	−0.7243	−0.7256	−0.7272	−0.7291	−0.7317	−0.7333	−0.7352	−0.7375	−0.7405	
	−0.6	−0.7441	−0.7509	−0.7585	−0.7672	−0.7774	−0.7898	−0.8050	−0.8247	−0.8371	−0.8517	−0.8695	−0.8917	
	−0.5	−0.7003	−0.7112	−0.7235	−0.7377	−0.7543	−0.7742	−0.7988	−0.8306	−0.8505	−0.8740	−0.9026	−0.9383	
	−0.4	−0.6081	−0.6208	−0.6351	−0.6515	−0.6707	−0.6938	−0.7223	−0.7590	−0.7820	−0.8092	−0.8422	−0.8834	
	−0.3	−0.4818	−0.4938	−0.5073	−0.5228	−0.5410	−0.5627	−0.5896	−0.6242	−0.6458	−0.6715	−0.7025	−0.7413	
	−0.2	−0.3327	−0.3419	−0.3523	−0.3642	−0.3782	−0.3949	−0.4155	−0.4421	−0.4587	−0.4783	−0.5021	−0.5319	
	−0.1	−0.1697	−0.1746	−0.1803	−0.1867	−0.1942	−0.2033	−0.2133	−0.2288	−0.2377	−0.2483	−0.2612	−0.2773	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	+λ	右半は全部 +												

對稱満載力率　$m=\lambda^n m_n$　$X_1=0$

$\alpha=0.4$

第 81 表　力　率　水平反力 X_1

影響線縦距 λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
−0.9	−0.3923	−0.3853	−0.3774	−0.3683	−0.3575	−0.3446	−0.3286	−0.3078	−0.2947	−0.2790	−0.2600	−0.2360	
−0.8	−0.6223	−0.6179	−0.6129	−0.6072	−0.6004	−0.5924	−0.5824	−0.5695	−0.5614	−0.5517	−0.5399	−0.5251	
−0.7	−0.7293	−0.7309	−0.7327	−0.7348	−0.7372	−0.7402	−0.7440	−0.7489	−0.7520	−0.7557	−0.7603	−0.7661	
−0.6	−0.7453	−0.7527	−0.7611	−0.7708	−0.7821	−0.7958	−0.8129	−0.8351	−0.8490	−0.8656	−0.8859	−0.9115	$\frac{1}{f}$
−0.5	−0.6954	−0.7068	−0.7197	−0.7345	−0.7519	−0.7728	−0.7988	−0.8324	−0.8536	−0.8787	−0.9095	−0.9482	
−0.4	−0.5993	−0.6122	−0.6268	−0.6435	−0.6631	−0.6866	−0.7159	−0.7537	−0.7774	−0.8057	−0.8402	−0.8836	
−0.3	−0.4720	−0.4839	−0.4975	−0.5130	−0.5312	−0.5529	−0.5800	−0.6150	−0.6370	−0.6631	−0.6950	−0.7350	
−0.2	−0.3244	−0.3335	−0.3438	−0.3556	−0.3694	−0.3859	−0.4065	−0.4330	−0.4495	−0.4694	−0.4936	−0.5239	
−0.1	−0.1649	−0.1693	−0.1754	−0.1817	−0.1891	−0.1980	−0.2090	−0.2232	−0.2322	−0.2428	−0.2557	−0.2720	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
+λ	右半は全部 +												

對稱消枝力率　$m=\lambda^n m_n$　$X_1=0$

$\alpha=0.3$

第 82 表　力　率　水平反力 X_1

影響線縦距 λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
−1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
−0.9	−0.4037	−0.3970	−0.3893	−0.3805	−0.3701	−0.3575	−0.3419	−0.3215	−0.3085	−0.2931	−0.2741	−0.2498	
−0.8	−0.6341	−0.6303	−0.6261	−0.6211	−0.6153	−0.6083	−0.5997	−0.5885	−0.5814	−0.5729	−0.5626	−0.5493	
−0.7	−0.7360	−0.7383	−0.7410	−0.7441	−0.7478	−0.7522	−0.7578	−0.7652	−0.7699	−0.7756	−0.7825	−0.7913	
−0.6	−0.7450	−0.7530	−0.7623	−0.7728	−0.7858	−0.8003	−0.8191	−0.8437	−0.8592	−0.8778	−0.9007	−0.9296	$\frac{1}{f}$
−0.5	−0.6889	−0.7007	−0.7141	−0.7295	−0.7476	−0.7693	−0.7965	−0.8319	−0.8541	−0.8809	−0.9137	−0.9553	
−0.4	−0.5890	−0.6020	−0.6163	−0.6336	−0.6534	−0.6775	−0.7070	−0.7456	−0.7699	−0.7991	−0.8349	−0.8800	
−0.3	−0.4607	−0.4726	−0.4860	−0.5014	−0.5195	−0.5412	−0.5681	−0.6032	−0.6252	−0.6516	−0.6840	−0.7249	
−0.2	−0.3150	−0.3240	−0.3341	−0.3456	−0.3592	−0.3754	−0.3956	−0.4219	−0.4383	−0.4580	−0.4822	−0.5128	
−0.1	−0.1597	−0.1644	−0.1693	−0.1760	−0.1832	−0.1919	−0.2026	−0.2166	−0.2253	−0.2358	−0.2487	−0.2649	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
+λ	右半は全部 +												

對稱消枝力率　$m=\lambda^n m_n$　$X_1=0$

$\alpha=$ー

第 83 表　力　率　鉛直反力 X_2

影響線縦距 λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
∓1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
∓0.9	0.2850	0.2758	0.2652	0.2532	0.2393	0.2229	0.2035	0.1801	0.1665	0.1513	0.1342	0.1149	
∓0.8	0.5400	0.5274	0.5130	0.4965	0.4775	0.4552	0.4286	0.3966	0.3780	0.3572	0.3339	0.3076	
∓0.7	0.7650	0.7532	0.7398	0.7244	0.7066	0.6858	0.6610	0.6311	0.6138	0.5944	0.5726	0.5480	
∓0.6	0.9600	0.9518	0.9425	0.9319	0.9196	0.9052	0.8880	0.8673	0.8553	0.8419	0.8268	0.8097	$\frac{1}{l}$
∓0.5	1.1250	1.1220	1.1186	1.1147	1.1102	1.1049	1.0986	1.0911	1.0867	1.0817	1.0762	1.0700	
∓0.4	1.2600	1.2627	1.2657	1.2692	1.2733	1.2780	1.2836	1.2904	1.2944	1.2988	1.3037	1.3093	
∓0.3	1.3650	1.3730	1.3821	1.3925	1.4045	1.4186	1.4354	1.4556	1.4674	1.4803	1.4952	1.5119	
∓0.2	1.4400	1.4523	1.4662	1.4822	1.5006	1.5223	1.5489	1.5790	1.5971	1.6172	1.6398	1.6654	
∓0.1	1.4850	1.5000	1.5171	1.5366	1.5592	1.5858	1.6173	1.6553	1.6774	1.7020	1.7297	1.7610	
0	1.5000	1.5160	1.5341	1.5549	1.5790	1.6072	1.6406	1.6810	1.7045	1.7308	1.7602	1.7935	
$m=m_0$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	m_0
$m=\lambda^2 m_2$	0.6000	0.5927	0.5844	0.5749	0.5639	0.5510	0.5357	0.5172	0.5065	0.4945	0.4811	0.4658	$\frac{2}{0}m_2$
$m=\lambda^4 m_4$	0.4286	0.4205	0.4113	0.4007	0.3885	0.3742	0.3571	0.3366	0.3247	0.3113	0.2964	0.2795	$\frac{4}{0}m_4$
$m=\lambda^6 m_6$	0.2727	0.2656	0.2575	0.2482	0.2374	0.2248	0.2098	0.1917	0.1812	0.1695	0.1563	0.1414	$\frac{6}{0}m_6$

對稱消枝力率

$\alpha=$

第 84 表 力率 X_3

	λ \ β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
影	−1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	−0.9	0.9500	0.9530	0.9561	0.9595	0.9632	0.9671	0.9714	0.9760	0.9785	0.9811	0.9838	0.9866
	−0.8	0.9000	0.9050	0.9103	0.9160	0.9222	0.9288	0.9360	0.9433	0.9480	0.9524	0.9569	0.9617
	−0.7	0.8500	0.8562	0.8628	0.8698	0.8775	0.8857	0.8946	0.9043	0.9095	0.9149	0.9206	0.9265
	−0.6	0.8000	0.8066	0.8137	0.8213	0.8295	0.8384	0.8480	0.8584	0.8640	0.8698	0.8759	0.8823
響	−0.5	0.7500	0.7565	0.7634	0.7708	0.7788	0.7875	0.7969	0.8071	0.8125	0.8182	0.8241	0.8304
	−0.4	0.7000	0.7058	0.7120	0.7187	0.7259	0.7336	0.7420	0.7511	0.7560	0.7611	0.7664	0.7720
	−0.3	0.6500	0.6547	0.6598	0.6652	0.6710	0.6773	0.6841	0.6915	0.6955	0.6996	0.7040	0.7085
	−0.2	0.6000	0.6033	0.6069	0.6107	0.6148	0.6192	0.6240	0.6292	0.6320	0.6349	0.6380	0.6412
線	−0.1	0.5500	0.5517	0.5535	0.5555	0.5571	0.5599	0.5624	0.5651	0.5665	0.5680	0.5696	0.5712
	0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
緩	0.1	0.4500	0.4483	0.4465	0.4445	0.4429	0.4401	0.4376	0.4349	0.4335	0.4320	0.4304	0.4288
	0.2	0.4000	0.3967	0.3932	0.3893	0.3852	0.3808	0.3760	0.3708	0.3680	0.3651	0.3621	0.3589
	0.3	0.3500	0.3453	0.3403	0.3348	0.3290	0.3227	0.3159	0.3085	0.3045	0.3004	0.2960	0.2915
	0.4	0.3000	0.2942	0.2880	0.2813	0.2742	0.2664	0.2580	0.2489	0.2440	0.2389	0.2336	0.2280
距	0.5	0.2500	0.2435	0.2366	0.2292	0.2212	0.2125	0.2031	0.1929	0.1875	0.1818	0.1759	0.1696
	0.6	0.2000	0.1934	0.1863	0.1787	0.1705	0.1616	0.1520	0.1416	0.1360	0.1302	0.1241	0.1177
	0.7	0.1500	0.1438	0.1373	0.1302	0.1225	0.1143	0.1054	0.0957	0.0905	0.0851	0.0794	0.0735
	0.8	0.1000	0.0959	0.0917	0.0840	0.0778	0.0712	0.0640	0.0562	0.0520	0.0476	0.0431	0.0383
	0.9	0.0500	0.0471	0.0439	0.0405	0.0368	0.0329	0.0286	0.0240	0.0215	0.0189	0.0162	0.0134
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

對稱滿載力率 $m=\lambda^n m_n$ $X_3=\frac{1}{2(n+1)}mnl$

第 85 表 力率 起拱點彎曲率 M_A

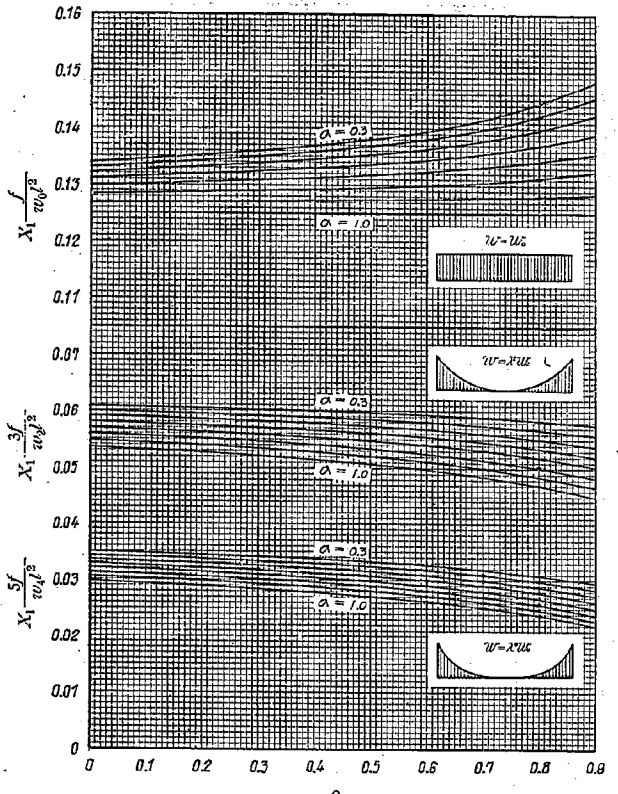
$\alpha=$ (對稱滿載力率)

β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$m=m_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ml
$m=\lambda^2 m_2$	0.2000	0.2036	0.2078	0.2125	0.2180	0.2245	0.2321	0.2414	0.2468	0.2527	0.2595	0.2671	$\frac{3}{8}m_2l$
$m=\lambda^4 m_4$	0.2357	0.2898	0.2944	0.2997	0.3058	0.3129	0.3214	0.3317	0.3377	0.3443	0.3518	0.3603	$\frac{5}{8}m_4l$
$m=\lambda^8 m_8$	0.3686	0.3672	0.3713	0.3759	0.3813	0.3876	0.3951	0.4041	0.4094	0.4153	0.4219	0.4293	$\frac{7}{8}m_8l$

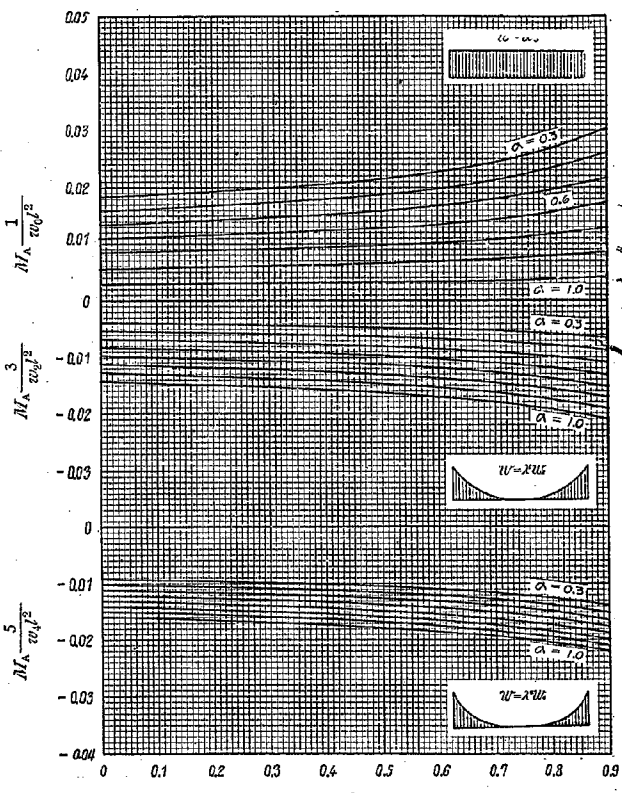
第 86 表 力率 1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$

$\alpha=$ (對稱滿載力率)

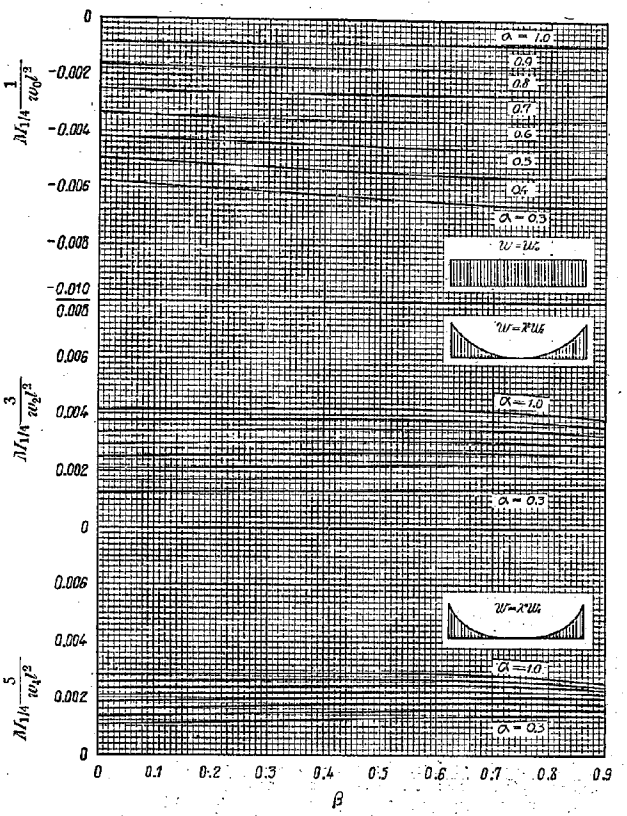
β	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	
$m=m_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ml
$m=\lambda^2 m_2$	−0.0375	−0.0357	−0.0336	−0.0312	−0.0285	−0.0253	−0.0214	−0.0168	−0.0141	−0.0111	−0.0078	−0.0040	$\frac{3}{8}ml$
$m=\lambda^4 m_4$	−0.0915	−0.0895	−0.0872	−0.0846	−0.0815	−0.0779	−0.0737	−0.0685	−0.0656	−0.0622	−0.0585	−0.0543	$\frac{5}{8}ml$
$m=\lambda^8 m_8$	−0.0672	−0.0654	−0.0634	−0.0611	−0.0584	−0.0552	−0.0515	−0.0470	−0.0443	−0.0414	−0.0381	−0.0344	$\frac{7}{8}ml$



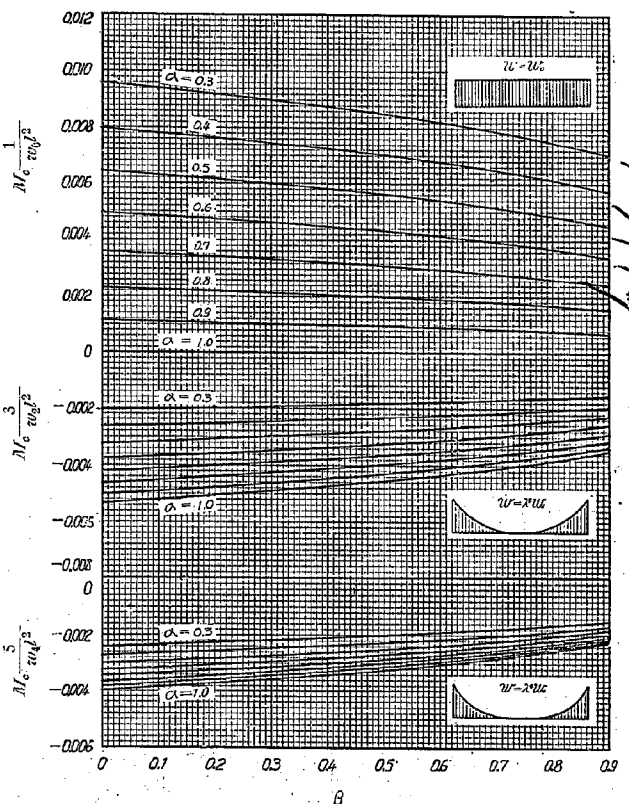
第 27 圖　鉛直對稱荷重　水平反力 $X_1=H$



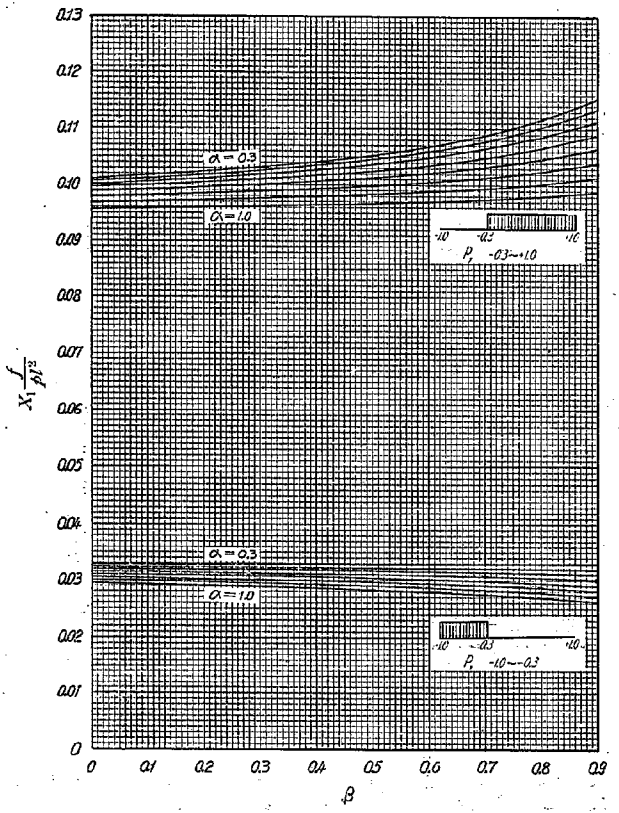
第 28 圖　鉛直對稱荷重　起拱點彎曲率 M_A



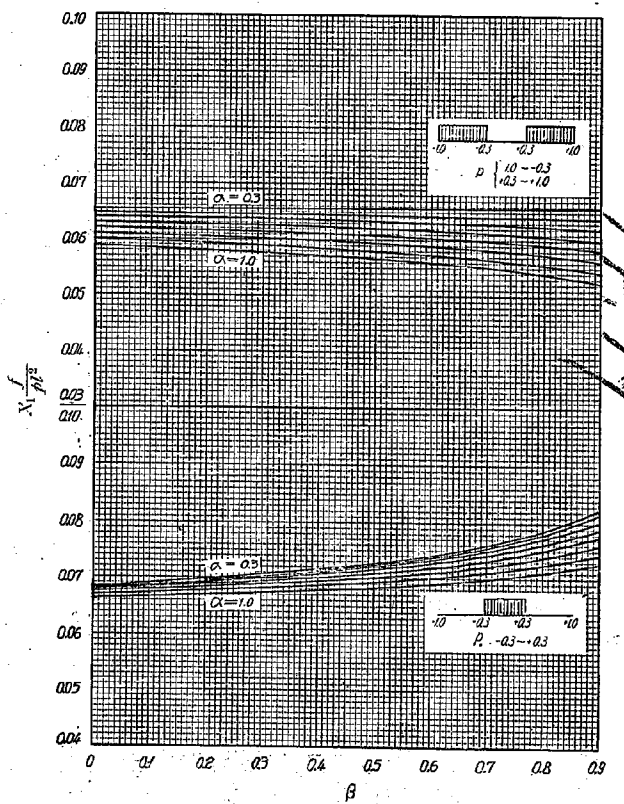
第 29 圖　鉛直對稱荷重　1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$



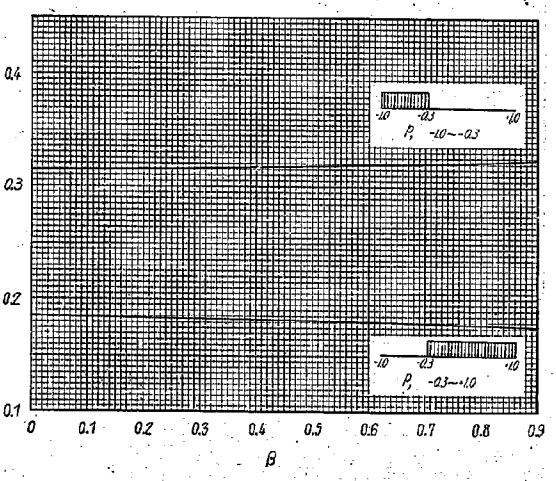
第 30 圖　鉛直對稱荷重　拱頂彎曲率 M_c



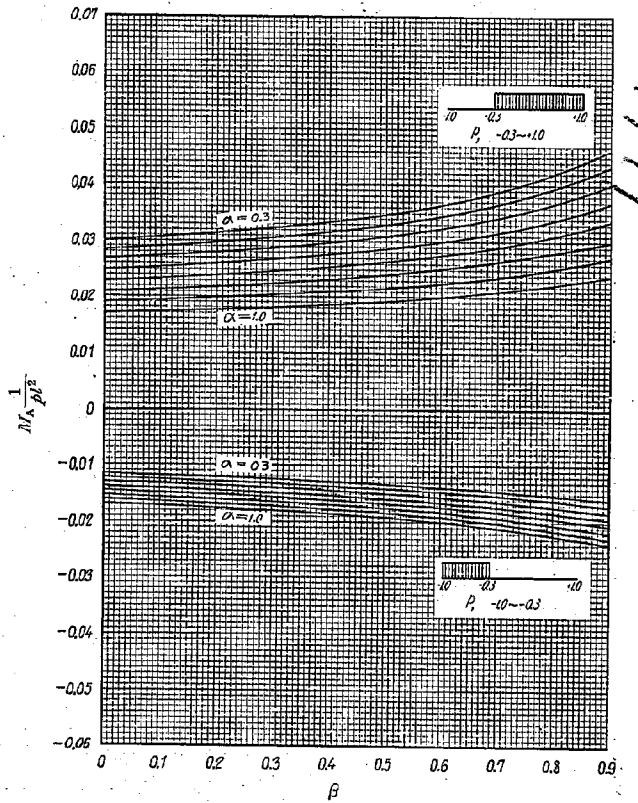
第 31 圖　鉛直等布部分荷重　水平反力 $X_1 = H$



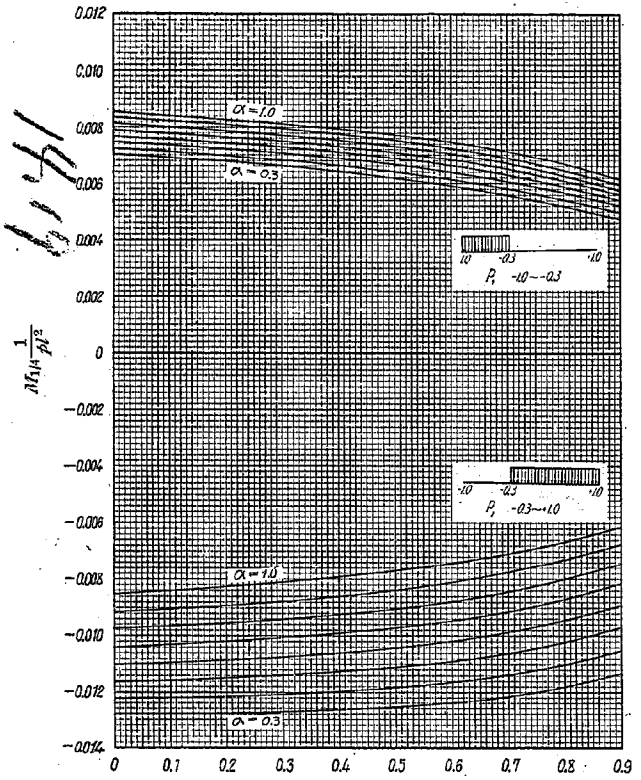
第 32 圖　鉛直等布部分荷重　水平反力 $X_1 = H$



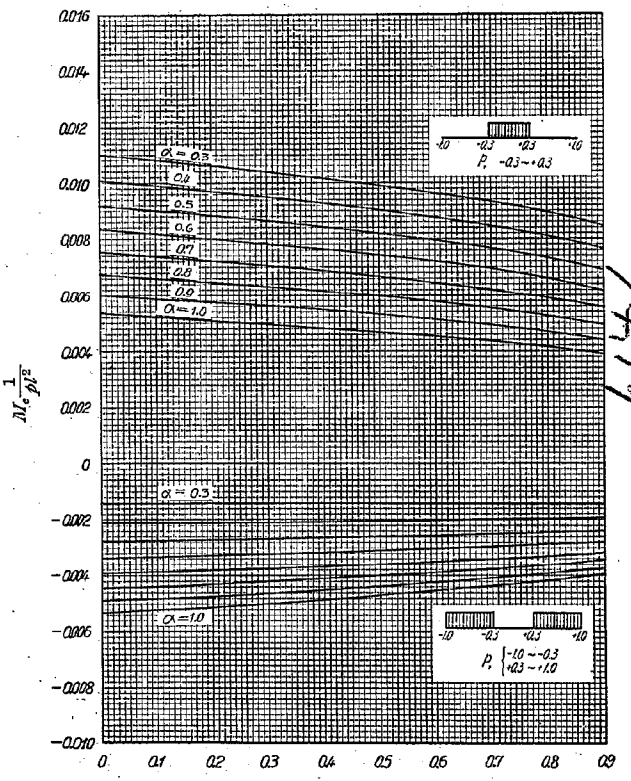
第 33 圖　鉛直等布部分荷重　鉛直反力 $X_2=A$



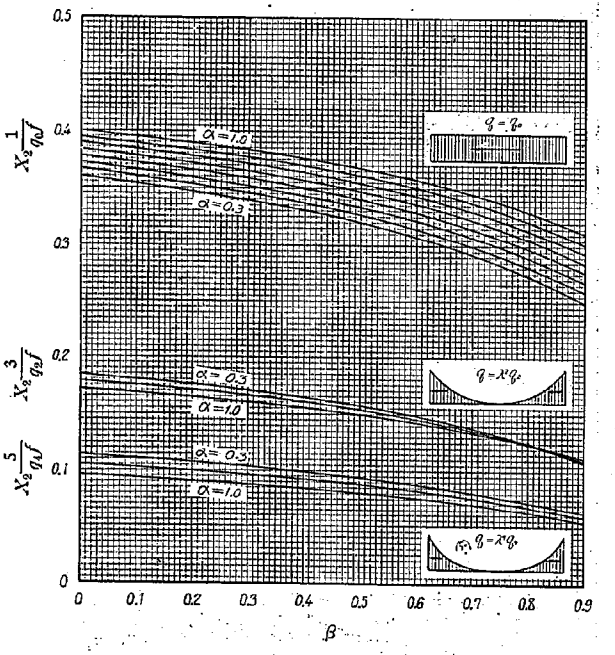
第 34 圖　鉛直等布部分荷重　起拱點彎曲率 M_A



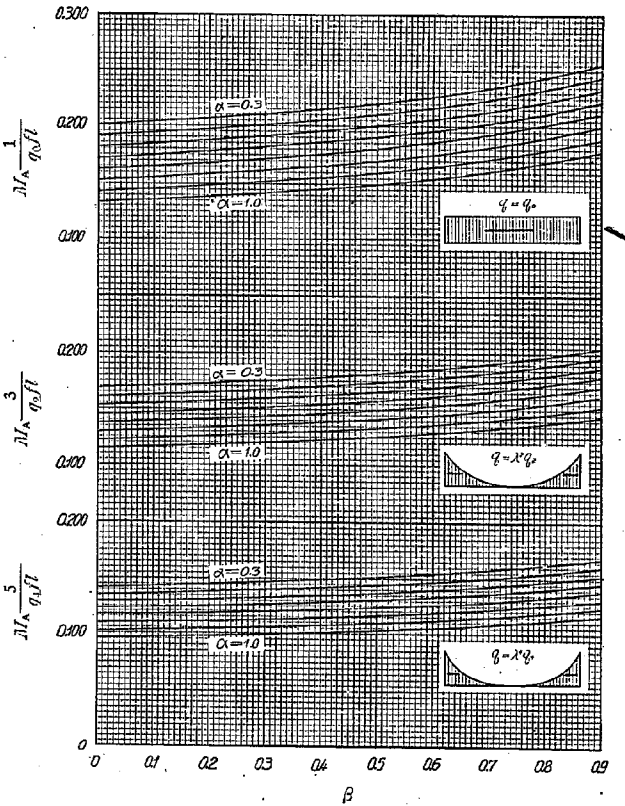
第 35 圖　鉛直等布部分荷重　1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$



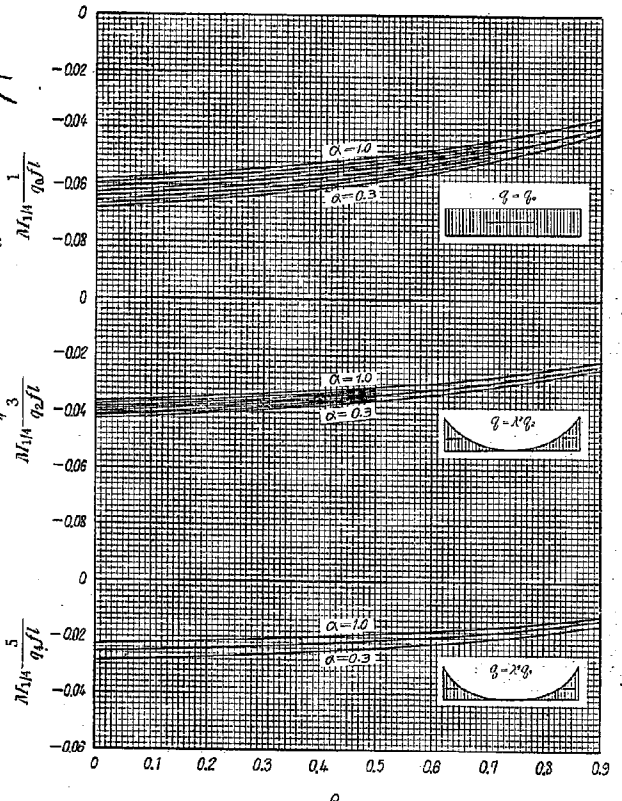
第 36 圖　鉛直等布部分荷重　拱頂彎曲率 M_c



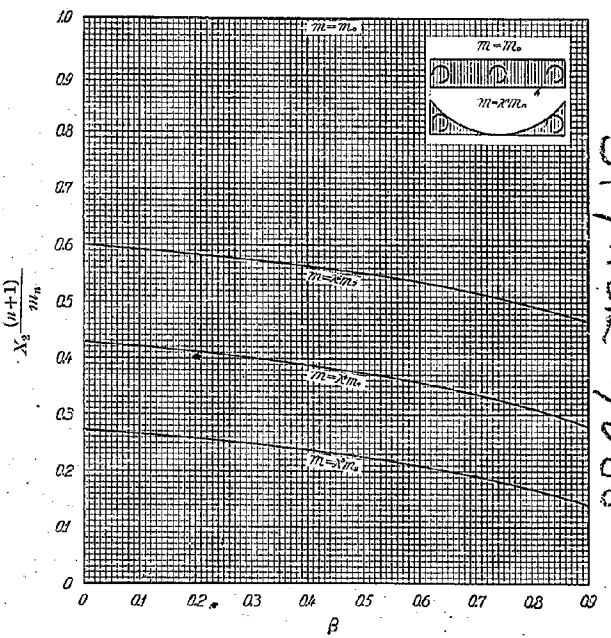
第 37 圖　水平對稱荷重　鉛直反力 $X_2=A$



第 38 圖　水平對稱荷重　起拱點彎曲率 M_A

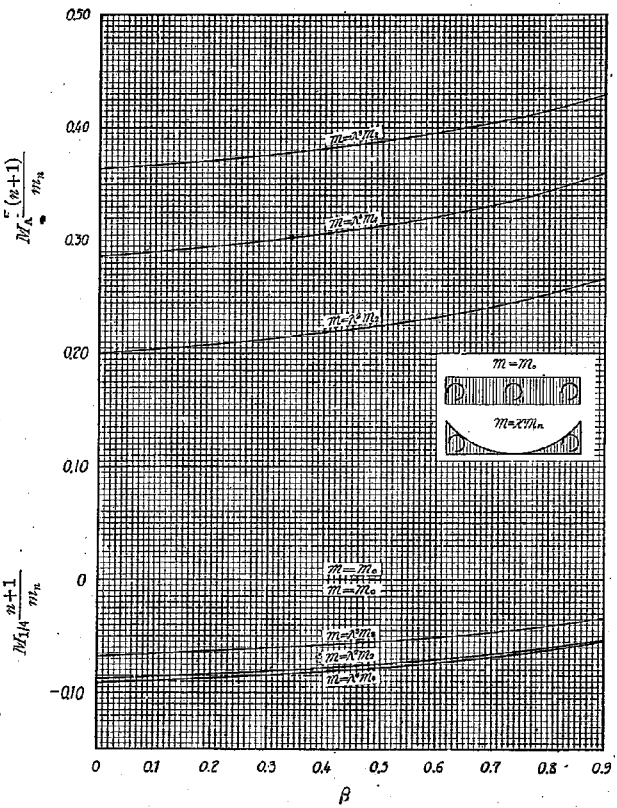


第 39 圖　水平對稱荷重　1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$



第 40 圖　對稱力率　鉛直反力 $X_2=A$　(α に關係せず)

4.4×3.2=14.08



第 41 圖　對稱力率　　挾起點彎曲率 M_A
1/4 點彎曲率 $M_{1/4}$
(α に關係せず)

16×6=96.0
532.1
628.1

土木試験所出版圖書

報告

第一號	路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究 中間報告．瀝青質材料並瀝青質混合物に關する研究第一報	大正十四年三月發行
第二號	瀝青質材料針度に就て	大正十五年一月發行
第三號	「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定．瀝青混合物に關する研究．「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て	同　二月發行
*第四號	急硬セメントに關する試驗報告	同　五月發行
*第五號	簡易鋪裝に關する試驗報告	昭和二年三月發行
*第六號	混凝土及鐵筋混凝土抗扯力試驗報告	同　五月發行
*第七號	八幡製鐵所副産部製品，瀝青質材料，瀝青質鋪裝，「セメント」類及揮發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績	同　七月發行
*第八號	瀝青質材料標準試驗方法．　石材類標準試驗方法	同　十月發行
*第九號	急硬性「セメント」に關する試驗．「ソリデチット」の耐壓强度に關する試驗．「ブロック」に關する試驗．高知縣黑瀧川産砂に關する試驗．多摩川産砂利及砂に關する調査．石材類試驗成績	同　十一月發行
*第十號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第一）道路橋振動試驗	昭和三年三月發行
*第十一號	瀝青滲透ブロック試驗成績．鋪裝工事用サーフェス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗．常願寺川産砂に關する試驗	同　七月發行
*第十二號	アスファルト・ブロック試驗成績．各種アスファルト・ブロック比較試驗成績．石油アスファルトとコール・タール・ピッチとの混合物に關する試驗．瓦斯燈及骸炭爐タール及ピッチに關する試驗成績．コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て．大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化．石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす火山灰及石粉の影響	昭和四年一月發行
第十三號	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗．橋梁用敷板强度試驗．舊鐵橋鐵材の腐蝕に關する調査．鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗	同　五月發行
*第十四號	瀝青乳劑及ピチュマルス鋪裝に關する試驗 瀝青滲透ブロックに關する試驗 瀝青質材料の滲透性に關する試驗 瀝青質材料の粘度及膠眼係數に關する試驗	同　十二月發行
*第十五號	北上川降開式轉動堰模型試驗．電氣鎔接法による鐵筋の接合．現場打混凝土の耐壓試驗報告	昭和五年二月發行
*第十六號	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第二）．瀝青滲透ブロック鋪裝試驗．工事用石材試驗成績	同　五月發行
*第十七號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第三）	同　五月發行

*第十八號	混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試驗．鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響竝に之に應ずる設計及工法に就て(一)．鬼怒川上流改修工事用角礫凝灰岩砂利及砂に關する試驗．鐵筋混凝土道路橋設計資料．各種土木工事用材料試驗成績	昭和五年十月發行
*第十九號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響竝に之に基く道路設計の基本に關する研究（第四）	同　十一月發行
第二十號	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)．基礎の沈下量算定法(一)．岩淵水門に關する水理試驗．單鉸拱橋模型試驗．國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案	昭和六年六月發行
第二十一號	背水曲線の一般的解法．單鉸拱の振動に關する理論竝に實驗混凝土鋪裝の纖目に關する試驗．河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響．瀝青乳劑試驗成績	同　十二月發行
第二十二號	地震時土壓の實驗的研究．混凝土鋪裝纖目用エラスタイト試驗．高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗．基礎の沈下量算定法(第二)．新土壓計算圖表．	昭和七年五月發行
第二十三號	簡易鋪裝に關する實地比較試驗．鋼矢板試驗．大和川筋龜ノ瀨地ニに關する調査(第一)	同　七月發行
第二十四號	道路の背向曲線の設計に就て．阻柱に關する試驗．乳劑の粘度に就て．府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案．碎石の磨損率に關する一試驗．三陸津浪調査報告．本邦産鋪裝用石材(附錄)．	昭和八年六月發行
第二十五號	本邦鋪裝用タールの性質に就て．横溢流堤流量試驗．擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗．砂利層の支持力に關する試驗（第一報）．鋼矢板試驗（續）．ユタニット・パイプ試驗．	同　十一月發行
第二十六號	地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の隣面決定法．田中村調節池溢流堤に關する水理試驗．瀝青鋪裝切取試驗體の性質．道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第1報)．自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究(其一)	昭和九年三月發行
第二十七號	道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て．津浪の災害輕減に關する模型試驗．津浪の變形の理論．三陸津浪調査報告(追加)．自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究(其の二)．瀝青遙入マカダムに關する試驗(第一報)	同　六月發行

其　他

本邦道路橋輯覽	大正十四年十二月發行
本邦道路橋輯覽（增補）	昭和三年三月發行
第六回國際道路會議に關する報告書	昭和七年四月發行
土木工事用材料標準試驗方法	昭和七年十二月發行

（*印は殘部なし）

昭和九年十月二十七日　印刷
昭和九年十月三十一日　發行

内務省土木試驗所
東京市本郷區駒込上富士前町二十六番地
電話大塚(86)〔自3101番 至3103番〕
印刷者　守岡功
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二
印刷所　凸版印刷株式會社本所分工場
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二

	松村		青木		西川		島田		大胜		計
呂	416.02	+	66	+	36	+	96	+	628.1	=	1243
字	264.05	+	6	+	0	+	18	+	0	=	288
											1530.1