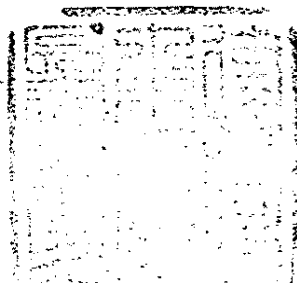
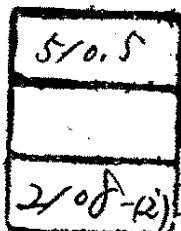


土木試験所報告

第六十一號

-
- 基礎微分方程式を冪級數に展開して
解き之に依つて變断面桁の固有振動
數を求むる方法.....内務技師 横 田 周 平... 1
- 木材合成桁の合成工法と強度に關す
る實驗的研究.....内務技師 村 上 永 一...19
- 黃土路床土の固結安定に關する基礎
試験及び調査 (第1報).....内務技師 福 島 彌 六...49
- 鋼道路橋設計資料並ひに紙結鈹桁橋
標準設計案.....囑 託 牧 野 喬...93
-



昭和十六年八月

内務省土木試験所

報告第六十一號正誤表

頁	行	誤	正
54	表-3 粘土 4	19.26	79.26
58	表-4(2) 下ヨリ 6 欄 (壓縮強さ)	11.	11.4
58	表-4(2) 下ヨリ 5 欄 (壓縮強さ)	6.1	16.1

基礎微分方程式を冪級数に展開して解き之に 依つて變斷面桁の固有振動數を求むる方法

内務技師 横 田 周 平

要 旨

桁の中央を原點に取り慣性モーメントが1次的或は2次的に減少する様な實際的な變斷面桁の固有振動數を表題に述べた如き方法で計算した。計算結果は本所村上學士の求められた近似値と良く一致した。此の論文は亦内務省土木試験所報告第56號(昭和15年9月)に發表せる“基礎微分方程式を冪級数に展開して解き之に依つて變斷面壓縮材の限界荷重を求むる方法”の續篇でもあり、此の方法が變斷面材の固有値問題解決の一つの有力な手段である事を示すものである。

目 次

I 變斷面桁の横振動に對する基礎微分方程式	(1)
II 基礎微分方程式を冪級数に展開して解く事	(2)
[1] 慣性モーメントが1次的に変化する場合	(2)
[2] 慣性モーメントが2次的に変化する場合	(8)
III 固有振動數の計算	(12)
[1] 慣性モーメントが1次的に変化する場合	(12)
[2] 慣性モーメントが2次的に変化する場合	(14)
[3] 村上氏の計算値との比較	(14)
IV 結 言	(18)

I. 變斷面桁の横振動に對する基礎微分方程式

外力の作用しない場合の變斷面桁の横振動に對する基礎微分方程式は良く知られてゐる様に次の如き形で表はされる。

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

但し E : 材料の弾性係數

$I(x)$: 桁の斷面の慣性モーメントで x の函數

m : 單位長さ當りの死荷重で一般

には x の函數であるが此の計算

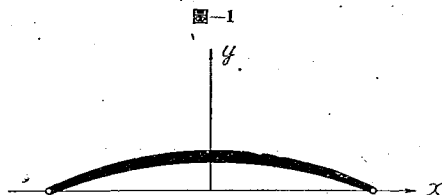
に於ては常數としてゐる。

g : 重力の加速度

t : 時 間

坐標軸は圖-1 の如く取る。

桁の斷面は中央を中心として對稱的に變化



するものとし中央断面の慣性モーメントを基準にして1次的或は2次的に減少する場合に就て計算する。實際的な變断面桁としては之等のものが最も普通である、式で表はせば

$$I(x) = I_c - (I_c - I_e) \left(\frac{2x}{L} \right)^n \quad (2)$$

但し I_c : 桁の中央断面の慣性モーメント

I_e : 桁の兩端断面の慣性モーメント

L : 桁の長さ、

n : 1又は2

變断面桁自身の単位長さ當りの重量は可成り變化するが、橋桁等に於ては桁上に乗る死荷重が大きいので之等の重量全部を考へれば MI の値は大して變化しない、従つて桁全體の平均値を取る事とし此の計算に於ては m を常數とした。

桁が振動數 w なる振動をなす時の撓曲線は

$$y = Z(x) \sin wt \quad (3)$$

で表はす事が出来る。但し1秒間の振動數は $\frac{w}{2\pi}$ である。

$Z(x)$ は x のみの函數であつて振動してゐる時の最大撓を與へる。

(3)式を(1)式に代入すれば

$$\frac{d^2}{dx^2} \left\{ EI(x) \frac{d^2 Z}{dx^2} \right\} - \frac{mw^2}{g} Z = 0 \quad (4)$$

(2)式を(4)式に代入し

$$\frac{2x}{L} = \lambda, \quad 0 \leq \rho^n = \frac{I_c - I_e}{I_c} \leq 1, \quad \alpha^2 = \frac{mL^4 w^2}{16EI_c g}$$

と置き換へれば

$$\frac{d}{d\lambda^2} \left\{ (1 - \rho^n \lambda^n) \frac{d^2 Z}{d\lambda^2} \right\} - \alpha^2 Z = 0 \quad (5)$$

$n=1, 2$ の場合に就て上記の微分方程式を冪級數に展開して解き、之より α^2 と ρ^n の關係、従つて w と $\frac{I_c - I_e}{I_c}$ との關係を求め様とするのである。

II. 基礎微分方程式を冪級數に展開して解く事

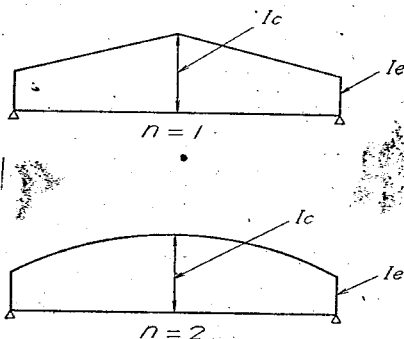
[1] 慣性モーメントが1次的に變化する場合

$n=1$ の場合に對して(5)式を冪級數の形で解く、即ち(5)式の解として

$$Z = \sum_{\mu=0}^{\infty} A_{\mu} \lambda^{\mu} \quad (6)$$

を假定する。然る時は

圖-2



$$\begin{aligned}
\frac{d^2 Z}{d\lambda^2} &= \sum_{\mu=2}^{\infty} \mu(\mu-1) A_{\mu} \lambda^{\mu-2} = \sum_{\mu=0}^{\infty} (\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+2} \lambda^{\mu} \\
(1-\rho\lambda) \frac{d^2 Z}{d\lambda^2} &= \sum_{\mu=0}^{\infty} (\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+2} \lambda^{\mu} - \sum_{\mu=0}^{\infty} \rho(\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+2} \lambda^{\mu+1} \\
&= 2A_2 + \sum_{\mu=0}^{\infty} \left\{ (\mu+3)(\mu+2) A_{\mu+3} - \rho(\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+2} \right\} \lambda^{\mu+1} \\
\frac{d^2}{d\lambda^2} \left\{ (1-\rho\lambda) \frac{d^2 Z}{d\lambda^2} \right\} &= \sum_{\mu=1}^{\infty} (\mu+1) \mu \left\{ (\mu+3)(\mu+2) A_{\mu+3} - \rho(\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+2} \right\} \lambda^{\mu-1} \\
&= \sum_{\mu=0}^{\infty} \left\{ (\mu+4)(\mu+3)(\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+4} - \rho(\mu+3)(\mu+2)^2(\mu+1) A_{\mu+3} \right\} \lambda^{\mu} \dots\dots\dots (7)
\end{aligned}$$

(5)式及び(7)式を(5)式に代入すれば、 $0 \leq \lambda \leq 1$ の範圍の全ての λ の値に對して同式が成立する爲には、 A_{μ} ($\mu=0, 1, 2, 3, \dots\dots\dots$) の全ての係数が悉く零とならなければならない。即ち

$$\begin{aligned}
(\mu+1)(\mu+2)(\mu+3)(\mu+4) A_{\mu+4} - \rho(\mu+1)(\mu+2)^2(\mu+3) A_{\mu+3} - a^2 A_{\mu} &= 0 \dots\dots\dots (8) \\
\mu &= 0, 1, 2, 3, \dots\dots\dots
\end{aligned}$$

A_0, A_1, A_2, A_3 を假定すれば A_4 以下の係数は(8)式に依り決定される。

本問題に對する境界條件としては

$$\lambda=0 \text{ に於て } \frac{dZ}{d\lambda} = 0, \quad \frac{d}{d\lambda} \left\{ (1-\rho\lambda) \frac{d^2 Z}{d\lambda^2} \right\} = 0$$

$$\lambda=1 \text{ に於て } Z=0, \quad \frac{d^2 Z}{d\lambda^2} = 0$$

後者の2條件は後に廻し前者の2條件より

$$A_1 = 0$$

$$A_3 = \frac{1}{3} \rho A_2$$

を得る。 A_0, A_2 は未定の儘殘し各係数を列記すれば次の如くである。

$$A_0 = A_0$$

$$A_1 = 0$$

$$A_2 = A_2$$

$$A_2 = 1 \cdot 2 A_2 \cdot \frac{1}{3!} \rho$$

$$A_4 = \frac{A_0}{1 \cdot 2} \cdot \frac{2!}{4!} a^2 + 1 \cdot 2 A_2 \cdot \frac{2!}{4!} \rho^2$$

$$A_5 = \frac{A_0}{1 \cdot 2} \cdot \frac{3!}{5!} \rho a^2 + 1 \cdot 2 A_2 \cdot \frac{3!}{5!} \rho^3$$

$$A_6 = \frac{A_0}{1 \cdot 2} \cdot \frac{4!}{6!} \rho^2 a^2 + 1 \cdot 2 A_2 \left(\frac{4!}{6!} \rho^4 + \frac{1}{6!} a^2 \right)$$

$$\begin{aligned}
A_7 &= \frac{A_0}{1 \cdot 2} \cdot \frac{5!}{7!} p^3 a^2 + 1 \cdot 2 A_2 \left(\frac{5!}{7!} p^5 + \frac{5+1}{7!} p a^2 \right) \\
A_8 &= \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left(\frac{6!}{8!} p^4 a^2 + \frac{2!}{8!} a^4 \right) + 1 \cdot 2 A_2 \left(\frac{6!}{8!} p^6 + \frac{6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{8!} p^2 a^2 \right) \\
A_9 &= \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left(\frac{7!}{9!} p^5 a^2 + \frac{7 \cdot 2! + 3!}{9!} p a^4 \right) + 1 \cdot 2 A_2 \left(\frac{7!}{9!} p^7 + \frac{7 \cdot 6 \cdot 5 + 7 \cdot 6 \cdot 1 + 7 \cdot 2! + 3!}{9!} p^3 a^2 \right) \\
A_{10} &= \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left(\frac{8!}{10!} p^6 a^2 + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{10!} p^2 a^4 \right) + 1 \cdot 2 A_2 \left(\frac{8!}{10!} p^8 + \frac{8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 1 + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{10!} p^4 a^2 + \frac{1}{10!} a^4 \right) \\
A_{11} &= \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left(\frac{9!}{11!} p^7 a^2 + \frac{9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 9 \cdot 8 \cdot 3! + 9 \cdot 4! + 5!}{11!} p^3 a^4 \right) + 1 \cdot 2 A_2 \left(\frac{9!}{11!} p^9 + \frac{9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + \dots + 5!}{11!} p^5 a^2 + \frac{9+5+1}{11!} p a^4 \right) \\
A_{12} &= \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left(\frac{10!}{12!} p^8 a^2 + \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 3! + 10 \cdot 9 \cdot 4! + 10 \cdot 5! + 6!}{12!} p^4 a^4 + \frac{2!}{12!} a^6 \right) \\
&\quad + 1 \cdot 2 A_2 \left(\frac{10!}{12!} p^{10} + \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + \dots + 6!}{12!} p^6 a^2 + \frac{10(9+5+1) + 6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{12!} p^2 a^4 \right)
\end{aligned}$$

以上の式を仔細に吟味すれば A_{13} 以上の係数も機械的に導かれる事が解るであらう。之等の係数間の關係は後に明らかにする。上記の各係数を (6) 式に代入し

$$\lambda = 1 \text{ に於て } Z = 0$$

なる境界條件を入れ a^2 に関して整頓すれば

$$\begin{aligned}
&\frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ 1 \cdot 2 + \left(\frac{2!}{4!} + \frac{3!}{5!} p + \frac{4!}{6!} p^2 + \dots + \frac{(m-1)!}{(m+4)!} p^m + \dots \right) a^2 \right. \\
&\quad + \left(\frac{2!}{8!} + \frac{7 \cdot 2! + 3!}{9!} p + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{10!} p^2 + \dots \right) a^4 \\
&\quad + \left(\frac{2!}{12!} + \frac{11 \cdot 2! + 7 \cdot 2! + 3!}{13!} p + \frac{12(11 \cdot 2! + 7 \cdot 2! + 3!) + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{14!} p^2 + \dots \right) a^6 \\
&\quad \left. + \dots \right\} \\
&+ 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \left(\frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} p + \frac{2!}{4!} p^2 + \dots + \frac{(m-1)!}{(m+4)!} p^{m-1} + \dots \right) \right. \\
&\quad + \left(\frac{1}{6!} + \frac{5+1}{7!} p + \frac{6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{8!} p^2 + \dots \right) a^2 \\
&\quad + \left(\frac{1}{10!} + \frac{9+5+1}{11!} p + \frac{10(9+5+1) + 6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{12!} p^2 + \dots \right) a^4 \\
&\quad \left. + \dots \right\} = 0 \quad \dots \dots \dots (9)
\end{aligned}$$

A_0 にかゝる括弧内の $a^{2\nu} (\nu=1, 2, 3, \dots)$ の係数を $\phi_{1, 2\nu}(p)$, A_2 にかゝる括弧内の $a^{2\nu} (\nu=0, 1, 2, \dots)$ の各係数を同様に $\psi_{1, 2\nu}(p)$ と置けば (9) 式は次の如く簡約される。

$$\frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ 1 \cdot 2 + \phi_{1,2}(\rho) a^2 + \phi_{1,4}(\rho) a^4 + \phi_{1,6}(\rho) a^6 + \dots \right\} \\ + 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \psi_{1,0}(\rho) + \psi_{1,2}(\rho) a^2 + \psi_{1,4}(\rho) a^4 + \dots \right\} = 0 \quad (10)$$

但し

$$\left. \begin{aligned} \phi_{1,2}(\rho) &= \frac{2!}{4!} + \frac{3!}{5!} \rho + \frac{4!}{6!} \rho^2 + \dots + \frac{(m+2)!}{(m+4)!} \rho^m + \dots \\ \phi_{1,4}(\rho) &= \frac{2!}{8!} + \frac{7 \cdot 2! + 3!}{9!} \rho + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{10!} \rho^2 + \dots \\ \phi_{1,6}(\rho) &= \frac{2!}{12!} + \frac{11 \cdot 2! + 7 \cdot 2! + 3!}{13!} \rho + \frac{12 \cdot 11 \cdot 2! + 12 \cdot 7 \cdot 2! + 12 \cdot 3! + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{14!} \rho^2 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} \psi_{1,0}(\rho) &= \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} \rho + \frac{2!}{4!} \rho^2 + \dots + \frac{m!}{(m+2)!} \rho^m + \dots \\ \psi_{1,2}(\rho) &= \frac{1}{6!} + \frac{5+1}{7!} \rho + \frac{6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{8!} \rho^2 + \dots \\ \psi_{1,4}(\rho) &= \frac{1}{10!} + \frac{9+5+1}{11!} \rho + \frac{10(9+5+1) + 6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{12!} \rho^2 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

(11)及び(12)に於ける各級数に於てその係数間に如何なる関係があるかを求めて見る。その爲に(11)及び(12)の各級数を一般的に次の如く表はす。

$$\phi_{1,2\nu}(\rho) = \frac{B_{2\nu,0}}{(4\nu)!} + \frac{B_{2\nu,1}}{(1+4\nu)!} \rho + \frac{B_{2\nu,2}}{(2+4\nu)!} \rho^2 + \dots + \frac{B_{2\nu,m}}{(m+4\nu)!} \rho^m + \dots \\ m=0, 1, 2, 3, \dots : \nu=1, 2, 3, \dots$$

$$\psi_{1,2\nu}(\rho) = \frac{C_{2\nu,0}}{(4\nu+2)!} + \frac{C_{2\nu,1}}{(1+4\nu+2)!} \rho + \frac{C_{2\nu,2}}{(2+4\nu+2)!} \rho^2 + \dots + \frac{C_{2\nu,m}}{(m+4\nu+2)!} \rho^m + \dots \\ m=0, 1, 2, 3, \dots : \nu=0, 1, 2, 3, \dots$$

然る時は各係数の間には次の如き関係が見出される。

$$\left. \begin{aligned} B_{2,m} &= (m+2)B_{2,m-1} = (m+2)! & \therefore B_{2,0} &= 2! \\ B_{4,m} &= (m+6)B_{4,m-1} + B_{2,m} \\ B_{6,m} &= (m+10)B_{6,m-1} + B_{4,m} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} C_{0,m} &= mC_{0,m-1} = m! & \therefore C_{0,0} &= 1 \\ C_{2,m} &= (m+4)C_{2,m-1} + C_{0,m} \\ C_{4,m} &= (m+8)C_{4,m-1} + C_{2,m} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

斯くの如き係数間の関係が求められれば、後は機械的手續きに依つて順序よく $\phi(\rho)$, $\psi(\rho)$ の各係数を必要な項数迄計算すれば良い。‘累級数に展開して解く方法’の成否の鍵は一に此の関係を見出し得るか否かに懸つてゐると謂ふ事が出来る。

(11), (12)の各級数は $0 \leq \rho \leq 1$ の範圍で收斂する事は證明を要しないであらう、

次に残された最後の境界条件である

$$\lambda=1 \text{ に於て } \frac{d^2 Z}{d \lambda^2} = 0$$

なる条件を(6)式に入れ、前と同様に a^2 に就て整理すれば

$$\begin{aligned} & \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ \left(\frac{2!}{2!} + \frac{3!}{3!} \rho + \frac{4!}{4!} \rho^2 + \dots + \frac{(m+2)!}{(m+2)!} \rho^m + \dots \right) a^2 \right. \\ & \quad + \left(\frac{2!}{6!} + \frac{7 \cdot 2! + 3!}{7!} \rho + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{8!} \rho^2 + \dots \right) a^4 \\ & \quad + \left(\frac{2!}{10!} + \frac{11 \cdot 2! + 7 \cdot 2! + 3!}{11!} \rho + \frac{12 \cdot 11 \cdot 2! + 12 \cdot 7 \cdot 2! + 12 \cdot 3! + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{12!} \rho^2 + \dots \right) a^6 \\ & \quad \left. + \dots \right\} \\ & + 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \left(\frac{1}{1} + \frac{1!}{1!} \rho + \frac{2!}{2!} \rho^2 + \dots + \frac{m!}{m!} \rho^m + \dots \right) \right. \\ & \quad + \left(\frac{1}{4!} + \frac{5+1}{5!} \rho + \frac{6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{6!} \rho^2 + \dots \right) a^2 \\ & \quad + \left(\frac{1}{8!} + \frac{9+5+1}{9!} \rho + \frac{10(9+5+1) + 6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{10!} \rho^2 + \dots \right) a^4 \\ & \quad \left. + \dots \right\} = 0 \dots \dots \dots (15) \end{aligned}$$

A_0 にかゝる括弧内の $a^{2\nu} (\nu=1, 2, 3, \dots)$ の係数を $\Phi_{1,2\nu}(\rho)$, A_2 にかゝる括弧内の $a^{2\nu} (\nu=0, 1, 2, \dots)$ の各係数を同様に $\Psi_{1,2\nu}(\rho)$ と置けば(15)式に簡約されて(16)式となる。 ν は(6)式を λ に就て2回微分した事を示すものであつて ρ に関して微分した事を示すものではない。

$$\begin{aligned} & \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ \Phi_{1,2}(\rho) a^2 + \Phi_{1,4}(\rho) a^4 + \Phi_{1,6}(\rho) a^6 + \dots \right\} \\ & + 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \Psi_{1,0}(\rho) + \Psi_{1,2}(\rho) a^2 + \Psi_{1,4}(\rho) a^4 + \dots \right\} = 0 \dots \dots \dots (16) \end{aligned}$$

但し

$$\begin{aligned} \Phi_{1,2}(\rho) &= \frac{2!}{2!} + \frac{3!}{3!} \rho + \frac{4!}{4!} \rho^2 + \dots + \frac{(m+2)!}{(m+2)!} \rho^m + \dots \\ &= \frac{1}{1-\rho} \\ \Phi_{1,4}(\rho) &= \frac{2!}{6!} + \frac{7 \cdot 2! + 3!}{7!} \rho + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{8!} \rho^2 + \dots \\ &= \frac{1}{1-\rho} \left(\frac{2!}{6!} + \frac{3!}{7!} \rho + \frac{4!}{8!} \rho^2 + \dots + \frac{(m+2)!}{(m+6)!} \rho^m + \dots \right) \\ \Phi_{1,6}(\rho) &= \frac{2!}{10!} + \frac{11 \cdot 2! + 7 \cdot 2! + 3!}{11!} \rho + \frac{12 \cdot 11 \cdot 2! + 12 \cdot 7 \cdot 2! + 12 \cdot 3! + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{12!} \rho^2 + \dots \\ &= \frac{1}{1-\rho} \left(\frac{2!}{10!} + \frac{7 \cdot 2! + 3!}{11!} \rho + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 8 \cdot 3! + 4!}{12!} \rho^2 + \dots \right) \\ &\dots \dots \dots \\ \Psi_{1,0}(\rho) &= \frac{1}{1} + \frac{1!}{1!} \rho + \frac{2!}{2!} \rho^2 + \frac{3!}{3!} \rho^3 + \dots + \frac{m!}{m!} \rho^m \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{1-\rho} \\
\psi_{1,2}(\rho) &= \frac{1}{4!} + \frac{5+1}{5!} \rho + \frac{6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{6!} \rho^2 + \dots \\
&= \frac{1}{1-\rho} \left(\frac{1}{4!} + \frac{1!}{5!} \rho + \frac{2!}{6!} \rho^2 + \dots \right) \\
\psi_{1,4}(\rho) &= \frac{1}{8!} + \frac{9+5+1}{9!} \rho + \frac{10(9+5+1) + 6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{10!} \rho^2 + \dots \\
&= \frac{1}{1-\rho} \left(\frac{1}{8!} + \frac{5+1}{9!} \rho + \frac{6 \cdot 5 + 6 \cdot 1 + 2!}{10!} \rho^2 + \dots \right)
\end{aligned}$$

$(1-\rho)\Phi^p(\rho)$, $(1-\rho)\Psi^p(\rho)$ の各級数は $0 \leq \rho \leq 1$ の範囲の ρ に対して全て収斂する事は証明を要しない。又之等の級数の各係数の間の関係は $\Phi(\rho)$, $\Psi(\rho)$ の場合と同様である。

A_0, A_2 は同時に零になり得ない (同時に零となれば揺みなくなり振動しない事になる) と謂ふ条件より (10) 式と (16) 式より A_0, A_2 を消去すれば次の式が成立する。

$$\begin{aligned}
&\left(1 \cdot 2 + \phi_{1,2}(\rho)a^2 + \phi_{1,4}(\rho)a^4 + \phi_{1,6}(\rho)a^6 + \dots \right) \left(\psi_{1,0}(\rho) + \psi_{1,2}(\rho)a^2 + \psi_{1,4}(\rho)a^4 + \dots \right) \\
&- \left(\phi_{1,2}(\rho)a^2 + \phi_{1,4}(\rho)a^4 + \phi_{1,6}(\rho)a^6 + \dots \right) \left(\psi_{1,0}(\rho) + \psi_{1,2}(\rho)a^2 + \psi_{1,4}(\rho)a^4 + \dots \right) \\
&+ \dots = 0 \quad \dots \dots \dots (17)
\end{aligned}$$

(17) 式は a^2 と ρ とを関係づける式であつて。結局桁の固有振動数が曲げ剛さの變化の函數として表はされてゐるのである。

$\rho=0$ の場合即ち等断面桁に就て以上の計算を驗證して見る。(5) 式に於て $\rho^n=0$ とすれば

$$-\frac{d^4 Z}{d\lambda^4} - a^2 Z = 0$$

となる。之を解けば一般解として次の形の解を得る。

$$Z = A \cosh \sqrt{a} \lambda + B \sinh \sqrt{a} \lambda + C \cos \sqrt{a} \lambda + D \sin \sqrt{a} \lambda$$

境界条件としては

$$\lambda=0 \text{ に於て } \frac{dZ}{d\lambda}=0, \quad \frac{d^3 Z}{d\lambda^3}=0$$

$$\lambda=1 \text{ に於て } Z=0, \quad \frac{d^2 Z}{d\lambda^2}=0$$

前の2つの条件より

$$B+D=0, \quad B-D=0$$

従つて

$$B=D=0$$

後の2つの条件より

$$A \cosh \sqrt{a} + C \cos \sqrt{a} = 0$$

$$A \cosh \sqrt{a} - C \cos \sqrt{a} = 0$$

A, C が同時に零になる事はないとすれば

$$\cos h\sqrt{a} \cos\sqrt{a} \doteq 0$$

$\cos h\sqrt{a} = 0$ ならしむる a の實數値は存在し得し得ない故

$$\cos\sqrt{a} = 0$$

従つて最少固有振動に對しては

$$\sqrt{a} = \frac{\pi}{2}$$

$$\therefore w = \frac{\pi^2}{L} \sqrt{\frac{EI_s g}{m}}$$

を得る。

之に對して(17)式に於て $p=0$ と置けば次の如くなる。

$$\begin{aligned} & \left(1 + 2 + \frac{2!}{4!}a^2 + \frac{2!}{8!}a^4 + \frac{2!}{12!}a^6 + \dots\right) \left(1 + \frac{1}{4!}a^2 + \frac{1}{8!}a^4 + \dots\right) \\ & - \left(a^2 + \frac{2!}{6!}a^4 + \frac{2!}{10!}a^6 + \dots\right) \left(\frac{1}{2!} + \frac{1}{6!}a^2 + \frac{1}{10!}a^4 + \dots\right) = 0 \\ & \therefore \left(1 + \frac{1}{4!}a^2 + \frac{1}{8!}a^4 + \frac{1}{12!}a^6 + \dots\right)^2 - a^2 \left(\frac{1}{2!} + \frac{1}{6!}a^2 + \frac{1}{10!}a^4 + \dots\right)^2 = 0 \\ & \left(1 + \frac{1}{2!}a + \frac{1}{4!}a^2 + \frac{1}{6!}a^3 + \dots\right) \left(1 - \frac{1}{2!}a + \frac{1}{4!}a^2 - \frac{1}{6!}a^3 + \dots\right) = 0 \end{aligned}$$

此れは

$$\cos h\sqrt{a} \cos\sqrt{a} = 0$$

と同じものである。即ち上記の解と全く一致する。

[2] 慣性モーメントが2次的に変化する場合

$n=2$ の場合に對して(5)式の解が同様に(6)式の如き形で得られると假定する。然る時は

$$\begin{aligned} \frac{d^2 Z}{d\lambda^2} &= \sum_{\mu=0}^{\infty} (\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+2} \lambda^{\mu} \\ (1-p^2\lambda^2) \frac{d^2 Z}{d\lambda^2} &= \sum_{\mu=0}^{\infty} (\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+2} \lambda^{\mu} - \sum_{\mu=0}^{\infty} p^2(\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+2} \lambda^{\mu+2} \\ &= 1 \cdot 2 A_2 + 2 \cdot 3 A_3 \lambda + \sum_{\mu=0}^{\infty} \left\{ (\mu+4)(\mu+3) A_{\mu+4} - p^2(\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+2} \right\} \lambda^{\mu+2} \\ \frac{d^2}{d\lambda^2} \left\{ (1-p^2\lambda^2) \frac{d^2 Z}{d\lambda^2} \right\} &= \sum_{\mu=0}^{\infty} \left\{ (\mu+4)(\mu+3)(\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+4} - p^2(\mu+2)^2(\mu+1)^2 A_{\mu+2} \right\} \lambda^{\mu} \dots (18) \end{aligned}$$

(6)式及び(18)式を(5)式に代入し、(5)式が恒等的に成立する爲には次の條件が満足されねばならない。

$$(\mu+4)(\mu+3)(\mu+2)(\mu+1) A_{\mu+4} - p^2(\mu+2)^2(\mu+1)^2 A_{\mu+2} - a^2 A_{\mu} = 0 \dots (19)$$

$\mu=0, 1, 2, \dots$ 、境界條件は1次の場合と同様に

$$\lambda=0 \quad \text{に於て} \quad \frac{dZ}{d\lambda}=0, \quad \frac{d}{d\lambda} \left\{ (1-\rho^2\lambda^2) \frac{d^2Z}{d\lambda^2} \right\} = 0$$

$$\lambda=1 \quad \text{に於て} \quad Z=0, \quad \frac{d^2Z}{d\lambda^2}=0$$

最初の2つの条件より

$$A_1 = A_3 = 0$$

従つて A_0, A_2 を假定すれば A_4 以下の各係数は(19)式に依り順次決定される。

$$A_4 = \frac{A_0}{1 \cdot 2} \cdot \frac{2!}{4!} a^2 + 1 \cdot 2 A_2 \cdot \frac{2!}{4!} \rho^2$$

$$A_6 = \frac{A_0}{1 \cdot 2} \cdot \frac{4!}{6!} \rho^2 a^2 + 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \frac{4!}{6!} \rho^4 + \frac{1}{6!} a^2 \right\}$$

$$A_8 = \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ \frac{6!}{8!} \rho^4 a^2 + \frac{2!}{8!} a^4 \right\} + 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \frac{6!}{8!} \rho^6 + \frac{6 \cdot 5 + 2!}{8!} \rho^2 a^2 \right\}$$

$$A_{10} = \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ \frac{8!}{10!} \rho^6 a^2 + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{10!} \rho^2 a^4 \right\} + 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \frac{8!}{10!} \rho^8 + \frac{8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{10!} \rho^4 a^2 + \frac{1}{10!} a^4 \right\}$$

$$A_{12} = \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ \frac{10!}{12!} \rho^8 a^2 + \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 10 \cdot 9 \cdot 4! + 6!}{12!} \rho^4 a^4 + \frac{2!}{12!} a^6 \right\}$$

$$+ 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \frac{10!}{12!} \rho^{10} + \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + 10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 10 \cdot 9 \cdot 4! + 6!}{12!} \rho^6 a^2 + \frac{10 \cdot 9 \cdot 6 \cdot 5 + 2!}{12!} \rho^2 a^4 \right\}$$

$$A_{14} = \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ \frac{12!}{14!} \rho^{10} a^2 + \frac{12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 4! + 12 \cdot 11 \cdot 6! + 8!}{14!} \rho^6 a^4 + \frac{12 \cdot 11 \cdot 2! + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{14!} \rho^2 a^6 \right\}$$

$$+ 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \frac{12!}{14!} \rho^{12} + \frac{12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + 12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 4! + 12 \cdot 11 \cdot 6! + 8!}{14!} \rho^8 a^2 + \right.$$

$$\left. \frac{12 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 9 + 12 \cdot 11 \cdot 6 \cdot 5 + 12 \cdot 11 \cdot 2! + 8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{14!} \rho^4 a^6 + \frac{1}{14!} \right\}$$

A_4 以下の係数を上述の如く A_0, A_2 で表はし之等を(6)式に代入し

$$\lambda=1 \quad \text{に於て} \quad Z=0$$

なる境界条件を入れ a^2 に関して整理すれば

$$\frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ 1 \cdot 2 + \left(\frac{2!}{4!} + \frac{4!}{6!} \rho^2 + \frac{6!}{8!} \rho^4 + \dots + \frac{(2m+2)!}{(2m+4)!} \rho^{2m} + \dots \right) a^2 \right.$$

$$+ \left(\frac{2!}{8!} + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{10!} \rho^2 + \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 10 \cdot 9 \cdot 4! + 6!}{12!} \rho^4 + \dots \right) a^4$$

$$+ \left(\frac{2!}{12!} + \frac{12 \cdot 11 \cdot 2! + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{14!} \rho^2 + \dots \right) a^6$$

$$+ \dots \left. \right\}$$

$$+ 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \left(\frac{1}{2!} + \frac{2!}{4!} \rho^2 + \frac{4!}{6!} \rho^4 + \dots + \frac{(2m)!}{(2m+2)!} \rho^{2m} + \dots \right) \right.$$

$$+ \left(\frac{1}{6!} + \frac{6 \cdot 5 + 2!}{8!} \rho^2 + \frac{8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{10!} \rho^4 + \dots \right) a^2$$

$$\left. \begin{aligned} & + \left(\frac{1}{10!} + \frac{10 \cdot 9 \cdot 6 \cdot 5 + 2!}{12!} \rho^2 + \dots \right) a^4 \\ & + \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} = 0 \quad \dots \dots \dots (20)$$

A_0 にかゝる括弧内の $a^{2\nu} (\nu=1, 2, 3, \dots)$ の各係数を $\Phi_{2,2\nu}(\rho)$, A_2 にかゝる括弧内の $a^{2\nu} (\nu=0, 1, 2, 3, \dots)$ の各係数を $\Psi_{2,2\nu}(\rho)$ と置けば (20) 式は次の如く簡約される。

$$\left. \begin{aligned} & \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ 1 \cdot 2 + \Phi_{2,2}(\rho) a^2 + \Phi_{2,4}(\rho) a^4 + \Phi_{2,6}(\rho) a^6 + \dots \right\} \\ & + 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \Psi_{2,0}(\rho) + \Psi_{2,2}(\rho) a^2 + \Psi_{2,4}(\rho) a^4 + \dots \right\} = 0 \quad \dots \dots \dots (21) \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但し } \Phi_{2,2}(\rho) &= \frac{2!}{4!} + \frac{4!}{6!} \rho^2 + \frac{6!}{8!} \rho^4 + \dots + \frac{(2m+2)!}{(2m+4)!} \rho^{2m} \dots \dots \dots \\ \Phi_{2,4}(\rho) &= \frac{2!}{8!} + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{10!} \rho^2 + \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 10 \cdot 9 \cdot 4! + 6!}{12!} \rho^4 + \dots \dots \dots \\ \Phi_{2,6}(\rho) &= \frac{2!}{12!} + \frac{12 \cdot 11 \cdot 2! + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{14!} \rho^2 \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (22)$$

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{2,0}(\rho) &= \frac{1}{2!} + \frac{2!}{4!} \rho^2 + \frac{4!}{6!} \rho^4 + \dots + \frac{(2m)!}{(2m+2)!} \rho^{2m} + \dots \dots \dots \\ \Psi_{2,2}(\rho) &= \frac{1}{6!} + \frac{6 \cdot 5 + 2!}{8!} \rho^2 + \frac{8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{10!} \rho^4 + \dots \dots \dots \\ \Psi_{2,4}(\rho) &= \frac{1}{10!} + \frac{10 \cdot 9 + 6 \cdot 5 + 2!}{12!} \rho^2 \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (23)$$

(22) 及び (23) 式に於ける各級数に於てその係数間に如何なる関係があるかを求める。その爲に (22) (23) の各級数を一般的に次の如く表はす。

$$\Phi_{2,2\nu}(\rho) = \frac{B_{2\nu,0}}{(4\nu)!} + \frac{B_{2\nu,2}}{(2+4\nu)!} \rho^2 + \frac{B_{2\nu,4}}{(4+4\nu)!} \rho^4 + \dots + \frac{B_{2\nu,2m}}{(2m+4\nu)!} \rho^{2m} + \dots$$

$$\nu=1, 2, 3, \dots, m=0, 1, 2, 3, \dots,$$

$$\Psi_{2,2\nu}(\rho) = \frac{C_{2\nu,0}}{(4\nu+2)!} + \frac{C_{2\nu,2}}{(2+4\nu+2)!} \rho^2 + \frac{C_{2\nu,4}}{(4+4\nu+2)!} \rho^4 + \dots + \frac{C_{2\nu,2m}}{(m+4\nu+2)!} \rho^{2m} + \dots$$

$$\nu=0, 1, 2, \dots, m=0, 1, 2, \dots,$$

然る時は各係数の間には次の如き関係が見出される。

$$\left. \begin{aligned} B_{2,2m} &= (2m+2)(2m+1)B_{2,2m-2} = (2m+2)! \quad \because B_{2,0}=2! \\ B_{4,2m} &= (2m+6)(2m+5)B_{4,2m-2} + B_{2,2m} \\ B_{6,2m} &= (2m+10)(2m+9)B_{6,2m-2} + B_{4,2m} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (24)$$

$$\left. \begin{aligned} C_{2,2m} &= 2m(2m-1)C_{2,2m-2} = (2m)! \quad \because C_{2,0}=1 \\ C_{4,2m} &= (2m+4)(2m+3)C_{4,2m-2} + C_{2,2m} \\ C_{6,2m} &= (2m+8)(2m+7)C_{6,2m-2} + C_{4,2m} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (25)$$

(24), (25)の各関係式に依つて, (22), (23)の各級数の係数は機械的に計算される, その形は $n=1$ の場合に良く類似し $n=3$ 以上の場合の形をも類推せしむる.

次に残されてゐる境界条件

$$\lambda=1 \text{ に於て } \frac{d^2 Z}{d\lambda^2}=0$$

を入れ同様に a^2 に就て整理すれば

$$\begin{aligned} & \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ \left(\frac{2!}{2!} + \frac{4!}{4!} \rho^2 + \frac{6!}{6!} \rho^4 + \dots + \frac{(2m+2)!}{(2m+2)!} \rho^{2m} + \dots \right) a^2 \right. \\ & + \left(\frac{2!}{6!} + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{8!} \rho^2 + \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 10 \cdot 9 \cdot 4! + 6!}{10!} \rho^4 + \dots \right) a^4 \\ & + \left(\frac{2!}{10!} + \frac{12 \cdot 11 \cdot 2! + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{12!} \rho^2 + \dots \right) a^6 \\ & + \dots \left. \right\} \\ & + 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \left(1 + \frac{2!}{2!} \rho^2 + \frac{4!}{4!} \rho^4 + \dots + \frac{(2m)!}{(2m)!} \rho^{2m} + \dots \right) \right. \\ & + \left(\frac{1}{4!} + \frac{6 \cdot 5 + 2!}{6!} \rho^2 + \frac{8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{8!} \rho^4 + \dots \right) a^2 \\ & + \left(\frac{1}{8!} + \frac{10 \cdot 9 + 6 \cdot 5 + 2!}{10!} \rho^2 + \dots \right) a^4 \\ & + \dots \left. \right\} = 0 \quad (26) \end{aligned}$$

(26)式に於て A_0 にかゝる括弧内の $a^{2\nu} (\nu=1, 2, 3, \dots)$ の係数を $\Phi_{2,2\nu}(\rho)$, A_2 にかゝる括弧内の $a^{2\nu} (\nu=0, 1, 2, \dots)$ の各係数を同様に $\Psi_{2,2\nu}(\rho)$ と置けば(26)式は(27)式に簡約される. ρ は λ に就て2回微分した事を示し, ρ に関して微分した事を示すものではない.

$$\begin{aligned} & \frac{A_0}{1 \cdot 2} \left\{ \Phi_{2,2}(\rho) a^2 + \Phi_{2,4}(\rho) a^4 + \Phi_{2,6}(\rho) a^6 + \dots \right\} \\ & + 1 \cdot 2 A_2 \left\{ \Psi_{2,0}(\rho) + \Psi_{2,2}(\rho) a^2 + \Psi_{2,4}(\rho) a^4 + \dots \right\} = 0 \quad (27) \end{aligned}$$

但し

$$\begin{aligned} \Phi_{2,2}(\rho) &= \frac{2!}{2!} + \frac{4!}{4!} \rho^2 + \frac{6!}{6!} \rho^4 + \dots + \frac{(2m+2)!}{(2m+2)!} \rho^{2m} + \dots \\ &= \frac{1}{1-\rho^2} \\ \Phi_{2,4}(\rho) &= \frac{2!}{6!} + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{8!} \rho^2 + \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 10 \cdot 9 \cdot 4! + 6!}{10!} \rho^4 + \dots \\ &= \frac{1}{1-\rho^2} \left\{ \frac{2!}{6!} + \frac{4!}{8!} \rho^2 + \frac{6!}{10!} \rho^4 + \dots \right\} \\ \Phi_{2,6}(\rho) &= \frac{2!}{10!} + \frac{12 \cdot 11 \cdot 2! + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{12!} \rho^2 + \dots \\ &= \frac{1}{1-\rho^2} \left\{ \frac{2!}{10!} + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{12!} \rho^2 + \frac{10 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 2! + 10 \cdot 9 \cdot 4! + 6!}{14!} \rho^4 + \dots \right\} \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned}
 \psi_{2,0}(\rho) &= 1 + \frac{2!}{2!}\rho^2 + \frac{4!}{4!}\rho^4 + \dots + \frac{(2m)!}{(2m)!}\rho^{2m} + \dots \\
 &= 1 + \rho^2 + \rho^4 + \dots + \rho^{2m} \\
 &= \frac{1}{1-\rho^2} \\
 \psi_{2,2}(\rho) &= \frac{1}{4!} + \frac{6 \cdot 5 + 2!}{6!}\rho^2 + \frac{8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{8!}\rho^4 + \dots \\
 &= \frac{1}{1-\rho^2} \left\{ \frac{1}{4!} + \frac{2!}{6!}\rho^2 + \frac{4!}{8!}\rho^4 + \dots \right\} \\
 \psi_{2,4}(\rho) &= \frac{1}{8!} + \frac{10 \cdot 9 + 6 \cdot 5 + 2!}{10!}\rho^2 + \dots \\
 &= \frac{1}{1-\rho^2} \left\{ \frac{1}{8!} + \frac{6 \cdot 5 + 2!}{10!}\rho^2 + \frac{8 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 5 + 8 \cdot 7 \cdot 2! + 4!}{12!}\rho^4 + \dots \right\}
 \end{aligned} \tag{29}$$

(21)式と(27)式とより A_0, A_2 を消去すれば

$$\begin{aligned}
 &\left\{ 1 \cdot 2 + \psi_{2,2}(\rho)a^2 + \psi_{2,4}(\rho)a^4 + \psi_{2,6}(\rho)a^6 + \dots \right\} \left\{ \psi_{2,0}(\rho) + \psi_{2,2}(\rho)a^2 + \psi_{2,4}(\rho)a^4 + \dots \right\} \\
 &- \left\{ \psi_{2,0}(\rho) + \psi_{2,2}(\rho)a^2 + \psi_{2,4}(\rho)a^4 + \dots \right\} \left\{ \psi_{2,2}(\rho)a^2 + \psi_{2,4}(\rho)a^4 + \psi_{2,6}(\rho)a^6 + \dots \right\} = 0 \tag{30}
 \end{aligned}$$

(30)式に依つて a^2 が ρ^2 の函数として與へられる。

III. 固有振動数の計算

[1] 慣性モーメントが1次的に変化する場合

(17)式に於て a^2 と ρ の關係を計算すれば此は結局 w と $\frac{I_c - I_e}{I_c}$ の關係を明らかにする事になる。此の爲には先づ $\psi_{1,2}(\rho), \psi_{1,4}(\rho), \psi_{1,6}(\rho), \dots; \psi_{2,2}(\rho), \psi_{2,4}(\rho), \psi_{2,6}(\rho), \dots; \psi_{3,2}(\rho), \psi_{3,4}(\rho), \psi_{3,6}(\rho), \dots; \psi_{4,2}(\rho), \psi_{4,4}(\rho), \psi_{4,6}(\rho), \dots$ 等の級數を計算しなければならない。又之等の級數に乘ぜられる a の値は常に 1 より大きく、例へば $\rho=0$ に對して $a^2 = \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 = 6.08807$ であるから、次數の高い a の係數程小數點以下の位數を多く計算して置く事が必要であつた。その爲 $\psi_{1,2}(\rho), \psi_{1,4}(\rho), \psi_{1,6}(\rho), \psi_{1,8}(\rho), \psi_{1,10}(\rho), \psi_{1,12}(\rho)$ は小數點以下第 6 位迄、 $\psi_{2,2}(\rho), \psi_{2,4}(\rho), \psi_{2,6}(\rho), \psi_{2,8}(\rho), \psi_{2,10}(\rho), \psi_{2,12}(\rho)$ は小數點以下第 7 位迄、 $\psi_{3,2}(\rho), \psi_{3,4}(\rho), \psi_{3,6}(\rho), \psi_{3,8}(\rho), \psi_{3,10}(\rho), \psi_{3,12}(\rho)$ は小數點以下第 8 位迄計算する事にした。級數の計算で最も收斂の遅い場合には 30 項程度まで取つた。振動數を計算して仕舞つてから判つた事であるが桁數は此れ程迄澤山に取る必要はなかつた。

各級數の計算結果は表-1 に示す如くである。 $\rho=0.1, 0.2, \dots, 0.8$ の各値に對して a^2 の數値を決定しようとするのであるが、最初 a^2 を假定して試算を繰返して求むる値を夾み得たならば比例部分の法則に依つて之を算定した。計算の經過を總括すれば表-2 に示された通りである。

但し表に於ける α は振動數を次の形で表した時の係數である。

表-1

p	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
$\Phi_{1,2}(p)$	0.088692	0.094891	0.102165	0.110853	0.121472	0.134931	0.152479	0.177392
$\Phi_{1,4}(p)$	0.0000557	0.0000631	0.0000723	0.0000841	0.0000997	0.0001210	0.0001522	0.0002021
$\Phi_{1,6}(p)$	0.00000000	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000002	0.00000002	0.00000003
$(1-p)\Phi_{1,2}(p)$	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
$(1-p)\Phi_{1,4}(p)$	0.0029031	0.0030427	0.0031994	0.0033772	0.0035815	0.0038201	0.0041048	0.0044550
$(1-p)\Phi_{1,6}(p)$	0.00000061	0.00000067	0.00000075	0.00000084	0.00000095	0.00000110	0.00000130	0.00000157
$\Psi_{1,0}(p)$	0.517554	0.537129	0.559195	0.584404	0.613706	0.648566	0.691445	0.747050
$\Psi_{1,2}(p)$	0.001518	0.001672	0.001858	0.002087	0.002378	0.002761	0.003294	0.004097
$\Psi_{1,4}(p)$	0.0000003	0.0000004	0.0000004	0.0000005	0.0000006	0.0000008	0.0000011	0.0000015
$(1-p)\Psi_{1,0}(p)$	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
$(1-p)\Psi_{1,2}(p)$	0.042529	0.043455	0.044455	0.045540	0.046729	0.048042	0.049511	0.051185
$(1-p)\Psi_{1,4}(p)$	0.0000266	0.0000286	0.0000309	0.0000337	0.0000370	0.0000410	0.0000461	0.0000527
$(1-p)\Psi_{1,6}(p)$	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000001	0.00000001	0.00000001

表-2 p と α の 関 係

$p = \frac{I_c - I_e}{I_c}$	0.1		0.2		0.3		0.4	
α (試 算 値)	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.94	0.93
$a^2 = \left(\frac{\pi}{2}\right)^4 \alpha^2$	5.966917	5.846982	5.728265	5.610765	5.610765	5.494483	5.379419	5.265572
Δ	-0.020884	+0.019137	-0.004725	+0.0035781	-0.033117	+0.008365	-0.024577	+0.017586
α (決 定 値)	0.9848		0.9688		0.9520		0.9342	

$p = \frac{I_c - I_e}{I_c}$	0.5		0.6		0.7		0.8	
α (試 算 値)	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.85	0.84
$a^2 = \left(\frac{\pi}{2}\right)^4 \alpha^2$	5.152942	5.041531	4.931337	4.822360	4.714601	4.603060	4.398631	4.295742
Δ	-0.021117	+0.021871	-0.023983	+0.019981	-0.037322	+0.007907	-0.017562	+0.028764
α (決 定 値)	0.9151		0.8946		0.8717		0.8462	

$$w = \alpha \cdot \frac{\pi^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI_c g}{m}}$$

$\alpha=1$ は慣性モーメント I_c なる等断面桁の場合に相應する。

Δ は (17) 式に於ける剰餘を示す。即ち

$$\begin{aligned} \Delta = & (1 \cdot 2 + \Phi_{1,2}(\rho)a^2 + \Phi_{1,4}(\rho)a^4 + \dots) (\Psi_{1,0}(\rho) + \Psi_{1,2}(\rho)a^2 + \Psi_{1,4}(\rho)a^4 + \dots) \\ & - (\Phi_{1,2}(\rho)a^2 + \Phi_{1,4}(\rho)a^4 + \Phi_{1,6}(\rho)a^6 + \dots) (\Psi_{1,0}(\rho) + \Psi_{1,2}(\rho)a^2 + \Psi_{1,4}(\rho)a^4 + \dots) \end{aligned}$$

但し Φ , Ψ の各級数には $(1-\rho)$ を乗じた数値を使用してゐる。

表-2 の α の決定値は小数點以下 4 位迄求めたが最後の桁の數字は多少疑はしく、又實用上から云つても殆ど意味ない數字であるから四捨五入すべきである。

[2] 慣性モーメントが 2 次的に変化する場合

此の場合は 1 次的に変化する場合と全く同様の手續きで計算される。各級数の數値は表-3 に一括する如くであつて、(30) 式に就て α を計算する結果は表-4 に示す。1 次的の場合よりも 2 次的の場合の方が收斂が早く従つて表-4 の α の決定値の小数點以下第 4 位の數も正確であると考へられる。

[3] 村上氏の計算値との比較

振動時の桁の撓曲線を $Z(x)$ で表はせば振動數 w は勢力的見地より次式に依つて計算される。

表-3

ρ^2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
$\Phi_{2,2}(\rho)$	0.086857	0.090917	0.095319	0.100510	0.106607	0.113945	0.123098	0.135119
$\Phi_{2,4}(\rho)$	0.0000536	0.0000584	0.0000640	0.0000708	0.0000792	0.0000900	0.0001045	0.0001255
$\Phi_{2,6}(\rho)$	0.00000000	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000002
$(1-\rho^2)\Psi_{2,2}(\rho)$	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
$(1-\rho^2)\Psi_{2,4}(\rho)$	0.0028394	0.0029055	0.0029769	0.0030544	0.0031392	0.0032327	0.0033373	0.0034562
$(1-\rho^2)\Psi_{2,6}(\rho)$	0.00000058	0.00000061	0.00000065	0.00000069	0.00000074	0.00000080	0.00000087	0.00000096
$\Psi_{2,0}(\rho)$	0.508686	0.518163	0.528596	0.540204	0.553303	0.568367	0.586168	0.608095
$\Psi_{2,2}(\rho)$	0.001474	0.001571	0.001684	0.001818	0.001979	0.002180	0.002441	0.002802
$\Psi_{2,4}(\rho)$	0.0000003	0.0000003	0.0000004	0.0000004	0.0000005	0.0000006	0.0000007	0.0000009
$(1-\rho^2)\Psi_{2,0}(\rho)$	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
$(1-\rho^2)\Psi_{2,2}(\rho)$	0.041951	0.042248	0.042560	0.042888	0.043236	0.043606	0.044003	0.044432
$(1-\rho^2)\Psi_{2,4}(\rho)$	0.0000257	0.0000266	0.0000275	0.0000284	0.0000293	0.0000303	0.0000313	0.0000323

表-4 ρ^2 と α の 関係

$\rho^2 = \frac{I_c - I_e}{I_e}$	0.1		0.2		0.3		0.4	
α (試算値)	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.98	0.97
$a^2 = \left(\frac{\pi}{2}\right)^4 \alpha^2$	6.03807	5.966917	5.966917	5.846982	5.846982	5.728265	5.846982	5.728265
Δ	-0.026612 + 0.013118		-0.014777 + 0.025111		-0.004357 + 0.035720		-0.036270 + 0.004318	
α (決定値)	0.9933		0.9863		0.9789		0.9711	

$\rho^2 = \frac{I_c - I_e}{I_e}$	0.5		0.6		0.7		0.8	
α (試算値)	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.93
$a^2 = \left(\frac{\pi}{2}\right)^4 \alpha^2$	5.728265	5.610765	5.610765	5.494483	5.494483	5.379419	5.379419	5.265572
Δ	-0.029727 + 0.011225		-0.025764 + 0.015345		-0.025107 + 0.016576		-0.029156 + 0.013024	
α (決定値)	0.9627		0.9537		0.9440		0.9331	

$$w^2 = \frac{Eg}{m} \frac{\int I(x) \left(\frac{d^2 Z}{dx^2} \right) dx}{\int Z^2 dx} \dots \dots \dots (31)$$

$Z(x)$ の形としては無限に考へられるが固有振動としては w を最少ならしむるものでなければならない。(31)式の右邊を變分して w を最少ならしむる様な $Z(x)$ を求めんとすれば結局(4)の微分方程式を解かなければならなくなると思はれる。

(4)の微分方程式を解かないで済ませ様とすれば、 $Z(x)$ を何等かの級数に假定してその係数を(31)式の w が最小なる様に定めるしか方法がない。内務省土木試験所村上學士は此處で $Z(x)$ をフーリエ級数に假定してリッツの定理を使用し巧妙な方法で振動数を計算された。村上氏の計算結果と著者の計算結果とを照合すれば表-5の如くであつて非常に良く合つてゐると謂ふことが出来る。兩者の間の開きは最も大きい場合でも0.5%程度

圖-5 村上氏計算値との比較

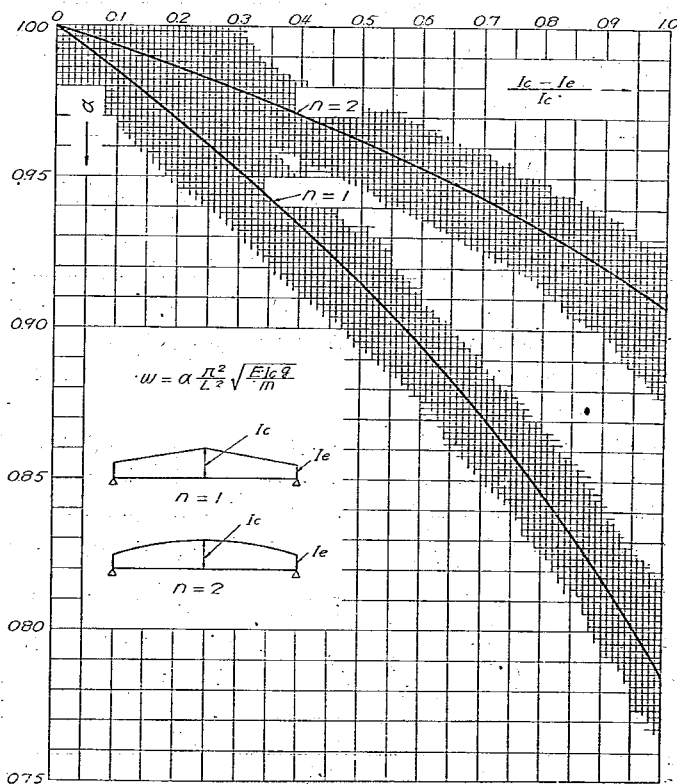
$\frac{I_c - I_e}{I_e}$	慣性モーメントが1次的に変化する場合		慣性モーメントが2次的に変化する場合	
	α (横 川)	α (村 上)	α (横 川)	α (村 上)
0.1	0.9848	0.9848	0.9933	0.9933
0.2	0.9688	0.9689	0.9863	0.9863
0.3	0.9520	0.9521	0.9789	0.4790

0.4	0.9342	0.9343	0.9711	0.9713
0.5	0.9151	0.9153	0.9627	0.9629
0.6	0.8946	0.8947	0.9537	0.9539
0.7	0.8717	0.8722	0.9440	0.9444
0.8	0.8462	0.8473	0.9331	0.9340
0.9		0.8182		0.9225
1.0		0.7843		0.9095

であつて兩者の計算に大きな間違ひのない事を實證してゐる。

著者の方法は原理は簡單であるが計算過程が長く其處に誤差の入つて來る可能性の多い處に缺點が認められるが、計算に誤りさへなければ正しい數値が出てゐる筈である。村上氏の方法ではフーリエ級數の項數を多く取り

圖-3



さへすれば益々正しい値に近付き得るのであるが、著者の計算値が正しいものと假定すれば村上氏の計算値はフーリエ級数の2乃至3項迄を取れば充分正確な數値の得られる事を示すものであつて、此の程度の項數であれば計算も全く簡單であり村上氏の方法の優れてゐる點が認められる。

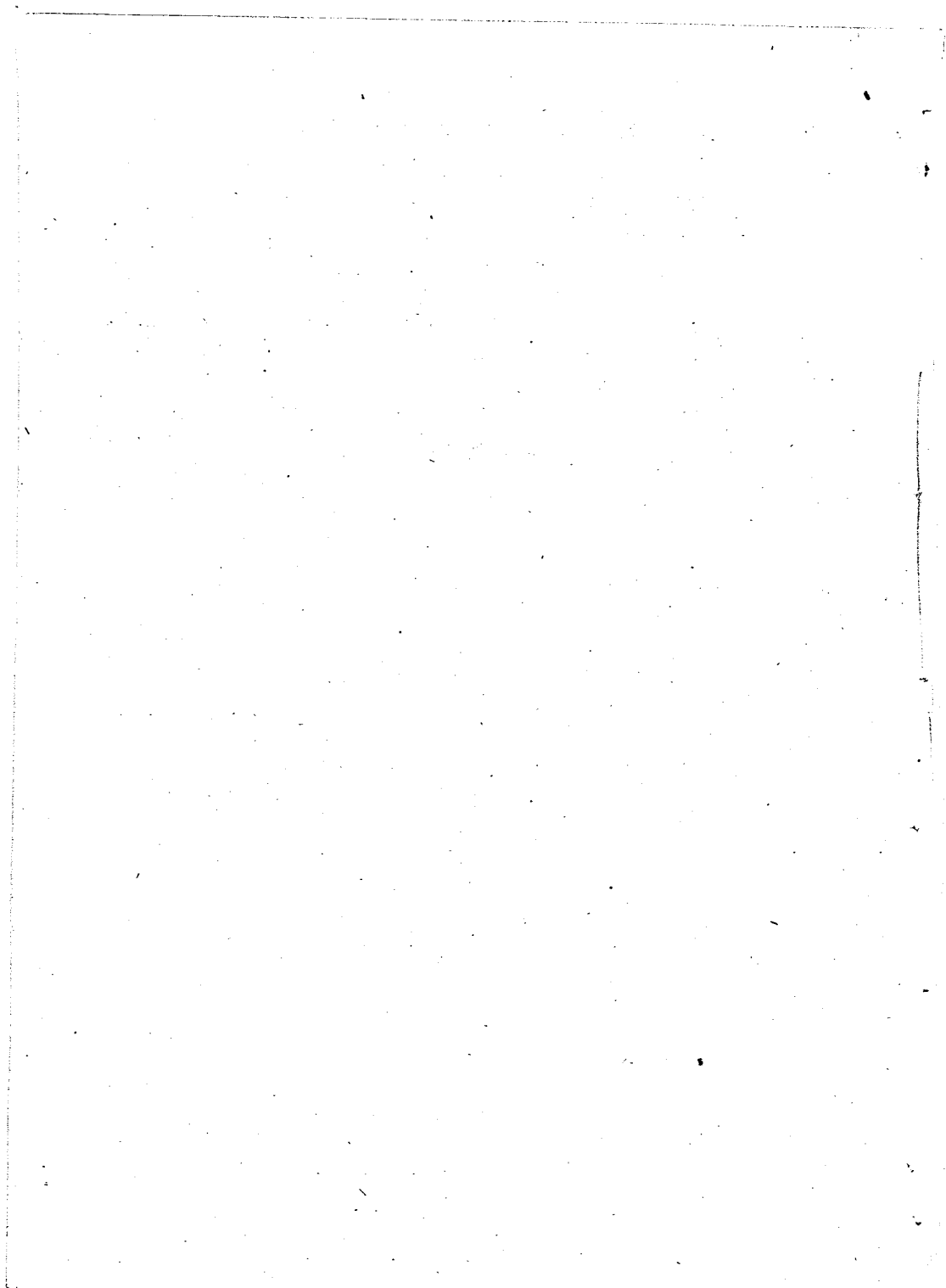
IV. 結 言

此の計算の主旨を要約すれば次の通りである。

(i) 實用的變斷面材の固有値問題に對しては基礎微分方程式を幂級数に展開して解く方法は一つの有力な手段であると云ふ事が出来る。其の意味で此の計算は所報56號の「基礎微分方程式を幂級数に展開して解き之に依つて變斷面壓縮材の限界荷重を求むる方法」の續篇である。

(ii) 同じ變斷面桁に對する村上氏の計算値とは慣性モーメントが1次的に變化する場合及び2次的に變化する場合を通じて全く良く合致した、此れは兩者の計算に大きな誤りのない事を實證するものであると同時に亦村上氏の近似計算の精度の著しく高い事をも證明するものである。

(iii) 計算結果をグラフで示せば圖-3 の如くである。



木材合成桁の合成工法と強度に関する實驗的研究

内務技師 村 上 永 一

要 旨

木材を 2 層又は 3 層に重ねた合成桁の強度試験を行ひ、その安全度と設計法とを明かにしたものである。合成工法としては従来の木栓接合に加ふるに、最近進歩せる輪形デュベル接合、噛合せデュベル接合を使用し、その合成工法用としての適否及び設計上の資料を得た。

目 次

I. 緒 言	(1)
II. 試験桁の設計及び試験方法	(2)
[1] 既往の實驗	(2)
(1) M. Bock の實驗	(2)
(2) Fr. Trysna の實驗	(3)
[2] 使用木材の材質試験	(3)
(1) 壓縮試験	(3)
(2) 剪斷試験	(4)
(3) 曲げ試験	(4)
[3] 試験桁の種類及び試験方法	(4)
(1) 試験桁の種類	(4)
(2) 試験方法	(5)
(3) 測定及び観測すべき事項	(8)
III. 合成桁の強度に関する試験結果	(9)
IV. 試験結果に基く考察	(14)
[1] 構に依る合成桁の應力分布の決定	(14)
(1) 2 層合成桁の中央に荷重がある場合の影響値	(15)
(2) 2 層合成桁の左右對稱の 2 點に荷重がある場合の影響値	(16)
(3) 3 層合成桁の中央に荷重がある場合の影響値	(17)
(4) 比例限界内の荷重の場合の應力分布	(18)
(5) 龜裂荷重時の應力分布	(20)
[2] 上下部材相互間の變位及び可動端の水平移動	(21)
(1) 上下部材相互間の變位	(21)
(2) 可動端の水平移動	(22)
[3] 合成工法の強度と合成桁の強度との關係	(23)
(1) 使用合成工法の特性	(23)
(2) 合成工法の設計とその安全度	(25)
(3) 合成工法の選擇とその比較	(27)
V. 結 語	(28)

I. 緒 言

桁に必要な斷面積を有する大型木材が得られない場合には、合成桁の使用が行はれる。現今の情勢では益々大型木材の供給は困難を加ふるのみであるが故に、合成桁設計の必要は増加する一方である。之に對し内務省

の木道路橋示方書案の第三十六條には「合成桁には剪断力に抵抗する様枠を配置すべし。但し3層を超える合成桁は使用すべからず」と規定して、2層及び3層の合成桁の製作を許してゐる。然し此の規定に於ては設計基準となる數値に就いては少しも言及してゐない。之は内務省の示方書として、材質の異なる木材に就いて試験を行つた海外の實驗及び之に準據する示方規定は参考とすべきも引用すべきものにあらず、と云ふ立前より、試験所に於て日本産木材に就いて試験し、その結果に準據すべきことに一決した結果である。

合成桁の強弱は部材間の合成工法如何に關係するもので、その最悪の場合は單に上下に部材を重ねたのみの單獨桁の場合よりも強度が低いと云ふ報告も海外の實驗に於て見る程である。

本試験に於て先づ從來用ひられた木枠を使用した合成桁の強度試験を行ひ、更に最近進歩したデュベル接合法を合成桁に應用した場合の強度試験を行ひ、之の結果を先に報告したデュベル接合強度試験結果と比較して、合成桁に使用した場合の適否及び作用程度を研究した。

試験は本試験所の床版試験機に於て支間 260~280 cm の杉材にて製作した試験桁 8 個に就いて行つたものでその數は少いと雖も日本産木材の合成桁の安全度を明かにし、木枠、輪形デュベル、鑢合せデュベルの合成工法としての適否を比較し、更に合成工法の基準を木道路橋示方書案に代つて説明する爲に充分利用されたものと確信し、茲に纏めて報告をなす次第である。

II. 試験桁の設計及び試験方法

[1] 既往の實驗

既往の實驗としては M. Bock, Leugeling, Lang 及び Fr. Trysna 等の行つたものがあるが何れも木枠又は部材自身を加工した鑢合桁に關するもので、デュベル接合を合成桁に使用したものは無い。この内で歴史的に著名であり、その結果を J. Melan が理論的研究の後に合成桁の計算式を導いた M. Bock の實驗、及び最近のもので木枠を矩形として使用せず圓筒として使用した Fr. Trysna の實驗を紹介する。

(1) M. Bock の實驗

1981 年及 1982 年の 2 回にわたつて發表された非常に古い實驗であるが、この結果を利用して J. Melan が理論的計算式を導いたので有名な實驗である。前年に發表したものは矩形木枠を用いた合成桁であり、後のものは部材自身を凹凸ある齒に切刻んで造つた鑢合桁である。

木枠を使用した合成桁は支間 10m の 3 層及び 4 層合成桁で、種々の形の木枠と配置とに依つて、破壊荷重より曲げ強度を完全桁（合成工法から完全に行はれた極限として、合成桁と同一斷面を有する一部材よりなる桁）の斷面 2 次率を用ふると、最高 233 kg/cm²、最低 141 kg/cm² であり、4 層合成桁は 147 kg/cm² の曲げ強度を示した。この使用桁の合成しない場合の曲げ強度は 420 kg/cm² であるから、強度低下は著しいものである。撓は非常に大きく完全桁として計算した値の數倍にも及び、殘留變形も計算値の 2 倍以上あつた。又ボルトのみの締附けに依る合成桁の試験を行つたが、ボルトの締附けに依る部材間の摩擦は零に近いことも明かにされた。

鑢合桁は 32 × 64 cm 及び 30 × 65 cm の斷面積を有する支間 7.5 m の 2 層合成桁で、齒の間隔は 1 m、齒の深さは 5 cm で φ 24 mm のボルトを使用した。桁には反りを附し、中央で 25 mm 程度のものであつた。撓は 2 本の單獨桁（合成工法の作用が零となる極限として、合成桁の各部材が單獨桁として何ら力學的の共力作用をしない場合）の場合に到達する撓に迄終局に於て到達する。曲げ強度は完全桁として計算すれば 169~232

kg/cm² で破壊は歯部の剪断強度の克復によるもので、計算上の剪断強度は單に 8.5 ~ 9.0 kg/cm² に過ぎなかつた。

この試験結果より J. Melan は次の計算式を導いた。

$$S = S_0 + \frac{n-1}{2n} \beta z$$

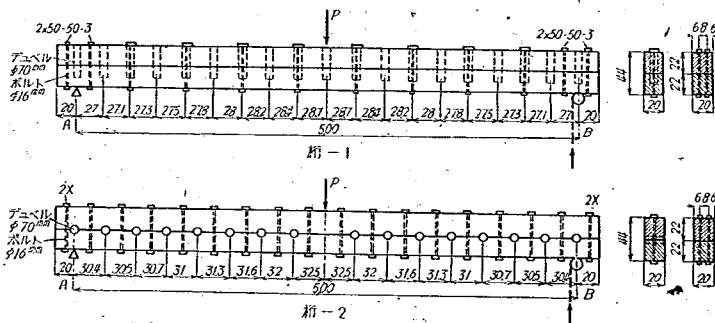
S = 使用木材の曲げ強度 (kg/cm^2)

$$S_0 = \text{合成桁の曲げ強度 (kg/cm}^2\text{)}$$
$$n = \text{合成桁の重ね部材の数}$$
 β = 合成工法の種類に係数
$$z = \text{齒又は栓の壓力 (kg/cm}^2\text{)}$$

(2) Fr. Trysna の実験

1926 年にドレスデン高等工業の材料試験所で支間 5 m の 10 個の試験桁の試験で、この内 5 個は 2 層合成桁、5 個は 3 層合成桁で、合成工法として Bongossi 材と稱する硬木製の $\phi 70\sim 80\text{mm}$ の圓筒形の木柱を、一部は水平に（剪斷径）、一部は垂直に（彎曲径）置いて $\phi 16\sim 20\text{mm}$ のボルトに依り緊結し、桁は總て 40 mm の反りを附けてから木柱を入れた。

圖—1 Fr. Trysna の試験した圓筒形木栓を 2 様に使用した合成桁



試験結果は剪断栓、彎曲栓として使用した場合の何れに於ても破壊荷重には大した差はないが、桁の撓は剪断栓を使用した方が小さかつた。曲げ強度は完全桁として計算すれば、2層合成桁では $221 \sim 319 \text{ kg/cm}^2$ で平均して 266 kg/cm^2 、3層合成桁では $210 \sim 302 \text{ kg/cm}^2$ で平均して 244 kg/cm^2 、この桁材の曲げ強度は 420 kg/cm^2 であるから、完全桁に対する合成桁の作用度は2層合成桁の場合 0.635、3層合成桁の場合 0.580 で、その間の差異は5%に過ぎなかつた。依つて2層又は3層合成桁と區別した作用係数の定め方は適當でない。合成桁の弾性度は施工の良否に左右される。M. Bock の實驗に於ける如く矩形木栓や端合桁より圓筒形木栓は施工の完全が期待されるから、撓は少く、破壊時に於てすら單獨桁としての撓の半分以上になるものはほとんどなかつた。垂直木栓は水平木栓よりボルトの数が節約されるから鉄材使用量の軽減が出來たと報告してゐる。

[2] 使用木材の材質試験

試験桁材としては上州産杉材にして心無し小節のものであり、木栓としては樺材を使用した。材質試験として杉材は壓縮試験、曲げ試験及び剪断試験の3種を、樺材は壓縮試験及び剪断試験を行った。

(1) 壓縮試驗

試験は繊維に平行方向の壓縮試験のみを行ひ、試片は 40 × 40 × 80 mm のものを用ひ杉材は試験桁-2 及び試験桁-5 より 4 個づつ、樺材は 3 個の試験片に依つた。

表-1 壓縮試験結果

材 種	杉 材 (試験桁-2より)				杉 材 (試験桁-5より)				樺 材		
試 片 記 號	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	c ₁	c ₂	c ₃
材 質	赤 味	赤 味	白 マジリ	白 マジリ	赤 味	赤 味	白 マジリ	白 マジリ	—	—	—
平均年輪幅 (mm)	5.66	5.12	3.19	3.33	5.66	5.21	3.33	3.00	4.33	5.21	4.50
破壊荷重 (kg)	3,390	3,265	3,965	4,210	3,480	3,260	4,100	3,850	8,850	9,000	9,250
断 面 積 (cm ²)	15.190	14.996	15.072	15.121	15.004	15.214	15.367	15.216	15.920	15.920	16.000
壓縮強度 (kg/cm ²)	223.2	217.7	263.1	278.4	231.9	214.3	266.8	253.0	555.9	565.3	578.1
含 水 率 (%)	15.5	15.5	13.6	14.8	15.8	16.0	14.0	12.8	11.0	10.2	12.0

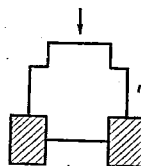
(2) 剪 断 試 験

剪断試験は右圖の如き X 型を用ひ、杉材樺材の各より 3 個づつの試片を採り試験した。試験成績は次の如し。

表-2 剪断試験結果

材 種	杉 材			樺 材		
試 片 記 號	d ₁	d ₂	d ₃	e ₁	e ₂	e ₃
平均年輪幅 (mm)	3.33	3.15	3.50	4.33	5.00	4.66
破壊荷重 (kg)	955	810	780	2600	2720	2620
断 面 積 (cm ²)	41.365	40.772	42.349	41.265	41.227	40.941
剪断強度 (kg/cm ²)	23.8	19.9	18.4	63.0	66.0	64.0
含 水 率 (%)	12.2	13.8	12.4	11.1	12.2	11.8

圖-2 剪断試験片



(3) 曲 げ 試 験

曲げ試験は木柱用の樺材にはその要を認めず、杉材のみに就いて行つた。試験桁の理論的研究には曲げ試験に依る弾性係数及び曲げ強度は重要なものであるから、各試験桁より 2 個づつの試片を採つて試験を行ひ、弾性係数の算定上、試片の支間中央の撓を測定した。曲げ試験片は断面 33 × 30 mm、長さ 460 mm の桁にして、之を支間 400 mm としてその中央に荷重を載せるもので、P kg なる荷重時の曲げ應力及び曲げ弾性係数は次の算式により求められる。

$$\text{曲 げ 應 力} \quad \sigma = \frac{M}{W} = 2,222 P \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{曲げ弾性係数} \quad E = \frac{P}{\gamma_0 I} \cdot \frac{l^3}{48} = 197.5308 \frac{P}{\gamma_0}$$

M: 中央の曲げモーメント (cm-kg) W: 断面係数 (cm³)

I: 断面 2 次率 (cm⁴) γ₀: 中央の撓 (cm)

以上の平均値を参照して E = 7 × 10⁴ を採用して計算を行つた。

[3] 試験桁の種類及び試験方法

(1) 試験桁の種類

試験桁は 2 層合成桁として木柱接合に依るもの 2 個、聯合セデュール接合に依るもの 2 個、輪形セデュール接合に依るもの 3 個であり、何れも 14 × 14 cm の部材を上下に重ねたものであり、支間 260 cm の桁として

表-3 曲げ強度及び曲げ弾性係数

記 号	試片を採つた試験桁	含水率 (%)	桁 中 央 の 撓 (mm)			破壊荷重 (kg)	曲げ強度 (kg/cm ²)	P=100kgの弾性係数 (kg/cm ²)
			P=60kg	P=100kg	P=160kg			
f ₁	桁-1	14.3	2.10	3.50	7.04	209	444.4	5.64 × 10 ⁴
f ₂		14.6	1.92	3.40	8.14	189	419.9	5.81 × 10 ⁴
f ₃		16.1	1.68	2.85	4.93	210	466.6	6.93 × 10 ⁴
f ₄	桁-2	15.8	1.32	2.62	5.00	202	448.8	7.54 × 10 ⁴
f ₅		17.0	1.60	2.95	4.65	221	491.1	6.70 × 10 ⁴
f ₆		16.5	1.75	3.05	4.92	208	462.2	6.48 × 10 ⁴
f ₇	桁-3	13.4	1.40	2.46	4.10	217	482.2	8.03 × 10 ⁴
f ₈		14.1	1.39	2.30	4.04	237	526.6	8.59 × 10 ⁴
f ₉		13.8	1.46	2.40	4.00	232	515.5	8.23 × 10 ⁴
f ₁₀	桁-4	14.0	1.24	2.18	3.56	241	535.5	9.06 × 10 ⁴
f ₁₁		15.1	1.89	3.00	5.38	188	417.7	6.58 × 10 ⁴
f ₁₂		14.6	1.70	2.82	5.05	210	466.6	7.00 × 10 ⁴
							平均	7.22 × 10 ⁴

曲げ試験を行った。3 層合成桁は輪形デュベル接合に依るもの 1 個で、14 × 11 cm の 3 部材を上下重ね、支間 280 cm の桁として試験を行った。

試験桁は何れも反りを附けることなく、ボルトは φ 16 mm、座鐵は 80 × 80 × 6 mm 正方形のものを使用した。桁材の含水率は充分に乾燥した気乾状態のものであつた。細部寸法は圖-3、圖-4 に依つて見られたし。

木栓は樺材の矩形 6 面體にして、幅は桁幅と同一の 14 cm とし断面は桁-1 に於て 80 × 30 mm、桁-2 に於て 70 × 25 mm で、長さや厚さとの比は 2.5 を標準として選んだ。木栓を用ふる場合、長さが厚さに比して短かいと木栓は廻轉して桁材の中に沈込む。一方長さが餘りに長ければ、木栓と木栓との間の木材の剪断長を減少させる結果となり悪影響を及ぼす。比 2.5 は後章に示す計算に根據を置くものである。

輪形デュベルは部材幅が 14 cm であるから 4 吋のものを用ふることとした。デュベルの幅は 3 cm である。輪形デュベルに就いては試験所報告 54 號を参照されたい。合成桁に用ひた場合の輪形デュベルの力學的性質は應力の分布等の點より見て壓縮試験結果と同じ傾向のものと考へられる。従つて 4 吋輪形デュベル (切目なし) の強度は 5,600 kg、許容荷重は 1,866 kg を採用することにした。

輪合せデュベルは試験所報告 59 號に紹介した新しい型のデュベルであるが、之は 4 × 5 cm の鐵板の両面に 5 個づつの歯が出てゐる鑄物で圖-5 に示す如きものである。

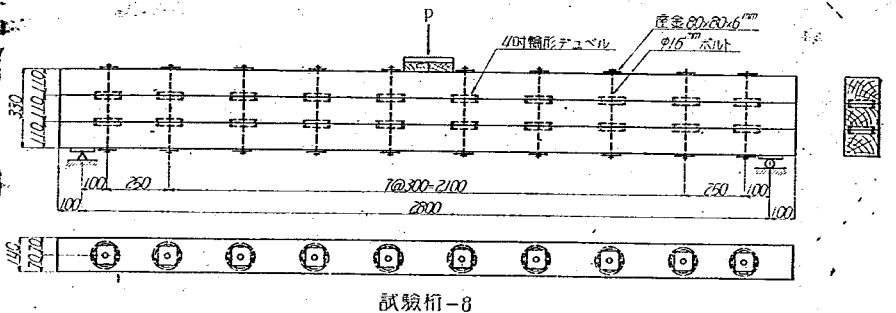
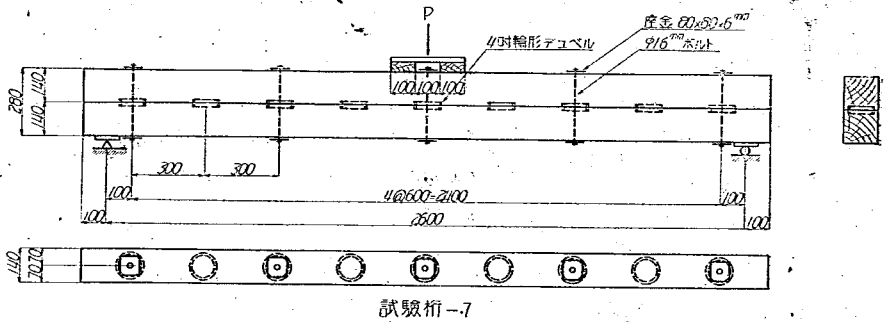
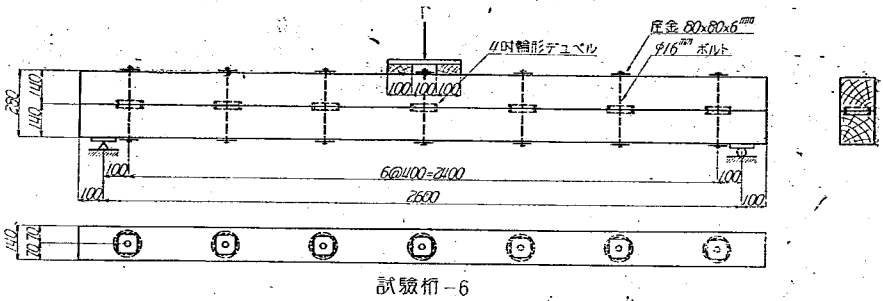
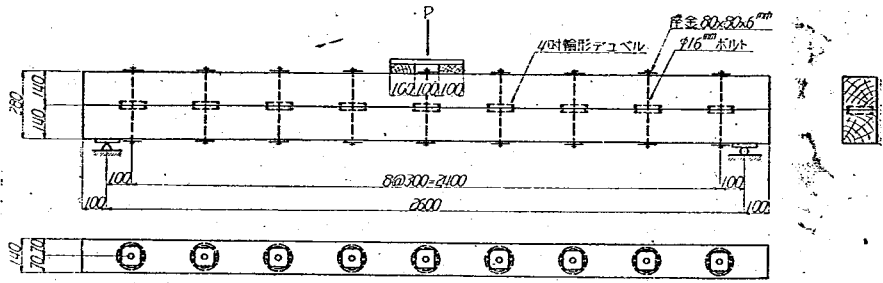
輪合せデュベルを圖-2 に示した如く 2 個づつ組をなした場合 2 個當りの強度は 3,650 kg、許容荷重 1,216 kg と見積つた。この見積は試験結果より見ると過大であつたことが分つたが、之の原因は先に行つた接合部の強度試験の如く、部材の押附けに依る密着が上手に行かぬと云ふ施工上の缺陷に依るものと思ふ。

圖-5 輪合せデュベル



(2) 試験方法

図-4 試験桁-5-8 の寸法及び载荷状況



試験桁は本試験所の床板試験機を利用したが、隣機に支間 260cm 及び 280cm の桁の曲げ試験が可能なる様に配置した。試験桁は図-3 及び図-4 で見る如く、一方の支點を可動端とした。可動端は $\phi 3\text{cm}$ のローラーを用いた。兩支點及び荷重の掛る點には $10 \times 14\text{ cm}$ の鉄板又は硬木板を用いて集中荷重に依る桁材の部分的壓挫を防いだ。

載荷方法は手動油壓ポンプに連結された直径 15.5 cm、斷面積 188.7 cm^2 の壓力筒により 2 個の硬木板を通じて載荷された。荷重は油壓ポンプの壓力計の讀みが $Q\text{ kg/cm}^2$ なる場合

$$P = 188.7 Q \text{ kg}$$

茲に η は種々の抵抗による損失の爲 1 以下の係數で、檢定の結果 0.972~0.949 の間にある。

$$Q = 10\text{ kg/cm}^2 \text{ なる時} \quad P = 1,834\text{ kg}$$

$$Q = 20\text{ kg/cm}^2 \text{ なる時} \quad P = 3,682\text{ kg}$$

$$Q = 30\text{ kg/cm}^2 \text{ なる時} \quad P = 5,350\text{ kg}$$

荷重は壓力計の 2 kg/cm^2 を單位として増加せしめた。以上の關係で荷重が整数で出てない點を了解されたい。

(3) 測定及び觀測すべき事項

(a) 荷重に依る桁の撓の測定

桁の撓は下側面に於て測定することとなし測點を 5 個とした。即ち桁中央を測點 III とし、その左右に夫々 43 cm の點を測點 II 及び II' とし、更に之より外方に夫々 43 cm の點を測點 I 及び I' とした。撓の測定はダイヤル・ゲージに依ることが出來ず、測定範圍大なる撓度計を用いた (圖-6 参照)。撓度計の精度は $\frac{1}{10}\text{ mm}$ 迄正確に讀めるものである。

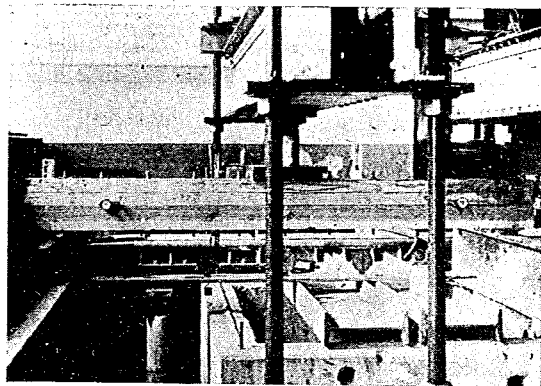
(b) 重ね部材相互間の變位の測定

荷重が掛ると合成桁の合成工法は 100 % に作用し得ないから部材相互間に變位を生ずる。之の變位の大小は合成工法の良否に關係あるものと考へ、桁-1~7 に於ては兩支點より内側に夫々 34 cm の 2 點に於てこれを測定し、桁-8 の 3 層合成桁に於ては可動端の眞上に於て上部材中央部材間及び中央部材下部材間に於てこれを測定した。測定は總てダイヤル・ゲージに依り $\frac{1}{100}\text{ mm}$ 迄測定した。

(c) 可動端の水平移動の測定

可動端の水平移動は $\phi 3\text{ cm}$ のローラーの廻轉角を測定することに依り求めた。即ちローラーの一直徑を延長する楕桿を出し、ローラーの廻轉角が小さい範圍に於て楕桿端の上下變位を測定して廻轉角に従つて水平移動を測つた。理論上の擴大率より $\frac{1}{60}\text{ mm}$ 迄正確なるべきも、ローラーのスリップの現象が荷重の掛け方の上手下手により生じた様である。

圖-6



(d) 合成桁の縁應力の測定

縁應力の測定は Huggenberger Tensometer の標點距離 2 cm のものを用ひて上下部の歪量を測定し縁應力を求めんとしたが、木材に Tensometer を取附けることの困難に依り、比較的良結果を得たものもあるが概して失敗に終つた。

(e) 龜裂の發達と破壊の觀測

荷重が増して、撓が大になると、破壊の徴候として龜裂が入る。この時の荷重を龜裂荷重と名附け、龜裂の發達状況を觀測し完全に破壊する場合の状況を見て、最高の荷重に達した時、之を破壊荷重と名附けた。

III. 合成桁の強度に関する試験結果

強度試験の結果の概要は表-4 及び表-5 に示した。表中、荷重の項で Q は油壓ポンプの壓力計指壓を示し、

图-7 夫々の荷重の場合の試験桁の彈性曲線

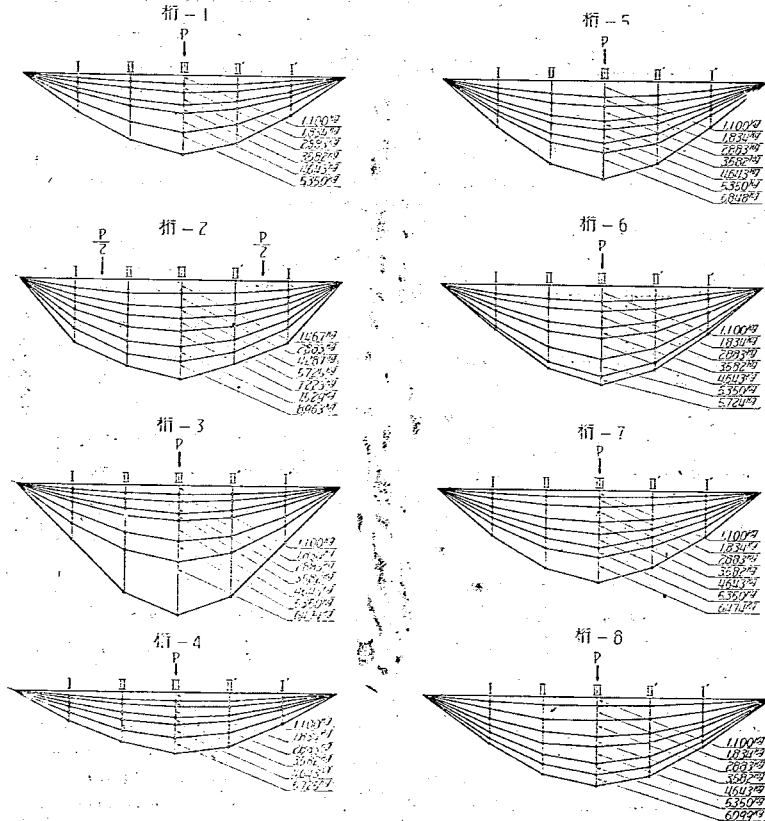


図-8 各試験桁の亀裂の進行状況

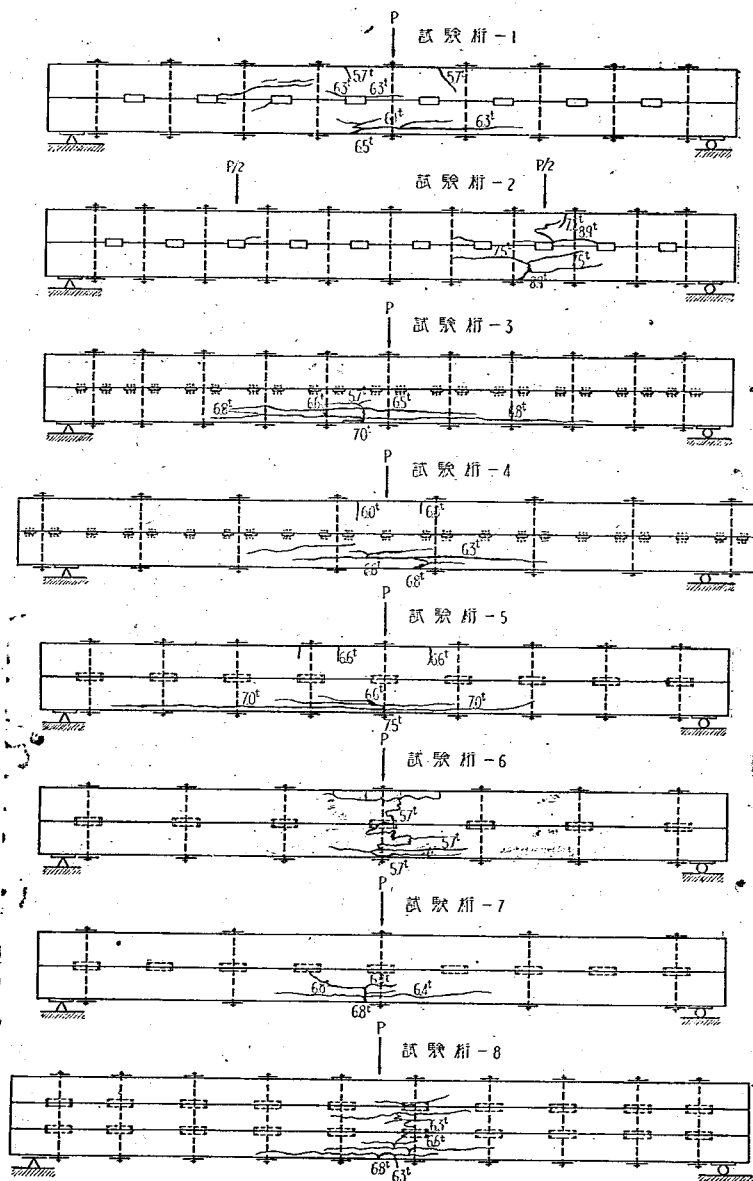


表-4 試験桁-1~4 の試験成績表

荷重 Q (kg/cm ²)	P (kg)	桁下面の撓 (mm)					上下部材間 變位 (mm)		可動端 の水平 移動 (mm)	備考	桁中央の 曲げモー メント (kg-cm)	桁中央の接應力 (kg/cm ²)	
		測點 I	測點 II	測點 III	測點 II'	測點 I'	T_1	T_2				單獨桁 の場合	完全桁 の場合

試験桁—1

6	1,100	1.8	3.0	3.8	3.2	1.8	0.11	0.18	0.88		71,500	78.2	39.1
10	1,834	3.4	5.8	7.1	6.2	3.6	0.32	0.51	1.60		119,210	130.4	65.2
16	2,883	5.9	10.1	12.3	10.6	6.3	0.70	1.07	2.80		187,395	204.9	102.5
20	3,582	7.6	13.0	15.8	13.5	8.1	0.97	1.38	3.63		232,830	254.6	127.3
26	4,643	11.3	19.6	23.8	20.0	12.0	1.84	2.12	5.15		301,730	329.9	164.5
30	5,350	15.2	27.0	32.4	27.7	16.0	2.87	3.00	6.62		347,750	380.2	190.1
34	6,099	—	—	47.3	—	—	4.09	4.55	—	龜裂荷重	407,810	445.2	222.9
36	6,474	—	—	—	—	—	—	—	—	破壊荷重	422,500	461.9	230.9

試験桁—2

8	1,467	3.8	5.6	5.4	5.0	3.5	0.88	0.72	0.14		49,511	54.1	27.0
16	2,883	6.8	10.3	11.2	9.9	6.4	1.47	1.21	0.64		97,301	106.2	53.8
24	4,287	9.7	14.7	16.0	14.1	9.2	1.95	1.67	2.02		144,754	158.3	79.1
32	5,725	12.7	19.3	21.1	18.6	12.1	2.43	2.21	2.80		193,590	211.6	105.8
40	7,223	16.6	25.4	27.8	24.3	16.0	3.14	2.98	3.62		243,776	266.5	133.2
44	7,529	20.5	30.9	33.6	29.6	19.7	4.02	3.82	4.72	龜裂荷重	254,104	277.8	138.9
48	8,963	26.1	35.3	41.0	34.8	25.8	—	—	—	破壊荷重	302,501	330.7	165.4

試験桁—3

6	1,100	2.0	3.2	3.9	3.5	2.1	0.08	0.06	1.20		71,500	78.2	39.1
10	1,834	3.4	5.7	6.8	6.0	3.6	0.19	0.15	2.02		119,210	130.4	65.2
16	2,883	5.5	9.7	11.4	10.0	5.8	0.64	0.43	3.31		187,395	204.9	102.5
20	3,582	7.1	12.4	14.7	12.8	7.3	1.22	1.01	4.14		232,830	254.6	127.3
26	4,643	11.5	19.9	23.0	20.6	12.1	2.10	1.95	5.54		301,730	329.9	164.5
30	5,350	16.1	26.6	31.6	27.4	16.4	2.89	2.75	6.50		347,750	380.2	190.1
32	5,725	22.1	32.8	38.4	33.1	22.1	—	—	—	龜裂荷重	254,104	277.8	138.9
39	7,036	—	—	—	—	—	—	—	—	破壊荷重	457,340	500.0	250.0

試験桁—4

6	1,100	1.9	3.1	3.9	3.4	2.0	0.06	0.08	0.32		71,500	78.2	39.1
10	1,834	2.8	5.1	6.0	5.4	3.4	0.12	0.17	0.94		119,210	130.4	65.2
16	2,883	5.0	8.7	10.3	9.2	5.4	0.30	0.40	1.92		187,395	204.9	102.5
20	3,582	6.4	11.3	13.3	11.9	6.8	0.45	0.62	2.60		232,830	254.6	127.3
26	4,643	9.0	15.9	18.9	16.5	9.5	—	—	—		301,730	329.9	164.5
32	5,725	12.2	20.7	25.0	22.1	12.5	1.47	1.59	3.88		372,125	406.8	203.4
35	6,286	—	—	29.6	—	—	—	—	—	龜裂荷重	408,590	446.7	223.4
38	6,848	—	—	—	—	—	—	—	—	破壊荷重	445,120	486.6	243.3

表-5 試験桁-5~8の試験成績表

荷重 Q (kg/cm ²)	P (kg)	桁下面の撓 (mm)					上下部材間 変位 (mm)		可動端 の水平 移動 (mm)	備 考	桁中央の 曲げモー メント (kg-cm)	桁中央の撓應力 (kg/cm ²)	
		測點 I	測點 II	測點 III	測點 II'	測點 I'	T_1	T_2				單獨桁 の場合	完全桁 の場合

試験 桁—5

6	1,100	3.1	5.5	6.4	5.6	3.3	0.42	0.19	0.72		71,500	78.2	39.1
10	1,834	5.3	9.2	10.6	9.2	5.4	0.87	0.46	1.32		119,210	130.4	65.2
16	2,883	8.3	14.2	16.4	13.9	8.1	1.39	0.79	2.52		187,395	204.9	102.5
20	3,582	10.2	17.4	20.0	17.2	9.9	1.61	0.95	3.42		232,830	254.6	127.3
26	4,643	13.0	22.0	25.8	21.9	11.0	20.1	1.42	4.70		301,730	329.9	164.5
30	5,350	14.8	25.3	29.8	25.2	13.9	23.9	1.88	5.24		347,750	380.2	190.1
37	6,661	—	—	37.6	—	—	—	—	—	龜裂荷重	432,965	473.4	236.7
38	6,848	19.6	34.2	40.2	33.0	18.8	—	—	—		445,120	486.7	243.3
42	7,471	—	—	—	—	—	—	—	—	破壊荷重	485,615	530.9	265.5

試験 桁—6

6	1,100	3.4	5.4	6.2	5.4	2.9	0.56	0.32	1.12		71,500	78.2	39.1
10	1,834	5.6	9.3	10.6	9.0	4.8	1.03	0.72	2.26		119,210	130.4	65.2
16	2,883	8.8	15.0	17.3	14.7	8.2	1.63	1.20	4.22		187,395	204.9	102.5
20	3,582	10.8	19.0	21.9	18.9	10.5	2.02	1.65	5.58		232,830	254.6	127.3
26	4,643	14.4	25.8	30.2	25.6	14.2	2.72	2.40	7.52		301,730	329.9	164.5
30	5,350	17.4	31.6	37.2	31.6	17.4	3.39	3.00	—		347,750	380.2	190.1
32	5,724	18.2	34.2	41.0	34.8	19.2	3.31	3.11	—	破壊荷重	372,060	403.8	201.9

試験 桁—7

6	1,100	1.6	2.4	2.5	2.3	1.5	0.08	0.04	0.68		71,500	78.2	39.1
10	1,834	3.7	6.0	6.8	5.9	3.6	0.40	0.38	1.40		119,210	130.4	65.2
16	2,883	7.0	11.6	13.0	11.4	6.8	0.91	0.94	2.52		187,395	204.9	102.5
20	3,582	9.4	15.7	18.0	15.5	9.0	1.24	1.32	3.44		232,830	254.6	127.3
26	4,643	11.9	19.9	23.8	19.0	11.5	1.59	1.86	4.86		301,730	329.9	164.5
30	5,350	14.2	24.0	27.9	22.8	14.2	1.91	2.22	6.03		347,750	380.2	190.1
36	6,474	19.0	32.1	37.8	31.2	18.5	—	—	—	龜裂荷重	419,510	458.6	229.3
38	6,848	—	—	—	—	—	—	—	—	破壊荷重	445,120	486.6	243.3

試験 桁—8

6	1,100	2.3	3.3	3.6	3.2	2.3	0.09	0.15	0.90		77,000	90.9	30.3
10	1,834	5.2	9.6	9.7	8.8	5.7	0.33	0.56	1.76		128,380	151.6	50.5
15	2,883	9.6	14.6	16.5	14.9	9.6	0.65	1.08	3.15		201,810	238.3	79.4
20	3,582	12.0	19.4	20.5	18.4	11.8	0.82	1.40	4.29		230,740	296.0	95.3
26	4,643	15.0	23.9	27.3	24.1	15.2	1.09	1.91	6.24		325,010	383.7	127.9
30	5,350	17.5	27.9	32.0	28.2	17.8	1.26	2.24	7.92		374,500	442.1	147.4
34	6,099	19.8	32.0	36.8	32.2	20.0	注 上材, 中材間 の変位	注 中材, 下材間 の変位	—	龜裂荷重	426,930	504.1	168.0
35	6,286	—	—	37.8	—	—	—	—	—	破壊荷重	440,020	519.5	173.2
38	6,848	—	—	—	—	—	—	—	—		479,360	565.9	188.6

図-9 桁-2 (木栓) の破壊後の状況

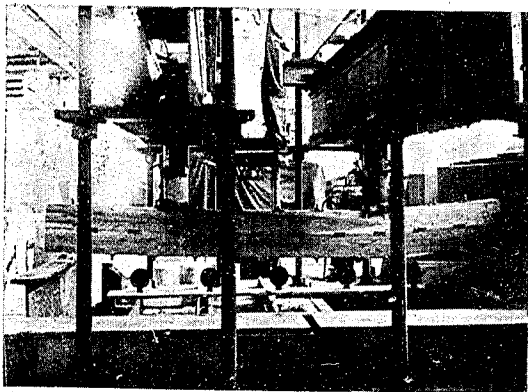


図-10 桁-3 (吻合せデュベル) の破壊後の状況

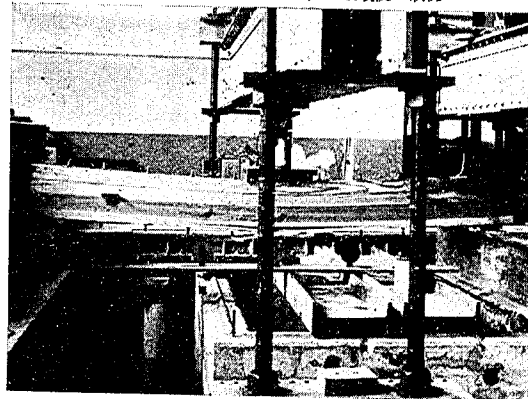


図-11 桁-5 (輪形デュベル) の破壊後の状況

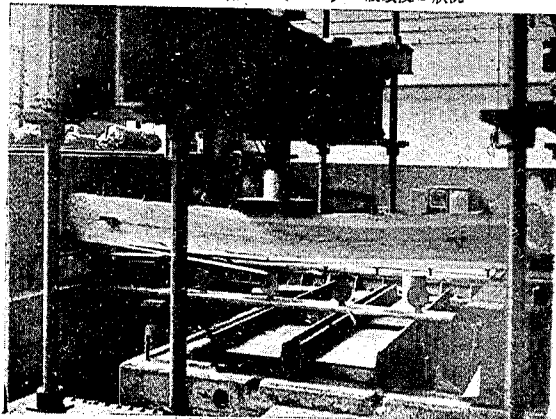
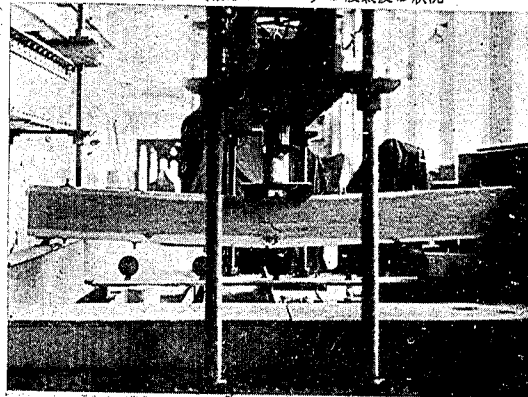


図-12 桁-6 (輪形デュベル) の破壊後の状況



P は検定の結果よりの荷重を示す。機に就いては別に圖-7 で彈性曲線に依つて示してある。

部材相互間の變位に於て桁-1~7 では T_1 は右支點(固定), T_2 は左支點(可動)より夫々 34 cm 離れた點の測定値であり、桁-8 では可動支點上に於ける上部材と中部材との間の變位を T_1 で、中部材と下部材との間の變位を T_2 で示した。

最後の項に於て合成工法の 100 % に作用する極限たる完全桁と見做した場合、及び合成工法の作用が零となつた極限たる單獨桁と見做した場合の桁中央の最大緣應力を示した。合成桁の實際の緣應力はこの中間値を示すものと考へる。

荷重が増加して撓が大きくなると下部材の中央より下に水平に龜裂が入り、更に荷重を増加すると、龜裂は進行して大骨を發して引張應力を受ける繊維が引張破壊した。先に龜裂が入つた時に於ても荷重の増加率に大なる變化はなかつたが、この引張破壊と共に荷重は半減するものであつた。龜裂荷重及び破壊荷重は表-4、表-5 に示してあり、龜裂の進行狀態は圖-8 にあり、破壊後の狀態は圖-9~12 に示す。

IV. 試 験 結 果 に 基 く 考 察

[1] 機に依る合成桁の應力分布の決定

試験結果に基いて合成桁の應力の分布を理論的に研究するに當り、最も困難とするところは木材材質の不均一に依る彈性係數及び破壊強度の差異と合成工法加工の良否との因子が各試験桁に入つて來ることである。従つて以下述べる計算は之らの因子を一定と假定した場合の應力分布であると云はねばならぬ。

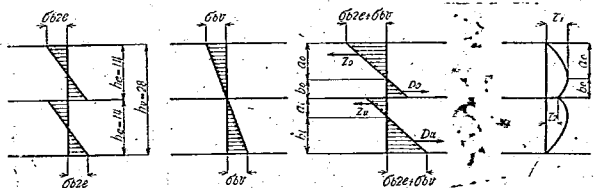
計算上必要なる彈性係數 $E = 7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ と假定した。

曲げに依る垂直應力の分布は桁の機に依つて決定することが出来る。

若し合成工法が 100 % に作用するならば合成桁の機は完全桁の場合の機と同一になり、若し合成工法の作用が全くないならば 2 層合成桁の機は 2 個の單獨桁を單に並べた場合の機と同一になるべきである。従つて 2 層合成桁の實際の機は此の 2 つの極値たる、1 個の完全桁の機と 2 個の單獨桁の機との中間に存するが故に、桁に作用した荷重の何割が完全桁として作用し、残りの何割が單獨桁として作用したかを決定することが出来る。

圖-13 の左の 2 つの圖は單獨桁及び完全桁としての應力の分布を示し、右の 2 つの圖は、左の 2 つの圖を組合せた合成桁としての應力分布の垂直及び剪斷應力を示したものである。

圖-13 2層合成桁の應力分布



2 層合成桁に於て

2 個の單獨桁に對し曲げ應力は

$$\sigma_{be} = \frac{M h_e}{2 J_{2e}}$$

1 個の完全桁に對し曲げ應力は

$$\sigma_{bv} = \frac{Mh_v}{2J_v}$$

M : 曲げモーメント

J_{2e} : 單獨桁の断面 2 次率の和

J_v : 完全桁の断面 2 次率

h_e : 單獨桁の桁高

h_v : 完全桁の桁高

従つて $h_v = 2 h_e$

$$J_{2e} = 2 \cdot \frac{he^3b}{12}$$

$$J_v = \frac{hv^3b}{12}$$

$$\therefore J_v = 4 J_{2e}$$

茲に b は桁幅

同一曲げモーメントに對し $\sigma_{be} = 2 \sigma_{bv}$

3 層合成桁に對し

同様に於て、同一曲げモーメントに對し $\sigma_{be} = 3 \sigma_{bv}$

合成桁の一部が完全桁として、他の部分が單獨桁として作用し、夫々の荷重を P_v P_e とし 1 t の荷重に依る完全桁の桁中央の撓の影響値を y_v 、單獨桁の桁中央の撓の影響値を y_e とすれば

$$\begin{cases} P_e y_{2e} + P_v y_v = y \\ P_e + P_v = P \end{cases}$$

より P_e 及び P_v を決定することが出来る。但し y は合成桁の實測の桁中央の撓を示す。

1 t の荷重に依る完全桁、單獨桁の曲げ應力の影響値を夫々 σ'_{bv} 、 σ'_{be} とすれば

完全桁としての曲げ應力 $\sigma_{bv} = P_v \sigma'_{bv}$

單獨桁として曲げ應力は $\sigma_{be} = P_e \sigma'_{be}$

合成桁に生ずる最大の曲げ終應力は $\sigma_{bmax} = \sigma_{bv} + \sigma_{be}$

(1) 2 層合成桁の中央に荷重がある場合の影響値

これに對し桁-1、桁-3、桁-4、桁-5、桁-6、桁-7 が適用される。

桁の中央に $P = 1$ t の荷重を載荷した場合の完全桁として、單獨桁としての桁の中央の撓及び曲げ應力の影響値を求むれば

a. 2 本の單獨桁と見做した場合

曲げモーメントに依る撓

$$y'_{2e} = \frac{Pl^3}{48EJ_{2e}}$$

$$J_{2e} = 2 \cdot \frac{14^4}{12} = 6,403 \text{ cm}^4, \quad E = 7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2, \quad l = 260 \text{ cm}, \quad P = 1,000 \text{ kg}$$

$$y'_{2e} = 0.81694 \text{ cm}$$

剪断應力の影響を考へれば

$$y''_{2e} = \frac{9}{4} \beta \int \frac{S}{bhc^2} = \int_{-he/2}^{+he/2} \left[1 - \left(\frac{\eta}{\frac{be}{3}} \right)^2 \right]^2 d\eta = 0.3 \beta \frac{Pl}{bhc}$$

$$\beta = 2 \cdot \frac{m+1}{m} \cdot \frac{1}{E}$$

$$m = \frac{10}{3} \text{ とすれば}$$

$$y''_{2e} = 0.78 \frac{Pl}{Ebhce} = 0.00739 \text{ cm}$$

$$\text{撓の影響値 } y_{2e} = y'_{2e} + y''_{2e} = 0.82433 \text{ cm}$$

$$\text{曲げ應力の影響値 } \sigma_{be} = \frac{Mhe}{2J_{2e}} = 71.066 \text{ kg/cm}^2$$

b. 1 本の完全桁と見做した場合

曲げモーメント及剪断應力による桁中央の撓の影響値は

$$y_v = y'_v + y''_v = \frac{Pl^3}{48EJ_v} + 0.3 \beta \cdot l$$

$$\beta = 2 \cdot \frac{m+1}{m} \cdot \frac{1}{E}, \quad m = \frac{10}{3}, \quad E = 7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

$$y_v = \left[0.25 \left(\frac{l}{h_v} \right)^2 + 0.78 \right] \frac{Pl}{Ebh_v} = 0.21164 \text{ cm}$$

$$\text{曲げ應力の影響値 } \sigma'_{be} = \frac{1}{2} \sigma_{be} = 35,533 \text{ kg/cm}^2$$

(2) 2 層合成桁の左右対称の 2 点に荷重がある場合の影響値

桁-2 に適用される。図-14 の如く支點より 67.5 cm の點に夫々

$P/2$ の荷重がある場合の桁中央の撓を求めれば、

a. 2 本の單獨桁と見做した場合

支間 l , 支點より x なる點の撓は

$$y_e = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{l} x - \frac{x}{l} \int_0^l \frac{M(l-x)}{EJ_{2e}} dx + \int_0^x \frac{M}{EJ_{2e}} dx \left\{ x - \frac{\int_0^x \frac{M}{EJ_{2e}} dx}{\int_0^x \frac{M}{EJ_{2e}} dx} \right\}$$

$y_0 = y_l = 0$ なるに依り桁中央の撓の荷重 $P = 1 \text{ t}$ の影響値は、

$$\begin{aligned} y_e &= \frac{x}{l} \int_0^l \frac{M(l-x)}{EJ_{2e}} dx + \int_0^{l/2} \frac{M}{EJ_{2e}} dx \left\{ x - \frac{\int_0^{l/2} \frac{M}{EJ_{2e}} dx}{\int_0^{l/2} \frac{M}{EJ_{2e}} dx} \right\} \\ &= \frac{P}{3EJ_{2e}} \frac{a^2 b^2}{6l} \left(\frac{3l}{2a} + \frac{3l}{2a} - \frac{l^3}{8b^2a} - \frac{l^3}{8a^2b} \right) \end{aligned}$$

$$J_{2e} = 6,403 \text{ cm}^4$$

$$E = 7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

$$l = 260 \text{ cm}$$

$$a = 67.5 \text{ cm}$$

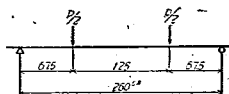
$$b = 192.5 \text{ cm}$$

$$y_e = 0.533705 \text{ cm}$$

$$\text{曲げ應力の影響値は } \sigma'_{be} = \frac{Mhe}{2J_{2e}} = 36,899 \text{ kg/cm}^2$$

b. 1 本の完全桁と見做した場合

図-14



桁中央の撓の影響値は

$$y_e = \frac{P}{2Ej_v} \cdot \frac{a^2 b^2}{6l} \left(\frac{3l}{2a} + \frac{3l}{2a} - \frac{l^3}{8b^2a} - \frac{l^3}{8a^2b} \right) = 0.133426 \text{ cm}$$

曲げ應力の影響値は $\sigma'_{bv} = \frac{Mh_v}{2j_v} = 18,449 \text{ kg/cm}^2$

(3) 3層合成桁の中央に荷重がある場合の影響値

桁-8に適用される。桁中央に $P = 1 \text{ t}$ の荷重に依る桁中央の撓、曲げ應力の影響値を求めれば

a. 3本の單獨桁と見做した場合

曲げモーメントのみの撓を考へれば

$$y_e = \frac{Pl^3}{48 \cdot E \cdot j_{3e}}$$

$$P = 1,000 \text{ kg} \quad E = 7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

$$l = 280 \text{ cm} \quad j_{3e} = 3 \cdot \frac{bhc}{12} = 3 \cdot \frac{14 \cdot 11^3}{12} = 4,658.5 \text{ cm}^4$$

撓の影響値は $y_e = 1.402459 \text{ cm}$

曲げ應力の影響値は $\sigma'_{3e} = \frac{Mhc}{2j_{3e}} = 82.64 \text{ kg/cm}^2$

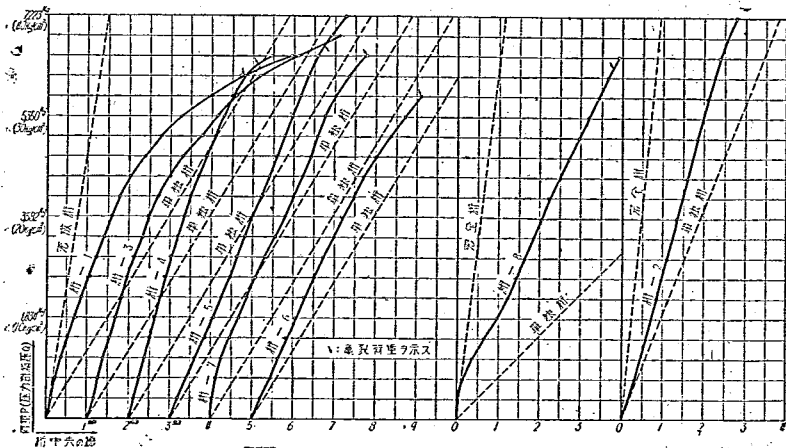
b. 1本の完全桁と見做した場合

曲げ應力及剪断力に依る桁中央の撓の影響値は

$$y_v = y'_v + y''_v = \frac{Pl^3}{48Ej_v} + 0.3\beta \frac{P}{bhv} \cdot l$$

$$\beta = 2 \cdot \frac{m+1}{m} \cdot \frac{1}{E}, \quad m = \frac{10}{3}, \quad E = 7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

図-15 合成桁中央の荷重一撓曲線



$$y_v = \left[0.25 \left(\frac{l}{h v} \right)^2 + 0.78 \right] \frac{Pl}{Ebh v} = 0.16258 \text{ cm}$$

$$\text{曲げ応力の影響値は } \sigma'_{bv} = \frac{Mh v}{2 J v} = 27.55 \text{ kg/cm}^2$$

(4) 比例限界内の荷重の場合の応力分布

図-15 に合成桁中央の荷重—撓曲線を夫々の荷重状態に於ける單獨桁及び完成桁と見做した場合の荷重—撓曲線と比較して示す。

図-15 を見れば $P = 3.582 \text{ t}$ 即ち $Q = 20 \text{ kg/cm}^2$ の荷重の場合は荷重—撓曲線の直線区間にある。即ち、比例限界内にある荷重であるが故に以下に於て $P = 3.582 \text{ t}$ の場合の応力分布を決定する。

桁-1 に對し

$P = 3.582 \text{ t}$ の時の桁中央の撓は 15.8 mm なるに依り

$$Pe y_{2e} + Pv y_v = 15.8$$

$$Pe + Pv = 3.582$$

桁-1 の撓の影響値は $y_{2e} = 0.82433 \text{ cm}$

$$y_v = 0.21164 \text{ cm}$$

$$\begin{cases} 8.2433 Pe + 2.1164 Pv = 15.8 \\ Pe + Pv = 3.582 \end{cases}$$

$$Pv = 2.240 \text{ t}$$

$$Pe = 1.342 \text{ t}$$

$$\sigma_{bv} = P \sigma'_{bv} = 35.53 \text{ } Pv = 79.59 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{be} = Pe \sigma'_{be} = 71.066 \text{ } Pe = 95.37 \text{ kg/cm}^2$$

合成桁最大縁應力 $\sigma_{bmax} = \sigma_{bv} + \sigma_{be} = 174.96 \text{ kg/cm}^2$

上部材の中立軸と上面及び下面と距離 a_0 及び b_0 は

$$a_0 = h e \frac{\sigma_{bmax}}{\sigma_{bmax} + \sigma_{be}} = 9.06 \text{ cm}$$

$$b_0 = h e - a_0 = 4.94 \text{ cm}$$

剪断応力の分布を考へる。

上下部材ともに夫々の垂直應力の零なる中立軸に於て剪断応力が最大となる。

この中立軸に作用する剪断力は

$$S_1 = D_0 = \frac{1}{2} \sigma_{bmax} \cdot b \cdot a_0 = \frac{1}{2} \times 174.96 \times 14 \times 9.06 = 11,095.96 \text{ kg}$$

$$\tau' = \frac{2}{I b} S = 6.096 \text{ kg}$$

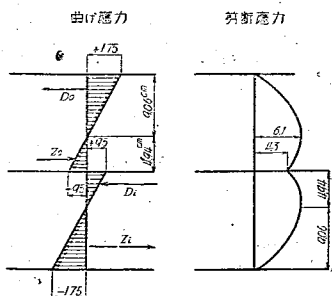
上下部材の接合面に於ける剪断應力は

$$\tau_2 = \frac{2}{l} (D_0 - Z_0) = \frac{1}{260} \times 79.59 \times 14 = 4.286 \text{ kg/cm}^2$$

桁-8 に對し

$$\begin{cases} 14.0246 Pe + 1.6258 Pv = 20.5 \\ Pe + Pv = 3.582 \end{cases}$$

図-16 桁-1 應力分布



$$P_e = 1.173 \text{ t} \quad P_v = 2.409 \text{ t}$$

$$\sigma_{bv} = P_v \sigma'_{bv} = 27.55 \text{ } P_v = 66.37 \text{ kg/cm}^2$$

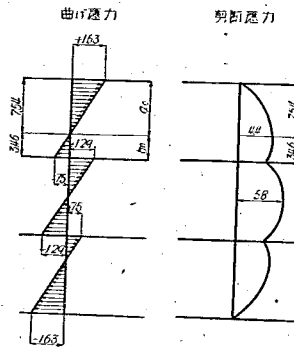
$$\sigma_{be} = P_e \sigma'_{be} = 82.64 \text{ } P_e = 96.94 \text{ kg/cm}^2$$

$$3 \text{ 層合成桁の最大縁應力 } \sigma_{b\max} = 163.31 \text{ kg/cm}^2$$

$$a_0 = h e \frac{\sigma_{b\max}}{\sigma_{b\max} + \sigma_{be} - \frac{1}{3} \sigma_{bv}} = 7.54 \text{ cm}$$

$$b_0 = h e - a_0 = 3.46 \text{ cm}$$

図-17 桁-8 の應力分布



上部材に於ける最大剪断應力

$$\tau_1 = \frac{\sigma_{b\max} \cdot a_0}{l} = \frac{163.31 \times 7.54}{280} = 4.391 \text{ kg/cm}^2$$

合成桁の中心面に於ける剪断應力

表-6 比例限界内の荷重 $P = 3.582 \text{ t}$ の場合の應力の分布

	撓の影響値 (mm)		P' 3.582t の時の撓 (mm)	P_e (t)	P_v (t)	σ_{be} (kg/cm ²)	σ_{bv} (kg/cm ²)	$\sigma_{b\max}$ (kg/cm ²)	a_0 (cm)	b_0 (cm)	τ_1 (kg/cm ²)	τ_2 (kg/cm ²)
	單獨桁	完全桁										
桁-1	8.2433	2.1164	15.8	1.342	2.240	95.37	79.59	174.96	9.06	4.94	6.096	4.286
桁-2	5.3370	1.3343	13.6	2.204	1.378	81.33	20.33	101.66	7.78	6.22	5.858	2.001
桁-3	8.2433	2.1164	14.7	1.169	2.413	83.09	85.73	168.82	9.38	4.62	6.090	4.620
桁-4	8.2433	2.1164	13.3	0.933	2.649	66.30	94.12	160.42	9.91	4.09	6.112	5.068
桁-5	8.2433	2.1164	20.0	2.027	1.555	144.05	55.25	199.30	8.13	5.87	6.231	2.975
桁-6	8.2433	2.1164	21.9	2.337	1.245	166.08	44.24	210.32	7.82	6.18	6.328	2.328
桁-7	8.2433	2.1164	18.0	1.701	1.881	120.88	66.83	187.71	8.52	5.48	6.148	3.599
桁-8	14.0246	1.6258	20.5	1.173	2.409	96.94	66.37	163.31	7.54	3.46	4.397	5.815

$$\tau_2 = \frac{\sigma_{bv} \cdot \frac{h v}{2}}{l} + \frac{\sigma_{be} \cdot \frac{h e}{2}}{l} = 5.815 \text{ kg/cm}^2$$

同様に、各試験桁の曲げ應力及び剪断應力を計算した結果を表-6に示す。

(5) 龜裂荷重時の應力分布

表-7に龜裂荷重及びその時の桁中央の撓を擧げてある。

桁-2に對し

$$\begin{cases} 5.3370 P_e + 1.3343 P_v = 33.6 \\ P_e + P_v = 7.529 \end{cases}$$

$$P_e = 5.797 \text{ t}$$

$$P_v = 1.732 \text{ t}$$

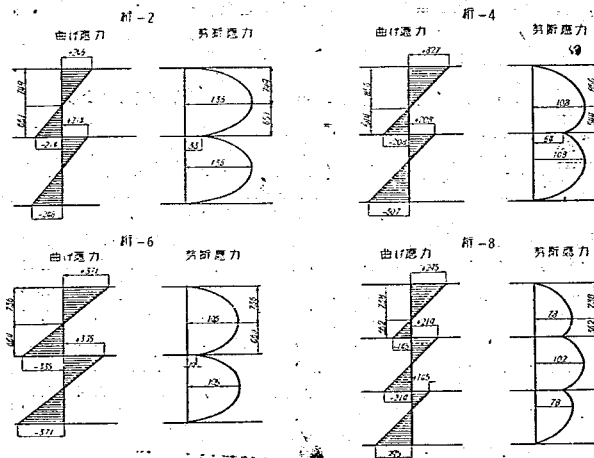
$$\sigma_{bv} = P_v \sigma'_{bv} = 18.449 \times P_v = 31.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{be} = P_e \sigma'_{be} = 36.899 \times P_e = 213.90 \text{ kg/cm}^2$$

表-7 龜裂荷重の場合の應力分布

	龜裂荷重 (t)	龜裂荷重時の桁中央の撓 (mm)	P_e (t)	P_v (t)	σ_{be} (kg/cm ²)	σ_{bv} (kg/cm ²)	σ_{bmax} (kg/cm ²)	a_0 (cm)	b_0 (cm)	τ_1 (kg/cm ²)	τ_2 (kg/cm ²)
桁-1	6.099	47.3	5.613	0.486	398.89	17.27	416.16	7.15	6.85	11.441	0.930
桁-2	7.529	33.6	5.797	1.732	213.90	31.95	245.85	7.49	6.51	13.632	3.313
桁-3	5.725	38.4	4.290	1.435	304.87	50.99	355.86	7.54	6.46	10.320	2.745
桁-4	6.286	31.2	2.921	3.365	207.58	119.56	327.14	8.56	5.44	10.777	6.438
桁-5	6.661	37.6	3.836	2.826	272.61	100.41	373.02	8.09	5.91	11.605	5.407
桁-6	5.725	41.0	4.714	1.011	335.00	35.92	370.92	7.36	6.64	10.494	1.934
桁-7	6.474	37.8	3.933	2.541	279.50	90.28	369.78	7.93	6.03	11.340	4.861
桁-8	6.286	37.8	2.204	4.082	182.14	112.40	294.60	7.38	3.62	7.764	10.204

圖-18 桁-2, 桁-4, 桁-6, 桁-8の應力分布圖



$$\sigma_{b\max} = \sigma_{bv} + \sigma_{be} = 245.85$$

$$a_0 = 14 \frac{\sigma_{b\max}}{\sigma_{b\max} + \sigma_{be}} = 7.49 \text{ cm}$$

$$b_0 = 14 - 7.49 = 6.51 \text{ cm}$$

$$\tau_1 = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{b\max} \cdot a_0}{67.5} = 13.632 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_2 = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{bv} \cdot h e}{67.5} = 3.313 \text{ kg/cm}^2$$

同様に各試験桁の龜裂荷重に就いて曲げ應力、剪断應力を計算したものを表に示し、圖-18 に應力分布を圖示した。

[2] 上下部材相互間の變位及び可動端の水平移動

(1) 上下部材相互間の變位

上下部材間の變位は 2 層合成桁では左右の支點より夫々内側に 34 cm の 2 點に於てダイヤル・ゲージにより測定し、3 層合成桁では可動端上に於て上下中部材の夫々の接觸面に於て測定し、この測定結果は前章の表-4、表-5 で示した。上下部材間の變位は合成桁を完全桁と見做した場合には零となるべきものであり、合成工法的作用が少しもない限極たる單獨桁と見做した場合には最大となる。

今實測結果と比較するために桁の中央に 1 t の荷重が載つた時の部材間の變位の影響値を求める。

a. 2 層合成桁の場合

測點は支點より 34 cm の點であるからこの點の單獨桁と見做した場合の上下部材間の變位を求める。

$$e = 2 \int_{34}^{l/2} \frac{\sigma_x}{E} dx$$

$$= 2 \int_{34}^{l/2} \frac{Px}{2W_{2e}E} dx$$

σ_x : x 點の曲げ應力

W_{2e} : 單獨桁 2 本の斷面係數

$$l = 260 \text{ cm} \quad E = 7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2 \quad W_{2e} = 914.64 \text{ cm}^3$$

を代入すれば $e = 1.2295 \text{ mm}$

b. 3 層合成桁の場合

測點は可動端上なるに依りこの點の單獨桁 3 本と見做した場合の上下部材間の變位を求める。

$$e = 2 \int_0^{l/2} \frac{\sigma_x}{E} dx$$

$$= 2 \int_0^{l/2} \frac{Px}{2W_{3e}E} dx$$

$$l = 280 \text{ cm} \quad W_{3e} = 847 \text{ cm}^3$$

を用ふれば $e = 1.6529 \text{ mm}$

圖-19 に於て桁-2 をのぞいた各桁の部材相互間の變位を單獨桁の場合と比例して示した。

図-19 荷重一部材相互間変位曲線

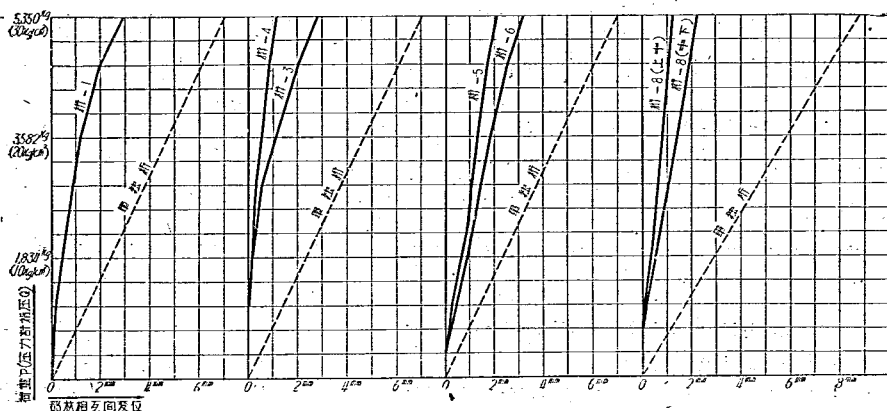


図-19 を前節の図-15 と比較するに、桁-1 に於て荷重指壓 $Q = 20 \text{ kg/cm}^2$ を越すと何れも変位量が大きくなくなった。桁-3、桁-4 の噴合せデュベルを使用した合成桁同士を桁-5、桁-6 の輪形デュベル同士と比較しても、桁中央の撓の大きいものは、上下部材間の変位大きく非常に密接なる関係を示してゐた。更に 3 層合成桁の 2 つの部材接合面に於ける部材間変位は図-19 の最後の図に見る如く中部材と下部材との変位が常に上部材と中部材との間のそれより大きかつた。この事は合成桁に載る荷重は下部材により多くの部材が負擔されると云ふ事實を示すものと考へた。

合成桁の上下部材間の變位は何れの場合にあつても單獨桁と見做した場合の変位より著く小さいことが目立つた。これ上下部材接合面の摩擦の影響が多分に入つてゐるためと思ふ。

(2) 可動端の水平移動

荷重 1t が桁中央に載つた場合の單獨桁及び單獨桁と見做しての可動端の水平移動を求めん。

a. 2 層合成桁の場合

單獨桁 2 本と見做した場合の可動端の水平移動は次の式で與へられる。

$$V_e = \int_0^{l/2} \frac{Px}{2W_{2e}E} dx + \int_{l/2}^l \frac{P(l-x)}{2W_{2e}E} dx$$

$$E = 7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2 \quad l = 260 \text{ cm} \quad P = 1,000 \text{ kg}$$

$$W_{2e} = 914.64 \text{ cm}^3 \text{ を用ふれば}$$

$$V_e = 1.3197 \text{ mm}$$

b. 1 本の完全桁と見做した場合の可動端の水平移動は

$$V_v = \int_0^{l/2} \frac{Px}{2W_vE} dx + \int_{l/2}^l \frac{P(l-x)}{2W_vE} dx$$

$$W_v = 2 W_{2e}$$

$$V_v = \frac{1}{2} v_e = 0.6598 \text{ mm}$$

b. 3層合成桁の場合

單獨桁 3 本と見做した場合の可動端の水平移動は

$$V_c = \int_0^{l/2} \frac{Px}{2W_{3e}E} dx + \int_{l/2}^l \frac{P(l-x)}{2W_{3e}E} dx$$

$$l = 280 \text{ cm} \quad W_{3e} = 847 \text{ cm}^4 \quad \text{を用ふれば} \quad V_c = 1.6529 \text{ mm}$$

完成桁 1 本と見做した場合の可動端の水平移動は、同様にして

$$Wv = 3W_{3e} \text{ なるに依り}$$

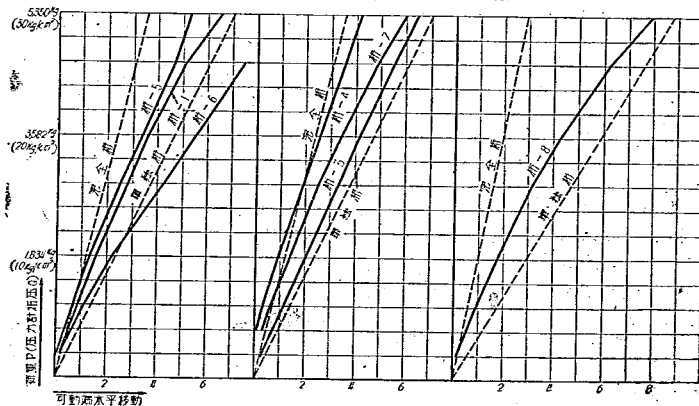
$$Vv = \frac{1}{3} V_c = 0.55097 \text{ mm}$$

圖一20 に於て實測した合成桁の可動端の水平移動を完全桁と單獨桁とのそれと比較して示してある。

可動端の水平移動は荷重の初期に於て反つて負の方向に少しではあるが減少する傾向を見せ、荷重が大きくなると完全桁の場合よりむしろ水平移動が小さい場合もあつた。然し荷重が増加すると單獨桁の場合に接近し、桁一6 の如きは單獨桁の水平移動より大きいと云ふ結果を示した。

可動端の水平移動は、桁中央の撓や部材相互間の變位の如く曲線を呈せず、直線に近い傾向を示してゐた。

圖一20 荷重—可動端水平移動曲線



圖一19、圖一20 と比較して分つたことは、可動端の水平移動が部材相互間の變位に較べて著しく單獨桁に接近してゐることである。この事は上下部材相互間の變位より Pv Pe の割合を見ると、桁の中央の撓で定められたものに比して Pv が大きくなり、可動端の水平移動より決めた Pv は撓よりの Pv より著しく小さいものとなる。この事は上部材と下部材との荷重を分擔する割合が等しくなく、下部材が相當に大きい部分を分擔すると云ふ考へに依つてのみ説明される。殊に3部材合成桁にあつては上部材より中部材、中部材より下部材に多くの荷重が分擔されてゐることを示してゐる。

[3] 合成工法の強度と合成桁の強度との關係

(1) 使用合成工法の特性

使用した合成工法は本栓接合、輪形デュベル接合、噛合せデュベル接合の3種であるが、その特性は次の如し。

a. 本栓接合

木栓を使用する場合に考慮すべき事は木栓の高さと長さとの比である。若し高さの高い木栓を使用すれば木栓は廻轉モーメントの爲に材材の繊維に垂直方向に減込んで行き、荷重の傳達度が低下する。

今木栓の前面に於て均一なる支壓應力を受け繊維に垂直方向の支壓應力の分布を三角形の如く假定すれば、圖-21 より次の式が成立する。

$$l^2 = \frac{6}{4} \frac{P}{Q_{\max}} l^2$$

茲に P : 繊維に平行方向の支壓應力

Q : 繊維に直角方向の支壓應力

今之らの應力が同時に許容支壓應力、即ち $P = 80 \text{ kg/cm}^2$ $Q = 20 \text{ kg/cm}^2$ になる様に木栓の形を決むれば、

上式より $l = \sqrt{6}t = 2.449 t$

今接合細部の小面積の支壓を考慮して $Q = 30 \text{ kg/cm}^2$ を取れば、上式より $l = 2 t$

依つて、高さと長さの比は以下の範囲にある様にする必要がある。

$$2.0 < \frac{l}{t} < 2.5$$

試験桁-1 及び試験桁-2 の木栓は

$\frac{l}{t} = 2.5$ を標準として選んだ。

木栓の許容荷重は前面の支壓面積に許容支壓應力 $\sigma_c = 80 \text{ kg/cm}^2$ を乗じたもので充分安全に設計し得ることが、試験結果により明かとなつた。

即ち試験桁-1 及び試験桁-2 の木栓 1 個の許容荷重は

試験桁-1 の木栓

$$14 \times 1.5 \times 80 = 1,680 \text{ kg}$$

試験桁-2 の木栓

$$14 \times \frac{2.5}{2} \times 80 = 1,400 \text{ kg}$$

接合部の支壓應力と變位との關係は圖-22 に示す如きものである。支壓應力 150 kg/cm^2 附近になると急激に變位の増加を見る。

b. 輪形デュベル

輪形デュベルと稱するものには種々あるが、茲で行つた試験では報告 54 號で報告した引抜鋼管を輪切にしたものをを用いた。

圖-21 木栓に作用する力

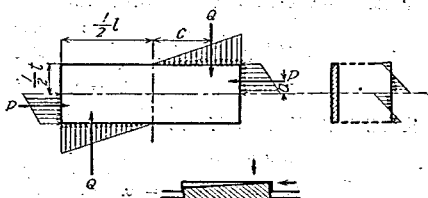
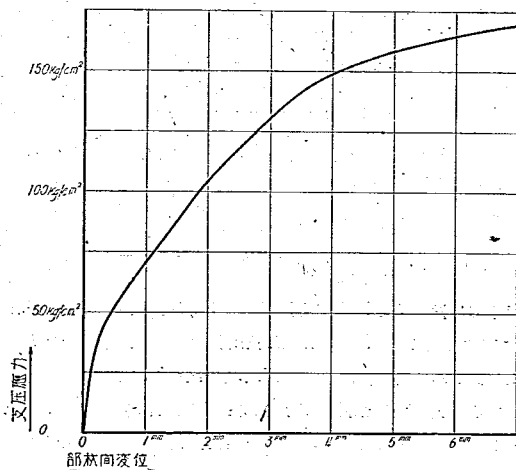


圖-22 木栓接合の應力-變位曲線



合成桁に使用した場合の輪形デュベルの力學的性質は試験経過及び結果より見て輪形デュベル壓縮試験に示した傾向に近いものを表はしてゐた。即ち、上下部材間に隙を生ずる様な傾向なく、むしろ上下部材の接觸は密となる傾向を示し、接合部の破壊荷重は引張試験結果より推定したものより大きかつた。

4 時輪形デュベルの許容荷重としては壓縮試験による強度 5,600 kg より 1,866 kg と定め、減込係数は引張試験、壓縮試験の中間値を採用することとした。即ち圖-23 に示す如く、壓縮試験よりの減込係数は 0.355 mm/t、引張試験よりは 0.693 mm/t であるから平均値として 0.524 mm/t を採用した。

圖-23 輪形デュベル(4時)荷重—變位曲線

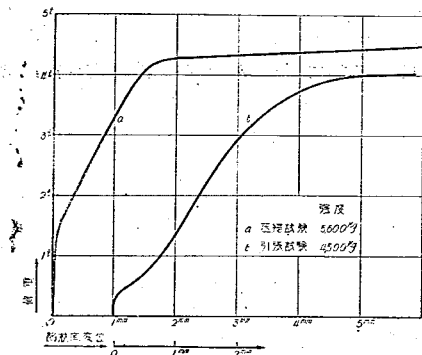
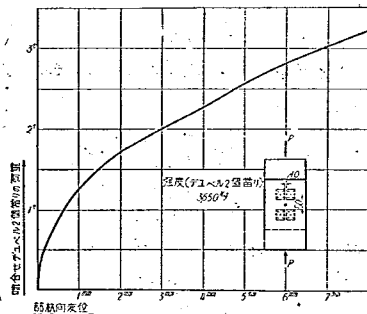


圖-24 噛合せデュベル(2個)の荷重—變位曲線



b. 噛合せデュベル

合成桁の部材幅が 14 cm なるに依りボルト 1 本に對し 4 個づつ圖-24 に示す如き配置を標準とした。噛合せデュベル 2 個當りの荷重—變位曲線は圖-24 に示した。噛合せデュベル 2 個當りの減込係数は 0.63 mm/t であり、その許容荷重は 1,218 kg を單獨の接合試験では示したが噛合せデュベルの接合能力は加工法の良否に左右されるもので合成桁の如く、長區間にわたり多數のデュベルを配置した場合には、部材中に押込むことが上手に行かず、施工上に於てその強度の低下は豫想されたが、試験結果に於て實際の強度は單獨の試験強度の $\frac{2}{3}$ ～ $\frac{1}{2}$ にすらなつた場合があつた。然し荷重の小さい範圍に於ては噛合せデュベルの特長たる部材間の變位僅少の性質を發揮して他の合成工法に比して極めて小さい撓を示したものである。

(2) 合成工法の設計とその安全度

a. 2 層合成桁

2 層合成桁を完全桁と考へ、剪断力 S なる點の桁の中央面に於ける剪断應力を求めば

$$\tau = \frac{3}{2} \frac{S}{bh}$$

$$S = 1 \text{ t 對し}$$

$$\tau = 3.8264 \text{ kg/cm}^2$$

上下部材間にこの剪断應力が生ずるものとして合成工法を設計する。

合成工法の許容荷重を Qa kg、その間隔を l cm とすれば

$$Qa = lb \tau = \frac{3}{2} \frac{bS}{h}$$

$$\therefore S = \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{l} Qa$$

合成桁の中央に P 又は左右支點より等距離に $1/2 P$ が 2 個ある場合は

$$S = \frac{P}{2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{h}{l} Qa$$

$$P = \frac{4}{3} \cdot \frac{h}{l} Qa$$

斯くして、合成工法の許容荷重 Qa とその間隔 l とより、合成桁の許容荷重 Pa を求めたものを表-8 に示す。

b. 3 層合成桁

3 層合成桁を 1 本の完全桁と考へ、3 部材の夫々の接觸面に相當する $\frac{1}{3} h$ なる面に於ける剪断應力を求むれば

$$\tau = \frac{S}{I} \int_{h/6}^{h/2} \frac{y}{b} dA$$

$$= \frac{S}{I} \int_{h/6}^{h/2} y dy$$

$S = 1,000 \text{ kg}$ を桁-8 に應用すれば

$$\tau = \frac{40,404}{14} \text{ kg/cm}^2$$

合成工法の許容荷重を $Qa \text{ kg}$, その間隔を $l \text{ cm}$ とすれば

$$Qa = lb\tau = \int \frac{lbS}{I} \int_{h/6}^{h/2} \frac{y}{b} dA$$

$$P = \frac{QaI}{lb \int_{h/6}^{h/2} \frac{y}{b} dA}$$

表-8 合成桁の許容荷重と破壊強度との關係

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	合成工法種類	合成桁数	合成工法の 間隔 (cm)	合成工法の 許容荷 重 (kg)	合成工法より求めた合 成桁の許容 荷重 (kg)	破壊荷重 (kg)	$\frac{\text{VI}}{\text{V}}$	曲げ應力より求めた合 成桁の許容 荷重 (kg)	$\frac{\text{VI}}{\text{VIII}}$
試験桁-1	木 栓	2 層	30	1,680	2,090	6,474	3.10	2,026	3.20
試験桁-2	木 栓	2 層	25	1,400	2,090	8,963	4.29	3,903	2.30
試験桁-3	吻合デュベル	2 層	25	2,432	3,632	7,036	1.94	2,026	3.47
試験桁-4	吻合デュベル	2 層	40	3,648	3,405	6,848	2.01	2,026	3.38
試験桁-5	輪形デュベル	2 層	30	1,866	2,322	7,471	3.22	2,026	3.69
試験桁-6	輪形デュベル	2 層	40	1,866	1,741	5,724	3.29	2,026	2.83
試験桁-7	輪形デュベル	2 層	30	1,866	2,322	6,848	2.95	2,026	3.38
試験桁-8	輪形デュベル	3 層	30	1,866	3,079	6,848	2.22	1,960	3.45

斯くして、合成工法の許容荷重 Qa とその間隔 l とより求めた合成桁の許容荷重 Pa は表-8 に示す。

合成工法の許容荷重とその配置より求めた合成桁の許容荷重を試験結果よりの合成桁強度とを比較すれば VII 列に示す如き數字となる。即ち 3 以下を示したものに桁-3、桁-4、桁-8、及び 3 より僅かに低い桁-7 がある。之の結果を断面の大きさによる曲げ應力より求めた合成桁の許容荷重と比較して見る。

今便宜上合成桁の斷面の設計を次の式に依つて行ふものとする。

2 層合成桁に對し

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_2}$$

3 層合成桁に對し

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_3}$$

$$Z_2 = 0.8 W_2$$

$$Z_3 = 0.6 W_3$$

M : 曲げモーメント

W_2, W_3 : 2 層又は 3 層合成桁を 1 本の完全桁と見做した場合の斷面係數

この式に依つて求めた許容曲げ應力 $= 90 \text{ kg/cm}^2$ とした場合の各合成桁の許容荷重を VIII 列に示す。これと破壊荷重と比較した値を IX 列に示した。この場合の比が 3 以下であるものは桁-2 及び桁-7 であつた。

以上の結果を綜合すれば各試験桁に對し次のことが要約される。

- 1). 木栓と輪形デュベルとの合成能力は單獨の接合部試験の結果の値を使用して充分に安全であつた。然し聯合セデュベルは合成桁に使用した場合は單獨の接合試験の結果より弱いものであつた。
- 2). 合成工法の耐荷能力が充分に餘裕ある場合でも曲げ應力が克復されるか。逆に曲げ應力に餘裕があつても合成工法の耐荷能力が不足すれば合成桁の耐荷力は克復される。
- 3). 合成工法は合成桁を完全桁と考へた場合接觸面に作用する剪斷應力に對し、配置することに依り合成桁の斷面は完全桁の斷面係數に對し 2 層合成桁は 0.8, 3 層合成桁は 0.6 を乗じたものを使用することに依り、設計して充分安全であつた。

(3) 合成工法の選擇とその比較

本試験に於て使用した合成工法としては木栓、輪形デュベル、聯合セデュベルの 3 種にすぎなかつたが、木材接合工法の代表的なものを選んだものであり、これらの試験結果より合成工法の具備すべき性質を要約すれば次の如し。

a. 施工の難易及び均一性

施工が簡單で施工結果が均一性を示すものが望ましい。木栓接合は施工が完全に行はれた場合には本試験に於ける結果より良いものを得られる豫想もなし得るが、時に依つては耐荷力の低下もあるから過信するは危険である。

聯合セデュベルは單獨の接合試験の結果を合成桁に於て示し得なかつた。之は合成桁全般にわたり、一度に而も一様に部材を押附けて上下部材を密着することが不能の爲であつた。これは桁-3 と桁-4 とを比較し、桁-3 の方が桁-4 より多數の聯合セデュベルを配置し、ボルトの数も多いにも拘らず桁-4 よりも桁の撓が大きかつたことは施工の良否が關係するところ大であることを示してゐる。

輪形デュベルはデュベル穿溝器を使用すれば施工の均一性は保たれ、相當の耐荷力を示すものである。

b. 荷重に依る變位の僅少

荷重が掛つた場合に直ちに合成工法が作用することが必要である。合成桁の撓の大小は部材間の相互の變位に左右されるものであり、如何に強度が大きくとも、その強度に達する迄に部材間變位が大ききものではその強度

に至る前に桁の破壊が行はれるのである。

木栓はこの點に於て施工の良否が關係するが、木栓が一度接觸すれば支壓面積が大きいから（波込係数は小さいから）合成桁の撓は少いが、桁—1 の如く木栓の支壓應力が克復されるとは思はれない荷重で、部材相互間の變位及び撓が急に増加し出したのは、木栓の内で作用が充分でないものも存在することを示してゐる。

囀合せデュベルは荷重—變位曲線の性質として荷重の小さい間は非常に強力で變位がほとんどないから、合成桁に於ても荷重の小さい範圍では撓及び部材相互間の變位は非常に小さかつた。殊に桁—4 に於ては比較的施工が上手に行はれた爲に合成桁としては良性質を示した。

輪形デュベルは壓縮試験の場合には部材間變位は徐々に増加し、引張試験の場合には 500 kg 程度の荷重で一旦部材間變位が増加して再び一定の波込係数を示す様になる。この關係は圖—22 を見れば分るところである。實際の合成桁に輪形デュベルを用いた場合は壓縮試験結果に近いものであり、合成桁の撓は荷重の小さい間に少し大きい、輪形デュベルが密着すれば直線的の傾向を示すに至り、施工上のずれに依る悪影響は見られなかつた。

以上によりこの初期の性質は囀合せデュベルが最良、輪形デュベル木栓は似たものであるが木栓の方は加工の良否が關係して来る。

c. 荷重が増加しても變位の急激なる増加を起さないもの

木栓は初期の荷重を過ぎると荷重—變位曲線は一定の傾をなし、桁—1 の木栓に於ては 2,900 kg 程度迄は直線的であり、之の荷重を過ぎると急激に變位を増加する。この事は桁の撓の方にも現はれて来る。

囀合せデュベルは荷重が増加すると變位の増加割合が著しくなる。この事は部材相互間變位に於ても現はれてゐる。囀合せデュベルは最高荷重に達する迄には 10 mm 以上の部材間變位を必要とする。然し斯くの如く部材間變位が増加した場合には合成桁としての作用は失はれてゐる。終極の強度が如何に大きくとも合成桁として利用し得ない變位に於て現はれるのでは無駄となる。この點より考へて囀合せデュベルの合成桁設計上に必要なる許容荷重は接合部の許容荷重と異なり、利用し得る範圍に於て定むべきであり、この點から見て前記に示した囀合せデュベル 2 個當りの許容荷重 1,218 kg は終極の強度より定めたものであるから訂正されねばならぬ。依つて上の $\frac{2}{3}$ を適正値と考へる。

輪形デュベルは初期の荷重に於て多少の不規則性を示すが此の小さい不規則變位は直ちに止まり、輪形デュベルが部材と密着すれば荷重と變位との關係は直線的となり、之の關係は木栓又は囀合せデュベルよりも永續する。即ち 4 吋輪形デュベルの壓縮試験に於ては 4.2 t 迄続き、その時の變位は 1.63 mm にすぎず、引張試験では 3.5 t 迄でその時の變位は 2.63 mm である。更に單に接合部の強度のみの點より見れば、この直線的關係が克復すると接合部の破壊現象は急激に生じて危険であると思はれるが、合成桁にあつては接合部の破壊より桁自身の破壊が先に行はれるから、この點に對する考察も自から異つて来る。

この點より見て合成桁の輪形デュベルの耐荷能力の利用は良く行はれ、桁中央の撓及び部材相互間の變位は破壊荷重に至る迄はほぼ直線的である理由となる。

以上の 3 點よりの比較の結果は輪形デュベル工法が合成桁用として最良であり、次に木栓工法であり、意外に悪い結果を示したのは囀合せデュベルであつた。

V. 結 語

1. 木栓を使用する場合の木栓 1 個の許容荷重は木栓の支壓面積に 80 kg/cm^2 を乗じたものを使用したのが試

験の結果より見ても之が合理的であることを立證した。

輻合せデュベルを使用する場合の輻合せデュベル 2 個當りの許容荷重は接合部に關する試験結果より 1,216 kg と定めたが、合成桁の強度試験結果より逆に求むれば約 $\frac{2}{3}$ 即ち 810 kg となつた。

輪形デュベルを使用する場合の輪形デュベル 1 個當りの許容荷重は接合部に關する壓縮試験強度の $\frac{1}{3}$ と定めて、合成桁の強度試験結果より見て適當なることが明かとなつた。即 4 吋輪形デュベル 1,866 kg, 5 吋輪形デュベルは 2,300 kg が合成桁に使用した輪形デュベルの許容荷重である。

2. 合成工法の配置は完全桁と見做した場合に生ずべき剪断應力に對して、上に示した合成工法の許容荷重を超過しない様にすべきである。

合成工法に實際に作用する剪断應力は完全桁と考へた場合に比して小さいものであるが、試験結果に照して完全桁の場合に生ずる剪断應力に對して合成工法の設計をするにあらざれば危険なりと云はねばならぬ。即ち桁—3 は完全桁の剪断應力を考慮した時に於てのみ、破壊荷重の小さかつたことが納得される。

3. 合成工法を完全桁の剪断應力に對して設計した場合の合成工法より求めた合成桁の許容荷重は表—8 の V 列に、最大曲げ應力より求めた合成桁の許容荷重は同じ表—8 の VII 列に示したが、破壊荷重は 2 つの許容荷重の小さい方に支配されてゐた。即ちこの 2 つの許容荷重は同じになる様に合成工法の配置と部材の断面とを決定すべきである。

但し最大曲げ應力を決定する場合の合成桁としての断面係数 IV_0 は合成桁を完全桁と見做した場合の断面係数 IV に對し、次の如くし得ることが試験の結果より明かとなつた。

2 層合成桁の場合 $IV_0 = 0.8 IV$

3 層合成桁の場合 $IV_0 = 0.6 IV$

4. 合成桁の許容荷重附近に於ては荷重—撓曲線は直線的であり、合成桁の見掛けの弾性係数は輻合せデュベルが最も大きく僅かの差で木枠が次位で、輪形デュベルは最も小さかつた。

然し木枠及び輻合せデュベルを用いた合成桁の見掛けの弾性係数は間もなく急激に減少するに反し、輪形デュベルの場合は一定の弾性係数が永續する。

5. 龜裂は先づ下側部材の繊維に沿ふた水平のものが現はれる。この時の計算上の剪断應力は 2 部材合成桁では 10,320 ~ 13,632 kg/cm², 3 部材合成桁では 7,764 kg/cm² であつた。若し上下部材共に同じ程度に荷重を負擔するならば上側部材に先に水平龜裂の入る機會が同じと考へられるが、上側部材に先に龜裂したものはなかつた。之は荷重の分擔が下側部材の方に大きいことに依つて説明される。

6. 應力の分布の計算に依れば龜裂荷重時の最大曲げ應力は剪断力の影響の大きかつた桁—2 ののぞけば 294~416 kg/cm² (表—7 参照) であつた。桁—8 の 294 kg/cm² は 3 層合成桁であり下部材に行く程、荷重分擔割合が大きくなることを合せ考へれば、3 部材ともに同じ荷重分擔割合と假定した上の値に對して、實際の下側部材の縁應力は 350 kg/cm² に至つてゐたと思ふ。依つて龜裂荷重より少し高い荷重に至つて大音を發して引張破壊するに至つたのである。

7. 破壊した時の合成桁の縁應力は完全桁と見做した場合の計算に依れば、最高は桁—5 の 265.5 kg/cm², 最低は桁—8 (3層合成桁) の 188.6 kg/cm² で豫想した値より小さいものであつたが、合成桁の許容曲げ縁應力を 2 層合成桁に對し 64 kg/cm², 3 層合成桁に對し 48 kg/cm² は充分取りうるものである。

8. 上下部材相互間の變位は豫想したより小さく、又應力分布の計算値より求めたものより遙かに小さかつた。

之はダイヤル・ゲージで測定したのでは厳密に接界面の變位を表はさないことにも依るが、下側部材が大なる割合の荷重を分擔した爲と考へられる。

9. 可動端の水平移動は豫想よりも大きかつたのは同じく下側部材が大なる割合の荷重を分擔したと考へて解決せねばならぬ。

10. 龜裂の進行は下方の部材に於て發達した。即ち2層合成桁に於ては上側部材の繊維の引張破壊したものは桁—2 及び桁—6 で、他は大丈夫であつた。この點に於ても下側部材は大なる割合の荷重を分擔したと云はねばならぬ。即ち、合成桁に於ては下側部材の材質をよく選ぶことが賢明である。

11. 施工が均一に出来、強度が一樣である點に於ては輪形デュベルが第1であり、大工が熟練してゐれば、木栓も相當に信用を置けるものである。啗合せデュベルは豫想に反して合成桁には良成績を得られなかつた。之は施工の良否に支配され、合成工法の少い桁—4 が桁—3 より捷その他に於て良性質を示したことに依つても分る。啗合せデュベルは桁全體を一樣に押附ける困難さを克復せねば合成桁への利用の範圍は小さいと云はねばならぬ。

12. 矩形木栓を使用する場合、木栓の長さとかさの比は 2.0—2.5 を適當とする。即ち比 2.0 以下の正方形に近い木栓は廻轉モーメントに依り桁材中に減込み轉倒を起す恐れがある。

13. 合成桁の使用鐵材はボルトの數により左右される。桁—7 は、桁—5 に比してボルトの間隔を2倍にしてあるのみである。荷重に依る兩合成桁の性質には何等の差なく、破壊荷重が少し低かつただけである。この結果より合成桁に於ては引張接合等と異なり、載荷に依り部材が離れ様とする傾は全くなく、密着し様とする傾向を多分に持つので、引張接合の場合に生ずるボルト張力(報告 54 號參照)を半分に見積つても安全であると云ふ結論に至つた。

黄土路床土の固結安定に関する基礎試験及び調査 (第1報)

黄土の工學的性質と黄土セメント混合物の強度に就て

内務技師 福 島 彌 六

序

本試験は、東亞研究所の依頼により同第四調査委員会・内地委員会・第一部の部員として昭和15年より内務省土木試験所に於て試験をなしたものである。

此試験は同第一部會（黄土の材料學的研究）研究項目（ハ）「黄土の路面安定法に関する研究」に屬し、北支黄土路床土の基本的性質を明にし之に現地に求められる道路材料を利用し黄土の固結安定に関する試験及び調査を行ひその安定法に就て基礎的實驗資料を得んとするものである。

試験は目下繼續遂行中にして結果はすべて續報にて逐次報告する豫定である。

目 次

I. 緒 言	(1)
II. 黄土試料に就て	(3)
〔1〕 試料黄土	(3)
〔2〕 黄土の基本的性質に就て	(3)
1. 試験項目	(3)
2. 試験結果	(3)
3. 結果の要約	(8)
III. 黄土の乾燥による含水量と壓縮強さに就て	(9)
〔1〕 試験及其結果	(9)
〔2〕 結果の要約	(13)
IV. 黄土のセメント混合物の壓縮強さに就て	(14)
〔1〕 試験法	(14)
〔2〕 試験結果	(14)
〔3〕 結果の要約	(30)
附 録	(32)

I. 緒 言

北支黄土地帯に於ける道路舗装は、北支黄土委員会（建設總署公路局）の調査に依ると、道路は次の3大條件に支配されてをりこの點は内地とは非常に趣を異にしてゐる。即ち、

1. 北支の道路は砂利又は碎石類にて長年月間充分に搗固めて安定したる路面に非ずして、黄土の固結せるもの又は黄土に少許の砂利を混じた程度のものである。

2. 現地の舗装材料としては、砂、砂利、碎石類は一局地に限られ、一般に廣くは得難く、又アスファルト類は全部輸入を俟ち入手困難と同時に經濟上使用困難であり、實際上舗装材料としては現地に産する石灰及びセメント類を利用する程度に止る状態である。

3. 現地の氣象としては酷暑・酷暑の度が烈しく又乾燥・高温を繰返し、道路がこの影響を受けること苛酷にして特に凍結融解の影響により損傷を受けること最も甚大である。

此れが対策として、建設總署では昭和13年頃より約2ケ年に亘り北京郊外の八里莊及び大井村に約30種よりなる各種の道路の試験舗装を行ひ、その成績を調査研究して、その結果目下の舗装工事の基準となるべき次の標準設計案を得た。

標準設計案

第1種（地下水位低く軽交通の場合）

表 層……1:1.5:3 コンクリート（厚さ5匁）、又は

1:2:4 コンクリート（ γ 10 γ ）

基 礎……土:セメント混合物（厚さ10匁、輻展充分）

第2種（輕或は重交通の場合）

表 層……1:2:4 コンクリート（厚さ15匁）

基 礎……土:セメント混合物（厚さ10匁、輻展充分）

斯くの如く目下現地の道路安定法としてはその基礎を形成すべき黄土の路床土、又は之にセメント、石灰類を混合した土、セメント混合物に関する研究が主要にして緊急を要する事項となつた。上文に關係せる事項としては「附録参考文献—1」を参照。

吾々の黄土研究の擔當は東亞研究所第4調査委員會第1部會（黄土の材料學的研究）の内、研究項目(へ)なる黄土の路面安定工法に關する事項である。

上述の事情により此の研究としては、北支委員と密接に連絡しその實地試験と並行して室内試験を行ひ、その安定法に關する基礎的實驗資料を得んとしたものである。

その第一の目的として現地に於て採集した黄土路床土につきその基本的性質を検し更に黄土自體或は之にセメント、石灰類を混合したる黄土混合物を壓縮して固結する方法と固結したるもの、性質を試験することとした。

此試験は限られた量の黄土試料につき昭和15年中になせる小規模の室内試験である。

先づ黄土は代表的なる土質2種を選びその基本的性質を検し、次に黄土自體に壓力を加へ固結したるもの、乾燥と強度變化を試験し、更に之にセメントを混じった黄土、セメント混合物の成型壓力、セメント混合量、養生材齢等が強度に及ぼす影響を試験した。

茲に、その結果を纏めて第1報として報告する次第である。

尙この試験により得られたデータは今日この種の試験データに誠に乏しきを以て出来るだけ詳細に表又は圖にて表しその際に思考された事項は要約に附してをいた。最後に此研究に參考となる事項にして同委員會にてなしたる主な研究及び調査は本文の終りに附録として略記した。

附 記

試験は目下繼續遂行中にして其他の試験、就中試料黄土の化學分析、黄土及び黄土・セメント混合物、黄土・石灰混合物（灰土）の性質特に強度、耐水性並に凍結・融解に對する抵抗性等に關しては續報にて逐次報告し、その不備を補ひつゝ進行する豫定である。

II. 黄土試料に就いて

〔1〕 試料黄土

本試験に使用した黄土は下記の2種である。

A. 山西省芹縣の黄土

B. 北京郊外の黄土（主に煉瓦製造用に使用されてゐる黄土）

即ち、A. 山西省芹縣の黄土は福島部員が北支に出張した際北支委員と打合せ建設總署にて採取し送附を受けたる山西省に於ける代表的な黄土である。

B. 北京郊外の黄土は金子部員が北支に出張した際北京の郊外より採取せる黄土にして現在主に煉瓦製造用として使用されてゐる黄土である。

以下黄土試料に就ては、A山西省芹縣の黄土を黄土 L_A、及びB北京郊外の黄土（主に煉瓦用）を黄土 L_B と夫々略記する。

〔2〕 試料黄土の基本的性質に就て

本試験を行ふに先立ち、試料黄土 L_A 及び L_B に就て下記の試験を行ひその基本性質を調べた。尙土壤の機械分析より得たる結果により、試料黄土の他にその他の黄土、〇〇の土壤及び關東ローム等の性質を参考として比較した。試料黄土の試験は山口部員の實驗室にて行ひ、その他の土壤に就ては内務省土木試験所にて行つたものである。

1. 試験項目

試料に就ては次の試験を行つた。

- （1）見掛比重
- （2）眞比重
- （3）含水量
- （4）液性限界、塑性限界
- （5）機械分析

試験方法は主に山口部員の黄土土質試験報告（附録文獻—3 参照）に記載せる方法により、その他は一般の土質試験法に依つて行つた。

2. 試験結果

試験結果は次記の通りである。

表—1 黄土試料（L_A, L_B）の土質試験成績表

表—2 黄土試料（L_A, L_B）の機械分析表

表—3 各種土壤の機械分析表（参考）

圖—1 黄土試料（L_A, L_B）の粒徑加積曲線

圖—2 黄土試料（L_A, L_B）の土質區分

圖—3 北支各種黄土の粒徑加積曲線（参考）

圖—4 〇〇各種土壤の粒徑加積曲線（参考）

圖—5 關東ロームの粒徑加積曲線（参考）

圖—6 各種土壤の土質區分

尙比較の爲めに掲げた○○各種土壌の性質の詳細に就ては、内務省土木試験所報告第47號、各種安定材混和による土壤安定法に關する實驗室試験報告（第1報）を参照せられたい。（附録文献—4 参照）

表—1 黃土試料の土質試験成績表

試 驗 項 目	L _A	L _B	摘 要
	山西省芹縣の土	北 京 郊 外 の 土	
見 掛 比 重	1.389	1.836	
眞 比 重	2.718	2.734	
間 隙 率	50.29%	37.38%	
間 隙 比	1.011	0.596	
含 水 比	0.028	0.073	當實驗室に到着 當時の含水量
含 水 量	2.68%	6.79%	
剪 摩 擦 係 數	—	—	
斷 摩 擦 角	—	—	
試 粘 着 力	—	—	
液 性 限 界	30.6	30.0	
塑 性 限 界	16.1	10.1	
塑 性 係 數	—	—	
安 全 係 數	—	—	

表—2 黃土試料の機械分析表

名 稱	粒 徑 (mm)	篩 殘 留 量 (百分率)	
		L _A	L _B
		山西省芹縣	北 京 郊 外
礫	20~2	1.70	0
細 礫	2~1	0.12	0.02
粗 粒 砂	1~0.5	0.06	0.10
中 粒 砂	0.5~0.25	0.04	0.18
細 粒 砂	0.25~0.1	0.68	0.20
微 粒 砂	0.1~0.05	1.00	0.50
泥	0.05~0.005	78.64	42.52
粘 土	0.005>	17.76	56.48
三角座標法に依る土質區分		泥	泥質粘土

圖—2 黃土試料の土質區分

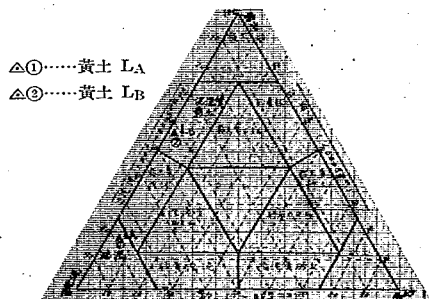


圖 1 黄土試料の粒徑加積曲線

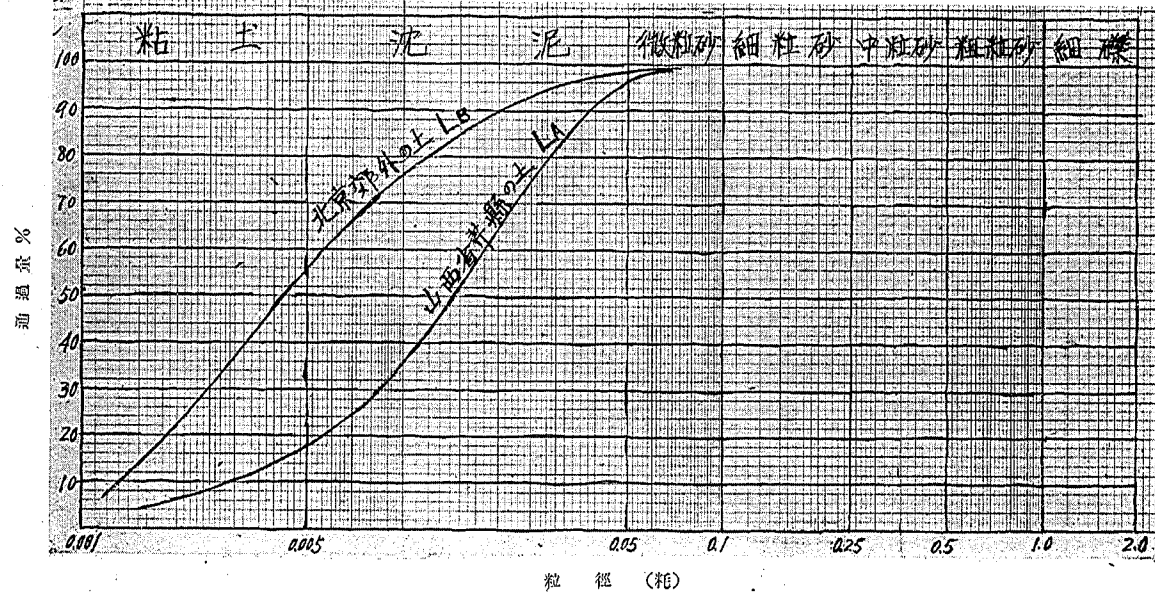


表-3 各種土壌の機械分析表 (参考)

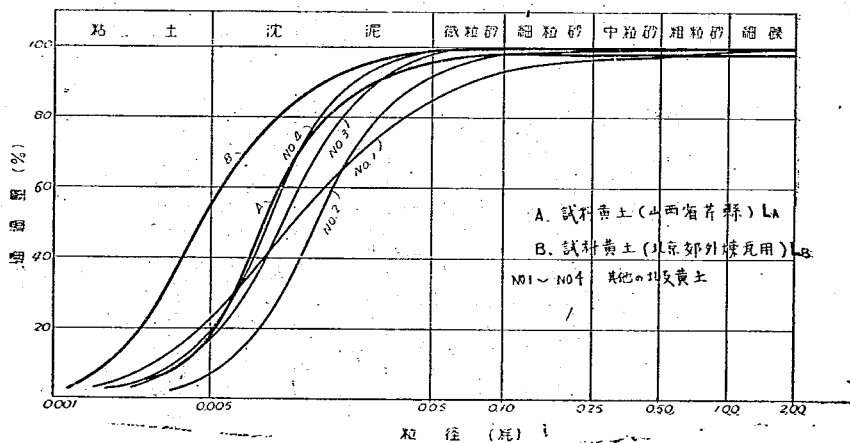
名稱	粒 徑 (mm)	篩 殘 留 量 (百 分 率)													關 東 ローム (備考3)
		北支黃土 (備考1)				〇 〇 〇 〇 地 域 路 床 土 (備考2)									
		1	2	3	4	1(2)	2(3)	3(5)	4(6)	5(7)	6(14)	7(4)	8(5)	9(11)	
礫	20~2	0.64	0.0	0.0	0.0	2.93	0	0.20	0	0	16.20	18.19	0	0.30	0.1
細 礫	2~1	1.04	0.0	0.08	0.0	1.45	0.12	0.25	0.10	0.07	4.18	9.56	0.06	1.08	
粗粒砂	1~0.5	1.06	0.08	0.08	0	2.53	0.14	0.28	0.50	0.17	1.88	6.86	0.50	2.12	0.7
中粒砂	0.5~0.25	1.84	0.12	0.20	0.04	2.97	0.56	0.98	2.29	1.44	1.45	9.23	19.70	25.65	1.9
細粒砂	0.25~0.10	2.76	1.50	0.40	0.36	3.14	1.15	2.30	3.86	6.32	1.34	8.74	47.88	41.71	3.3
微粒砂	0.10~0.05	7.36	6.56	1.44	0.52	2.76	2.54	4.07	4.35	27.92	1.81	5.23	11.29	10.63	4.9
沈 泥	0.05~0.005	61.92	84.74	81.20	79.82	35.74	43.97	41.81	59.34	49.02	41.98	29.95	15.06	10.59	36.9
粘 土	<0.005	23.38	7.00	16.60	19.26	48.57	51.32	50.11	29.56	15.06	31.16	12.24	5.51	7.92	52.2
三角座標 土質區分		沈泥質 ローム	沈泥	沈泥	沈泥	粘土質 ローム	粘土質 ローム	粘土質 ローム	粘土質 ローム	粘土質 ローム	砂・質 ローム	砂土	砂土	粘土質 ローム	

備考 1. 北支黃土 (山口昇氏: 黃土土質試驗報告, 資料丙第 137 號参照)

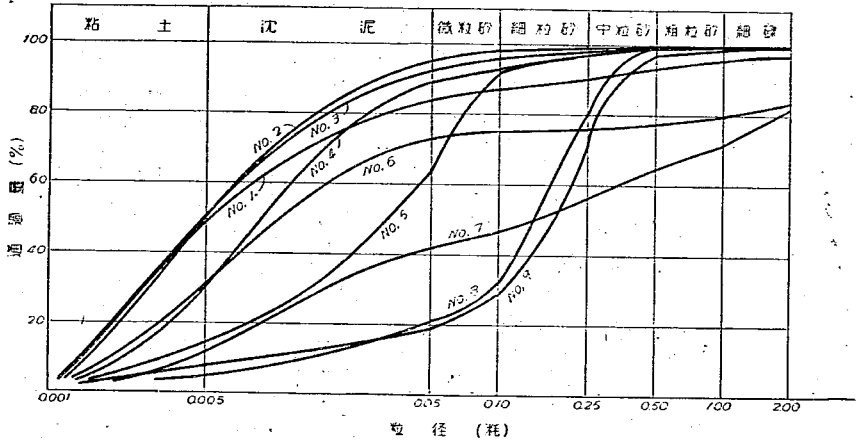
備考 2. 北滿地域の土質 (福島彌六: 内務省土木試験所報告第47號, 各種安定材混和による土壤安定法
に関する試験報告参照)

備考 3. 東京・山手赤土 (内務省土木試験所基礎工試験科にて試験)

圖-3 北支各種黃土の粒徑加積曲線 (参考)



圖—4 ○○土壤の粒徑加積曲線（參考）



圖—5 東京・山手赤土の粒徑加積曲線（參考）

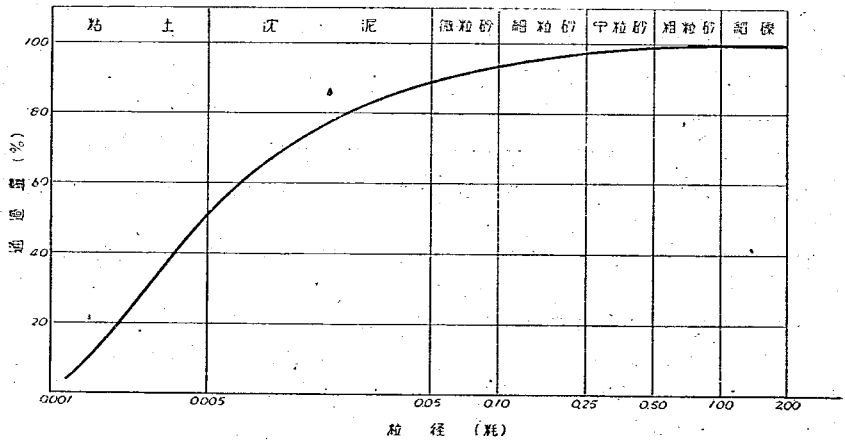
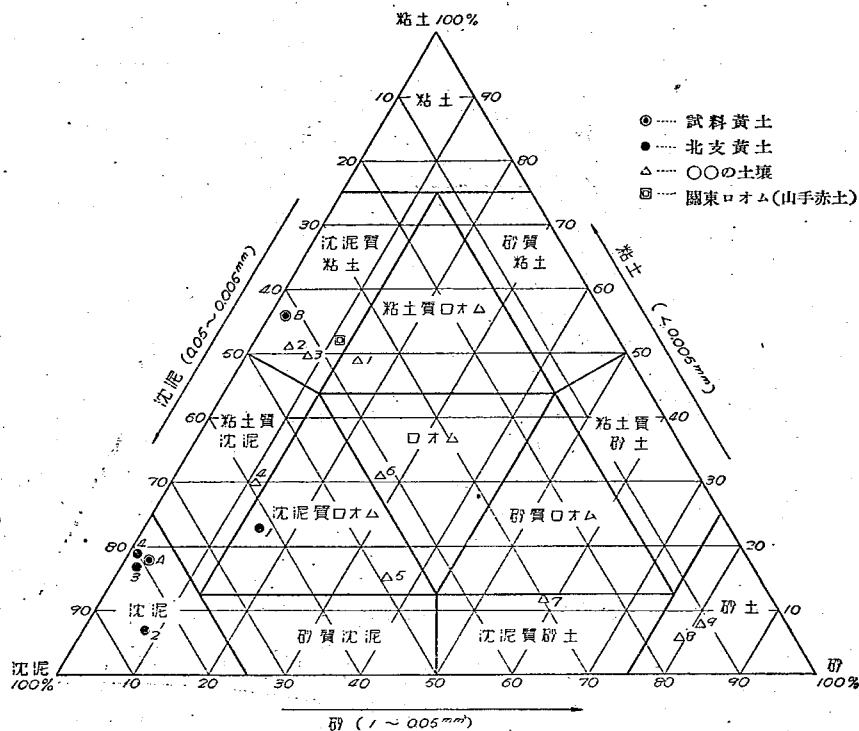


圖-6 各種土壤の土質區分圖



3. 試験結果の要約

試料黄土 LA, LB 2 種に就き、試験結果より主なる基本的性質を述べれば次の通りである。

(1) 黄土 LA 及び LB の外貌に就ては、何れも淡黄褐色の色調を帯びその罐の乾燥状態では多くは塊状をなしてゐる。

之を指にて碎くと黄土 LA は容易に粉末となし得られるが、黄土 LB は固い塊をなし、粘り強く、粉砕に相當なる困難を感じた。

之により黄土 LB は黄土 LA に較べて相當密に結合してゐるものゝ如く觀察された。

(2) 比重に就ては、眞比重は黄土 LA 2.718, 黄土 LB 2.734 にして兩者餘り差は無いが、見掛比重は黄土 LA 1.389, 黄土 LB 1.836 にして可成の相違が認められ、從つて間隙率は夫々 50.29%, 37.38% の相違となり、塊状黄土 LB が可成密に結合してゐることが分つた。

黄土 LA 及び LB の眞比重は一般に黄土以外の土壤の眞比重 (2.4 乃至 2.6) に較べて可成大である。

(3) 自然乾燥の状態にあるその罐の試料黄土の含水量 (試料を 105°C に恒量になるまで乾燥して測つた) は黄土 LA 2.68%, 黄土 LB 6.79% にして自然状態に於ける普通の黄土の含水量約 2~3% なるに較べて黄土

L_B は遙に含水量が大である。

上記の事項より黄土 L_B は可成特殊の黄土質の土壌にして、組織は密にして相當粘土分に富るものなりと考へられた。

(4) 黄土 L_A 及び L_B の機械分析結果 (表-2, 圖-1, 圖-2参照) は、粘土分に就いて黄土 L_A は 17.76 %なるに對し、黄土 L_B は實に 56.48% である。

沈泥分は夫々 78.64%, 42.52% にして粘土と共に大部分を占め、その他は僅の砂分よりなる。更に之を土質區分より見ると、黄土 L_A は普通の黄土と同じく沈泥に位してゐるが、黄土 L_B は沈泥質粘土に位してゐる、

従つて、黄土 L_B は特殊の黄土むしろ黄土に冲積土の混じつたものと見做すべきものにして半分以上粘土分よりなる沈泥質粘土なることが判つた。

(5) 試料黄土 L_A, L_B をその他の北支黄土, ○○の土壌及び關東ロオムと機械分析結果を参照比較して見る。(表-3, 圖-3~圖-6参照)

黄土 L_A は、他の北支黄土と同様に沈泥の範圍に屬するが、黄土 L_B は或る關東ロオム (山手赤土) 又は或る○○土壌と同様に粘土の範圍に屬してをりそれら相互の區分が明かとなつた。

以上物理的試験の他に、試料黄土 L_A, L_B 及び之より分取した粘土分に就て今後化學分析を行ふ豫定である。

III. 試料黄土の乾燥による含水量と壓縮強さに就いて

黄土にセメント又は石灰を混じたるセメント・モルタル及び石灰モルタル (灰土) の性質を試験するに先だち、2種の黄土試料に水のみを混合し之を壓縮し成型をなし而して乾燥したる後其含水量と強度との關係を試験した。

(1) 試験法及び結果

黄土試料を空氣加熱器内に入れて之を恒量に達するまで充分に乾燥し、其乾燥黄土に對して、之を型に詰め成型をなし得る適量の水を加へ良く混合して型に詰め一定の成型壓力を加へ成型して供試體を作つた。

供試體は脱型後重量を秤り直に恒溫空氣加熱爐 (60°C) 中に入れ乾燥し途中その乾燥狀態に應じて供試體を取り出し重量を秤り、然る後壓縮試験機にて壓縮強さを測定した。

供試體の大きさは 2×3cm の小型モールドを用ひ、各1回の測定には供試體 6個或は 10個を1組となし之より平均値を求め又其最高及び最低値を記録した。

水分含有量は乾燥の前後に於ける重量を秤つて求め、乾燥黄土試料に對する百分率にて表した。

成型壓力は比較的密にして安定なる供試體を得る爲め先ず 15kg/cm² 及び 30kg/cm² となし、此二系統に就いて試験した。

此試験結果は次記の通りである。

表-4(1), (2) 黄土 (L_A, L_B) の含水量と壓縮強さ (成型壓力 15kg/cm²)

表-5(1), (2) 黄土 (L_A, L_B) の含水量と壓縮強さ (成型壓力 30kg/cm²)

圖-7 黄土 (L_A, L_B) の含水量と壓縮強さとの關係 (成型壓力 15kg/cm²)

表-8 黄土 (L_A, L_B) の含水量と壓縮強さとの關係 (成型壓力 30kg/cm²)

圖は縦軸に供試體の壓縮強さ、横軸に水分含有量を採り、又圖中○印は黄土 L_A, △印に黄土 L_B の平均強度値を表し、縦の實線は最高値最低値の範圍を表したものである。

(1)A 表-4(1) 黄土の含水量と壓縮強さ (黄土 L_A , 成型壓力 15kg/cm²)

試 験 番號	測定値	水分含有量	壓縮強さ	備 考
		W%	σ kg/cm ²	
1	平均 範圍	6.5 16.0~17.0	—* 強度測定不可能	1. 山西省芹縣黄土 L_A (略號)
2	"	12.0 11.0~13.0	5.8 4.5~7.8	2. 成型濕含水量 W_i $W_i=18\%$ (乾燥黄土試料に對して)
3	"	10.0 9.0~11.0	6.4 4.9~7.6	3. 成型壓力 σ_i $\sigma_i=15\text{kg/cm}^2$
4	"	5.1 4.0~8.2	11.3 9.9~12.5	4. 空氣乾燥器中 (60°C) にて加熱乾燥
5	"	3.5 3.0~5.2	12.8 11.0~13.5	5. 昭和15年7月~8月夏期
6	"	3.4 2.8~4.0	12.1 9.5~13.0	
7	"	2.0 1.4~2.5	13.8 13.0~15.0	
8	"	1.7 1.4~2.1	14.5 14.0~16.0	
9	"	1.3 1.0~1.4	16.5 16.0~19.0	
10	"	0.8 0.5~1.4	16.0 15.0~19.0	

(1)B 表-4(2) 黄土の含水量と壓縮強さ (黄土 L_B , 成型壓力 15kg/cm²)

試 験 番號	測定値	水分含有量	壓縮強さ	備 考
		W%	σ kg/cm ²	
1	平均 範圍	16.8 16.7~16.9	—* 強度測定不可能	1. 北京郊外の路床土 L_B
2	"	15.5 14.5~16.0	6.0 5.7~6.3	2. 成型濕含水量 W_i $W_i=18\%$ (乳燥黄土試料に對して)
3	"	13.5 12.2~14.5	11. 9.5~3.0	3. 成型壓力 σ_i $\sigma_i=15\text{kg/cm}^2$
4	"	11.7 9.9~13.1	6.1 14.5~19.0	4. 空氣乾燥器中 (60°C) にて加熱
5	"	10.3 9.9~11.2	17.3 16.0~18.0	5. 昭和15年7月~8月夏期
6	"	8.8 7.4~10.0	18.3 17.0~21.0	
7	"	4.3 4.0~4.5	28.5 26.0~32.0	
8	"	2.5 2.2~2.8	36.4 35.0~37.0	

9	〃	2.0	37.7
	〃	1.5~2.3	35.0~42.0
10	〃	1.5	38.5
	〃	0.8~2.1	32.0~43.0

(2)A 表-5(1) 黄土の含水量と壓縮強さ (黄土 L_A , 成型壓力 30kg/cm²)

試 験		水分含有量	壓縮強さ	備 考
番號	測定値	W%	σ kg/cm ²	
1	平均 範圍	8.5 8.0~9.2	16.8 16.2~18.0	1. 山西省芹縣黄土 L_A (略號) 2. 成型混和水量 W_i $W_i=18\%$ (乾燥黄土試料に對して) 3. 成型壓力 σ_i $\sigma_i=30\text{kg/cm}^2$ 4. 空氣乾燥器中 (60°C) は加熱乾燥 5. 昭和15年7~8月夏期試験
2	〃 〃	5.4 4.2~7.0	18.0 17.5~19.5	
3	〃 〃	3.8 3.0~4.6	23.7 19.1~25.3	
4	〃 〃	2.7 2.1~4.1	24.5 22.3~25.6	
5	〃 〃	2.4 1.8~2.8	26.6 25.5~28.0	
6	〃 〃	2.0 1.8~2.4	30.8 28.7~34.0	
7	〃 〃	1.5 1.2~2.2	33.5 29.3~35.1	
8	〃 〃	1.1 0.8~0.4	28.8 26.1~31.9	

(2)B 表-5(2) 黄土の含水量と壓縮強さ (黄土 L_B , 成型壓力30kg/cm²)

試 験		水分含有量	壓縮強さ	備 考
番號	測定値	W%	σ kg/cm ²	
1	平均 範圍	7.5 7.0~8.1	37.0 32.2~38.5	1. 北京郊外煉瓦用黄土 L_B (略號) 2. 成型混和水量 W_i $W_i=18\%$ (乾燥黄土試料に對して) 3. 成型壓力 σ_i $\sigma_i=30\text{kg/cm}^2$ 4. 空氣乾燥器中 (60°C) にて加熱乾燥 5. 昭和15年7~8月夏期試験
2	〃 〃	6.8 5.3~6.9	37.5 32.0~48.2	
3	〃 〃	3.5 3.2~4.5	49.5 45.1~51.6	
4	〃 〃	3.0 2.6~3.7	50.9 47.5~54.4	
5	〃 〃	2.9 2.0~3.8	50.3 47.8~55.6	
6	〃 〃	2.2 1.5~2.5	53.8 52.2~58.0	
7	〃 〃	1.4 1.3~1.9	65.4 63.7~76.4	
8	〃 〃	0.8 0.7~1.4	64.4 58.0~65.0	

圖-7 黄土の含水量と壓縮強さ

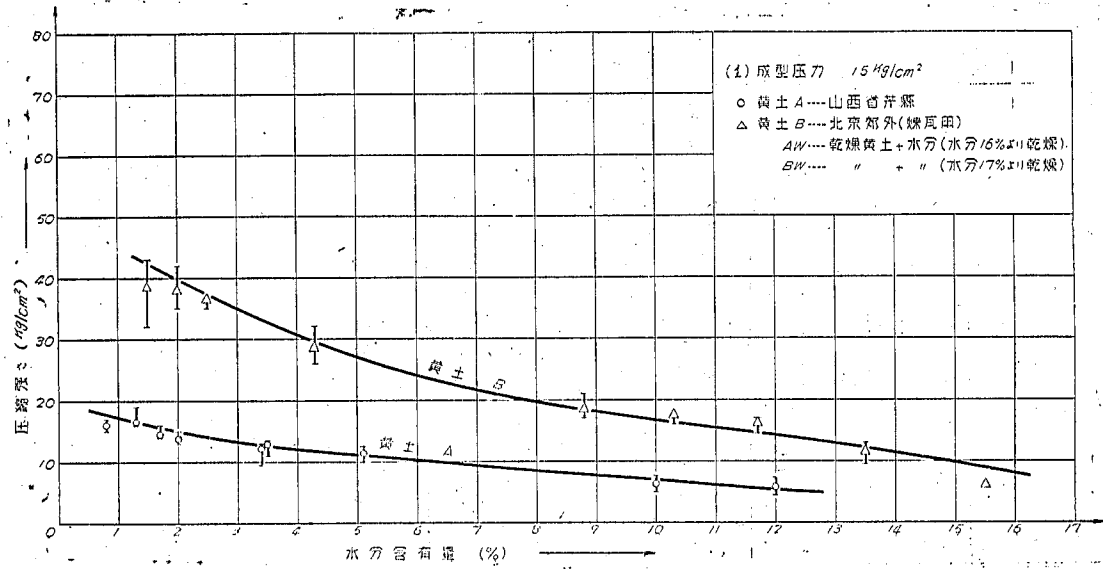
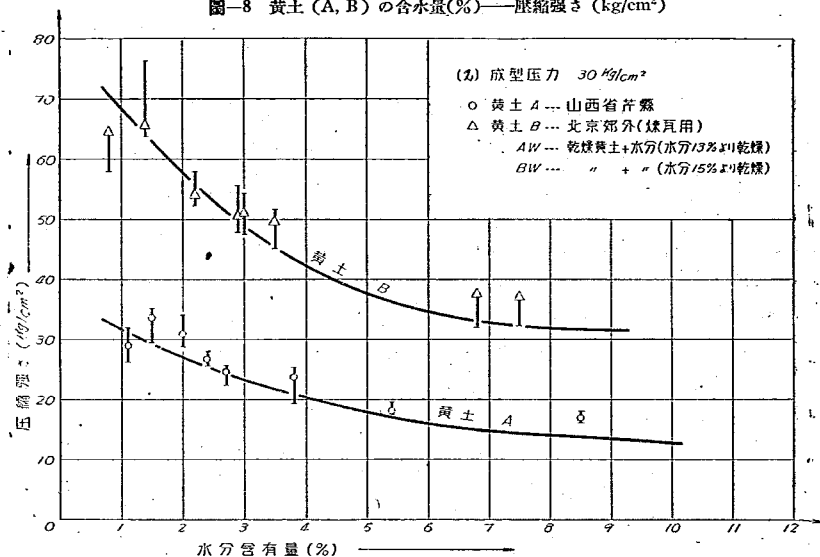


図-8 黄土 (A, B) の含水量(%)—壓縮強さ (kg/cm²)



〔2〕 試験結果の要約

(1) 黄土供試體は其儘乾燥が進むに従ひ壓縮強さが漸進的に増加し、絶對の乾燥状態になるに従ひ最大値に近づいてくる。

(2) 同一條件の試験に於て、黄土の種類により強度の相違が著しく認められ、「沈泥質粘土」なる黄土 LB は、「沈泥」なる黄土 LA より常に高强度を來した。

(3) 供試體の成型時の壓力は其壓縮強さに影響を及ぼし、例へば成型壓力 15kg/cm² より 30kg/cm² となるに従ひ強度も著しく増加す。

(4) 成型壓力 15kg/cm² の場合には、黄土 LA はその自然乾燥状態の含水量 2~3% にては壓縮強さが 15kg/cm² の程度であるが、乾燥が進むに従ひ強度も幾分増加し 20kg/cm² に近づく。

黄土 LB は自然乾燥状態では含水量 6~7% にして、その壓縮強さ 20~25kg/cm² であるが、絶對の乾燥状態に近づくに従ひ増進し強度 40kg/cm² に達す。

成型壓力 30kg/cm² の場合には、

黄土 LA の含水量 2~3% にて強度 25kg/cm² 程度なるも絶對乾燥に近づくに従ひ強度 30kg/cm² 以上となる。

黄土 LB は含水量 6~7% にて強度 30~40kg/cm² なるも乾燥が進むと共に増進し絶對の乾燥状態に近づくに従ひ強度實に 70kg/cm² に達す。

一般に此黄土に就ては乾燥が進むに従ひ壓縮強さは常に漸増する傾向が明に認められた。

(5) 黄土 LA は含水量 18%以上、黄土 LB は含水量 18%以上を夫々超へる時は急に粘質の糊状となり、其儘では成型し得ざる状態になるを認めた。

要するに黄土は乾燥が進むに従ひ並行して強度が増加する、此點は他の土質と異なる所にして黄土の一特質とも考へられるものであらう。

IV. 黄土・セメント混合物の壓縮強さに就いて

茲に述べた通り現地の黄土地帯に於ける路面安定法としては、路床土なる黄土に直接セメント類を混合し之を安定する施工法が屢々行はれる方法である。

本章に於ては黄土・セメント混合物の供試體を作り之れが養生と強度との關係を試験したものに於て、成るべく實際現地にて行はれてゐる方法に準ずる條件にて室内試験をした。

即ち、試料黄土にセメントと水とを良く混合して黄土・セメント混合物を作り型に詰めて一定の壓力にて成型して供試體を作り、之を養生して各材齢の強度を測定し、黄土・セメント混合物の材齢と強度並に成型壓力の關係とを求め現地のセメントによる黄土路盤の安定法の參考資料となしたものである。

(1) 試験法

試料黄土 LA(沈泥質)及び LB(沈泥質粘土)を用ひ之にセメントを夫々 0%(黄土のみ)、5%、10%、15%、20%を混じ一定の水量を加へ均等に混合したる後、型に詰め各々に成型壓力 5kg/cm²、10kg/cm²、15kg/cm²、20kg/cm²を加へて成型して各供試體を製作した。

セメントは淺野社普通ポルトランド・セメント(日本標準規格合格品)を用ひ、水量は黄土 LAに 15~18%、黄土 LBに 18~25%を基準となし、セメント量及び水量は總て乾燥黄土に對する重量百分率を以て表した。供試體の大きさは 2×3cm の小型モールドを用ひ此試験に供した供試體の全體の數は約 1,500 個である。

供試體は製作後直に 7 日間濕氣箱中に入れて濕空状態にて養生をなし、後此箱より取出し試験室内の空氣乾燥状態にて 28 日迄養生し、此期間 1/2 日、1 日、3 日、7 日、14 日、28 日の材齢に於て各供試體の含水量と壓縮強さとを測定した。

測定は各供試體 6 個、或は 8 個に就て行ひ其平均値と最高値~最低値の範圍とを求めた。

(2) 試験結果

結果は總て表又は圖にて表し下記の通りである。

(1) 養生材齢と又はセメント混合量と壓縮強さとの關係

A. 黄土自體の供試體(セメント混合量 0%)

成型壓力 5~20kg/cm²

表-6(1), 圖-9(1) 黄土 LA 供試體の材齢と壓縮強さ

表-6(2), 圖-9(2) 黄土 LB 供試體の材齢と壓縮強さ

B. 黄土・セメント混合物(5~20%)の供試體

成型壓力 5 kg/cm²

表-7(1), 圖-10(1) 黄土 LA・セメント混合物のセメント量と壓縮強さ

表-7(2), 圖-10(2) 黄土 LB・セメント混合物のセメント量と壓縮強さ

成型壓力 10kg/cm²

表-8(1), 圖-11(1) 黄土 LA・セメント混合物のセメント量と壓縮強さ

表-8(2), 圖-11(2) 黄土 LB・セメント混合物のセメント量と壓縮強さ

成型壓力 15kg/cm²

表-9(1), 圖-12(1) 黄土 LA・セメント混合物のセメント量と壓縮強さ

表-9(2), 圖-12(2) 黄土 LB・セメント混合物のセメント量と壓縮強さ

 成型壓力 30kg/cm²

表-10(1), 圖-13(1) 黄土 LA・セメント混合物のセメント量と壓縮強さ

表-10(2), 圖-13(2) 黄土 LB・セメント混合物のセメント量と壓縮強さ

(2) 成型壓力と強度との關係

之は前記の表-7(1)~表-10(2) に表した試験結果を基として、黄土・セメントの 5%, 10%, 15%, 20% の
 各々混合物に就て供試體の成型壓力と壓縮強さとの關係を見る爲めに參考として掲げた試験成績である。

黄土・セメント (5%) 混合物

圖-14(1) 黄土 LA・セメント混合物 (5%) の成型壓力と壓縮強さ

圖-14(2) 黄土 LB・セメント混合物 (5%) の成型壓力と壓縮強さ

黄土・セメント (10%) 混合物

圖-15(1) 黄土 LA・セメント混合物 (10%) の成型壓力と壓縮強さ

圖-15(2) 黄土 LB・セメント混合物 (10%) の成型壓力と壓縮強さ

黄土・セメント (15%) 混合物

圖-16(1) 黄土 LA・セメント混合物 (15%) の成型壓力と壓縮強さ

圖-16(2) 黄土 LB・セメント混合物 (15%) の成型壓力と壓縮強さ

黄土・セメント (20%) 混合物

圖-17(1) 黄土 LA・セメント混合物 (20%) の成型壓力と壓縮強さ

圖-17(2) 黄土 LB・セメント混合物 (20%) の成型壓力と壓縮強さ

表-11 黄土及び黄土セメント混合物の強度試験結果の總括表

 表-6(1) 黄土 LA 供試體の材齢と壓縮強さ (成型壓力 5~30kg/cm², 水量 15%)

材 齡	セメント混合量 0%		セメント 0 %		セメント 0 %		セメント 0 %		
	成型 壓力	5kg/cm ² , 水量 0%	" 10kg/cm ² , " 10%		" 15kg/cm ² , " 15%		" 30kg/cm ² , " 15%		
	We%	σ kg/cm ²	We%	σ kg/cm ²	We%	σ kg/cm ²	We%	σ kg/cm ²	
12 時	平均値	13.9	0.8	14.4	1.2	14.4	1.5	14.5	2.2
	範 圍	13.6~14.2	0.8	13.8~14.7	1.0~1.4	14.3~14.5	1.4~1.5	14.3~14.6	2.2
1 日	"	14.0	0.8	15.0	1.1	15.0	1.3	14.5	2.1
	"	13.8~14.3	0.8~0.9	14.9~15.2	1.1	14.2~15.1	1.3	14.4~14.5	1.8~3.3
3 日	"	14.2	0.9	14.9	1.2	14.7	1.4	14.8	2.0
	"	13.8~14.6	0.8~0.9	14.7~15.1	1.1~1.3	14.2~15.2	1.3~1.4	14.6~15.0	2.0
7 日	"	12.9	1.0	12.8	2.0	14.1	1.6	13.7	2.6
	"	12.7~13.2	1.0	12.5~13.2	1.7~2.2	14.1~14.2	1.4~1.9	13.1~14.3	2.3~2.9

14	日	1.2	7.6	2.1	13.2	2.0	12.4	2.3	15.9
日	日	0.7~1.4	6.9~7.8	1.4~2.7	12.4~14.0	2.0	11.5~13.1	1.9~2.5	15.0~16.6
28	日	1.6	12.0	2.5	13.7	2.9	12.1	2.7	19.1
日	日	0.7~2.8	10.8~12.7	2.0~3.4	12.7~14.6	2.7~3.3	9.9~13.7	2.4~3.1	15.9~24.8

表-6(2) 黄土 LB 供試験の材齢と壓縮強さ (成型壓力 5~30kg/cm², 水量 18%)

材 齢	セメント 0 %		セメント 0 %		セメント 0 %		セメント 0 %		
	成型 壓力	5kg/cm ² , 水量15%	10kg/cm ² , 15%	15kg/cm ² , 15%	20kg/cm ² , 20%				
	Wc %	σkg/cm ²	Wc %	σkg/cm ²	Wc %	σkg/cm ²	Wc %	σkg/cm ²	
12 時	平均値	18.2	1.4	18.3	2.3	18.2	4.2	18.2	5.8
	範 圍	17.8~18.7	1.4~1.5	18.1~18.6	2.2~2.5	17.9~18.5	4.1~4.3	18.2	5.5~6.0
1 日	〃	18.4	1.4	18.3	2.3	18.5	4.7	18.3	6.5
	〃	18.3~18.6	1.4~1.5	18.2~18.3	2.2~2.4	18.3~18.8	4.7~4.8	18.0~18.5	6.4~6.6
3 日	〃	17.7	1.7	18.4	2.8	18.0	4.9	17.6	6.6
	〃	17.2~18.1	1.5~1.9	17.9~18.7	2.8	17.9~18.1	4.6~5.1	17.6	6.5~6.7
7 日	〃	16.5	2.5	17.9	3.3	16.8	6.6	17.1	8.4
	〃	16.4~16.6	2.2~2.7	17.6~18.1	2.9~3.8	16.6~17.0	6.1~7.3	17.1	8.3~8.9
14 日	〃	3.3	12.6	4.0	17.5	4.4	41.7	4.7	50.0
	〃	3.1~3.7	11.2~14.0	3.7~4.5	15.0~20.7	3.9~5.3	36.6~46.5	4.5~5.2	47.1~52.8
28 日	〃	2.8	10.5	3.6	23.1	4.6	46.0	4.5	54.5
	〃	2.3~3.1	8.9~11.8	3.1~4.5	19.1~25.5	4.3~4.8	42.0~49.0	4.4~4.5	33.1~71.0

〔附〕

黄土及び關東ロームの成型直後、氣乾時、絶乾時に於ける
壓縮強さ。星楚都員〔東亞研究所資料甲第5號 B〕

昭 16 / 6 月

土 壤 種 類	成 型 壓 力 kg/cm ²	壓 縮 強 さ kg/cm ²		
		成 型 直 後	氣 乾 時	絶 乾 時
黄 土	5	2.1	33	65
	10	4.0	40	80
	20	5.0	45	76
關東ローム	5	1.5	21	19
	10	3.5	27	30
	20	4.8	28	29

圖-9(1) 黄土 LA 供試體の材齢と壓縮強さ
成型壓力 5~30kg/cm², 水量 15%, セメント混合量 0%

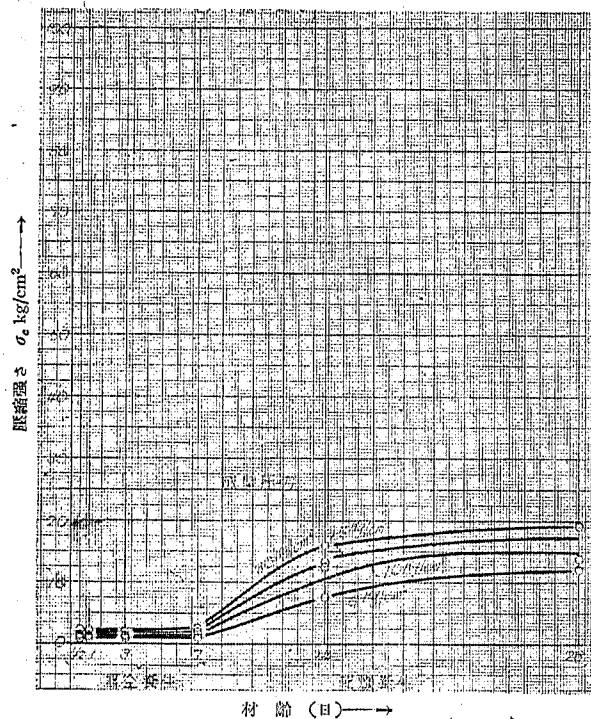


圖-9(2) 黄土 LB 供試體の材齢と壓縮強さ
成型壓力 5~30kg/cm², 水量 18%, セメント混合量 0%

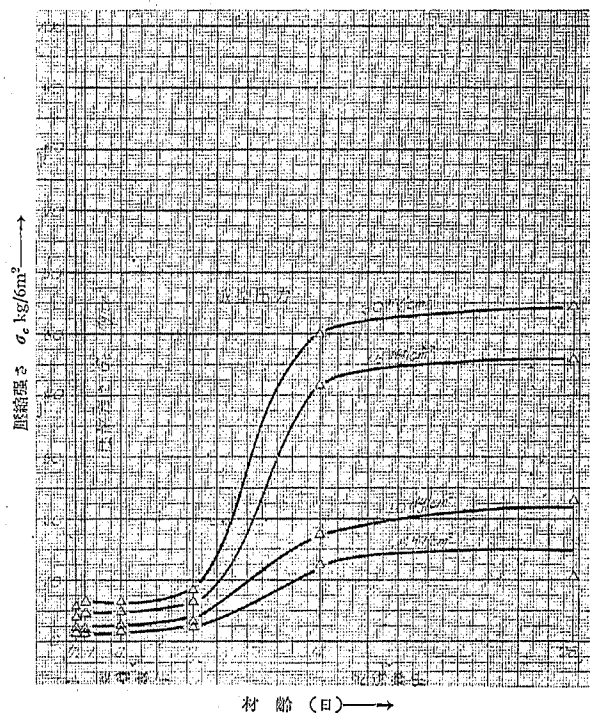


表-7(1) 黄土 (L_A)・セメント混合物 (5~20%) のセメント量と壓縮強さ
成型壓力 5kg/cm²; 水量 15.0%

材 齡	セメント 5 %		セメント 10 %		セメント 15 %		セメント 20 %	
	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)
12 時 平均値	14.1	4.1	14.2	9.2	13.5	10.8	12.8	12.5
時 範 圍	13.7~14.7	3.8~4.5	13.7~14.7	7.6~10.2	12.9~14.1	10.8~10.8	12.3~13.2	11.5~13.4
1 日 { "	14.8	2.4	14.8	6.7	14.6	5.4	13.7	10.9
日 { "	14.7~14.9	1.6~3.8	14.6~15.0	6.4~7.0	14.5~14.7	4.8~5.7	13.3~14.0	10.2~12.1
3 日 { "	14.5	4.9	14.3	11.2	14.2	14.8	12.8	23.2
日 { "	14.4~14.6	3.8~5.7	14.1~14.6	10.8~12.1	13.5~14.7	14.0~15.3	12.3~13.1	22.9~23.6
7 日 { "	13.7	8.2	13.6	14.6	13.4	20.7	11.1	34.1
日 { "	13.2~14.3	7.3~9.2	13.5~13.7	12.1~15.9	13.0~13.8	12.4~24.8	10.7~11.4	33.1~34.7
14 日 { "	3.9	7.2	5.7	12.7	7.3	25.5	8.3	43.5
日 { "	3.6~4.5	6.4~8.3	5.2~6.0	11.1~14.3	7.2~7.4	24.5~27.1	8.1~8.5	41.7~47.1
28 日 { "	2.7	8.5	5.0	15.6	5.9	28.4	8.1	48.7
日 { "	2.3~3.0	6.4~12.7	4.5~5.3	15.0~16.6	5.9~6.0	26.4~32.1	8.0~8.2	47.7~49.3

- 註 1. セメント及び水量の混和量は乾燥黄土試料に對する百分率を表す。
 2. Wc 及び σ_c は各材齡に於ける水分含有量(乾燥黄土試料に對する)及壓縮強さ (kg/cm²)を表す。
 3. 各材齡に於ける平均値及び範圍は供試體 6 個或は 8 個以上に就いて測定した平均値及び最低~最高値の範圍を示す。
 4. 以下總て之に準ず。

表-7(2) 黄土 (L_B)・セメント混合物 (5~20%) のセメント量と壓縮強さ
成型壓力 5kg/cm²; 水量 19%

材 齡	セメント 5 %		セメント 10 %		セメント 15 %		セメント 20 %	
	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)
12 時 平均値	17.8	7.8	16.8	11.0	18.1	11.5	18.1	9.5
時 範 圍	17.6~18.0	5.7~9.5	16.6~17.2	9.2~12.1	17.8~18.6	10.2~14.0	17.9~18.2	8.9~10.2
1 日 { "	18.1	8.0	18.0	10.8	18.7	11.9	18.9	14.2
日 { "	17.9~18.2	6.4~9.5	17.7~18.5	9.9~12.1	18.6~18.8	11.1~13.1	18.5~19.2	14.0~14.3
3 日 { "	17.4	9.9	17.3	13.1	17.9	20.2	17.5	18.5
日 { "	17.0~17.7	9.5~10.8	17.0~17.6	11.1~14.6	17.7~18.2	19.7~20.4	17.1~17.8	17.2~20.4
7 日 { "	15.7	11.5	15.8	19.8	18.1	23.9	17.6	21.3
日 { "	14.7~16.3	10.2~12.7	15.5~16.1	18.5~20.4	17.8~18.4	20.7~25.5	17.2~17.9	29.0~32.5
14 日 { "	6.9	11.2	7.5	20.4	8.7	20.8	10.4	32.6
日 { "	6.8~7.0	10.5~11.5	7.0~7.8	19.4~21.3	8.6~9.0	16.6~25.8	9.1~11.9	29.6~34.4
28 日 { "	6.7	13.0	6.9	17.5	8.9	25.2	10.5	30.8
日 { "	6.1~7.0	11.5~15.3	6.8~7.1	15.9~20.1	8.6~9.2	20.7~28.6	10.1~11.2	26.1~33.1

表-8(1) 黄土 (L_A) ・ セメント混合物 (5~20%) のセメント量と壓縮強さ成型壓力 10 kg/cm² ; 水量 15%

材 齢	セメント 5 %		セメント 10 %		セメント 15 %		セメント 20 %	
	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)
12 { 平均値	14.0	7.0	13.8	10.5	14.3	11.4	14.0	9.7
時 { 範 圍	13.8~14.2	5.7~8.0	13.3~14.5	9.6~11.8	14.2~14.5	8.3~15.6	13.8~14.2	7.3~13.7
1 { 日 { 〃	14.2	7.0	13.9	11.5	14.1	10.7	14.4	11.1
日 { 〃	14.0~14.7	6.1~7.6	13.4~14.5	10.2~13.1	13.8~14.5	10.2~11.8	13.8~14.7	9.9~11.8
3 { 日 { 〃	13.9	8.7	13.7	14.4	14.4	14.5	14.3	21.3
日 { 〃	13.9	7.6~9.9	13.5~14.1	14.0~15.0	14.2~14.5	13.7~15.6	13.9~14.6	21.3
7 { 日 { 〃	13.4	12.4	12.6	17.5	13.9	25.2	13.1	37.0
日 { 〃	13.3~13.5	12.4	12.3~13.3	16.9~18.5	13.1~14.7	21.3~30.6	13.1~13.2	29.9~45.2
14 { 日 { 〃	3.2	12.7	5.1	20.9	6.5	32.5	7.3	59.4
日 { 〃	2.7~3.4	11.5~14.3	4.7~6.0	15.9~23.6	6.0~6.7	27.4~38.8	6.7~7.9	45.2~66.9
28 { 日 { 〃	2.9	10.5	4.6	25.0	6.2	48.2	6.8	71.5
日 { 〃	2.7~3.3	9.9~11.5	4.0~5.3	20.4~29.9	5.4~6.6	43.3~54.1	6.5~7.1	63.0~78.9

表-8(2) 黄土 (L_B) ・ セメント混合物 (5~20%) のセメント量と壓縮強さ成型壓力 10 kg/cm² ; 水量 19%

材 齢	セメント 5 %		セメント 10 %		セメント 15 %		セメント 20 %	
	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)
12 { 平均値	17.9	8.7	17.4	12.9	18.3	14.8	18.8	13.9
時 { 範 圍	17.1~18.8	8.6~8.9	17.1~17.6	11.2~14.7	18.0~18.7	13.1~16.2	18.7~18.8	11.8~15.0
1 { 日 { 〃	18.0	8.8	18.1	11.3	18.6	14.2	18.2	15.0
日 { 〃	17.9~18.2	8.6~8.9	17.9~18.2	10.8~11.5	18.4~18.8	12.7~15.3	18.2~18.3	14.0~15.9
3 { 日 { 〃	17.6	11.9	17.6	15.9	18.0	16.3	17.9	27.1
日 { 〃	17.5~17.7	10.5~13.1	17.2~18.1	15.0~17.2	17.8~18.5	11.8~22.3	16.9~18.8	23.2~29.9
7 { 日 { 〃	16.4	14.4	17.7	22.5	17.5	34.7	18.3	32.9
日 { 〃	15.7~17.1	13.7~15.6	17.6~17.8	21.0~23.9	17.3~17.7	29.9~39.5	17.6~18.7	22.9~38.2
14 { 日 { 〃	5.2	14.8	6.5	26.9	8.0	36.8	9.0	51.7
日 { 〃	5.0~5.6	13.1~17.5	6.1~6.7	22.9~31.2	7.6~8.2	33.2~45.5	8.6~9.6	41.4~62.7
28 { 日 { 〃	4.4	19.8	5.5	31.2	7.4	40.0	8.2	51.0
日 { 〃	3.6~5.1	18.5~22.3	5.3~5.9	28.0~33.7	7.0~7.9	37.6~41.7	7.9~8.7	42.0~56.7

表-9(1) 黄土 (L_{AO})・セメント (5~20%) 混合物のセメント量と壓縮強さ成型壓力 15kg/cm²; 水量 15.0%

材 齡	セメント 5 %		セメント 10 %		セメント 15 %		セメント 20 %	
	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)
12 時	14.3	5.6	14.2	9.6	13.5	10.5	15.0	24.6
12 時 範 圍	13.8~14.7	5.1~6.4	13.1~14.9	8.3~11.8	12.8~14.1	9.5~12.7	14.8~15.2	20.4~30.6
1 日	14.3	5.7	14.9	8.7	14.2	10.1	14.1	22.5
1 日 範 圍	13.3~15.3	4.8~7.0	14.7~15.1	4.5~12.1	13.0~16.0	8.3~10.8	13.3~14.8	18.5~33.1
3 日	14.4	7.6	14.5	13.4	11.4	22.0	13.1	52.5
3 日 範 圍	13.7~14.9	5.7~9.2	14.2~14.8	9.2~19.1	9.7~12.6	20.4~28.0	11.9~13.7	49.7~54.7
7 日	7.8	11.9	13.5	16.3	10.4	42.0	14.3	73.6
7 日 範 圍	6.8~9.2	10.2~14.0	12.7~13.9	12.7~20.4	9.4~10.9	40.4~43.0	13.2~14.9	57.3~86.9
14 日	4.4	7.0	6.2	19.5	6.6	44.6	8.5	106.5
14 日 範 圍	3.6~5.0	5.7~8.3	5.5~7.3	17.8~21.0	6.1~6.8	37.9~52.8	8.0~9.0	92.6~113.0
28 日	4.9	6.7	6.9	11.7	7.2	34.6	8.4	75.2
28 日 範 圍	4.2~6.3	3.2~9.2	6.7~7.5	10.8~13.4	6.7~7.9	20.7~45.5	8.2~8.8	67.5~81.5

表-9(2) 黄土 (L_{AO})・セメント (5~20%) 混合物のセメント量と壓縮強さ成型壓力 15kg/cm²; 水量 18.0~20.0%

材 齡	セメント 5 %		セメント 10 %		セメント 15 %		セメント 20 %	
	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)
12 時	18.2	10.9	19.4	23.8	19.2	29.5	18.9	26.4
12 時 範 圍	17.7~18.8	9.5~13.4	18.8~19.8	20.4~27.4	18.3~20.0	26.7~35.0	18.8~19.0	20.4~35.0
1 日	17.7	10.2	18.9	24.3	19.6	33.2	18.0	25.1
1 日 範 圍	17.3~18.2	7.6~12.7	16.5~19.8	19.1~29.6	18.6~20.2	22.3~38.2	17.7~18.5	20.4~33.1
3 日	16.6	12.5	18.6	36.5	17.1	43.4	18.0	37.4
3 日 範 圍	16.1~17.0	10.8~14.6	17.9~19.1	30.9~44.2	16.0~17.8	41.4~47.7	17.7~18.3	25.5~43.6
7 日	17.4	14.4	17.8	37.7	16.4	58.0	16.6	63.7
7 日 範 圍	17.1~18.0	13.4~15.3	17.5~18.3	32.5~42.7	15.4~17.2	49.7~65.3	16.0~17.2	58.6~67.5
14 日	5.6	21.1	7.2	49.3	7.4	78.0	10.5	69.1
14 日 範 圍	4.3~6.7	18.5~22.9	6.7~7.7	20.7~57.9	6.9~7.8	66.2~89.8	10.1~10.8	58.6~81.8
28 日	6.5	19.7	8.0	44.1	8.1	57.4	10.2	70.7
28 日 範 圍	5.8~6.5	14.0~24.2	7.2~8.6	36.9~55.7	7.8~8.6	49.7~63.7	9.5~11.0	67.2~78.9

表-10(1) 黄土 (L_{AO})・セメント (5~20%) 混合物のセメント量と圧縮強さ

 成型圧力 30kg/cm²; 水量 15.0~17.0%

材 齢	セメント 5 %		セメント 10 %		セメント 15 %		セメント 20 %	
	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)
12時 { 平均値	15.1	9.3	18.0	13.3	14.7	13.8	14.4	23.3
時 { 範 圍	14.8~15.2	8.9~9.5	16.9~20.1	11.5~19.7	13.6~15.2	12.7~16.6	13.8~14.8	16.6~29.9
1日 { "	14.5	9.2	17.7	13.2	14.8	14.8	14.4	21.2
日 { "	14.2~14.8	8.9~9.5	17.1~18.4	11.1~16.2	14.5~15.2	12.7~20.4	14.1~15.0	17.2~26.1
3日 { "	13.9	11.7	17.2	19.0	14.7	39.0	14.2	43.9
日 { "	13.2~15.6	10.8~12.7	16.1~17.8	15.9~22.3	14.0~15.2	35.7~43.3	12.7~15.1	38.2~49.0
7日 { "	18.3	11.8	15.3	39.4	10.8	59.9	8.2	89.9
日 { "	13.7~21.6	9.5~15.9	14.5~15.8	30.7~43.6	10.2~11.5	44.6~69.4	7.5~8.7	84.7~95.5
14日 { "	6.9	15.3	8.5	52.3	7.5	56.8	8.7	82.7
日 { "	5.9~7.8	10.8~19.7	7.7~9.3	63.3~62.4	7.0~8.0	47.7~70.7	8.1~9.7	64.9~88.5
28日 { "	4.1	13.1	8.3	42.0	8.1	49.8	9.0	95.2
日 { "	3.4~6.7	10.8~14.6	7.3~9.3	25.5~54.7	7.4~8.7	33.7~57.6	8.1~9.5	85.3~106.3

 表-10(2) 黄土 (L_{BO})・セメント (5~20%) 混合物のセメント量と圧縮強さ

 成型圧力 30kg/cm²; 水量 21.0~30.0%

材 齢	セメント 5 %		セメント 10 %		セメント 15 %		セメント 20 %	
	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)	Wc (%)	σ_c (kg/cm ²)
12時 { 平均値	22.7	11.8	24.2	24.8	29.7	31.8	20.3	44.7
時 { 範 圍	22.0~23.0	10.8~12.7	24.0~24.7	20.4~29.9	29.3~30.2	23.9~38.2	19.3~20.9	36.3~51.6
1日 { "	22.5	14.7	22.5	25.0	29.6	30.8	20.8	45.7
日 { "	22.0~23.0	12.7~16.6	21.4~22.9	20.4~29.9	29.1~29.9	22.3~38.2	20.5~20.9	40.7~49.7
3日 { "	21.1	22.8	20.3	42.4	29.2	35.8	19.9	53.3
日 { "	20.6~21.3	17.8~27.1	20.0~20.3	38.5~48.4	27.6~29.8	22.3~43.9	19.5~20.1	47.1~61.8
7日 { "	21.6	25.6	21.4	38.0	22.3	76.1	12.7	87.3
日 { "	21.1~22.0	22.3~29.9	20.9~21.8	28.6~47.1	21.4~23.4	64.9~91.7	10.9~16.2	72.6~93.9
14日 { "	10.3	36.3	10.9	67.0	18.7	67.0	12.3	93.6
日 { "	9.3~11.2	24.8~45.8	10.6~11.5	46.5~98.0	18.1~19.6	58.3~89.8	11.7~12.8	87.2~97.4
28日 { "	8.7	28.8	9.5	64.0	18.1	60.3	12.8	87.5
日 { "	7.9~9.9	21.0~33.7	8.8~10.3	52.8~69.4	17.2~18.8	49.0~82.8	12.3~13.1	73.2~96.8

圖-10(1) 黄土 L_A セメント混合物のセメント量と壓縮強さ

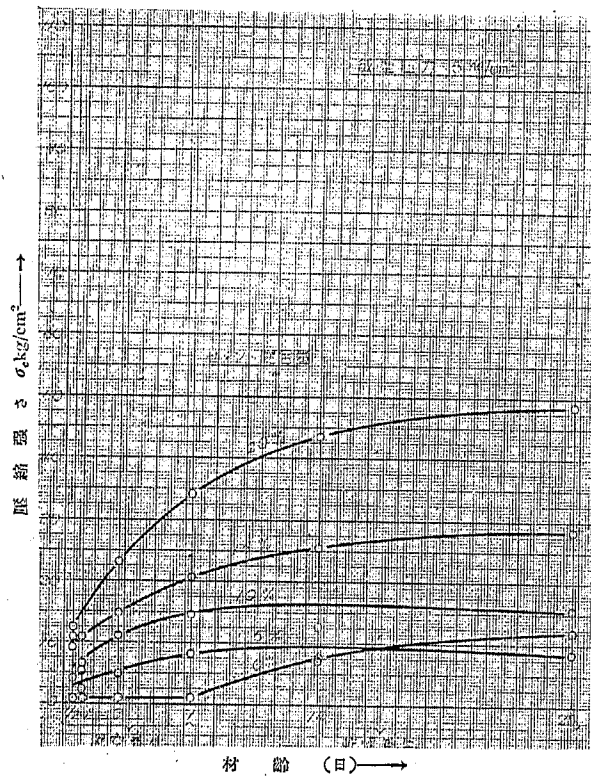


圖-10(2) 黄土 L_B セメント混合物のセメント量と壓縮強さ

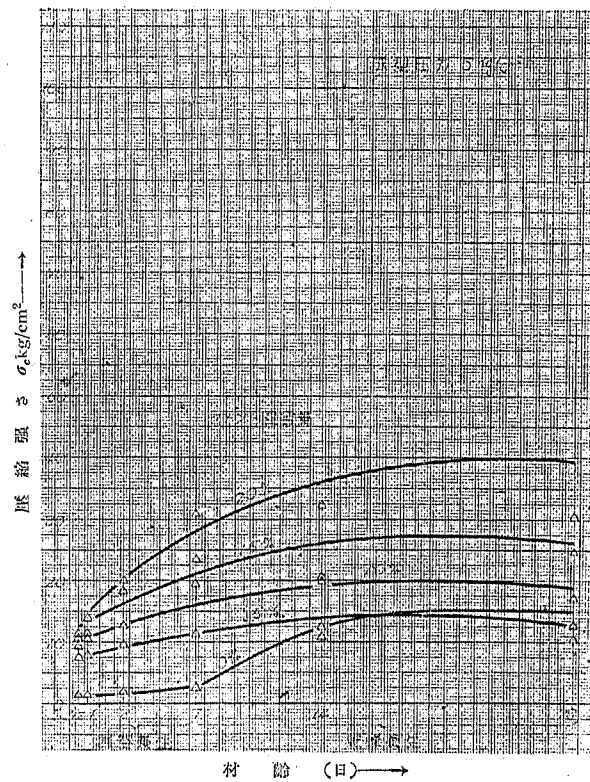


図-11(1) 黄土 LA セメント混合物のセメント量と圧縮強さ

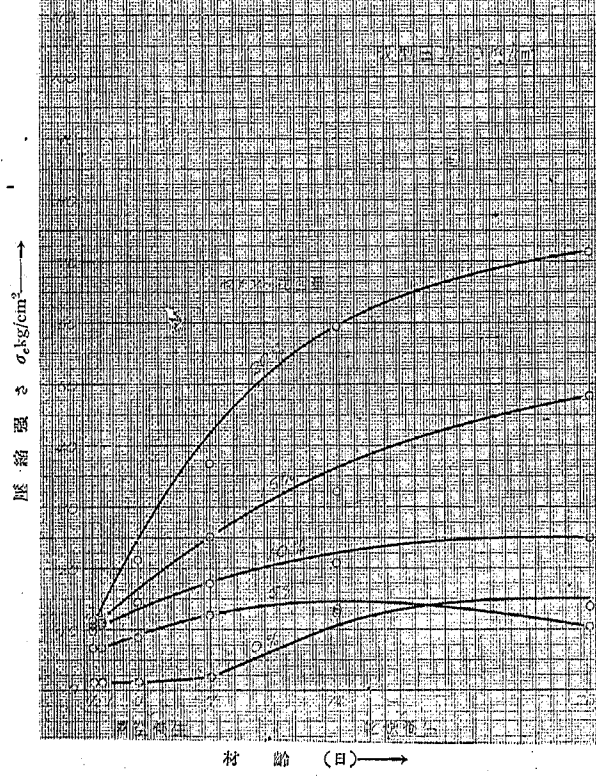
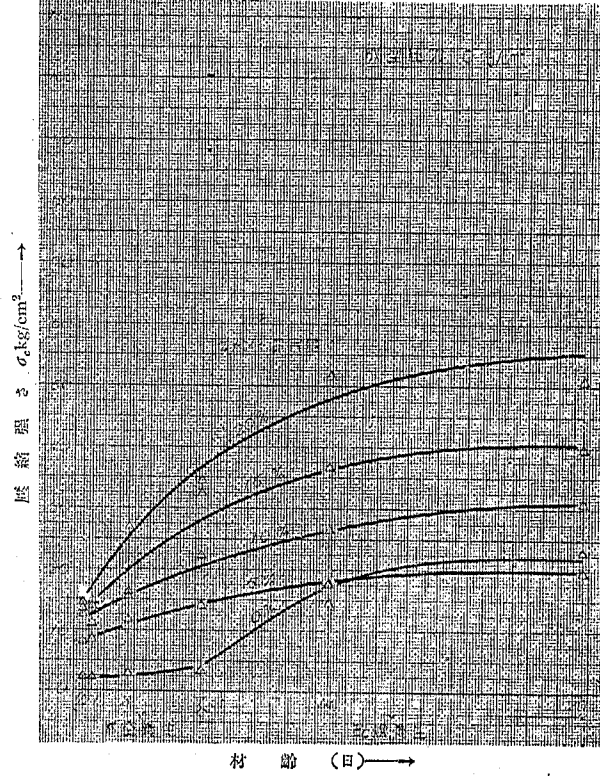
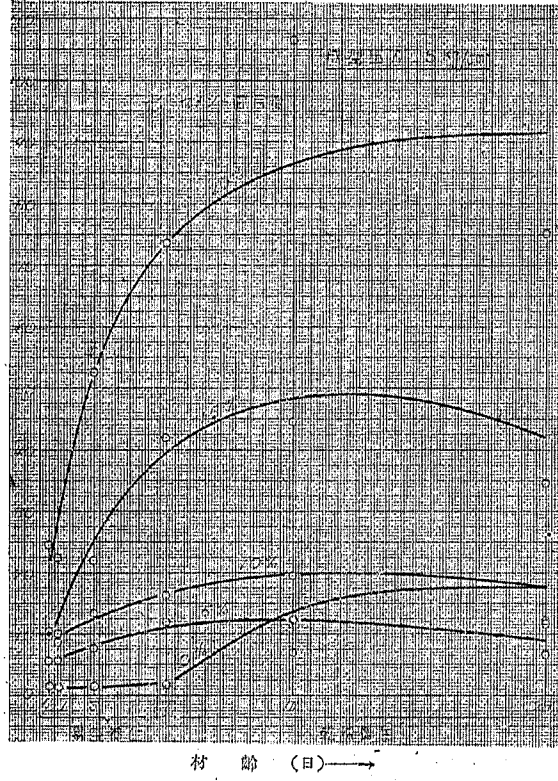


図-11(2) 黄土 LB セメント混合物のセメント量と圧縮強さ



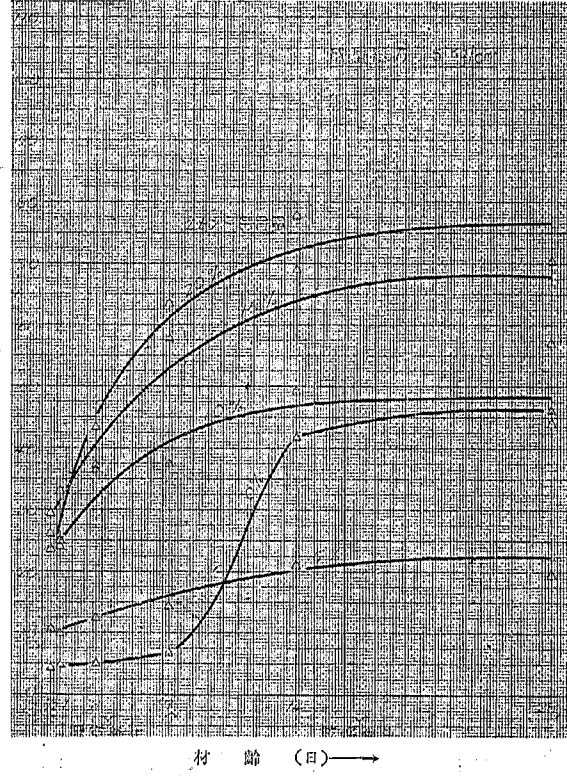
圧縮強さ σ_c kg/cm² →



材 齢 (日) →

圖-12(1) 黄土 LA セメント混合物のセメント量と圧縮強さ

圧縮強さ σ_c kg/cm² →



材 齢 (日) →

圖-12(2) 黄土 LB セメント混合物のセメント量と圧縮強さ

圖-13(1) 黄土 L_A サメーン混合物のセメント量と壓縮強さ

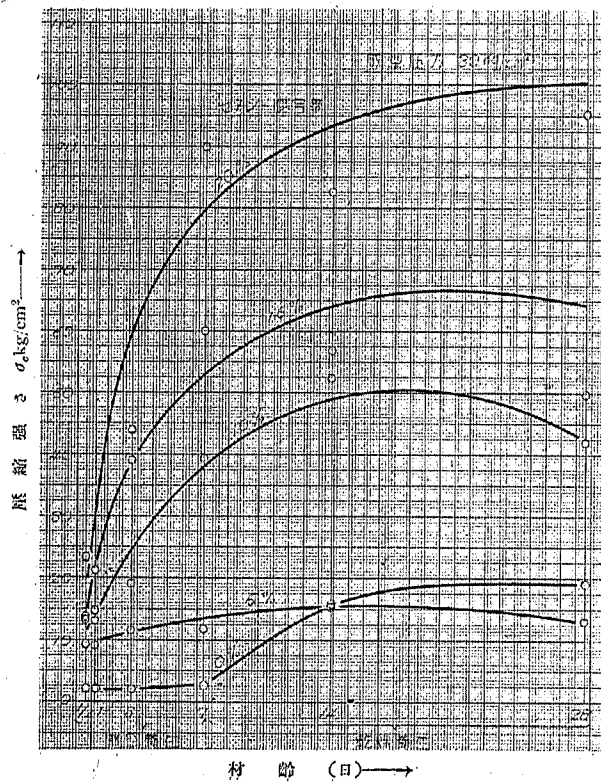
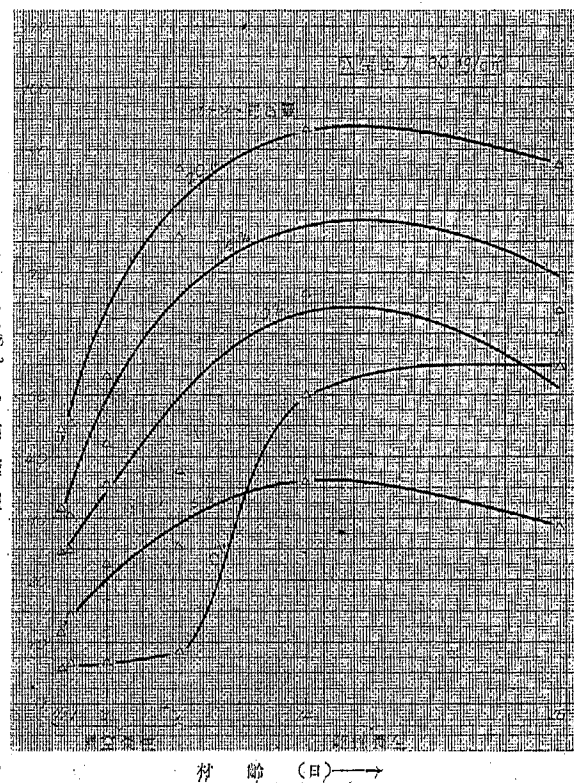


圖-13(2) 黄土 L_B セメント混合物のセメント量と壓縮強さ



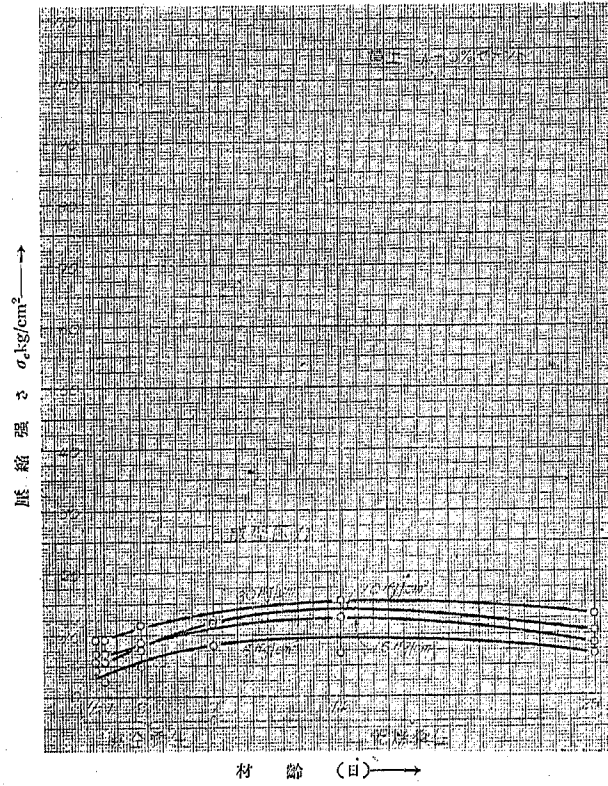


図-14(2) 黄土 L_B セメント混合物の成型圧力と圧縮強さ

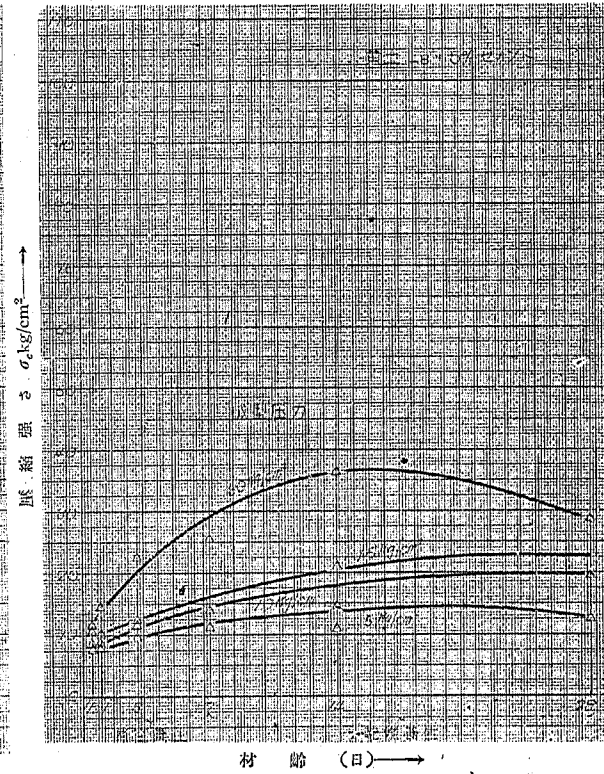


図-15(1) 黄土 L_A セメント混合物の成型圧力と圧縮強さ

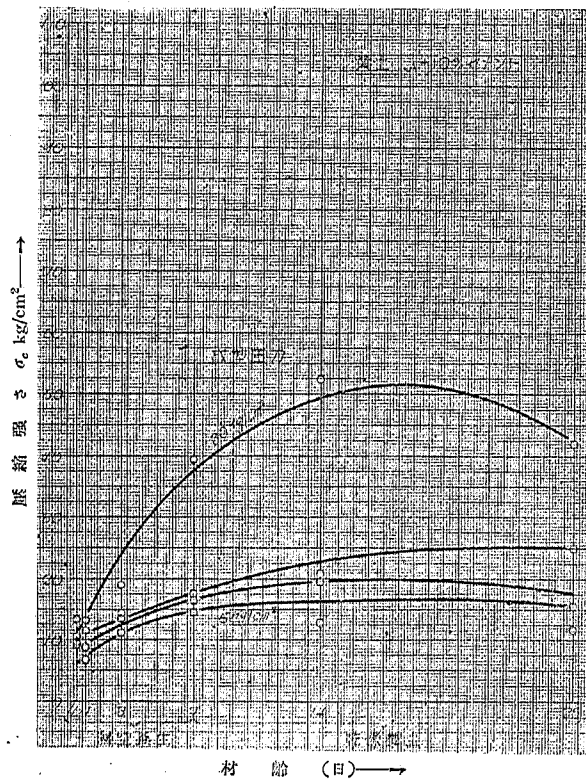


図-15(2) 黄土 L_B セメント混合物の成型圧力と圧縮強さ

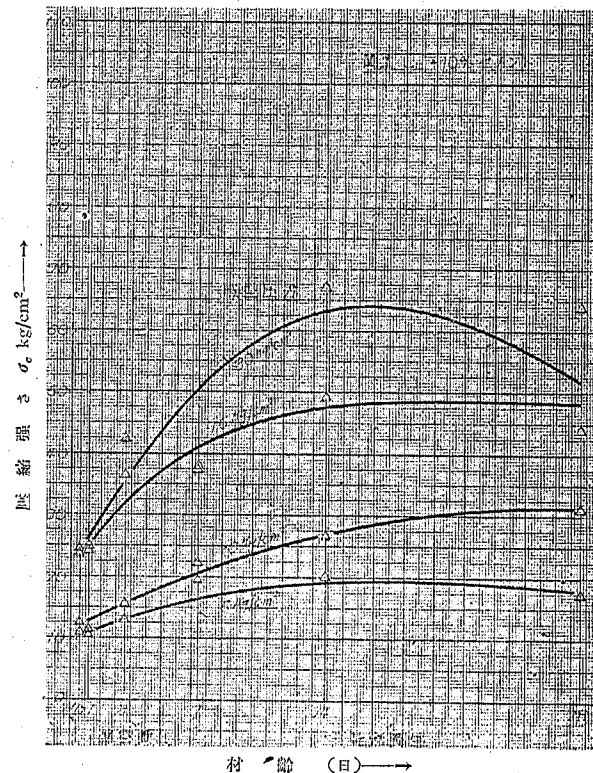


図-16(1) 黄土 LA セメント混合物の成型圧力と圧縮強さ

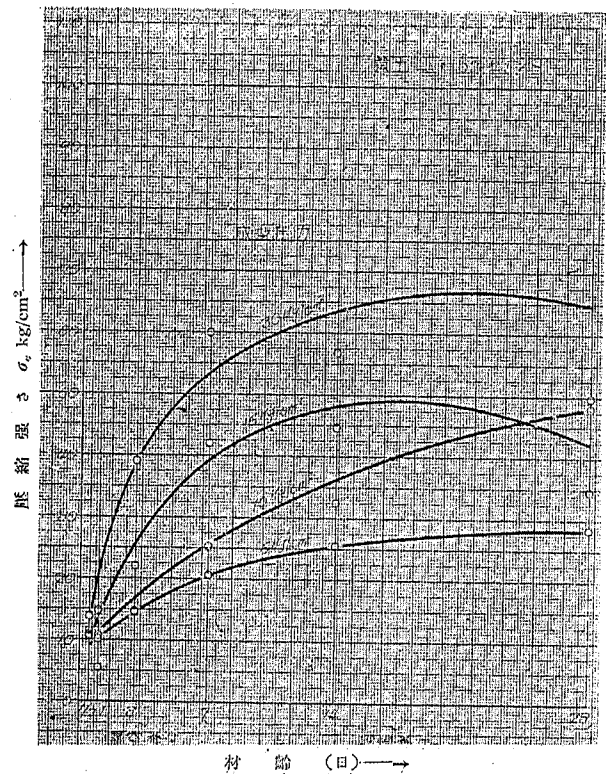


図-16(2) 黄土 LB セメント混合物の成型圧力と圧縮強さ

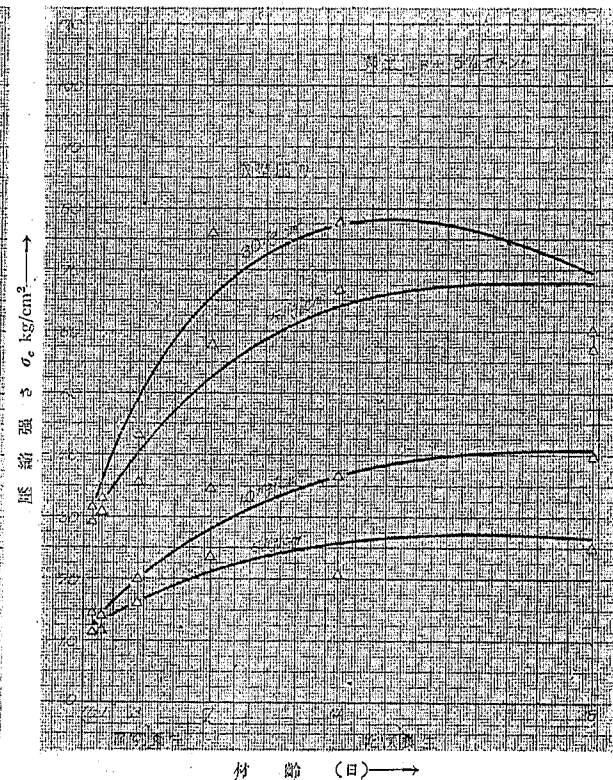


圖-17(1) 黄土 L_A セメント混合物の成型壓力と壓縮強さ

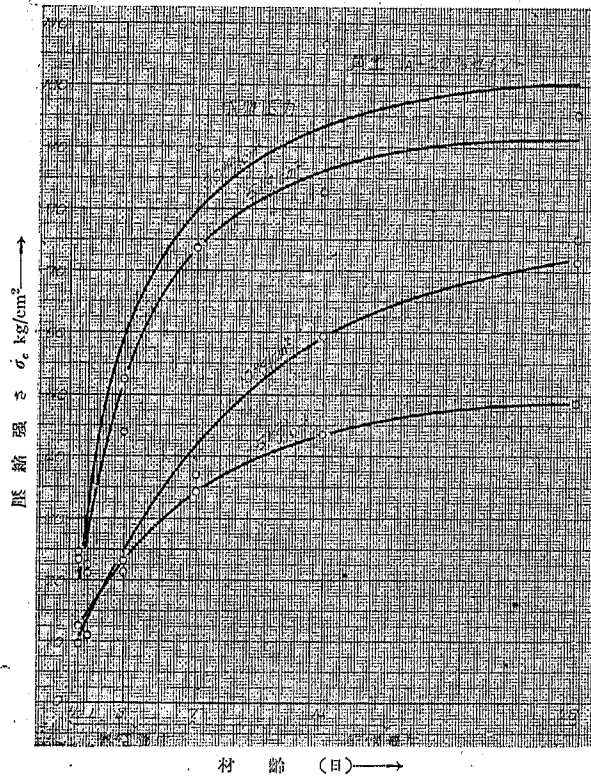
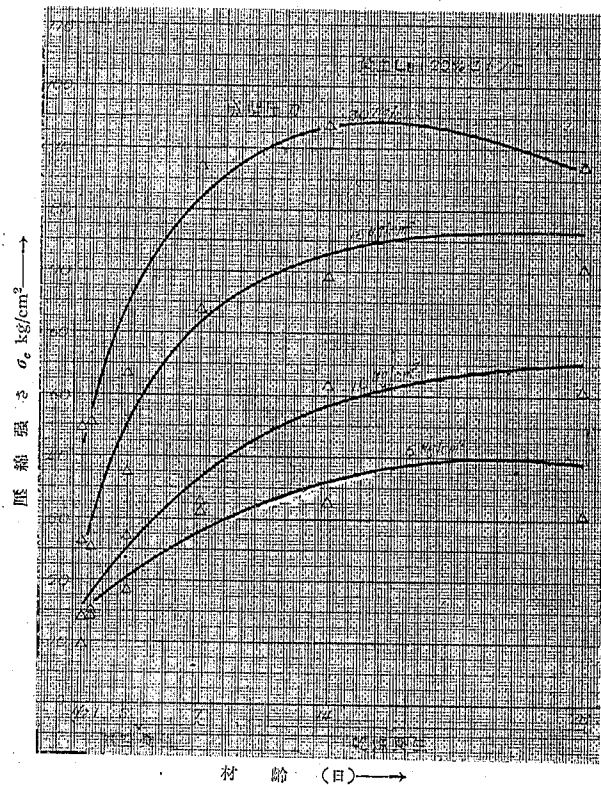


圖-17(2) 黄土 L_B セメント混合物の成型壓力と壓縮強さ



〔3〕 試験結果の要約

茲に於て前掲の試験結果表—6(1), (2)~表10(1), (2), 圖—9(1), (2)~圖—17(1), (2)より黄土及び黄土・セメント混合物の成型壓力, セメント混合量, 養生材齢と壓縮強さとの關係につき主要なる事項を要約する。

1. 黄土のみの供試體(セメント混合量0%)の強度

之は黄土・セメント混合物の試験と同一條件にて行つたものにして、此の白試験(Blank Test)に相當するものである。表—6(1), (2)及び圖—9(1), (2)参照。

(1) 黄土 LA 供試體は之に成型壓力 5, 10, 15, 30 kg/cm² を夫々加へ壓縮成型するも濕潤養生をなした材齢 1/2~7 日迄は全然強度の發生が表れず 7 日後の空中乾燥養生をなした時より初めて強度を表してきた。

然し 7 日後の強度の發生も僅にして成型壓力を 5 kg/cm² より 30 kg/cm² に増すも材齢 28 日にて壓縮強さ 20 kg/cm² を超えざる程度である。

黄土 LA に於ては成型壓力の影響はあまり表れてゐない。

(2) 黄土 LB 供試體は材齢 7 日迄は略黄土 LA の場合と同様に強度の發生を見ないが、然し 7 日後の空中乾燥養生にて強度が急に増加し、材齢 28 日では成型壓力 5 及び 10 kg/cm² のものは 10~25 kg/cm² を表し、一方成型壓力 15 及び 30 kg/cm² のものは 45~55 kg/cm² に達し、少くとも 2 倍以上の強度を表しその増加が著しかった。此場合は成型壓力の影響が著しく表れ壓力を増すに従ひ強度も高く出た。

(3) 斯く同一條件の試験に於て、7 日以後の乾燥養生により試料 LA の沈泥黄土に較べて試料 LB の粘土質黄土、或は黄土に沖積土の混じたものと思はれる試料が強度の大なることは土質の相違に依るものと考へられる。

2. 黄土・セメント供試體の強度

之は黄土にセメントを夫々 5, 10, 15 及び 20% 混合した供試體に就いて、成型壓力 5, 10, 15 及び 30 kg/cm² を加へた各場合の成型壓力, セメント混合量, 養生材齢と壓縮強さとの關係を試験したものである。表—7(1), (2)~表—10(1), (2) 及び 圖—9(1), (2)~圖—13(1), (2)参照。

(1) セメントを混ぜざる黄土のみの供試體と異り、此場合の黄土セメント混合物供試體は成型壓力の増加及びセメント混合量が増すに従ひ強度は漸進的に増加した。

即ち、一般に強度は 1/2~7 日の濕空養生中でも 7~28 日の乾燥養生中でも材齢が進むに従ひ連續的に漸増の傾向を表し之を圖にて表すと比較的スムーズなる上向曲線をなし、又各材齢の供試體の強度は初めに加へた成型壓力及びセメント混合量が大なるに従ひ次第に高強度となつた。

(2) 然しながら、成型壓力及びセメント混合量が比較的に小なる供試體の内にはセメントを混じたるものより之を混ぜざる黄土のみのものの方が却つて幾分強度が強く表れたのを認められ、又成型壓力及びセメント混合量が共に大にして高強度なる供試體には材齢 28 日の強度が却つて減少したものがあるを認められ、例外なるものもあつた。

(3) セメント黄土混合物に就いては、試料黄土の土質の相違による強度の影響はセメントを混ぜざるものに見られる如き變化は殆んど認められずセメントにより兩者共に一樣なる強度の増加を表すに至つた。

(4) 成型壓力の影響に就ては、5~10 kg/cm² のものと 15~30 kg/cm² のものとは供試體の強度に可成の影響を與へ、特にセメント混合量が大となり、之に加へる水量が増すに従ひ成型壓力は供試體の強度に影響する處

大となる。

(5) 最後に前掲の各試験成績より抜萃して黄土及び黄土・セメント混合物の供試體の成型壓力、セメント混合量、養生材齡と壓縮強さとの關係を總括的に表示すれば表-11になる。

之れより強度は成型壓力、セメント混合量及び材齡が増すと共に次第に漸増して凡そ $60 \sim 90 \text{ kg/cm}^2$ に達し内には 100 kg/cm^2 を超えるものもあり、現在の養分合コンクリートの強度にまで接近してくることが分つた。

表-11 黄土及黄土・セメント混合物の強度試験結果の總括

成型壓力	セメント混合量 (供試體)	材齡 (日)	壓縮強さ (kg/cm ²)	
			黄土 LA (沈泥)	黄土 LB (沈泥質粘土)
$5 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$	0 % (黄土のみ)	7	> 5 (最低)	成型壓力 > 5
		28	10~20	$5 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$ 10~25
		7	—	" 5~10
		28	—	$15 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$ 45~55(最低)
5 kg/cm^2	5~10%	7	5 (最低)~15	10~20
		28	10~20	10~20
	15~20%	7	20~35	20~35
		28	25~50	25~40(最高)
10 kg/cm^2	5~10%	7	10(最低)~20	10~25
		28	10~25	20~30
	15~20%	7	25~40	25~35
		28	45~70(最高)	40~55
15 kg/cm^2	5~10%	7	10(最低)~20	15~40
		28	10~20	20~45
	15~20%	7	40~75	55~65
		28	セメント15%, 14日105(最大値) 35~80(最高)	55~70
30 kg/cm^2	5~10%	7	10(最高)~40	25~45
		28	10~45	25~55
	15~20%	7	55~90	60~90
		28	50~95(最高)	60~90

註. 材齡7日までは濕氣養生, 7日より28日までは空中乾燥養生

附 録

本研究問題に關係せる東亞研究所委託の現地及内地の黃土研究委員會の研究並に調査の文献を略記し之れが參考とす。

附一〔1〕 山崎博氏——北京郊外に於ける試験舗装

〔道路、昭15、12月、792—798頁〕

北支黃土地帯に於ける道路舗装を支配する主要條件に就て述べ、北京郊外の八里莊に於ける30種に亘る試験舗装の種類、工法、工費、経過及び成績の概評に關して記載してある。此れが舗装の種類は次の如くである。

八里莊試験舗装（延長 1,335米、幅員 45米、總面積 6,000平方米、工種 30）

表層：乳劑表面處理（厚1.2種）、乳劑マカダム（厚6種）、細粒式瀝青コンクリート（厚5種）、シートアスファルト（厚 2.5種及 5.0種）1:1.5:3 コンクリート（厚5種）、1:2:4 コンクリート（厚12種）等。

基礎：土・セメント（厚10種）、石灰マカダム（厚15種）、1:3:6 コンクリート（厚10種）、1:2.5 灰土、煉瓦（2枚）、1.5 灰土（厚30種）、1:2:4 三和土（厚15種）、碎石（厚10種）、石灰マカダム（厚15種）……等。

更に北京外城廣安門の南西約7軒の大井村試験舗装に就いて述べ、此地質は黃土層にて覆はれ、主に土・セメント及び土・石灰（灰土）の舗装試験をなし此概要に就いて述べてある。

大井村試験舗装（延長 668米、幅員 6米、總面積 4,008平方米）

工種：土・セメント（土の乾燥重量に對しセメント10%及び5%混合）

灰土（土の乾燥重量に對し石灰30%及び15%混合）

以上の試験舗装に次いで北京附近の氣象より凍結解氷の舗装に及ぼす影響を調査及び考察してある。

最後に以上の試験事項の判決として北京黃土地帯に適當なる舗装の1種として次の標準設計を推奨してある。

舗 装 標 準 設 計 案

状 態	地下水位低く輕交通の場合	地下水位高く輕交通なるか又は地水水位低く重交通なる場合
表 層	1:1.5:3 コンクリート（厚5種）又は 1:2:4 コンクリート（厚10種）	1:2:4 コンクリート（厚15種）
基 礎	土・セメント（セメント量立米225宛）厚10種	土・セメント（左と同様）厚10種
備 考	土・セメントは6 鼈ローラにて充分に平滑に仕上げる事	同 左

土・セメント舗装仕様書（例）

1. 路床は不陸を均し所定の形狀に仕立て、6 鼈ローラにて充分振壓すべし。

2. 土・セメントに使用する土は次の如きものを用ふべし。

（1）土取場の表皮を取除くこと。

（2）清潔にして淤泥、有機物、塵芥、草根等を混ぜざること。

（3）湿度適當（5%—12%）にして乾固又は濕潤ならざること。

3. 混合は左の順序に依るべし。

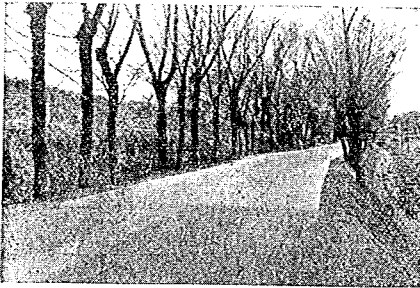
（1）土を鐵製緯板上に掛け塊を碎く。（2）セメントを掛けショベルを以て往復2回空練をなす。（3）如路にて

加水しつゝ更に往復3回以上切り返し一様なる色様を呈せしむ。

4. 混合物の有すべき湿度は土の乾燥重量18%を標準とするも土質により加減すべし。
5. 混合の完全なりや否やを檢するには、混合物を升手にて握りボールを作り之を兩手にて半分に割り断面を見るべし。直徑3種のボールにて3耗程度の斑紋5箇以内を標準とする。
6. 混合物を路床に横げレーキにて掻均し足にて踏み固め木鎗を以つて充分に搗固めたる後逆ローラを以つて平滑に輓壓仕上をなすべし。
7. 藎、草、高粱穀、アンペラを以つて充分に被ひ撒水して1週間養生をなしたる後表層コンクリートを施工すべし。

寫眞—1, 2, 3 は昭和14年 11 月著者の撮影せる北京郊外八里莊試驗鋪裝の完成後の状態であり、寫眞—4 は鋪裝道近くの黄土質土取場である。

寫眞—1



寫眞—2



寫眞—3



寫眞—4



附—〔2〕 内地委員會第四部會——黄土の物理化學的研究

第 1—4 報 (東亞研究所 資料丙第98號D, 146號D, 147號D, 148號D, 昭和15年7月)

黄土の物理化學的性質に關して理化學的研究をなし、北支より採集せる黄土23種、特に張家口產の黄土1種に就いてその理化學的基本性質に就て論述した。

黄土はその色調淡黄褐色を呈し、色は稀鹽酸處理により失はれる處より着色物は主に鐵の化合物と考えられ、臭は沸騰中にて多少の土臭を表し、味は特に感ぜられず、硬度は手指にて粉末となし得られ密に結合しをらす水中にては自然に崩壊する。

乾燥黄土粉末の見掛比重は約 1.4、真比重は約 2.6 以上にして之より間隙率を求むれば約 40% 程度である。顯微鏡下に粒子の大きさを観測すれば大部分は $10\mu\sim 100\mu$ (但し $\mu=1/1000\text{m.m.}$) にあり、水液分析の結果は凡そ次の通りである。

$>50\mu\cdots\cdots 70\sim 80\%$ (大部分)
 $50\mu\sim 10\mu\cdots\cdots 10\sim 20\%$
 $<10\mu\cdots\cdots$ 殘 餘

各粒子は角稜を有する特徴があり、一般に砂と粘土とその中間のものが多く各種の礦物を含んでゐる。主なる礦物は石英、正長石、斜長石、方解石等にして、角閃石、雲母等の有色礦物も多少含有す。室温乾燥黄土の 105°C 以下の含有水分量は $2\sim 3\%$ 程度であり、稀鹽酸にて處理すれば CO_2 瓦斯を放出し其の量は 10% の多きに及ぶものあり。

全分析の結果此炭酸は大部分炭酸石灰 (CaCO_3) として含有され、黄土中の炭酸石灰の含有量は約 20% に達し、又 5μ 以下の微粒子部分にも炭酸鹽を多く含む此部分にも良く溶解滲透せる事が推定される。

黄土の全化學分析の結果は次の如くである。

成 分	種 類	張 家 口 産 黄 土	同 微 粒 子 部 分	鹽 酸 處 理 同 微 粒 子 部 分	文 獻 22 種 の 平 均 値
SiO_2		60.53 %	48.35 %	51.42 %	62.83 %
Al_2O_3		14.86	18.91	18.94	12.49
Fe_2O_3		4.60	8.64	8.34	2.69
FeO		—	—	—	1.47
CaO		8.54	10.51	1.39	8.51
MgO		2.49	2.03	2.33	2.33
K_2O		2.81	—	2.28	2.43
Na_2O		—	—	—	1.48
TiO_2		1.12	0.23	2.09	—
Mn_2O_4		0.49	0.00	0.45	—
Ig. loss		8.03	15.31	7.21	—
Total		103.49	103.31	94.43	109.45

黄土を蒸溜水にて煮沸又は煮沸せしめて處理せる透明上澄液の pH 價は $8\sim 9$ にして弱アルカリ性を示す、又黄土懸濁液を約 2 ヶ月電氣透析せるも中性の黄土を得るに至らず従つて黄土粒子は水中にて明かに負に帯電す。

更に黄土の真比重に就いて測定を繼續し黄土 15 種の真比重は $2.736\sim 2.682$ の範圍にして平均 2.710 を得、其比重は 2.71 ± 0.03 土の範圍にある。

粉末黄土 15 種の見掛密度の平均は粗狀充填 0.895、密狀充填 1.397、粗密平均は 1.146 にして又平均間隙率及び間隙率は粗狀充填 2.03 及び 67.0% 、密狀充填 0.941 及び 48.5% である。

次に黄土類の塑性水量は $22.3\sim 35.8\%$ 、平均 25.6% であり、乾燥による體積變化は $8.2\sim 31.4\%$ 、平均 16.8% の收縮をなす、又成型乾燥黄土の見掛比重は $2.30\sim 2.64$ 、平均 2.45 である。

附〔3〕 山口昇氏——黄土の土質試験報告

〔東亞研究所，四委内一・中間報告・第二號〕

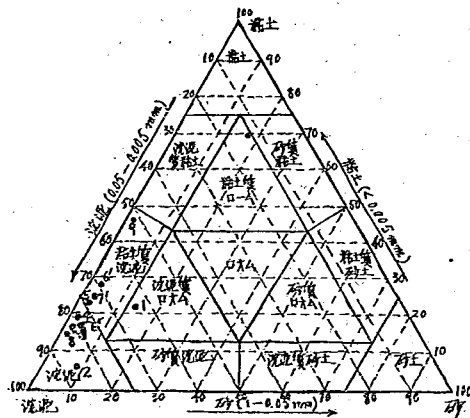
北京，通州，石家莊，太原等より採取せる黄土試料9種に就いて含水量，比重の測定及び機械分析，壓縮試験をなした。

此試験より得たる試料黄土の含水量，比重及び機械分析結果は次表及び次圖の通りである。

試料	1	2	3	4	5	6'	6''	7'	8'	8''	9
試料採集地	北京，通州， 在路肩附近	北京，南郊， 新近	北京，南郊， （棟瓦料）	石家莊， 郊外中后村	沙河鎮， 北村附近	大よ， 原より24km	大よ， 原より24km	大よ， 原より19km	北郊， 八里莊	大城， 汾河畔	天津， 滄縣堤防
真比重	2.648	2.667	2.676	2.695	2.693	2.686	2.690	2.686	2.698	2.688	2.705
含水量	5.63	6.89	20.16	9.33	16.75	10.04	9.41	10.45	14.55	20.96	14.80

機械分析表

區分	粒徑(m,m)	1	2	3	4	5	6'	6''	7'	8'	8''	9
礫	20—2	0.64	0	0	0	0.56	0	0.04	0	0	0	0
細礫	2—1	1.04	0	0.08	0	0.10	0	0	0	0.12	0.12	0.20
粗粒砂	1—0.5	1.06	0.08	0.03	0	0.12	0.04	0.04	0.02	0.08	0.10	0.12
中粒砂	0.5—0.25	1.84	0.12	0.20	0.04	0.22	0.08	0.08	0.34	0.28	0.14	0.30
細粒砂	0.25—0.1	2.76	1.50	0.40	0.36	0.46	0.22	0.30	0.38	0.90	0.12	0.82
微粒砂	0.1—0.05	7.36	6.56	1.44	0.52	1.04	1.06	1.42	1.10	3.48	0.74	0.92
沈泥	0.05—0.005	61.92	84.74	81.20	79.82	73.62	69.06	79.16	72.36	76.54	83.90	52.48
粘土	>0.005	23.38	7.00	16.60	19.26	23.92	28.94	18.96	25.80	18.60	14.88	45.76
土質區分		沈泥質ローム	沈泥	沈泥	沈泥	粘土質沈泥	粘土質沈泥	沈泥	粘土質沈泥	沈泥	沈泥	粘土質沈泥



附一〔4〕 福島彌六・眞崎季隆——各種安定材混和による土壤安定法に関する實驗室試験報告

〔土木試験所報告 第47號, 56~87頁, 昭和14年10月〕

〇〇土壤23種に就き化學分析を行ひ水量, 有機物, 珪酸, 礫土, 酸化鐵, 酸化石灰, 酸化苦土……等を定量し, 又物理的試験により比重, 含水量, 塑性及び液性限界を測定し更に機械分析をなし粒子徑を測り土質區分をなした。

土壤安定材 (Soil Stabiliser) としては, (1) 鹽化石灰 (2) 珪酸曹達 (3) 食鹽 (4) ボルトランド・セメント (5) 混合用アスファルト乳劑の5種を使用し, 之を土壤に夫々 2%, 8% を混じ成型壓力 30kg/cm^2 を成型し, 其の 7日, 14日, 28日の壓縮強さを測定し, 一方土壤安定材を混ぜるものに就いても同様な試験を行ひその結果を比較して安定材混和による効果を各々の土壤に就いて比較し土壤の成分, 性質と安定材の適否に就いて實驗的考察をした。

安定材は相手となる土質の成分, 性質に依りその強度増進の效果に可成の優劣を認めれたが, 效果ありと認めたる場合のみに就いて要約すると次の通りである。

1. 水のみを混和せる場合。一般に粘土質土壤に特に有効にして水のみにより固く硬化し著しく強度を増進する。
2. 鹽化石灰混和の場合。2%(乾燥土壤に對して, 以下之に準ず) 程度の混和は粘土質及び粘土ローム質土壤に效果を認める。特に粘土質土壤は單に水のみを混和し乾燥した場合よりも少量の鹽化石灰を混用した方が一層有効である。
3. セメント混和の場合。8%程度の混和はローム質の1部及び大部分の砂質土壤の強度増進に極めて有効である。砂質土壤の砂含有量が多いもの程強度の増進が著しいものゝ様である。
4. 珪酸曹達の場合。此れは鹽化石灰, セメントに較べて一般的には有効ならざるも唯砂含有量の多い砂質土壤に對し8%程度の混和が有効の様に認めた。
5. 要するに, 粘土質及び粘土ローム質土壤には水のみを混じ壓縮し乾燥するか, 或は鹽化石灰2%程度の混合が最も有効と認められ, 砂質土壤にはセメント8%程度の添加が有効と認められた。

附一〔5〕 福島彌六——支那のセメント工業及び最近の北支産セメントの品質に就て

中國ではセメントのことを我國と同様に洋灰と稱ぶ他に「水泥」、「紅毛泥」とも云ひ, 又發音より「土敏土」「細綿土」、「水門汀」とも言はれてゐる。

中國で始めてセメントが輸入されたのは19世紀初葉頃と云はれるが, 一般民衆の無智と政府の保守的政策から土木建築方面へは殆んど用ひられず其の消費は極めて微々たるものであつた。

古來中國の建築には煉瓦を用ひ, 目地には石灰粉と土泥とを混合した石灰モルタルを使用し之が年數を経るに従ひ相當堅牢なものとなる。之れは古い習慣と地震の少い關係と寒暑の差が甚だしい大陸の氣候の影響によるものであらうが此古くからの習慣は近代のコンクリートの利用が少くセメント消費量の増加しない有力なる原因と思はれる。

元來セメントの消費量は國の文化施設の水準の指標となると云はれてゐるが, 之より從來中國のセメント消費量の一人當りを各國のそれと比較してみると, 自 165kg, 獨 119kg, 英 105kg, 佛 102kg, 米 101kg, 伊 96kg, 日 53kg, 滿 20kg, 中國 1.5kg(1934年) となる。即ち歐洲諸國が一人當り100~150kg (2~3袋), 日滿が50~20kg (1~1/2袋) なるに對し, 中國は實に 1.5kg (約1/20袋) の格段の相違を表し如何に近代の文化施設に幾

遠いものかが窺はれる。

思ふに此れは所謂近代文化が上海・南京・北京・廣東の一局地に限られ急激なる發達をなしたが、未だ中國内地の廣漠たる奥地へは及ばない結果と見られよう。然しながら他方南京、北京に見られる大城壁、市街の高樓特に紫金城の如き大建築物又は萬里の長城の如き大築造物が近代セメントの力を借りず泥土、煉瓦、石灰類の材料で建設された偉業を見ると中國では古來よりこれ以上の獨特の材料と經驗及び技術を持つてゐることが偲ばれ、この點恐懼に値するものであらう。

中國に初めてセメント工業の起つたのは清の德宗光緒2年(1876年)と云はれ、丁度我國の明治9年に當り、我國が初めて深川にセメント製造所を設立した明治6年より後、僅に3年である。即ち開墾鐵務局が炭鐵近くに英人技師を招聘し舊式壓窯を以つてセメントの製造を開所したのが濫觴である。

其後1890年頃より中國産業革命によりセメントの需要が増加し1907—1909年間に廣東河南土敏土廠、大治水門汀公司、山東水泥公司、濟南致水泥公司の工場が建設された。

降つて歐洲大戰の勃發となり一層工業界は躍進し上海水泥公司、中國水泥公司、廣東西村土敏土廠、西北洋灰廠、江南水泥公司、江北薄利水泥廠等の工場が操業を創め今日の事變に及んだ。

斯の如く支那事變前までは啓新(河北省唐山工場)、華記(大治工場)、上海(龍華工場)、中國(龍潭工場)、廣東西村土敏土廠(西村工場)の5大セメント會社の他に廣東土敏土廠(河南工場)、山東興業(滄口工場)、山西洋灰廠、濟南致敬の地方的企業を入れて9企業10工場であり、その分布及び内容は表—1及び圖—1に表した通りであつた。

表—1 中國セメント工業 (昭和12年、支那事變前)

會社名	創立年月 (年)	資本金 (萬元)	工場所在地	年産能力 (萬樽)	商標
啓新洋灰公司	1876	1,400	河北省唐山鎮	000	馬
華記湖北水泥公司	1907 ^{1914年に啓新洋灰に買収された}	260	湖北省大治	00	寶塔
中國水泥公司	1921	300	江蘇省句容縣龍潭	00	泰山
上海水泥公司	1921	300	上海郊外龍華	00	象
廣東西村廠	1928	400	廣東西村	000	五羊
廣東河南分工廠	1908	120	廣東市河南尾	00	獅子飛龍
致敬水泥公司	—	20	山東省濟南	0	機關車
西北洋灰廠	1932	50	山西省開陽縣	00	獅子頭
江北薄利水泥廠	1936	60	四川省重慶	00	—
江南水泥公司	1936	240	南京市假山	000	—

(セメント工業、昭和12誌より)

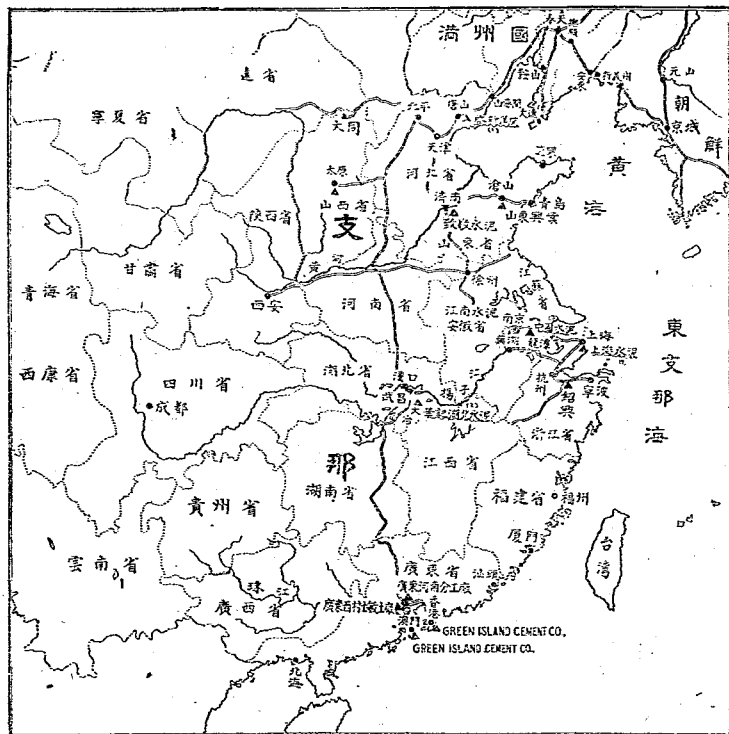
(1937年6月)

北支に於て今支那事變後早くも復興せるセメント工場には○○省○○鎮の○○○○廠、○○省○○○○廠、○○省○○○○水泥廠等がある。

就中○○の○○○○廠は最古の歴史を有する中國第一のセメント工場で目下盛に操業を續けそのセメントは廣く北支の建設工事に使用されてゐる。

著者は昭和13年11月北支方面へ出張の際、同工場を見學し、副管理長張建新氏にじみ金鈔青、汪蔚謙及び化學技師の陳汝楨の諸氏に會ひセメントの技術に就て種々の打合せをなした。

○支那事變前に於ける支那セメント工業



其後北支建設總署佐藤寛政技正より同署の工事に使用する〇〇セメントの品質に關する試験を依頼され土木試験所にて行つた成績は次の通りである。

セメント分析表(1)

内務省土木試験所

試料名 普通ポルトランド・セメント(馬牌印) 1種					製造会社 〇〇〇〇〇〇洋灰有限公司工廠				
依頼者 北京建設總署 (技正佐藤寛政氏)					目 的				
受 付 昭和13年9月12日					一般化學性及び物理性性質の試験				
試料名 (1種)	化 學 分 析								
	灼熱減量 Ig Loss %	不溶解殘渣 Insol Res%	珪 酸 SiO ₂ %	礬 土 Al ₂ O ₃ %	酸化鐵 Fe ₂ O ₃ %	石 灰 CaO %	苦 土 MgO %	硫 酸 SO ₃ %	合 計 %
	試驗—1	1.28	0.11	22.69	5.41	2.87	64.57	1.31	1.16
	試驗—2	1.34	0.14	22.56	5.30	2.89	64.49	1.36	1.16
	平均値*	1.31	0.13	22.63	5.36	2.88	64.53	1.26	1.16
日本規格	> 4 %							< 3	< 2

試料	比 率				構 成 化 合 物 (Bogue)				
	水 硬 率 H. M.	活動係数 SiO ₂ /Al ₂ O ₃	珪 酸 率 SiO ₂ /R ₂ O ₃	礫 率 Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	珪酸三石灰 3CaO· SiO ₂ %	珪酸二石灰 2CaO· SiO ₂ %	矽土酸三石灰 3CaO·Al ₂ O ₃ %	矽土酸四石灰 4CaO·Al ₂ O ₃ %	硫酸石灰 CaSO ₄ %
試験-1	2.03	4.19	2.74	1.89	46.5	31.0	9.5	9.0	2.0
試験-2	2.10	4.26	2.76	1.83	46.0	30.0	9.4	9.0	2.0
平均値*	2.09	4.22	2.75	1.86	46.3	40.5	9.5	9.0	2.0

備考 * 試験-1 及び-2 の分析結果より算出した平均値である

セメント試験成績表 (1)

内務省土木試験所

試料名 普通ポルトランド・セメント(馬牌印) 1種					製造会社 ○○○○○有限公司工廠									
依頼者 北京建設總署(技正佐藤寛政氏)					目 的									
受 付 昭和13年9月12日					一般物理性及び強度試験									
試 料	粉 末 度・%		比 重 (共 値)	凝 結 時 間						影 響 龜 裂				
	4900孔	10000孔		水量 %	始 時	終 時	結 分	室 温℃	温度 %	浸水法	煮沸法	温気箱℃		
1 種	4.58	—	3.10	28.5	1—45	3—25	21.0~21.5	—	—	完全	—	—		
日本標準規格	<12%	—	>3.05	—	<1時間	<10時間	15~25℃	—	完全	完全	15~25℃	—		
試 料	標 準 規 格 1:3 モ ル グ ル								水 相 湿 度 °C			* 供試體三個七試て		
	抗 張 力 kg/cm ²		耐 壓 力 kg/cm ²											
1 種	6.8	32.1*	32.8*	41.4*	7.0	279*	369*	465*	22.0~20.0 °C					
日本標準規格	—	—	>20	>25	—	>150	>220	<300						
試 料	軟 練 1:2 モ ル グ ル(水-セメント比65%)								軟 練 1:1 モ ル グ ル(水-セメント比45%)					
	抗 折 力 kg/cm ²		耐 壓 力 kg/cm ²		抗 折 力 kg/cm ²		耐 壓 力 kg/cm ²							
1 種	173	30.2	42.0	62.5	106	154	249							

* 供試體三個に就ての平均値を示す

1. 化学分析結果に依ると、日本標準規格にも合格し、又本邦産普通ポルトランド・セメント 2~3 の市販品と比較するに類似せる成分を有し、普通セメントとして良質のものである。
2. 物理性及び強度試験の結果に依ると、日本標準規格に合格し、又本邦産普通ポルトランド・セメントの2~3市販品と比較するも餘り遜色を認めない。但し 1:2 軟練モルタルによる壓縮強さ(7日後)が幾分弱く現れて居る。
3. 要するに、本製品は現行日本標準規格に合格せる製品にして、本邦産普通セメントに良く類似せる比較的良製品と認められる。
4. 尙、本邦産各種市販セメントの試験に関する成績に就ては、土木試験所報告第41號、又中國セメント工業の概観に就いては、日本ポルトランド・セメント同業會調查部調査資料第三號(昭和 11 年)及びセメント工業(昭和12年11月)を参照したものである。

更に其後、昭和15年12月末に建設總署より同セメントの工事現場倉庫内にて約半年以上も貯藏し相當に風化を受けたものゝ試験を依頼された。その成績は次の通りである。

セメント分析表

土試223號

内務省土木試験所

試料名 ○○ポルトランド・セメント					製造会社 ○○省○○○○セメント工場				
依頼者 建設總署北京市建設工程局					目 的				
試 料	化 学 分 析								
	灼熱減量	不溶質殘存	珪 酸	礬 土	酸化鐵	石 灰	苦 土	硫 酸	合 計
	Ig.Loss %	Insol Res %	Si O ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	%
	1 種 (○○セメント)	2.65	0.51	20.76	8.61	3.02	60.01	1.83	1.76
日本標準規格	< 4 %						> 3 %	> 2 %	

備 考 日本標準規格法により分析す。

セメント試験成績表

内務省土木試験所

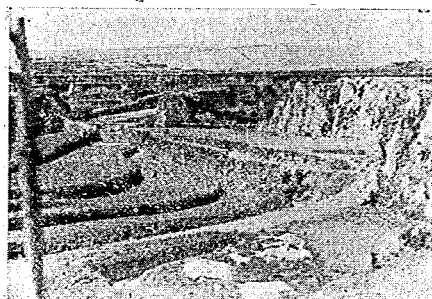
試料名 ○○ポルトランド・セメント				製造会社 ○○省○○○セメント工場										
依頼者 建設總署北京市建設工程局				備考 現場倉庫内にて貯藏し風化を受けたるもの										
試料	粉末度 %		(比重)	凝 結 時 間						膨 脹 龜 裂				
	400孔			水量 %	始時	數分	終時	結分	室温 °C	湿度 %	浸水法	煮沸法	水温 °C	
1 種 (○○セメント)	14.33		共 値 3.056 灼熱後 3.253	26.25	0—13	4—01		16~21°C	57—75	脱板	完全	20.0°C		
日本標準規格	>12%			備考 注水時より0時13分にて始發し凝結は進み、後徐々に注水時の砂度となり 2時10分より再び始發を來す						完全	完全	15~25 °C		
試料	標 準 規 格 1:3 モ ル タ ル								水槽溫度 °C					
	耐 壓 力 kg/cm ²				抗 張 力 kg/cm ²									
	水量 %	3 日	7 日	28 日	水量 %	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日			
1 種 ()	w/c 27.3	113	175	274	—	15.4	17.0	22.0	20°C					
日本標準規格		—	>220	>300	—	—	>20	>25						
試料	軟 練 1:2 モルタル (水—セメント比65%)								軟 練 1:1 モルタル (水—セメント比45%)					
	抗 折 力 kg/cm ²				耐 壓 力 kg/cm ²				抗 折 力 kg/cm ²		耐 壓 力 kg/cm ²			
	フロー %	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日	フロー %	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
1 種 ()	160	13.9	21.1	39.2	29	53	119	205	28.1	44.9	65.4	87	117	239
臨時日本標準規格 149號		>10	>20	>30	>35	<70	<150							

即ち第2回目の同セメントは相當に風化を受けて變質したものであり凝結も變調し強度も可成低下したものである。

其他○○省○○の○○○○廠のセメントは同様に建設總署より依頼され目下試験中である。

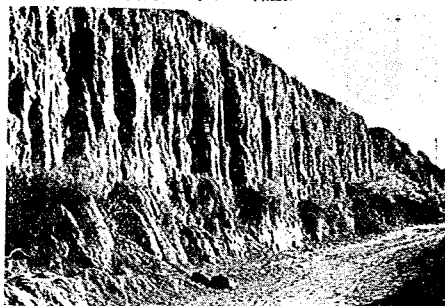
最後の寫眞(1~12)は北支黃土地帶の黃土層、地障地帶、鐵道、道路、黃土煉瓦製造の状態及び北支建設總署の材料試驗場を表したものであり、同黃土研究委員の著者及び金子、藤森の諸氏が撮影したものである。

写真—1 (黄土地帯)



(金子)

写真—2 (黄土の断崖)



(金子)

写真—3 (黄土の地隙)



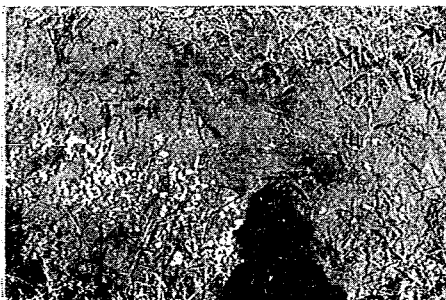
(藤生)

写真—4 (黄土の地隙)



(藤生)

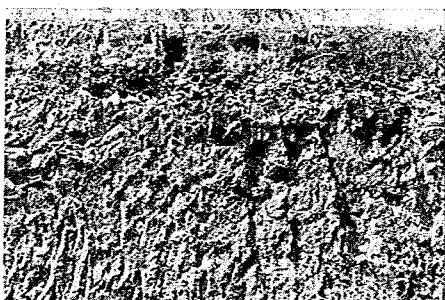
写真—5 (黄土地層)



左方に見える無数つ白色塊は黄土子層
(Löss Kinder) である

(金子)

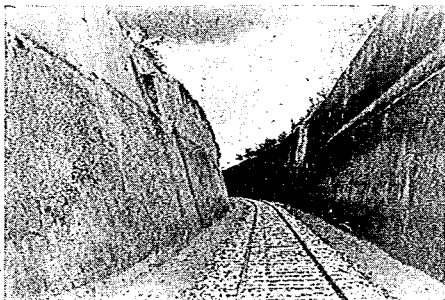
写真—6 (黄土地層)



上部に表土が覆ひ砂礫の層がある

(金子)

写真-7 (黄土地帯の鐵道)



(金子)

写真-8 (鐵道の法面)



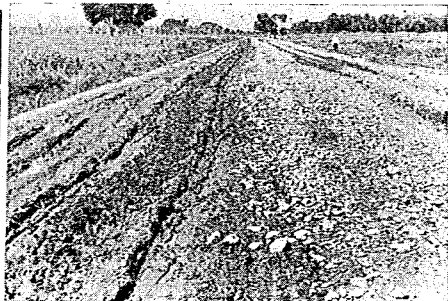
(金子)

写真-9 (出水による道路の泥濘)



(金子)

写真-10 (田舎道)



(金子)

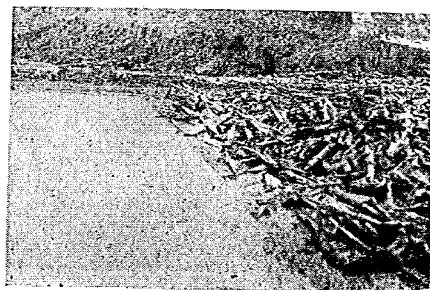
写真-11 (コンクリート舗装工事)



支那苦力を使つた冬期の工事

(福島)

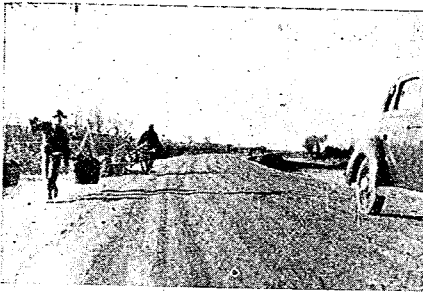
写真-12 (コンクリートの養生)



養生に高粱藁を用ひる

(福島)

寫眞-13 (煉瓦鋪装道)



(磨耗甚しく路面に溝を生ず) (福島)

寫眞-14 (乳劑の表面處理)



(寒氣厳しく表層の剝離甚だし) (福島)

寫眞-15 (アスファルト鋪装の破損個處の調査)



(寒氣烈しく鋪装の龜裂、破損多し) (福島)

寫眞-16 (アスファルト鋪装の破損個處の調査)



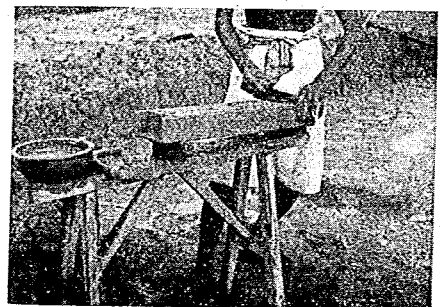
(福島)

寫眞-17 (天日煉瓦の製造-1)



(金子)

寫眞-18 (同-2)



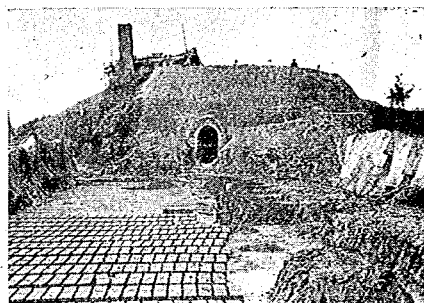
(金子)

寫眞—19 (同—3)



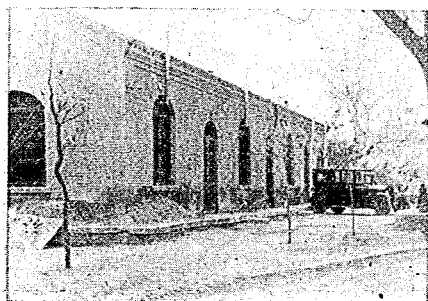
(金子)

寫眞—20 (煉瓦工場)



(金子)

寫眞—21 (建設總署材料試験室)



(福島)

寫眞—22 (同)



(福島)

(内務省土木試験所, 昭和16年5月—1941)

鋼道路橋設計資料並びに 鉅結鈑桁橋標準設計案

囑 託 牧 野 喬

昭和14年に發表された内務省の「鋼道路橋設計示方書案」は本邦橋梁技術界に一變革を齎らすものであつて、これが實施後に出来る鋼道路橋が、其強さに於て其細部構造に於て既設のものと同趣を異にするところあるは當然の結果である。従つて舊來の規定に準據して設定された各種の橋梁標準の如きものは自ら革めらるべき性質のものである。本稿はこの點に鑑み發きに當所にて發表した「國道鉅結鈑桁橋標準設計案」を新示方書の下に改めたもので、囑託牧野喬君、所員梅津岸記君、岡宮保君の努力になつたものである。

内務技師 青木楠男

緒 言

昭和10年所報第三十號に「國道鉅結鈑桁橋標準設計案」を發表するに當り、その緒言に於て次の點を斷つて置いた。「遂からず我國に於ても鋼道路橋の細目設計に關する示方書の制定を見る筈であるが、その時には本設計案もこれに應じ多少の變改を必要とするに至るであらう」と。

當時既に設置せられてゐた鋼道路橋示方書改正委員會は、その後數年間に亘つて鋭意調査研究を進め、遂に成案を得て昭和14年2月「鋼道路橋設計示方書案」を發表するに至つた。この新示方書は、從來の「道路構造に關する細則案」に對する單なる補正ではなく、全般的且つ飛躍的な大改正であつて、橋梁の等級・設計荷重・衝擊・許容應力等設計の基本大綱を悉く改め、更に細則案に缺除せる細目設計の規格條項を網羅してゐる。従つて從來我々の手許に準備されてゐた設計資料の類は、殆どすべて價值を失つてしまひ、全く新規再直しの狀態となつたのであつて、若しこの劃期的改正が事變前の平常時に行はれたとすれば、設計者の困惑と難澁は、恐らく一時封度法からメートル法への移行當時と同様或はそれ以上であらうと思はれる。現在、時局下鋼道路橋の新設工事が皆無に等しい狀態にあることは、新示方書の反響や實績を見る上には誠に遺憾に堪へない次第であるが、一面、新示方書の實施に備へる準備期が與へられたと考へれば、寧ろ僥倖とも言ふべきであり、我々は須らくこの期間を利用して新示方書の内容を充分吟味検討すると共に、後日の設計に對する資料の整備に心懸くべきであらう。

上述の事情を稽へ、今回舊標準設計案の徹底的改訂を行ふに當つては、單に新示方書に準據せる設計規範を設定するに止まらず、今後の設計に必要と思はれる資料を作製することに努めた。こゝに發表するものは、その資料の一部と新標準設計案であり、勿論完璧とは言ひ得ないものであるが、これによつて新示方書の實施に伴ふ設計上の困難と錯誤を軽減し得れば幸である。

I. 鋼道路橋に於ける床版の寸法(圖—1及び圖—2)

床版の設計に當つては、示方書に定められた許容應力をそのまゝ作用せしめるのが最も經濟的とは限らない。鐵筋工費とコンクリート工費との比率に應じ、或適當な應力値を以て設計上の作用應力とする時最も經濟的な設計が得られるのである。また一面、鋼橋に於ける床版は、その厚さを可及的薄くして死荷重の軽減に努める必要に迫られてゐる。この様な觀點に立ち、鐵筋及びコンクリートの比較工費を考慮せる場合の最も有利なる作用應力

として次の結果を得た。

(a) 鉄筋の作用應力を $1,200\text{kg/cm}^2$ とする場合には、コンクリートの作用應力は 45kg/cm^2

(b) 鉄筋の作用應力を $1,300\text{kg/cm}^2$ とする場合には、コンクリートの作用應力は 50kg/cm^2

(a)の組合せは従来慣用のもので、その點最も無難ではあるが、この組合せを用ひ新示方書の規定に従つて設計せる床版は、従来の細則案に準據せるものに比して可成り厚いものとなり、これによる橋床重量の増加は、設計活荷重の増加と相俟つて、新示方書適用による所要鋼重の増加に拍車をかけるであらう。この意味に於て、著者は(b)の組合せの採用を推奨したいのであるが、この場合には使用材料に少くとも次の如き制限を設ける必要がある。

鉄筋の引張強さ： $\sigma_B > 4,500\text{kg/cm}^2$

コンクリート材齢28日の壓縮強さ： $\sigma_{28} > 150\text{kg/cm}^2$

圖一1は(a)の組合せ、圖一2は(b)の組合せを採用せる場合の床版所要寸法であり、本圖表の作製に當つては、次の如き假定の下に近似計算を行つた。

(イ) 上置層の厚さは鋪裝・敷コンクリートを含めて 6cm 、その重量は 0.14t/m^2 とする。

(ロ) 床版の正の最大スパン曲げモーメントは單純梁としての最大曲げモーメントの 0.8 倍とする。

(ハ) 鉄筋の被りはすべて 2.5cm とする。

従つて本圖表の値は第1次計算に必要な大體の見通しを與へるのであつて、床版の最終計算に於ては上置層の實際厚さを用ひ、且つ單純支點上の連續梁に對する計算法に従つて、實際の曲げモーメントを算出すべきである。

II. 主桁の最大活荷重曲げモーメント(圖一3乃至圖一18)

圖一3 乃至圖一18は活荷重による主桁中央點の最大曲げモーメント(衝擊を含ます)を圖示せるもので、本圖表によれば、主桁の斷面決定に必要な最大曲げモーメントの値を、極めて迅速且つ正確に見出し得るのである。圖中實線は中桁、破線は側桁に對する値を示し、これらの値は鋼橋の場合のみならず、鐵筋コンクリートT桁橋に對しても適用し得る。

橋梁の有効幅員としては、「道路構造令並同細則改正案要項」第四及び第五の規定に従ひ、一等橋に對しては、 3.5m 、 6.0m 、 7.5m 、 9.0m の4種、二等橋に對しては 4.5m 、 5.5m 、 6.0m 、 7.5m の4種を採り、支間は 4m から 30m に及んでゐる。

道路橋に於ては、幅員・主桁間隔及び主桁數に應じて活荷重の負載方法が多少異り、活荷重曲げモーメントの大きさに關係するフアクターが非常に多いため、本圖表の作製に要した計算手數は豫想以上であつたが、近似・省略等を一切行はず極めて嚴密正確を期した。従來活荷重の負載方法を誤るものが往々見受けられ、殊に今回の如き新示方書改正に際しては一層その危險が多いのであるが、本圖表の利用によつてこれを防ぎ得ると考へる。尚細則案に準據して主桁の最大活荷重曲げモーメントを求めた圖表は以前二、三作製されたが、それらは何れも曲げモーメントを主桁間隔と支間の函數として表したものであつて、中桁側桁の區別がなく且つ幅員及び主桁數の影響を無視してゐるから、特定の幅員に於ける特定の主桁に對しては可成りの誤差を免れない。本圖表は中桁と側桁を區別して幅員別に作製してあるから、斯かる誤差の惧れはなく常に正確な値が得られるのである。

圖中の曲線に現はれた性質に就て一言すれば、3主桁以上を用ひる場合、中桁の曲げモーメントは主桁間隔と共に増すが、側桁の曲げモーメントは、その分擔する幅員の關係上、主桁間隔が増すと却つて減少する。而して

兩曲線の交點は中桁と側桁の活荷重曲げモーメントを等しからしめる主桁間隔^{*}を示すものであつて、これは主桁間隔決定の際の根據となるであらう。尤も或幅員に對し如何なる主桁間隔を最も有利とするかは、荷重の大小・支間の長短・構造細目の難易等とも關係を有するから、本圖表のみから即斷することは早計であるが、上記の交點を考慮することによつて選擇の範圍を著しく狭め得るのである。例へば幅員 9m の一等橋に就て言へば、3—主桁なら 3.3m 附近、4—主桁なら 2.4m 附近、5—主桁なら 1.9m 附近、6—主桁なら 1.5m 附近の主桁間隔が、荷重分擔の比率から言つて好都合なのであつて、このうちから構造の難易によつて選擇すればよい。但し斯様な主桁間隔を用ひると、多くの場合幅員の兩側端に於ける床版突出量が大となつて、鋼製ブラケットの必要を生じて来る。後述の標準設計案に於て、主桁間隔の選定が上の方針通りとなつてゐないのは、鋼製ブラケットの使用を避ける方針を採つたからである。

III. 各種鋼桁斷面の抵抗モーメント

新示方書第八十六條の鋼桁設計規定に従ひ、各種鋼桁斷面に對する抵抗モーメントを算出したものが圖—19乃至圖—25である。鋼桁斷面としては支間 30m 以下の道路橋に對して適當と思はれる表—1 の如き71種の斷面を選び（但し、表中×印を附した斷面即ち圖中破線で示した斷面は、已むを得ざる場合のほかに使用せざるを可とする）、腹板厚さは 8mm, 9mm, 10mm, 11mm, 12mm, 13mm, 14mm の7種をとつた。

道路橋の鋼桁に於ては、殆ど例外なく引張側抵抗モーメントの方が壓縮側より小さいから、本圖表に示した値はすべて引張側抵抗モーメントであり、その算出には次式を用ひた。

$$M = \frac{\sigma'_{ta} I}{y_t}$$

式中 y_t = 中立線より引張縁に至る距離 (cm)

I = 鋼桁總斷面の中立線の周りの慣性モーメント (cm⁴)

$$\sigma'_{ta} = \sigma_{ta} \cdot \frac{A_n}{A_g} = 1,300 \cdot \frac{A_n}{A_g} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

A_g = 引張突縁の總斷面積 (cm²)

A_n = 引張突縁の純斷面積 (cm²)

圖—19の左上の表は、各種腹板厚さに對する鋼桁高の許容最大限を新示方書第八十八條の規定

$$l = \frac{1}{12} \sqrt{h}$$

式中 l = 腹板の厚さ (cm)

h = 上下兩突縁山形鋼を腹板に連結する内側縦梁間距離 (cm)

に従つて算出したものである。

本圖表を使用して鋼桁斷面を決定するには、先づ圖—3 乃至圖—18によつて最大活荷重曲げモーメントを知り、これに恒荷重及び死荷重による曲げモーメントを加算して支間中央の最大曲げモーメントを求める。一方支間及び最大曲げモーメントに應じて桁高を定め、これに對して必要な腹板厚さを圖—19左上の表によつて決定する。この腹板厚さに該當する抵抗モーメント圖表中に於て、既に決定せる最大曲げモーメントと桁高とに對應する點を

* 一般に側桁の死荷重曲げモーメントは中桁より可成り大となるから、全曲げモーメントを等しからしめる主桁間隔はこれより稍大となる。

表-1 鉚桁断面(×印を附したる断面はなるべく使用せざるを可とす)

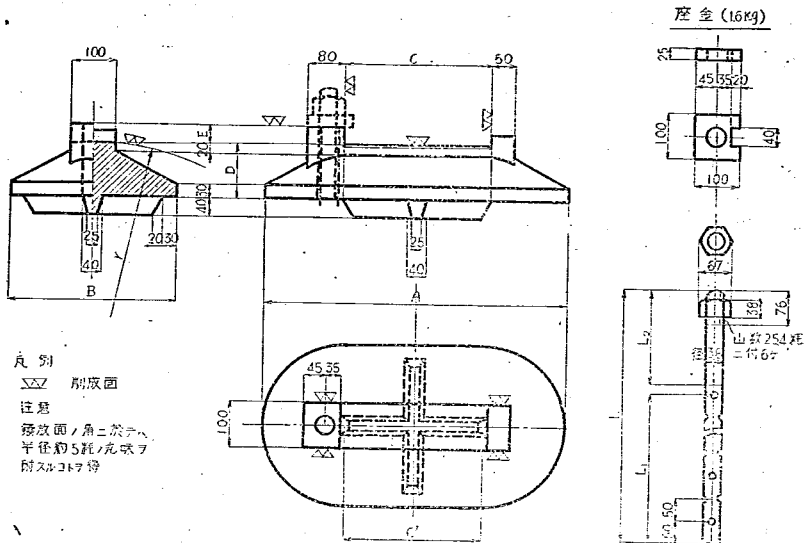
番 号	天 懸 山 形 鋼			天 懸 山 形 鋼			番 号	天 懸 山 形 鋼			天 懸 山 形 鋼		
	寸 法	断 面	断 面	寸 法	断 面	断 面		寸 法	断 面	断 面	寸 法	断 面	断 面
1	2-L125x90x10	41.00	1-270x9	243	653	35	2-L150x100x12	57.12	3-320x9	864	14352		
2	"	"	280x9	252	662	36	"	"	330x9	891	14622		
3	"	"	290x9	261	671	37	"	"	340x9	918	14892		
4	"	"	300x9	270	680	38	"	"	350x9	945	15162		
5	"	"	290x10	290	700	39	"	"	330x10	990	15612		
6	"	"	300x10	300	710	40	"	"	340x10	1020	15912		
7	"	"	310x10	310	720	41	"	"	350x10	1050	16212		
8	2-L150x100x9	43.68	1-320x9	288	72.48	42	"	"	360x10	1080	16512		
9	"	"	330x9	297	73.38	43	"	"	340x11	1122	16932		
10	"	"	340x9	306	74.28	44	2-L150x100x15	70.5	3-350x10	1050	1755		
11	"	"	350x9	315	75.18	45	"	"	360x10	1080	1785		
12	2-L150x100x12	57.12	1-320x9	288	85.92	46	"	"	340x11	1122	1827		
13	2-L125x90x10	41.00	2-270x9	486	896	47	"	"	350x11	1155	1860		
14	"	"	280x9	504	914	48	"	"	360x11	1188	1893		
15	"	"	290x9	522	932	49	"	"	370x11	1221	1926		
16	"	"	300x9	540	950	50	"	"	350x12	1260	1965		
17	"	"	290x10	580	990	51	"	"	360x12	1296	2001		
18	"	"	300x10	600	1010	52	"	"	370x12	1332	2037		
19	"	"	310x10	620	1030	53	"	"	380x12	1368	2073		
20	2-L150x100x9	43.68	2-330x9	544	10308	54	2-L150x150x15	85.48	3-370x12	1332	21858		
21	"	"	340x9	612	10488	55	"	"	380x12	1368	22228		
22	"	"	350x9	630	10668	56	"	"	350x14	1470	23248		
23	2-L125x90x10	41.00	3-270x9	729	1139	57	"	"	360x14	1512	23668		
24	"	"	280x9	756	1166	58	"	"	370x14	1554	24098		
25	"	"	290x9	783	1193	59	"	"	380x14	1596	24508		
26	"	"	300x9	810	1220	60	"	"	390x14	1638	24928		
27	2-L150x100x12	57.12	2-330x10	660	12312	61	"	"	400x14	1680	25348		
28	"	"	340x10	680	12512	62	2-L150x150x19	106.76	3-380x14	1596	26636		
29	"	"	350x10	700	12712	63	"	"	390x14	1638	27056		
30	"	"	360x10	720	12912	64	"	"	400x14	1680	27476		
31	"	"	340x11	748	13192	65	"	"	410x14	1722	27896		
32	2-L150x100x15	70.50	2-330x10	660	1365	66	"	"	400x15	1800	28676		
33	"	"	340x10	680	1385	67	"	"	410x15	1845	29126		
34	"	"	350x10	700	1405	68	"	"	420x15	1890	29576		
						69	"	"	410x16	1968	30356		
						70	"	"	420x16	2016	30836		
						71	"	"	430x16	2064	31316		

見出せば、その點の直上にある曲線の番號によつて最も經濟的な断面を知り得るのである。例へば、今 $M=22,000,000\text{kg}\cdot\text{cm}$ 、桁高 $=140\text{cm}$ とすれば、圖-19左上の表により腹鉚厚さを 10mm とすべきことを知るから、圖-21を見て抵抗モーメント $22,000,000\text{kg}\cdot\text{cm}$ と桁高 140cm の線の交點から断面番號 $30(2-L150\times100\times12, 2-360\times10)$ が最も經濟的なことを知るのである。

IV. 鉚桁用支承沓の標準

表-2 は示方書第七十條及び第七十一條に従つて鉚桁用支承沓(鑄鐵製線搖承)の各部所要寸法を計算せる結

表-2 飯桁用鑄鐵杓及附屬品(支間10m~30m)



番号	音											アノカ一ホト上					
	支持力 (kgf)	重量 (kg)	文証面點 (cm ²)	寸			主 (mm)					材質	蓋蓋 (kg)	寸 (mm)			材質
				A	B	C	C'	D	E	F	L			L ₁	L ₂		
No. 1	38	50	1976	500	240	270	260	20	35	350	芳二程	75	760	550	140	GS41	
2	42	52	1297	520	260	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
3	47	58	1344	540	280	"	"	"	"	400	"	"	"	"	"	"	
4	52	65	1487	550	300	"	"	40	37	450	"	74	770	"	700	"	
5	57	75	1636	580	320	"	"	"	"	500	"	"	"	"	"	"	
6	56	76	1667	600	330	320	300	"	"	400	"	"	"	"	"	"	
7	62	81	1764	620	320	"	"	"	"	450	"	"	"	"	"	"	
8	67	95	1928	640	340	"	"	100	"	"	"	75	780	"	210	"	
9	73	101	2048	660	360	"	"	"	40	500	"	76	790	"	215	"	
10	80	117	2274	680	390	"	"	110	"	550	"	77	800	"	225	"	
11	86	124	2457	700	400	"	"	"	"	600	"	"	"	"	"	"	
12	93	142	2645	720	420	"	"	120	"	650	"	"	810	"	235	"	
13	99	150	2841	740	440	"	"	"	"	700	"	"	"	"	"	"	
14	106	170	3042	760	460	"	"	130	"	750	"	78	820	"	245	"	

果であり、本表により反力から直ちに使用すべき沓の寸法を知り得る。

各部の厚さは曲げ応力に對して安全なる様に定め、支壓曲面の半徑は鑄鐵の許容最大支壓應力 σ を $3,500\text{kg/cm}^2$ として Hertz の公式によつて定めた。可動端の伸縮支承は、示方書第七十一條により支間 30m 以下の鉸鉸に對して滑り支承の使用が許されるから、固定端と同一の杓を用ひ、たゞ底鉸の切込みを除去すればよい。アンカーボルトの埋込み長さは、示方書第七十二條により直徑の 15 倍以上とした。

V. 標準設計案

前掲の設計諸資料を利用して各種支間の一等橋（幅員 7.5m, 6.0m）及び二等橋（幅員 6.0m, 5.5m）の設計々算を行ひ、表—3乃至表—6の如き結果を得た。

表—3 道路鈹桁橋（一等橋；幅員 7.5m）

支間 (m)	桁中心間 (m)		床版 厚 (cm)	格間長 (m)	縦 桁	横 桁	中 桁		側 桁	
	主桁	縦桁					max M (t-m)	斷 面	max M (t-m)	斷 面
10	3.30	1.65	16	4×2.50	I 300×150×8	I 400×150×10	77.8	4 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 830×8	56.3	2 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 830×8
12	"	"	"	4×3.00	I 350×150×9	"	105.7	4 - 290×10 4-L 125×90×10 1 - 960×8	77.0	2 - 290×10 4-L 125×90×10 1 - 960×8
14	"	"	"	2×2.50 3×3.00	"	"	138.3	6 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 1,070×9	101.0	4 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 1,070×9
16	"	"	"	2×3.05 3×3.30	"	"	175.7	6 - 300×9 4-L 125×90×10 1 - 1,230×9	128.6	4 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 1,230×9
18	"	"	"	5×3.60	"	"	218.0	6 - 320×9 4-L 150×100×12 1 - 1,310×10	159.7	4 - 320×9 4-L 150×100×12 1 - 1,310×10
20	6.6	"	"	2×3.34 4×3.33	"	4-L 125×90×10 1 - 850×8	—	—	322.8	6 - 350×10 4-L 150×100×12 1 - 1,610×10
22	"	"	"	2×3.15 5×3.14	"	4-L 125×90×10 1 - 830×8	—	—	386.9	6 - 340×11 4-L 150×100×15 1 - 1,730×11
25	"	"	"	2×3.50 5×3.60	"	4-L 125×90×10 1 - 870×8	—	—	494.9	6 - 380×12 4-L 150×100×15 1 - 1,910×12
30	"	"	"	2×3.10 7×3.40	"	4-L 125×90×10 1 - 850×8	—	—	707.3	6 - 400×14 4-L 150×150×15 1 - 2,210×12

表—4 道路鈹桁橋（一等橋；幅員 6.0m）

支間 (m)	桁中心間 (m)		床版 厚 (cm)	格間長 (m)	縦 桁	横 桁	中 桁		側 桁	
	主桁	縦桁					max M (t-m)	斷 面	max M (t-m)	斷 面
10	2.50	1.25	15	4×2.50	I 250×125×7.5	I 300×150×8	58.1	2 - 300×10 4-L 125×90×10 1 - 750×8	47.8	2 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 750×8
12	"	"	"	5×2.40	"	"	78.8	4 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 870×8	65.3	2 - 290×9 4-L 125×90×10 1 - 870×8
14	"	"	"	2×2.50 3×3.00	I 300×150×8	"	103.0	4 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 1,020×8	85.9	2 - 310×10 4-L 125×90×10 1 - 1,020×8

(表-4 の 続 き)

16	4.80	1.6	15	$\frac{2 \times 3.05}{3 \times 3.30}$	I 350 × 150 × 9	$\frac{4-L 90 \times 90 \times 10}{1-600 \times 8}$	—	—	173.4	$\frac{6-280 \times 9}{4-L 125 \times 90 \times 10}$ 1 - 1,290 × 10
18	"	"	"	$\frac{5 \times 3.60}{5 \times 3.60}$	"	$\frac{4-L 90 \times 90 \times 10}{1-620 \times 8}$	—	—	215.4	$\frac{6-350 \times 10}{4-L 150 \times 100 \times 12}$ 1 - 1,400 × 10
20	"	"	"	$\frac{2 \times 2.75}{5 \times 2.90}$	I 300 × 150 × 8	$\frac{4-L 90 \times 90 \times 10}{1-580 \times 8}$	—	—	262.3	$\frac{6-330 \times 9}{4-L 150 \times 100 \times 12}$ 1 - 1,500 × 10
22	"	"	"	$\frac{2 \times 3.00}{5 \times 3.20}$	I 350 × 150 × 9	$\frac{4-L 90 \times 90 \times 10}{1-600 \times 8}$	—	—	314.2	$\frac{6-340 \times 10}{4-L 150 \times 100 \times 12}$ 1 - 1,600 × 11
25	"	"	"	$\frac{2 \times 3.50}{5 \times 3.60}$	"	$\frac{4-L 90 \times 90 \times 10}{1-620 \times 8}$	—	—	401.8	$\frac{6-350 \times 11}{4-L 150 \times 100 \times 15}$ 1 - 1,760 × 11
30	"	"	"	$\frac{2 \times 3.10}{7 \times 3.40}$	"	$\frac{4-L 90 \times 90 \times 10}{1-610 \times 8}$	—	—	573.4	$\frac{6-350 \times 14}{4-L 150 \times 150 \times 15}$ 1 - 2,020 × 12

表-5 道路板桁橋 (二等橋; 幅員 6.0m)

支間 (m)	桁中心間 (m)		床版 厚 (cm)	格間長 (m)	縦 桁	横 桁	中 桁		側 桁	
	主桁	縦桁					max M (t-m)	斷 面	max M (t-m)	斷 面
10	2.50	1.25	15	4×2.50	I 250×125×75	I 300×150×8	48.5	2 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 690×8	40.8	2 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 690×8
12	〃	〃	〃	5×2.40	〃	〃	66.7	2 - 310×10 4-L 125×90×10 1 - 830×8	56.4	2 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 830×8
14	〃	〃	〃	2×2.50 3×3.00	〃	〃	88.0	4 - 270×9 4-L 125×90×10 1 - 930×8	74.8	2 - 300×10 4-L 125×90×10 1 - 930×8
16	4.80	1.60	15	2×3.05 3×3.30	I 300×150×8	I 450×175×11	—	—	151.2	4 - 310×10 4-L 125×90×10 1 - 1,240×9
18	〃	〃	〃	5×3.60	〃	〃	—	—	188.9	6 - 290×9 4-L 125×90×10 1 - 1,350×10
20	〃	〃	〃	2×2.75 5×2.90	〃	〃	—	—	231.2	4 - 340×11 4-L 150×100×12 1 - 1,430×10
22	〃	〃	〃	2×3.00 5×3.20	〃	〃	—	—	278.0	6 - 340×9 4-L 150×100×12 1 - 1,530×10
25	〃	〃	〃	2×3.50 5×3.60	〃	〃	—	—	357.3	6 - 340×11 4-L 150×100×12 1 - 1,700×11
30	〃	〃	〃	2×3.10 7×3.40	〃	〃	—	—	513.2	6 - 380×12 4-L 150×100×15 1 - 1,960×12

表-6 道路鉄桁橋(二等橋;幅員 5.5m)

支間 (m)	桁中心間 (m)		床版 厚 (cm)	格間長 (m)	縦 桁	横 桁	中 桁		側 桁	
	主桁	縦桁					max M (t-m)	斷 面	max M (t-m)	斷 面
10	2.20	—	16	4×2.50	—	I 250×125×7.5	42.0	2 - 270×9 4 - L 125×90×10 1 - 660×8	39.0	2 - 270×9 4 - L 125×90×10 1 - 660×8
12	—	—	—	5×2.40	—	—	57.9	2 - 290×9 4 - L 125×90×10 1 - 780×8	53.9	2 - 270×9 4 - L 125×90×10 1 - 780×8
14	—	—	—	2×2.50 3×3.00	—	—	76.7	2 - 310×10 4 - L 125×90×10 1 - 930×8	71.5	2 - 290×9 4 - L 125×90×10 1 - 930×8
16	4.20	2.10	16	2×3.05 3×3.30	I 350×150×9	I 400×150×10	—	—	140.8	4 - 300×10 4 - L 125×90×10 1 - 1190×9
18	—	—	—	5×3.60	—	—	—	—	176.0	6 - 280×9 4 - L 125×90×10 1 - 1,290×10
20	—	—	—	2×2.75 5×2.90	I 300×150×8	—	—	—	215.5	4 - 350×10 4 - L 150×100×12 1 - 1,390×10
22	—	—	—	2×3.00 3×3.20	I 350×150×9	—	—	—	259.3	6 - 320×9 4 - L 150×100×12 1 - 1,490×10
25	—	—	—	2×3.50 5×3.60	—	—	—	—	333.3	6 - 350×10 4 - L 150×100×12 1 - 1,650×11
30	—	—	—	2×3.10 7×3.40	—	—	—	—	479.0	6 - 370×12 4 - L 150×100×15 1 - 1,880×12

この全部に對して斷面を作製することは極めて困難な事情にあつたから、今回は表-3(一等橋;幅員 7.5m)の分だけを作製するに止めた。巻末添附の附圖がその設計圖であり、これを參考とし表-4乃至表-6の場合の作圖を行ふことは、既に設計の経験ある人にとつては極めて容易なことと考へる。

各部の設計方針のうち、新設方書に明示あるものは勿論それに従ひ、明示なきものに對しては大體前回の方針を踏襲することとした。その結果舊設計案と顯著な相違を來した點は次の3つである。

(a) 舊設計案では、上突縁の蓋板のうち1枚を桁端まで延長して桁端附近の主桁斷面を上下非對稱としたのであるが、新設方書第八十九條は上突縁がコンクリートで覆はれる場合を除外例として認めてゐるから、新設計案では蓋板の延長を廢止して桁端附近の斷面を上下對稱とした。

(b) 示方書第四十五條により鋼材の許容最小厚さが 8mm となつたから、桁高 103cm 以下の鉄桁に對して厚さ 8mm の腹板を使用した。但し横構用翼板の厚さは元通り 9mm とした。

(c) 舊設計書では、支間 20m 乃至 30m の場合(主桁 2 本の場合)に縦桁を横桁突縁上に取付けたが、今回は示方書第七十六條の趣旨に従ひ、縦桁の横方向安定を考慮してこれを横桁間に鉅結する様に改めた。

新設方書の適用により鋼橋の鋼重がどの程度増すかは、我々が最も關心を寄せた點であるが、新舊兩設計案の

比較により鋼重の増加が平均 10% 程度であることを確かめた。下記はその比較表である。

支 間(m)		10	12	14	16	18	20	22	25	30
鋼 重 (容を除く) (t)	舊	10.48	13.03	16.93	19.52	23.40	28.56	33.94	40.60	57.92
	新	11.69	14.01	18.36	21.07	26.49	32.13	37.57	44.60	62.03
比 率		1.115	1.075	1.034	1.079	1.132	1.125	1.107	1.099	1.071

図-1 鋼道路橋に於ける床版の寸法 其の一

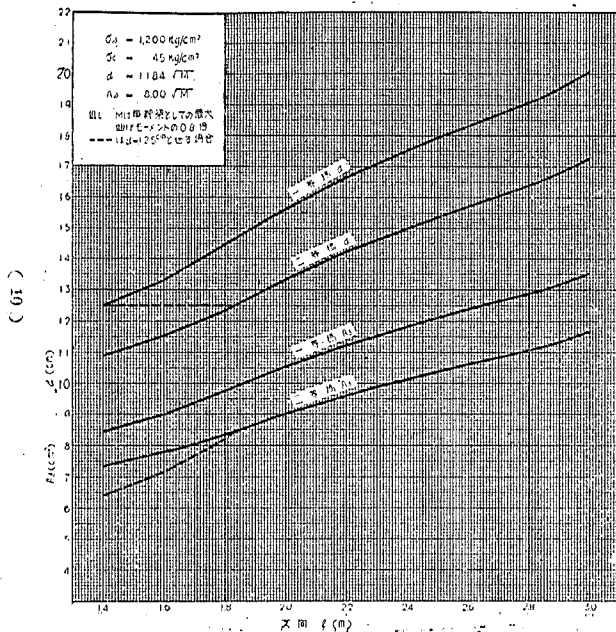


図-2 鋼道路橋に於ける床版の寸法 其の二

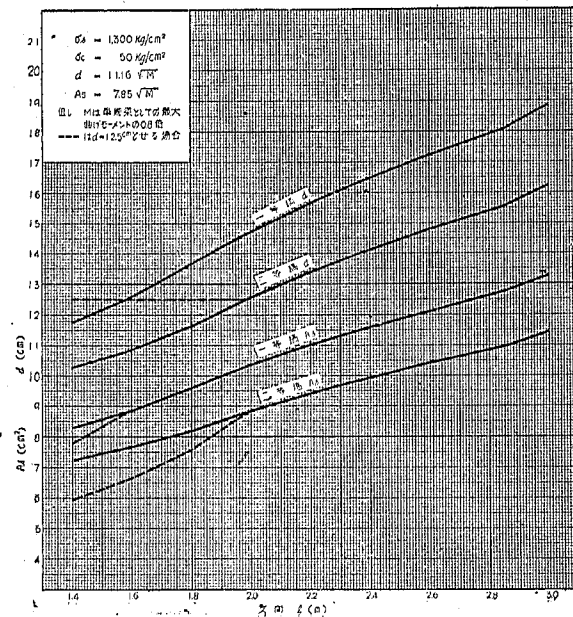


圖-3 幅員 4.5m (等橋) 其の一
(實線は中桁, 破線は側桁)

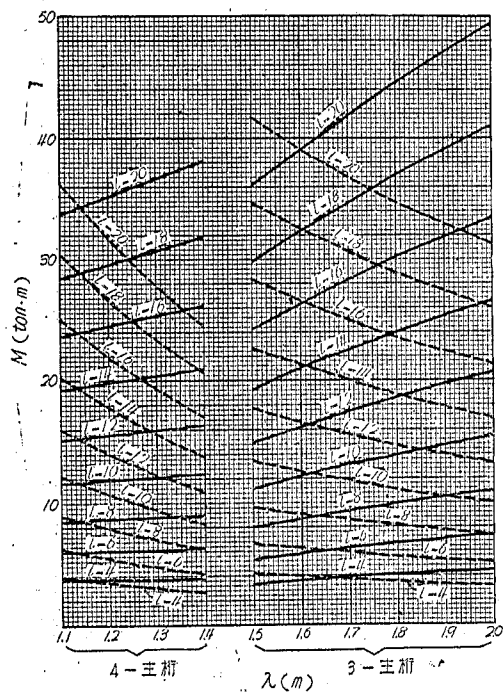


圖-4 幅員 4.5m (二等橋) 其の二

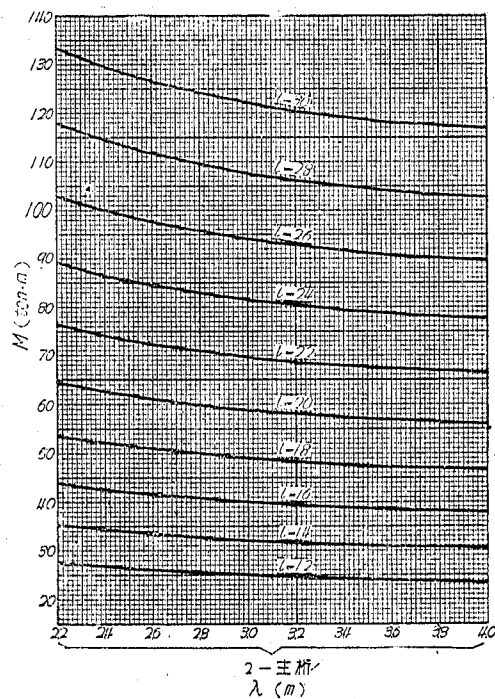


図-5 幅員 5.5m (一等橋) 其の一
(實線は中桁、破線は側桁)

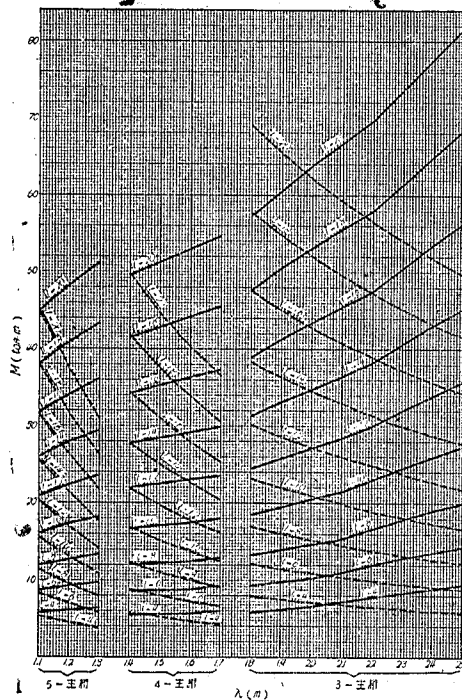


図-6 幅員 5.5m (一等橋) 其の二

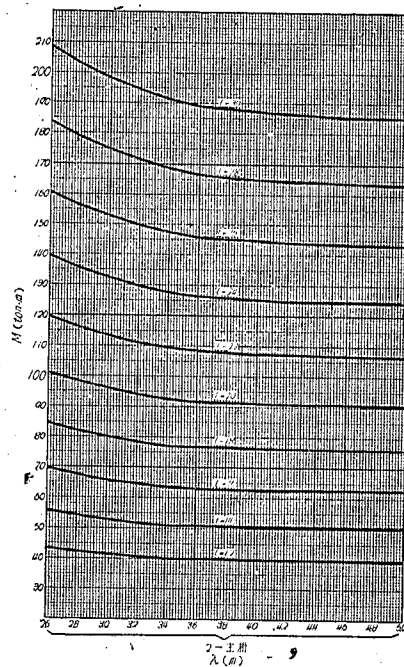


圖-7 幅員 5.5m (二等橋) 其の一 (實線は中桁, 破線は側桁)

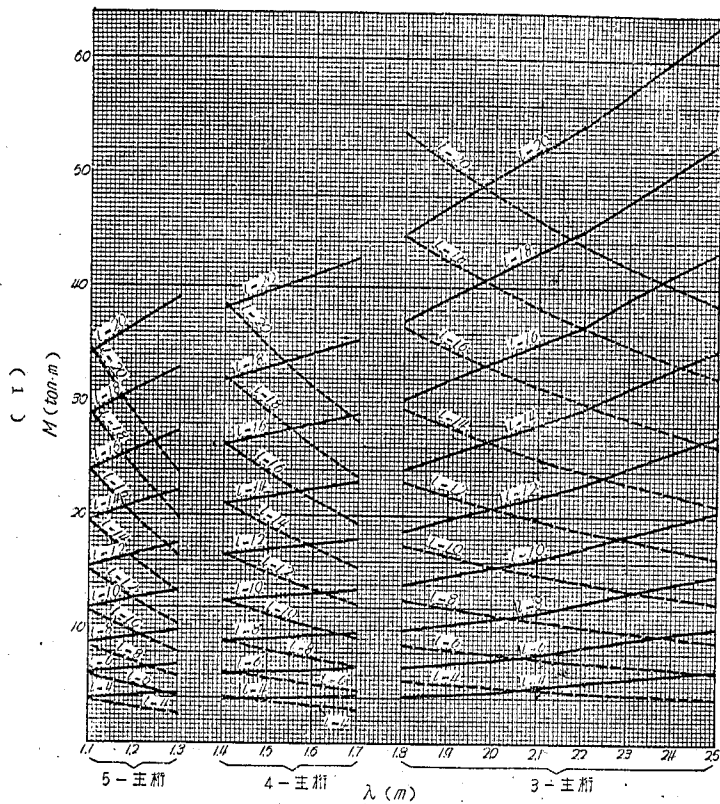


圖-9 幅員 6.0m (一等橋) 其の一
(實線は中桁, 破線は側桁)

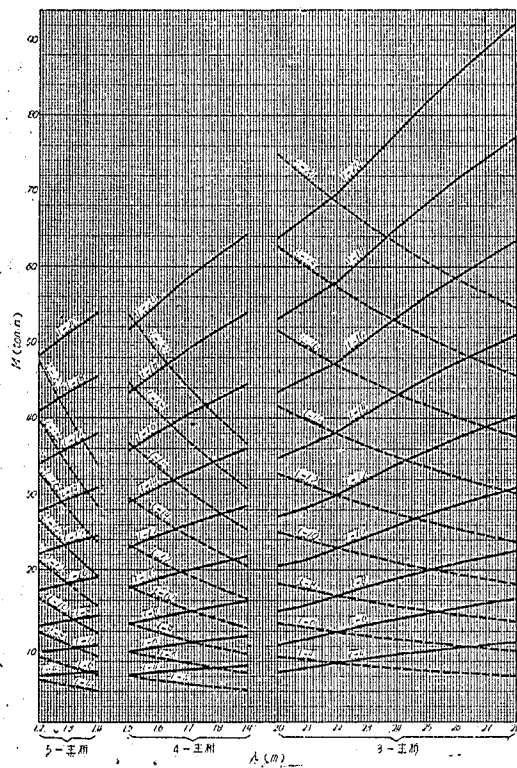
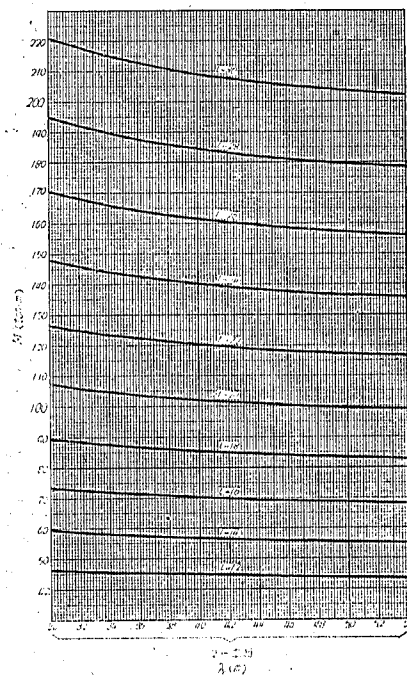


圖-10 幅員 6.0m (一等橋) 其の二



図一11 幅員 6.0m (二等橋) 其の一 (實線は中桁、破線は側桁)

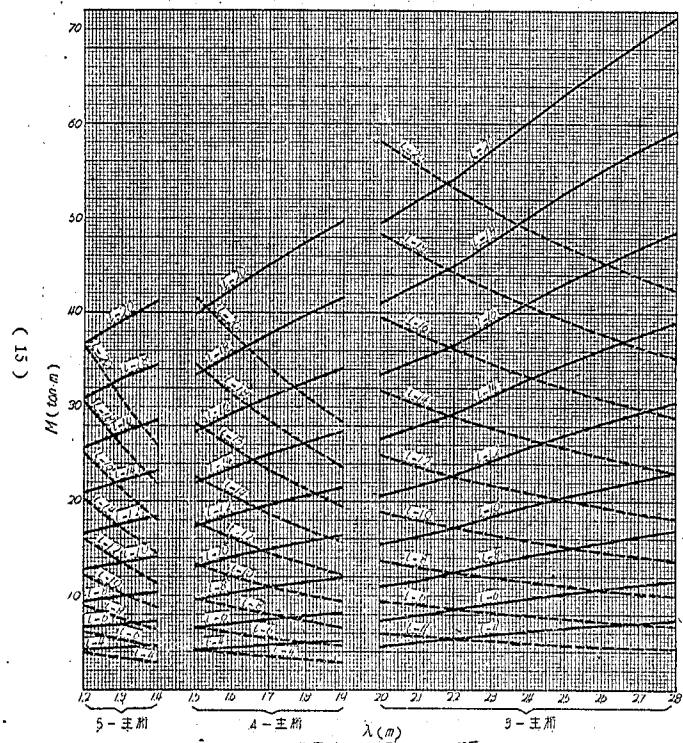


圖-13 幅 員 7.5m (一等橋) 其の一

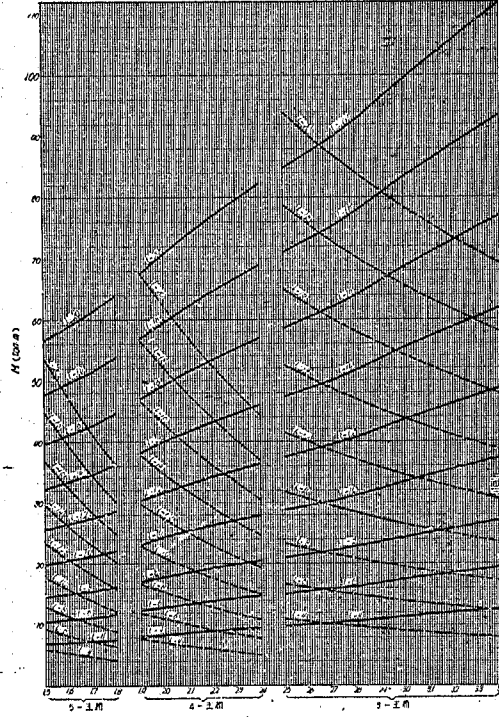


圖-14 幅 員 7.5m (一等橋) 其の二

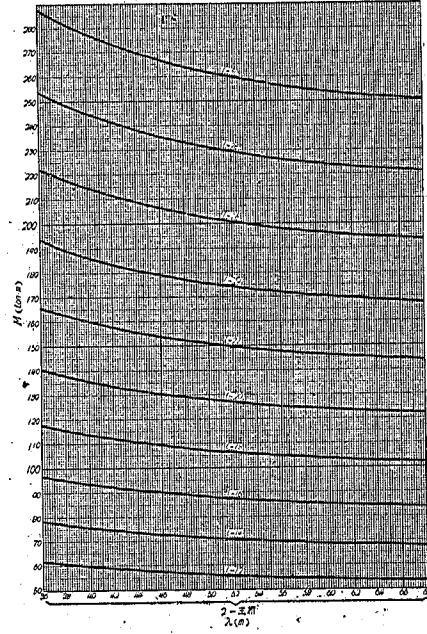


圖-15 幅員 7.5m (二等橋) 其の一 (實線は中桁, 破線は側桁)

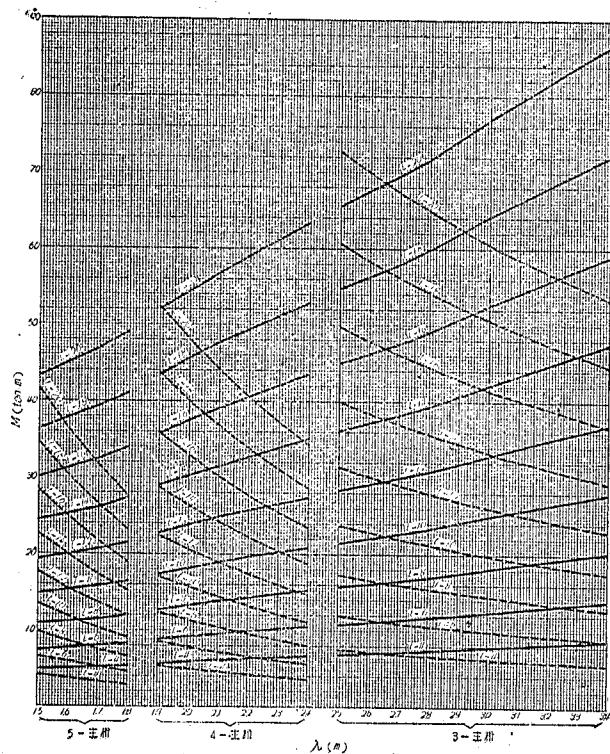


圖-16 幅員 7.5m (二等橋) 其の二

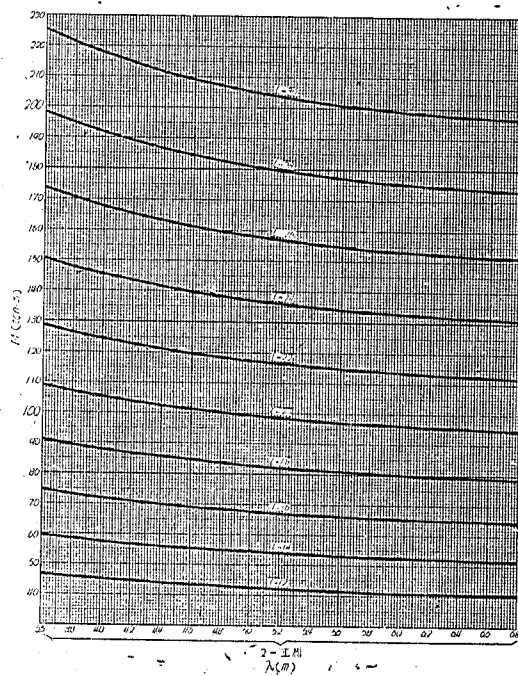
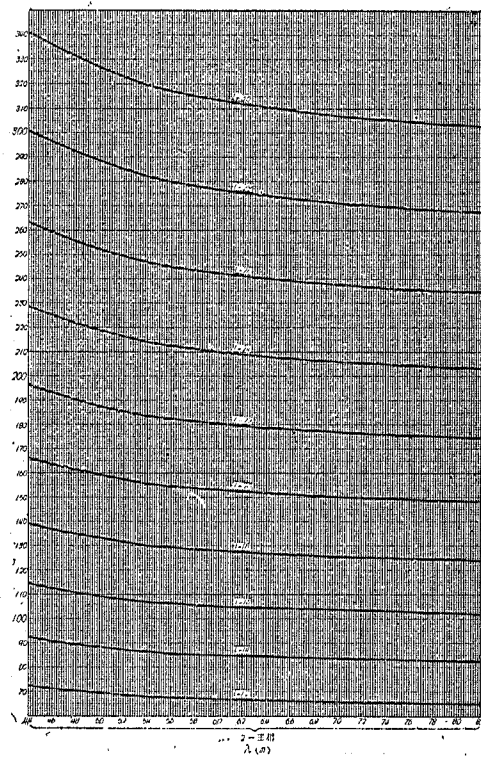
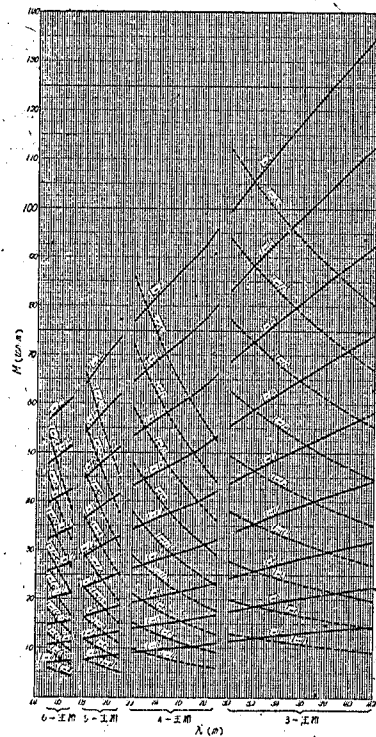


図-18 幅員 9.0m (一等橋) 其の二

図-17 幅員 9.0m (一等橋) 其の一
(實線は中桁, 破線は側桁)

圖—19 各種鉄桁断面の抵抗モーメント (其の一)

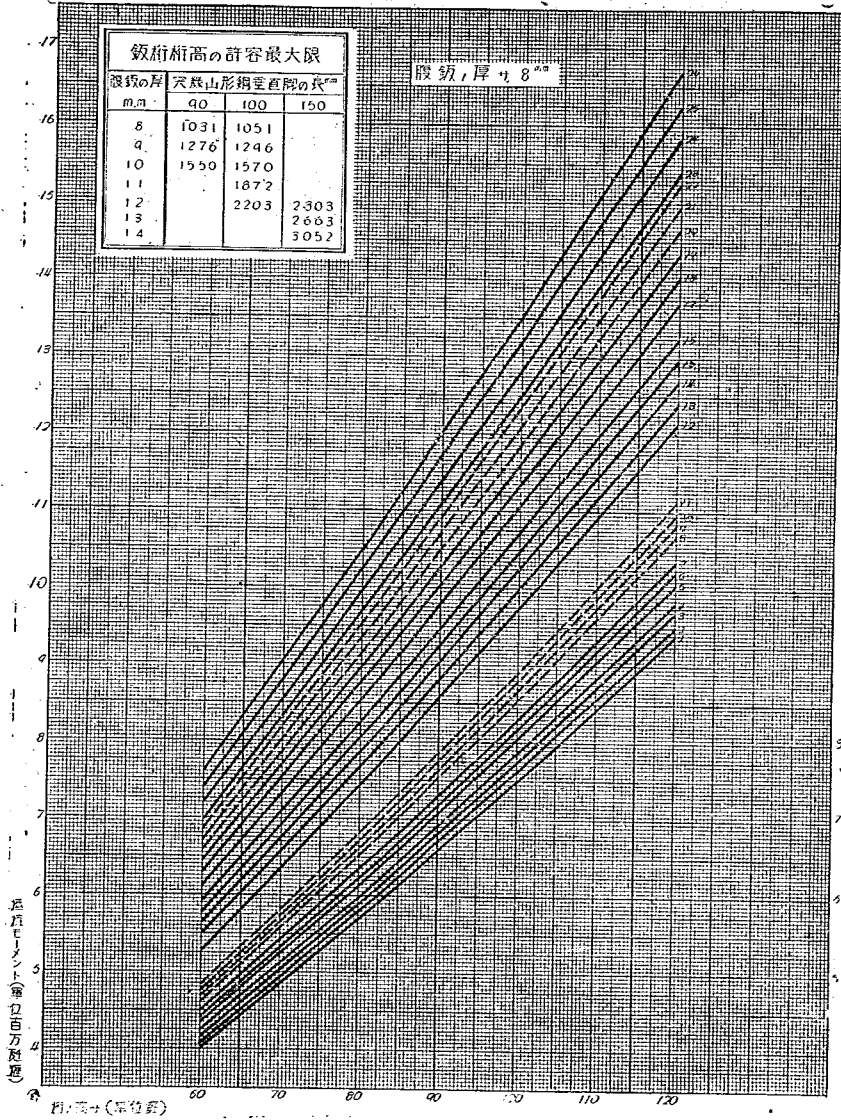
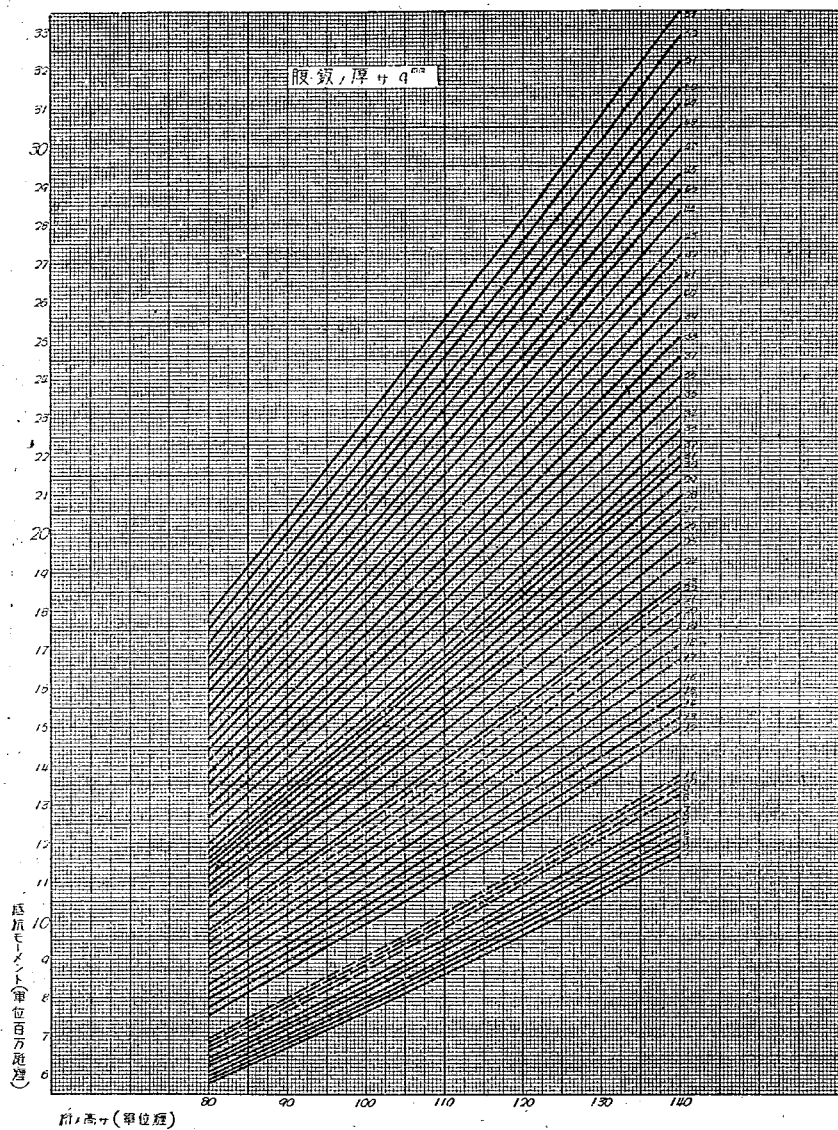


圖-20 各種断面の抵抗モーメント (其の二)



圖一21 各種板桁斷面の抵抗モーメント (其の三)

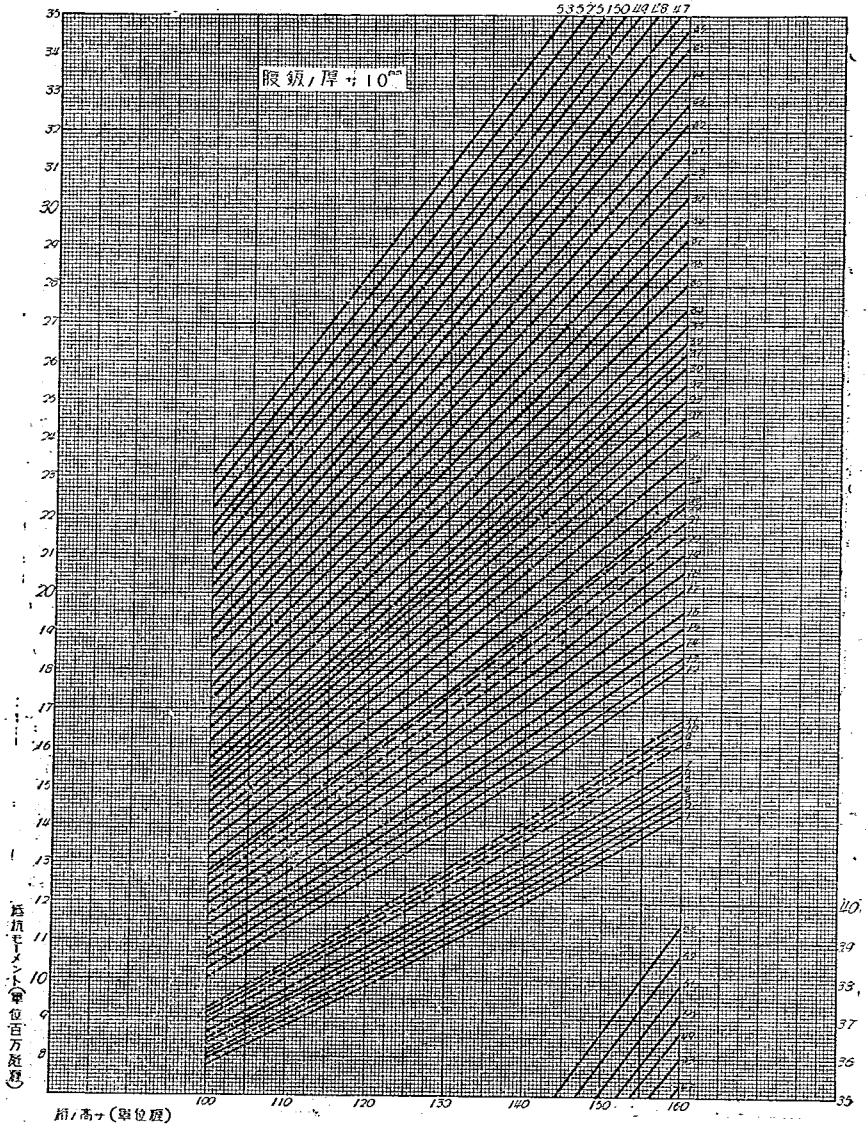


図-22 各種鉄筋断面の抵抗モーメント (其の四)

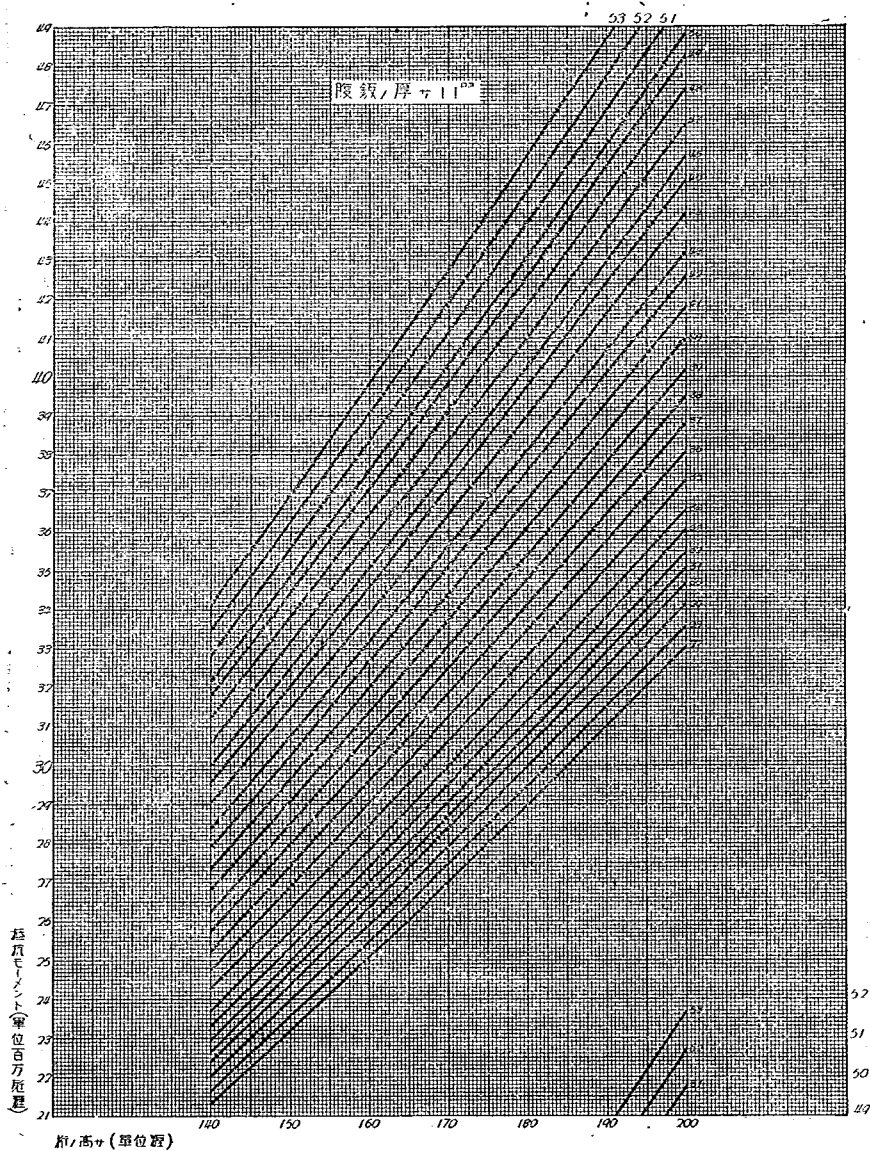


図-23. 各種鉄桁断面の抵抗モーメント (其の五)

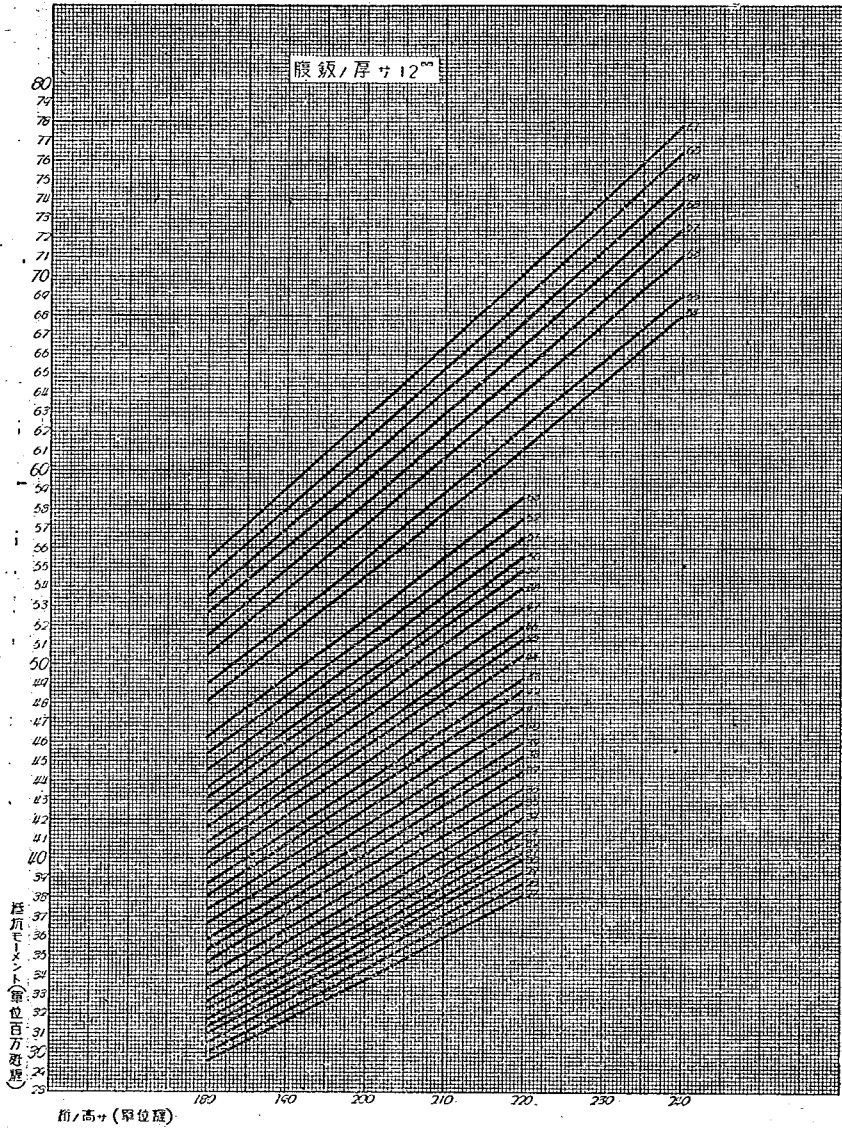
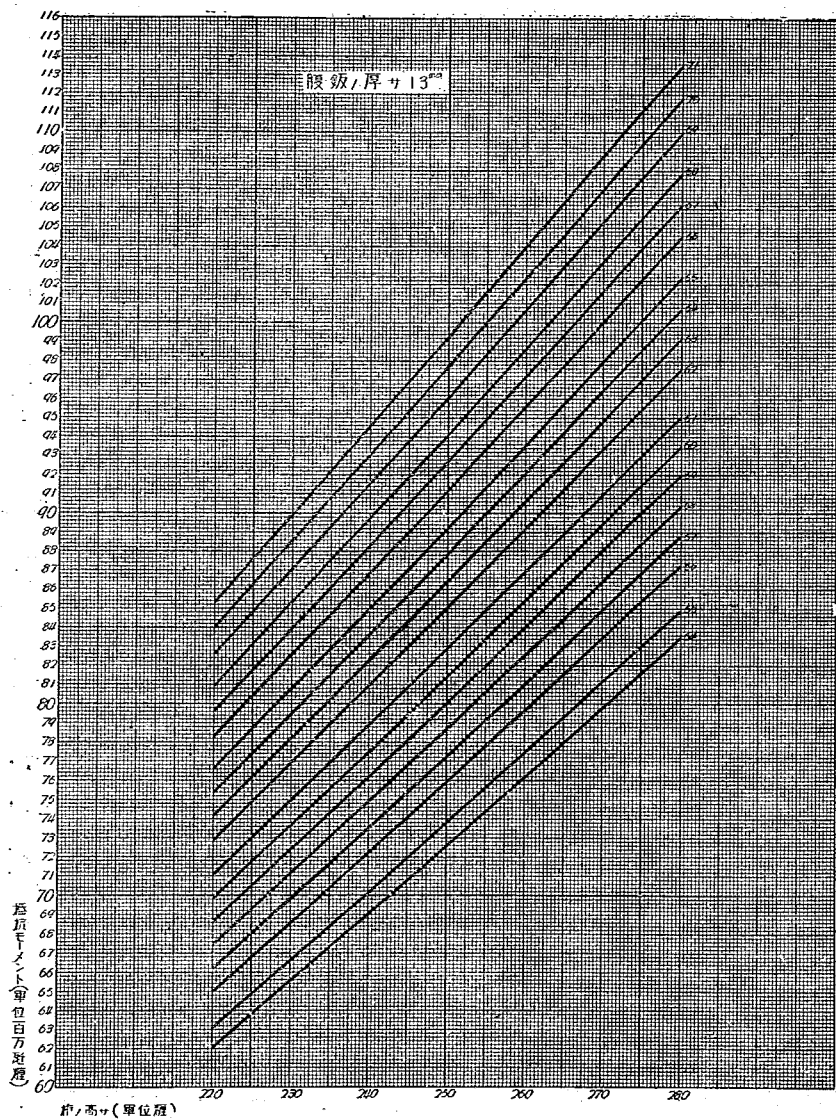
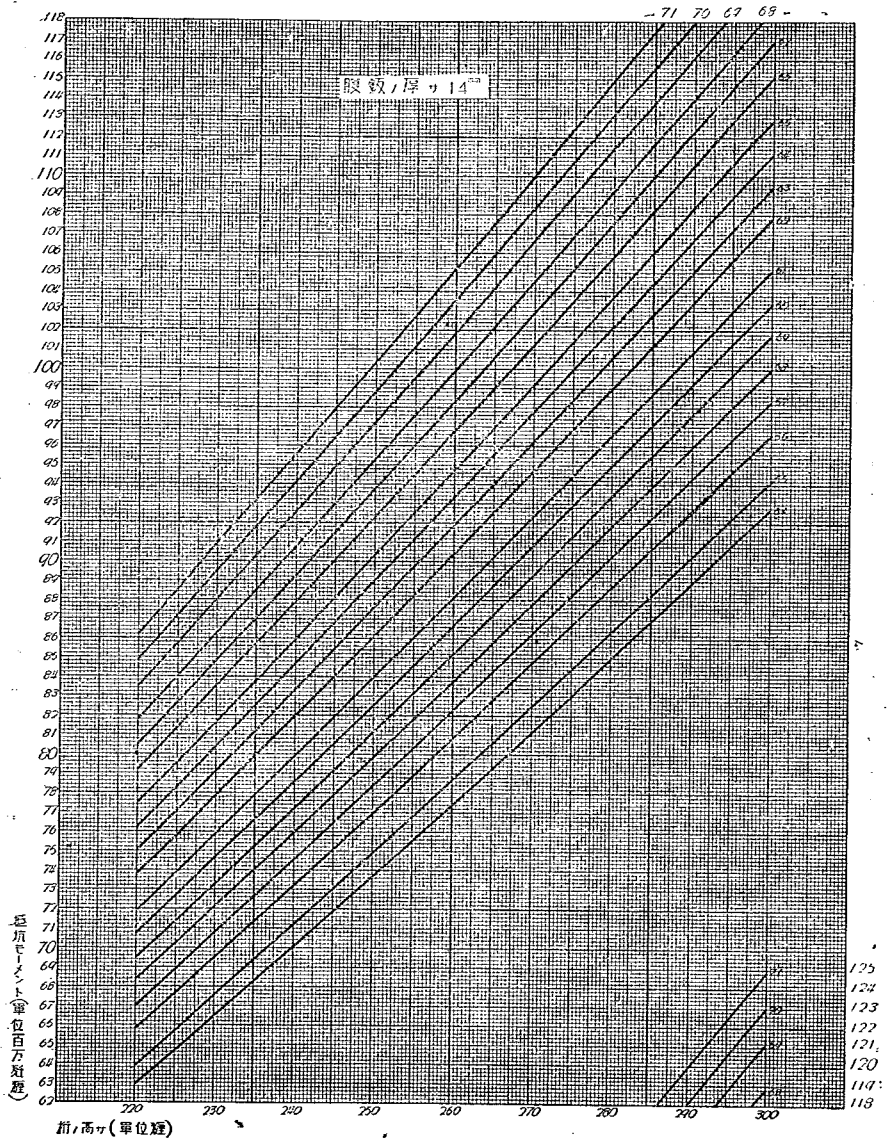
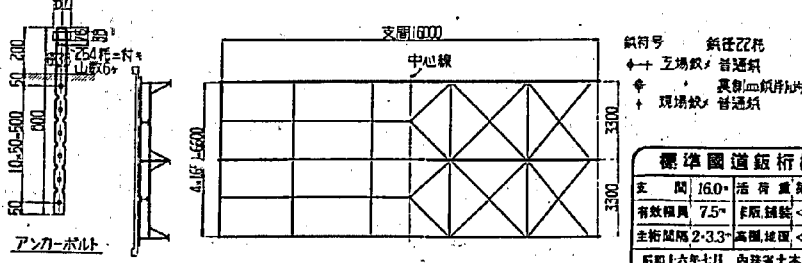
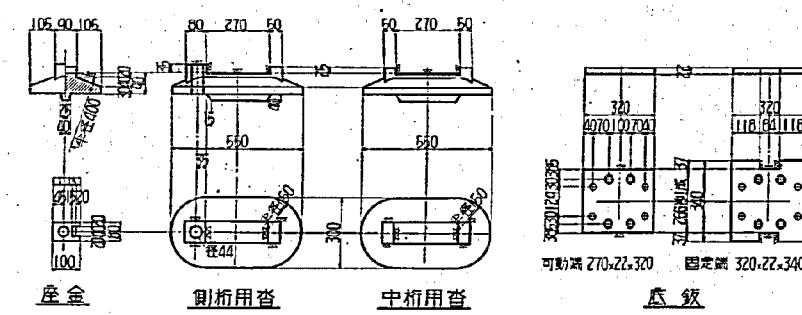
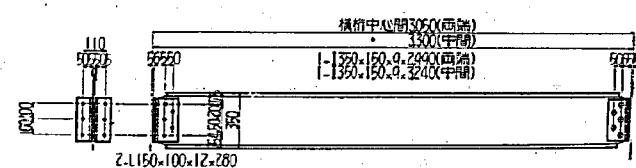
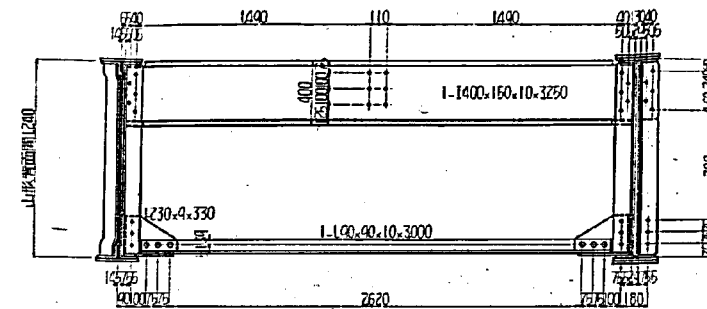
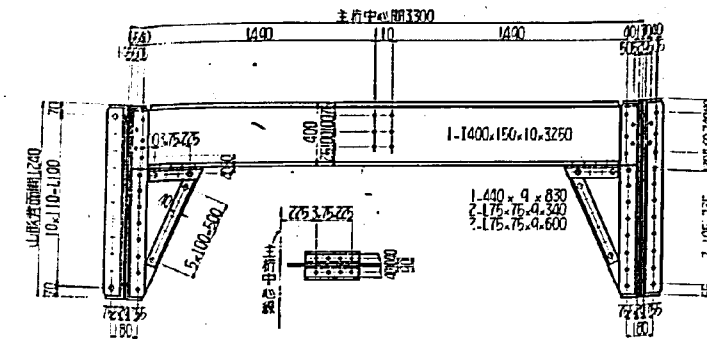
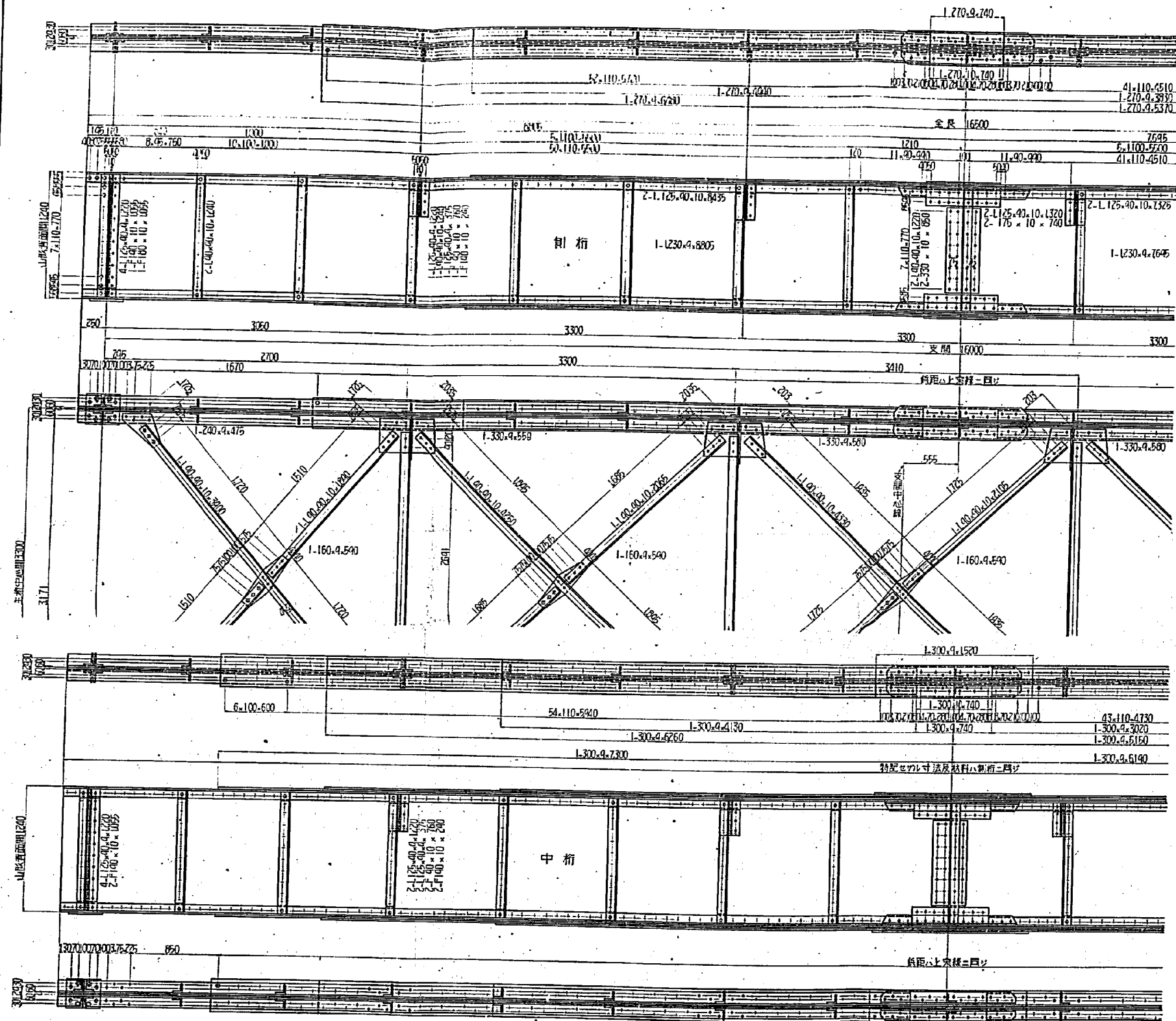


図-24 各種鋼桁断面の抵抗モーメント (其の六)

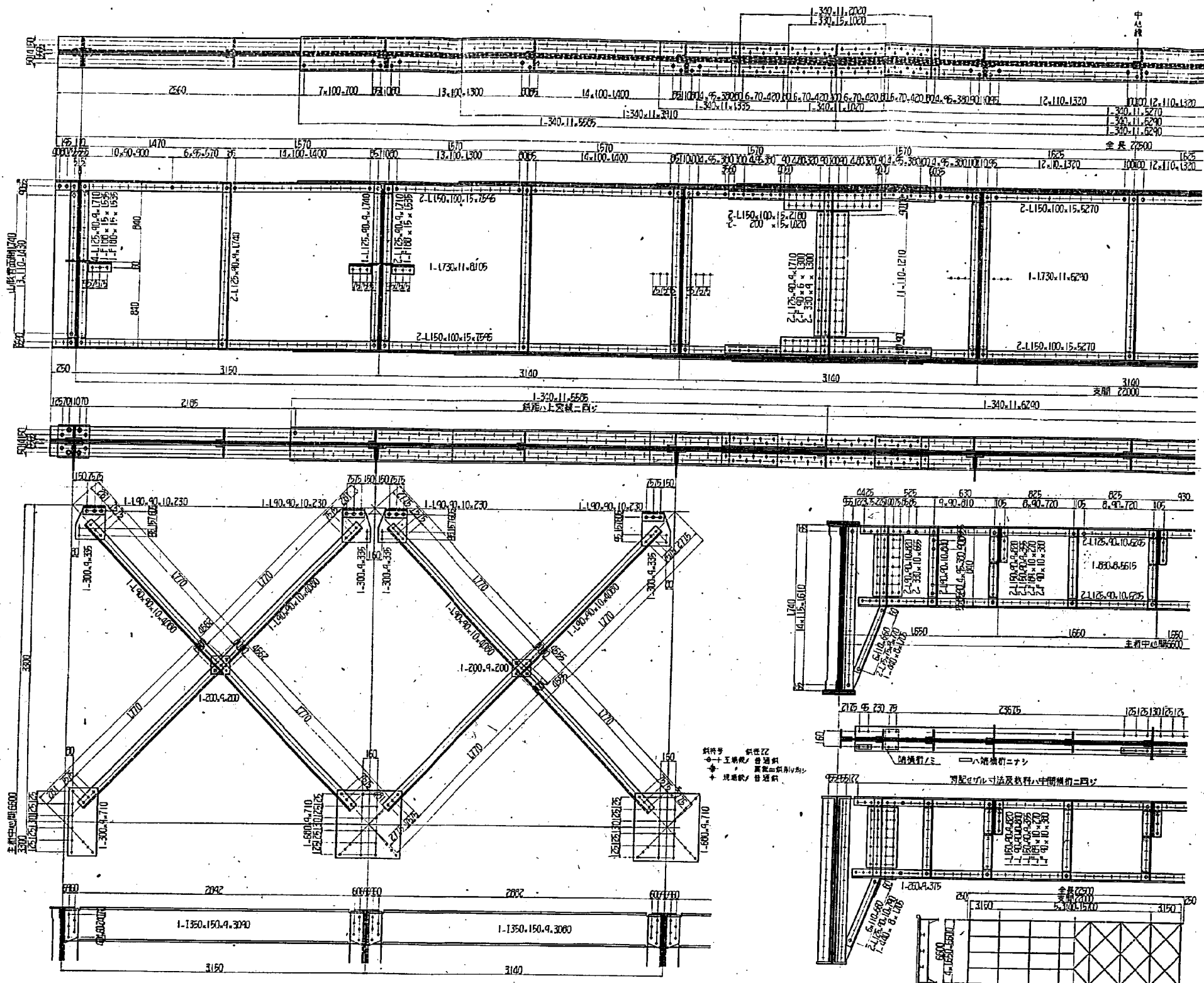


圖一25 各種鋼桁断面の抵抗モーメント (其の七)



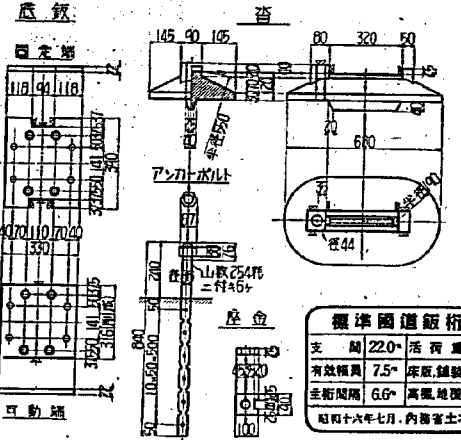


材料表					
数量	规格	重量	单位	备注	
1	铁	120.0	6805	765	腰
4	山形	25x 40.10	8435	543	穴样山形
4	铁	210.0	7325	472	
2	铁	300.0	7300	412	铁
2	铁	300.0	7300	412	
2	铁	300.0	7300	412	
12	山形	25x 40.10	8435	214	桶用外
22	山形	30.0x 40.10	1240	363	
4	铁	25x 60.0	1215	22	取付山形
2	铁	300.0	1055	30	肩
4	铁	300.0	1055	17	
4	铁	300.0	1055	22	
2	铁	300.0	1055	44	取付通孔
4	山形	25x 40.10	8435	25	穴样通孔
2	铁	300.0	740	31	
2	铁	300.0	740	31	可动通孔
1	铁	320.22	340	14	固定通孔
				4230	
2.4230.6450					
中机					
1	铁	120.0	6805	765	腰
4	山形	25x 40.10	8435	543	穴样山形
4	铁	210.0	7325	472	
2	铁	300.0	7300	412	铁
2	铁	300.0	7300	412	
2	铁	300.0	7300	412	
2	铁	300.0	7300	412	
12	山形	25x 40.10	8435	228	桶用外
18	山形	30.0x 40.10	1240	297	
2	铁	25x 60.0	1215	22	取付山形
4	铁	300.0	1055	63	肩
8	铁	300.0	1055	35	
4	铁	300.0	1055	22	
2	铁	300.0	1055	44	取付通孔
4	山形	25x 40.10	8435	25	穴样通孔
2	铁	300.0	740	31	
2	铁	300.0	740	31	可动通孔
1	铁	320.22	340	14	固定通孔
				4441	
轴杆					
12	1/2 型	200.10x 10	3250	2208	
8	铁	240.0	3150	205	端
16	山形	25x 40.10	340	54	
8	铁	300.0	600	96	
16	铁	300.0	3000	310	桶用外
		730.0	330	85	取付铁
				3554	
取杆					
4	1/2 型	200.10x 10	2450	700	
6	铁	240.0	3150	1137	
40	山形	150.10x 12	280	251	取付山形
				2088	
横梁					
4	山形	40.0x 10	3900	208	横梁本
4	铁	240.0	4250	226	
2	铁	300.0	4350	115	
8	铁	300.0	1800	201	
4	铁	300.0	2065	220	
4	铁	300.0	2105	112	
8	铁	240.0	475	64	取付铁
8	铁	330.0	650	103	
8	铁	330.0	650	108	
10	铁	150.0	580	67	
				4424	
铁销					
5356	1号销	22		346	
2576	2号销	22		1407	
				555	
管及附属品					
4	铁	4.5-260		制	折用
4	铁	2.63-260		制	折用
4	铁	35		30	
4	铁	420			
重量					
21288磅					



材料表

材料名	単位	数量	備注
1. 鉄筋	kg	2422	鉄筋
2. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
3. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
4. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
5. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
6. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
7. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
8. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
9. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
10. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
11. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
12. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
13. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
14. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
15. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
16. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
17. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
18. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
19. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
20. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
21. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
22. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
23. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
24. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
25. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
26. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
27. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
28. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
29. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
30. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
31. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
32. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
33. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
34. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
35. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
36. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
37. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
38. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
39. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
40. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
41. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
42. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
43. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
44. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
45. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
46. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
47. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
48. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
49. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
50. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
51. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
52. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
53. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
54. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
55. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
56. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
57. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
58. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
59. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
60. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
61. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
62. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
63. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
64. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
65. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
66. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
67. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
68. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
69. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
70. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
71. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
72. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
73. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
74. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
75. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
76. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
77. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
78. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
79. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
80. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
81. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
82. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
83. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
84. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
85. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
86. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
87. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
88. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
89. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
90. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
91. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
92. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
93. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
94. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
95. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
96. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
97. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
98. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
99. 山形鉄	kg	2422	山形鉄
100. 山形鉄	kg	2422	山形鉄



標準鋼筋鉄骨構
支 間 22.0m 活荷重第一種
有効幅員 7.5m 床版 鋼鉄 <500%
主筋間隔 6.6m 高麗地盤 <450%
昭和十六年七月、内務省土木試験所

