土木試驗所報告

第三十號

昭和十年　第一冊

關下
部分司廉要
★ 10.5.27 ★
濟査檢

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する
　基本的研究（第 3 報）……島田八郎
鐘口狀河口に於ける水流に就て……本間　仁
下關海峽の潮流に關する模型試驗……本間　仁
基礎版の基本的研究（第 1 報）……松村孫治
溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗……八木龜助
國道鋲結鈑桁橋標準設計案……青木楠男
　　牧野　喬

1935 — IV

內務省土木試驗所

土木試驗所報告

第三十號

序言

本報告は「道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第3報）」「鐘口狀河口に於ける水流に就て」「下關海峽の潮流に關する模型試驗」「基礎版の基本的研究（第1報）」「溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗」「國道鋲結鈑桁橋標準設計案」等を輯錄せるものである.

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第3報） は瀝青乳劑の粘性異狀に對し毛細管可變水柱法による實驗結果を理論と比較し"エングラー"粘性係數の意義を明かにし，更に各種測定法と實測値との關係を詳論し特に溫度に對する影響，分散度，濃度との關係を考察し此種材料の力學的特性を理論竝に實驗上明かにしたものである.

鐘口狀河口に於ける水流に就て は鐘口狀河口に於ける水流，特に定流に關する性質を理論，實驗の兩方面より攻究し，不定流に關しては主として實驗的方面より其性質の一斑を窺はんとせるものである.

下關海峽の潮流に關する模型試驗 は下關海峽內に諸種の港灣施設を爲したる場合，其施設が此海峽內の潮流に如何なる影響を及ぼすかを模型試驗によつて推測せるものにして，小瀨戶締切の影響は特に詳細に研究した.

基礎版の基本的研究（第1報） は彈性地盤上に作用する應力を求める近似計算法に就て述べ，其計算法の近似の程度を桁に就て明かにせるものである.

溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗 は模型實驗により溢流堤下游に砂を敷均し其洗掘狀態を測定し，尙之に洗掘防止の爲めの水勢緩和裝置として阻柱及び噴水を設け其效果を比較し，又堰堤下游の魚道吐口附近に於ける洗掘狀況をも實驗により觀測せるものである.

國道鋲結鈑桁橋標準設計案 は標準設計の確立に先立ち，先づ此種工事に關係ある技術者の意見を廣く求め以て其萬全を期せんとするものである.

昭和十年四月

內務省土木試驗所長　內務技師　物　部　長　穗

目　　次

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第 3 報）..... 1

內務技師　島　田　八　郎

鐘口狀河口に於ける水流に就て..... 49

本　間　　仁

下關海峽の潮流に關する模型試驗..... 67

本　間　　仁

基礎版の基本的研究（第 1 報）..... 89

內務技師　松　村　孫　治

溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗..... 125

內務技手　八　木　龜　助

國道鋲結鈑桁橋標準設計案..... 137

內務技師　青　木　楠　男

囑　託　牧　野　　喬

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究 (第3報)

內務技師　島　田　八　郎

目　次

緒　　言 ……(1)
I. 粘性の實驗的研究(其 III)……(1)
毛細管法による實驗 ……(1)
〔1〕 實驗裝置に就て ……(1)
〔2〕 實驗結果に就て, (η_{ri}～h), (η_w～h) の關係に就て ……(2)
〔3〕 "エングラー" 粘性係數に就て ……(6)
II. 同轉圓筒法及び毛細管法による粘性係數 (η_{ri}) の差異に就て ……(7)
III. 粘性係數と溫度との關係に就て ……(10)
〔1〕 一般的考察 ……(10)
〔2〕 瀝青乳劑粘性係數～溫度理論式の誘導(其 I) ……(13)
〔3〕 瀝青乳劑粘性係數の溫度に對する實驗結果に就て ……(16)
〔4〕 瀝青乳劑粘性係數 ("エングラー" 比粘度)～溫度理論式の誘導(其 II)……(18)
IV. 粘性係數と瀝青質含有量との關係に就て ……(22)
〔1〕 一般的考察 (二成分系粘性係數と分散質濃度との關係に就て) ……(22)
〔2〕 瀝青乳劑に於ける粘性係數～濃度理論式の誘導 ……(24)
〔3〕 瀝青乳劑粘性係數の濃度に對する實驗結果に就て ……(26)
V. 粘性係數と瀝青質分散度との關係に就て ……(35)
〔1〕 一般的考察 ……(35)
〔2〕 乳劑粒子の分散度と粘性係數とに就て ……(36)
〔3〕 瀝青乳劑粘性係數と瀝青粒子分散度との關係に就て (實驗結果) ……(38)
VI. 結　　論 ……(39)
§ 引用文獻 ……(40)
§ 別　　表 ……(42)

緒　　言

瀝青乳劑の粘性の異常性に就て著者は前報告に其の理論的考察を述べ, 一方同轉圓筒法による結果を主として論じた. 本文は前報の續編にて全く同一の試料を用ひ毛細管法, "エングラー" 法の實驗結果を述べ更に三者の關係を明かにした, 一方粘性係數と溫度との關係を種々なる見地より論じ實驗値と比較し分散質分散度との關係其の他力學的特性をも論じたものである. 尙前報との關係上圖面, 表の番號等は相通じて用ひた.

I　粘性の實驗的研究(其 III)

毛細管法による實驗

〔1〕 實驗裝置に就て

異常粘性係數の測器中の流れの速度傾度により著しく異るは屢々述べた. 前報第 III 章に於て毛細管法に於ける構造粘性の一般論に述べた樣に同轉圓筒法の場合とは全く異る速度傾度を持つてゐるから, 同轉圓筒法に得た抵抗係數より毛細管法の係數を推測する事は困難である. 然るに此種の似類の

流れの狀態は一般工學粘度計例へば"エングラー"粘度計の基礎をなし又實際上遭遇する滲透作用に於ける流れと同一傾向のものである.

斯る見地より理論上得た前報第 III 章の形式と比較し更に同轉圓筒法と對照する事は頗る有意義である. 一方實用上の立場よりも此種粘性係數は頗る重要な資料を提供するものである. 以下實驗方法竝に結果を述べる. 第 29 圖は本實驗に使用した可變水柱毛細管にて, K は測器の主要部をなす毛細管にて, R は D なる直徑を有す中空圓筒にて全長約 1 米である. 最初 P_1, P_2 に試料を入れ, K なる毛細管を經て P_2 筒より溢出さす. 此際 P_1, P_2 中の試料による K 部に加はる有效水壓を ΔH とする. 本裝置を全部 25°C の水中に入れ實驗す. 裝置の關係上 25°C のみを實驗す.

使用毛細管の寸法;　　長さ $(L)=216.7$ mm.

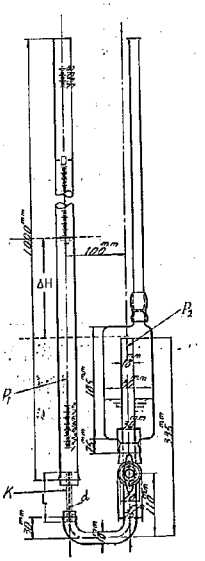
直徑 $(d)=0.7829\times 2$ mm.

P_1 圓筒の斷面積 $(A)=5.75$ cm^2

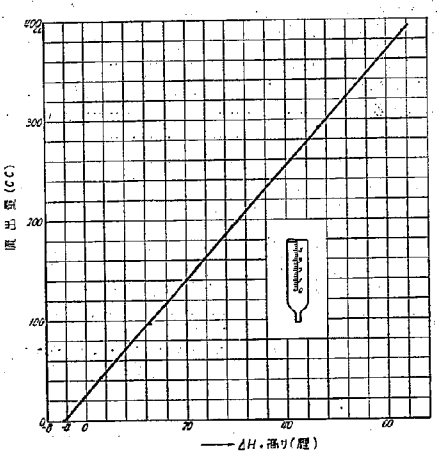
にて, P_1 圓筒の A の誤差及び目盛誤差による流出量の影響は第 30 圖により明かなる如く實驗の精度範圍内に於て度外視し得. 毛細管に於ける速度傾度は前報第 III 章 (9) 式により $G=\frac{g\rho}{2\eta_w}r$ にて示されるもので, g=重力常數 ; 980 cm/sec.^{2} とし, ρ は密度にて假りに $\rho=1$ とすれば, 軸中心より r の距離にある點の傾度は $G=\frac{490}{\eta_w}\cdot r$ で表はさる.

〔2〕 **實驗結果に就て, $(v_m\sim h)$, $(\eta\sim h)$ の關係に就て.**

別表第 1 は實驗結果にて, 第 31 圖 〔a〕, 〔b〕, 〔c〕, 〔d〕 は各水柱壓 (ΔH) に對する流出量より計算せる毛細管內平均速度 v_m と ΔH の關係である.



第 29 圖



第 30 圖

G 號 100% 稀釋濃度(稀釋せざるもの)の試料は硝子圓筒周圍に附着し"メニスカス"明瞭ならざる故に實驗を中止す. 實驗方法下の如し, 第 29 圖に示せる P_1 筒と P_2 筒との水柱差 ΔH を各瞬間 (t) に讀み下表の如きものを得.

ΔH	t	Δt	$\overline{\Delta t}$	$v_m\propto 1/\overline{\Delta t}$	$\Delta H(\overline{\Delta r}/l)\propto\eta_w$

但じ, ΔH は 1 糎毎の水位降下を讀み之に對する時間 t を測る, Δt は 1 糎の ΔH を下るに要する時間, $\overline{\Delta t}$ を Δt の相隣れるもの>平均値とすれば平均速度 v_m は ΔH に應じ $\overline{\Delta t}$ に逆比例す

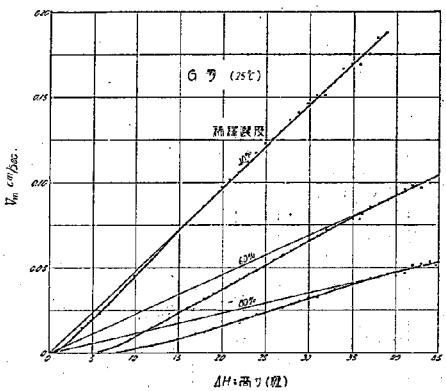
る事明かである.

一方 Δt, 卽ち ΔH の小なる變化範圍を考ふれば其の間 Hagen-Poiseuille の式が概括的に適用されると考へるから前報第 III 章の公式により,

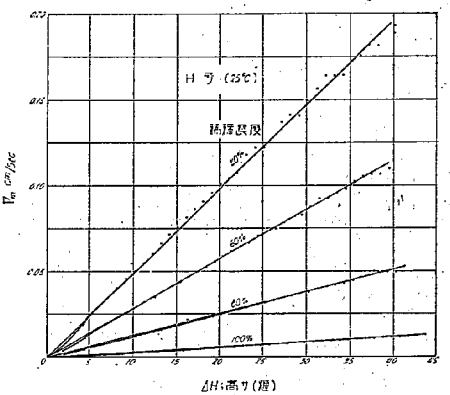
$$Q=\frac{\pi r_a^4\cdot\Delta H\cdot g\rho}{8\eta_w\cdot L}\Delta t \quad \text{とし,}$$

一方第 29 圖 P_1 管の平均半徑を R_0 とすれば, $\frac{\Delta Q}{\Delta t}=\left(\frac{\Delta(\Delta H)}{\Delta t}\right)R_0^2\pi$

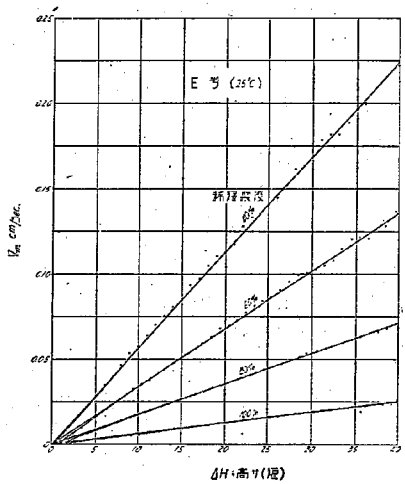
$$\therefore \quad \left(\frac{\Delta(\Delta H)}{\Delta t}\right)\frac{1}{\Delta H}=C_1\frac{r_a^4 g\rho}{8L\cdot R_0^2}\cdot\frac{1}{\eta_w} \qquad (1)$$



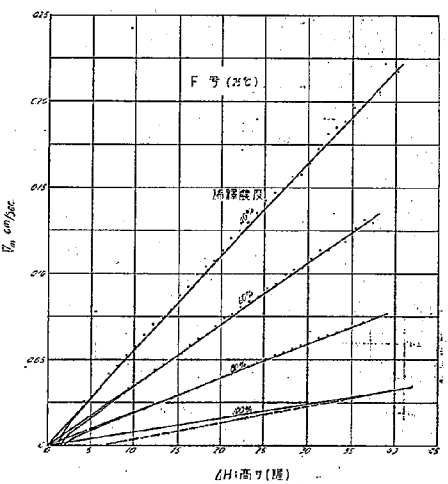
第 31 圖 [a]



第 31 圖 [b]



第 31 圖 [c]



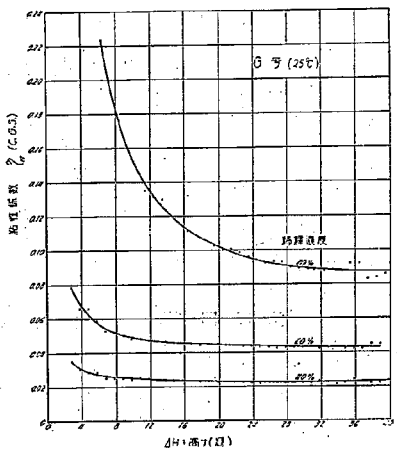
第 31 圖 [d]

を得，但し，C_1 は測定器の常数を示す．上式より粘性係数 η_w は $\Delta H\cdot\left(-\frac{\Delta t}{\Delta(\Delta H)}\right)$ に比例するを見る．

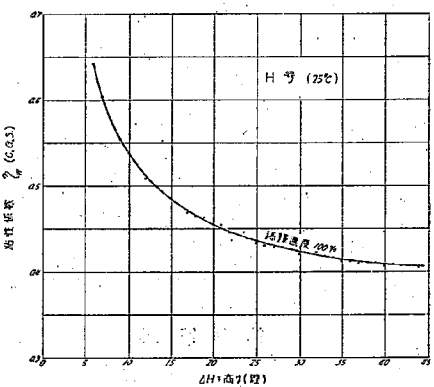
今 $\frac{\Delta t}{\Delta(\Delta H)}=\frac{\Delta T}{1}$ であるから粘性係数 η_w は上表の如く表はさる．毛細管實驗に於ては最高水位差；$\Delta H=45$ cm まで行へるもので $v_m\sim\Delta H$ 曲線を見るも未だ擾亂の現象は發生してゐない様である．唯正規粘性液體にては現はれない v_m の脈動が著しく現はれてゐる毛細管中を通過する場合に於ける液の壓縮性に起因するらしく推測される．斯る脈動の現象は瀝青乳劑のみならず他の乳濁液の實驗にも現はれてをる．

Rudolf Köhler[33] の稱稱せる "Cu－アマルガム" の粘性の實驗に於ても著しく現はれてゐる．$v_m\sim\Delta H$ 曲線の形式は前報第 III 章，第 IV 章に述べた標準形式の第 11 圖，又は第 12 圖〔a〕竝びに〔b〕の如き傾向を示した．

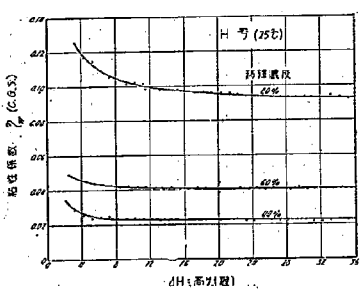
第 32 圖〔a〕，〔b〕，〔c〕，〔d〕，〔e〕は同様 $\eta_w\sim\Delta H$ 曲線で，ΔH の減少するに伴つて η_w の値が



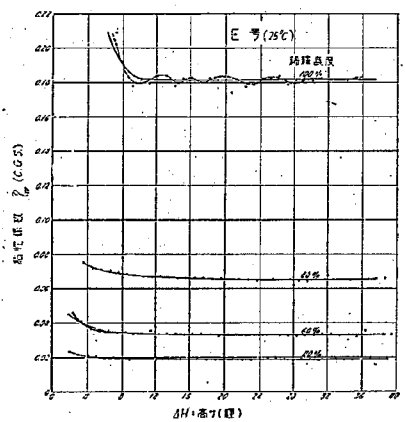
第 32 圖．〔a〕



第 32 圖〔b〕



第 32 圖〔c〕



第 32 圖．〔d〕

如何に增大するかゞ分る．且つ $\Delta H\left(\frac{\Delta T}{1}\right)$ より求めたる値であるから前報第IV章に於ける〔η_W〕に相當するものである．第 32 圖〔e〕に參考の爲め蒸溜水による測定値に對する $\eta_W \sim \Delta H$ 曲線を示す．圖示により明かなる如く完全な直線に表はれてゐる．

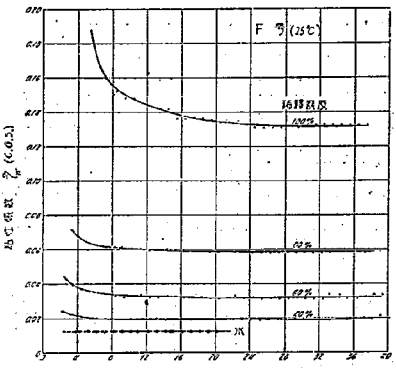
以下各試料に對し簡單に之が關係を論ぜん．

G 號に就て　稀釋濃度 100% のものゝ測定は不可能であつた．80%, 60%, 40% の濃度のものを見るに第 31 圖〔a〕第 32 圖〔a〕にては全部標準形第 12 圖〔b〕の如きものを示してゐる．唯だ波動形の脈動が總ての濃度に對して現はれてゐる事が特に注目すべき現象である．ΔH に無關係な非構造粘性係數 η_∞ は下記 14 表の如し．

H 號に就て　第 31 圖〔b〕第 32 圖〔b〕, 〔c〕．により明かなる如く $v_m \sim \Delta H$ 曲線，$\eta_W \sim \Delta H$ 曲線共に G 號とは異り標準形第 12 圖〔c〕の如くなつてゐる．脈動は全般に現はれてをり，構造粘性も著しく現はれてゐる．第 15 表に其の性狀を示す．

E 號及び F 號に就て　$v_m \sim \Delta H$, $\eta_W \sim \Delta H$ 曲線共に H 號と類似してゐるが粒子最も大なる確率直徑 4 μ なる E 號に於ては脈動特に大である．第 31 圖〔d〕, 〔e〕第 32 圖〔d〕, 〔e〕により其の傾向を明瞭に推測する事が出來る，且つ回轉圓筒法の場合稀釋濃度の最も廣範圍に現はれたれ構造粘性は毛細管法の場合比較的微小である．第 16, 17 表に此等の關係を示す．

斯くの如く毛細管法による構造粘性の傾向を明かにする事が出來た．上記回轉法に得た η_∞ 値と本法毛細管法の η_∞ 値とは試料により略同じ程度の値のものあるも，時には一桁も異る値を示す場合がある．卽ち同じ η_∞ 値に對しても測定方法により著しく異る値を得る事が明かに示された．斯る事は正規粘性液體に見ない異常性である．一般に回轉法による粘性係數は大で



第 32 圖〔e〕

第 14 表

G 號；η_∞ (25°C)

稀釋濃度%	100	80	60	40
η_∞	——	0.088	0.043	0.0225
構造粘性範圍 ΔH	——	<32 cm	<20 cm	<16 cm
瀝青含有量%	57	45.6	34.2	22.8

第 15 表

H 號；η_∞ (25°C)

稀釋濃度%	100	80	60	40
η_∞	0.406	0.093	0.0409	0.0225
構造粘性範圍 ΔH	<40 cm	<24 cm	<12 cm	<8 cm
瀝青含有量%	53	42.4	31.8	21.2

第 16 表

E 號；η_∞ (25° 度)

稀釋濃度%	100	80	60	40
η_∞	0.184	0.065	0.036	0.019
構造粘性範圍 ΔH	<18	<18	<8	<4
瀝青含有量%	50.8	40.6	30.5	20.3

第 17 表

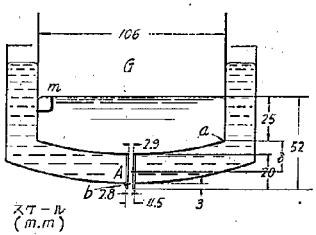
F 號；η_∞ (25° 度)

稀釋濃度%	100	80	60	40
η_∞	0.132	0.058	0.032	0.019
構造粘性範圍 ΔH	<24	<16	<10	<6
瀝青含有量%	50.3	40.2	30.2	20.1

ある．此等の諸點に關しては後章に論ず．

〔3〕 Engler 粘性係數に就て

Engler 粘度計は瀝青乳劑の粘性係數決定に標準として使用されてゐるが，屢々述べた様に構造粘性を示す物質に於ては，Engler 度の値が如何なる抵抗性を示すや一應吟味しをく必要がある．速度傾度に粘性係數が無關係な正規液體にては Engler 度より C.G.S. 單位の粘性係數に例へば Hershell の曲線等により換算する事が出來るが構造粘性のものにては不可能である．今假りに Engler 度で示す値に相當する粘性係數があると假定し數字上の比較を試みる．第 33 圖は Engler 粘度計の斷面を示す．粘性係數は試料 50 cc 又は 100 cc の落下時間を標準とし，蒸溜水の場合との時間比で之を表はすが，異常粘性液體の場合は流出の際に働く有効水柱壓を考へる必要がある．第 33 圖によれば有効水位差は $\Delta=(2.5\text{ cm}+\delta)-(h'+\delta)$…… で表される．但し δ は 33 圖より明かなる如く容器の針 m の尖端より底部 a に至る深さ 2.5 cm 以外に流出口 (b) に對する有効水位差で h' は 100 cc 又は 50 cc に相當する水位差である．Δh は大體 5.5 mm 又は 11 mm の程度である．第 14, 15, 16, 17 表等により判斷すれば此の程度の有効落差にては當然構造粘性が著しく表はれる．Engler 度を基本とし換算せる抵抗性を $\bar{\eta}_E$ とすれば $\bar{\eta}_E$ は η_∞ とは當然異る値をとるものである．〔2〕節の毛細管による粘性係數の $\Delta H=5.2$ mm 附近のもの>値をとり，之を $\eta_{K(52\,\text{mm})}$ にて表はし η_∞, $\bar{\eta}_E$, $\eta_{K(52\,\text{mm})}$ の三者を比較せんとし第 18 表に之れを示す．但し兩者の實驗に於ける毛細管部の寸法は下記の如し．



第 33 圖

實驗用毛細管；直徑 1.56 mm 長さ 21.67 cm

Engler 粘度計毛細部；直徑 2.9～2.8 mm　長さ 2.00 cm

第 18 表

25° に於ける η_∞, $\bar{\eta}_E$, $\eta_{K(25\,\text{mm})}$ の比較

試料名	G	H	E	F
瀝青含有量 %	57	53	50.8	50.3
毛細管法 (η_∞)	——	0.4060	0.184	0.132
エングラー度(25C°)	7.5	8.1	5.7	3.6
同　上 $\bar{\eta}_E$	0.55	0.59	0.27	0.17
$\eta_{K(25\,\text{mm})}$	——	0.63	0.26	0.18

斯くの如く Engler 度の與へる粘性係數は構造粘性の部に屬するものである事が分る．藤井技師[34]の「ビチユマルス乳劑」に對する Engler 粘度計による流出時間と流出量の關係にも明かに構造粘性の特性が現はれてゐる．其の Engler 度による係數の瀝青質含有量との關係は著者[35]が先に所報第 24 號に述べた．更に後章に論究する如く η_E と溫度との關係は η_∞ と溫度との關係に對比し頗る興味深きものがある．

以上〔1〕，〔2〕，〔3〕節に述べし如く通常行はれる基本的流れの狀態に於ける瀝青乳劑の異常粘性係數が如何に實測され，前報第 II, III, IV, V 章に於て誘導された異常曲線と如何なる程度に一致するかを明かにする事が出來た．

斯る異常粘性のものを取扱ふ際に常に考慮に入れ置くべき諸問題に就き論じた．唯囘轉圓筒法と毛細管法による粘性係數 η_∞ の一致しない事に對しては次章に於て其の原因を考察する．

II 回轉圓筒法及び毛細管法による粘性係數 (η_∞) の差異に就て

前章まで, 各章に於て異常粘性溶液の粘性係數は測定法により著しく異る事を知つた, 回轉圓筒法, 毛細管法の兩者の値は速度傾度に無關係な η_∞ に對しても異るものである. 之が原因は種々考へられるも主に瀝青乳劑の如き分散係に於ては粒子と分散媒との相互關係による事が多い, 即ち分散度大にて且つ分散質濃度の大なるものに於て, 斯の如き傾向の大なることを推測する事が出來る.

Hatschek[36] によれば 0.5%, 1%, 2% の澱粉 "ゾル" に於ても回轉圓筒法による粘性係數が毛細管によるより約 50% も大きく. 且つ濃度の增加に伴ひ其の差異の增大する傾向を明瞭に示してゐる. R. Köhler[37] も $CaCl$ と "パラフィン" を 100 : 12.8 の割合で混合した分散媒に於ける澱粉の微小粒子 "ゾル" の構造粘性の研究に於て, 速度傾度小なる範圍に於ける毛細管と回轉圓筒法を試みしに後者の方粘性抵抗著しく大で殊に濃度 50% 附近に於ては前者の約3倍の粘性を示してをることを發表してゐる. 兩法を比較する事も粘性の構造を考察するの一つの方便を示すと指摘してゐる. Köhler は Hatschek, Rane[38] の試みた圓筒法を更に毛細管法で試みたものであるが測定器の寸法等が明瞭に示されてゐない. Freundlich, E. Schalex[39] は種々速度傾速を變へ圓筒法と毛細管法で實驗したが材料が異つてゐたので比較出來ない. Freundlich の試みた圓筒法による Baumwollgelb なる色素に就き Auerbach[40] の毛細管性の實驗があるが粘性係數は前者の方大きく出てゐる.

斯の如く二方法を對照し試みたものでは全部回轉圓筒法による "ゾル" の粘性係數が大となつてゐる. 斯る性質は構造粘性を持つ異常粘性液體の特長であるかは更に吟味を要する問題で速斷する事は出來ない. 瀝青乳劑に於ても前報第 III 章 及び第 I 章に述べた樣に其の粘性係數は回轉圓筒法の場合が一般に著しく大である.

構造粘性の範圍の粘性係數は速度傾度等種々複雜せる條件の影響を受けるから比較困難であるから η_∞ なる速度傾度に無關係なるものを考察するも回轉圓筒法による係數頗る大である.

第 19 表 回轉圓筒法並びに毛細管法による η_∞ の比較

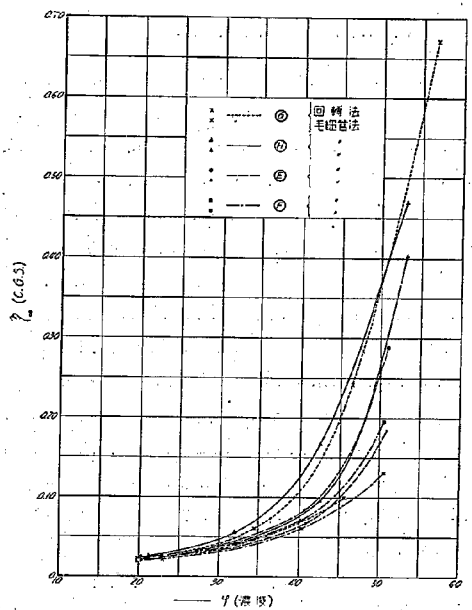
試料名	G 號			H 號			E 號			F 號		
	瀝青含有量%	圓筒法	毛細法	瀝青含有量%	圓筒法	毛細法	瀝青含有量%	圓筒法	毛管法	瀝青含有量%	圓筒法	毛管法
	57	0.65	——	53	0.47	0.406	50.8	0.290	0.184	50.3	0.195	0.132
	45.6	0.24	0.088	42.4	0.165	0.093	40.6	0.083	0.065	40.2	0.070	0.058
	34.2	0.060	0.043	31.8	0.055	0.041	30.5	0.038	0.036	30.2	0.035	0.032
	22.8	0.025	0.023	21.2	0.025	0.023	20.3	0.023	0.019	20.1	0.020	0.019

但し, 圓筒; 外半徑 4 cm 內半徑 3 cm 高さ 6 cm 毛細管; 半徑 0.7829 mm 長さ 21.67 cm

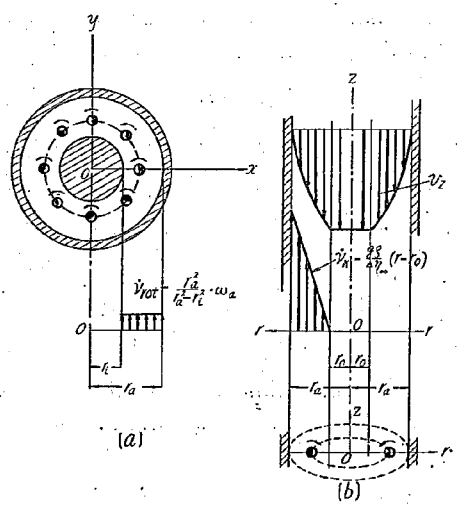
第 19 表は 25°C に於ける各種乳劑の二法による η_∞ と濃度の關係を示すもので第 34 圖は之を圖示せるものである. 實驗資料數少く且つ溫度も 25°C のみであるから一般的な考察を下す事は出來ないが下記の如く其の特長を列擧する事が出來る.

(1), 粘性係數 (η_∞) は回轉圓筒法による方大である.

(2), 回轉圓筒法と毛細管法との粘性係數の差異は瀝青質の濃度の增加に伴ひ增大す.



第　34　圖



第　35　圖

(3), (2) に於ける增大率は凝青質粒子の分散度により異る，卽ち G 號; 約 2 倍, H 號; 約 1.8 倍 E 號; 約 1.32 倍, F 號; 約 1.13 倍の如く確率直徑小なるもの頗る大である（但し E 號は粒子確率直徑 4 μ にて最大であるが下位より第二位にある).

以上の結果は先きに述べた多くの人々の實驗の結果と全く同じ傾向を示してゐる．今本章に於て速度傾度に無關係の範圍に於ける η_∞ に對し二法による差異を吟味する．

前報第 II 章, 第 III 章に粘性係數を示す (21) 式, (8) 式に於て $\eta=\eta_\infty$ と置いた,

$$D=4\pi h'\eta_\infty\frac{r_a^2r_i^2}{r_a^2-r_i^2}\times\omega_a,\quad Q=\frac{\pi}{8}r_a^4\cdot\frac{\Delta H}{\eta_\infty l}$$

……の兩式は一つの均一な質量なき溶媒內に假定的な流れの分布を想象したものである．斯る場合には各分子は $\dot{\nu}$ で與へられる分子回轉をしてゐる，回轉圓筒法に於けるは $\dot{\nu}$ 前報 第 II 章 (18) 式により

$$\dot{\nu}_{rot}=\frac{r_a^2}{r_a^2-r_i^2}\omega_a \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

にて表はさる．但し，r_a, r_i は外圓筒, 內圓筒の半徑 ω_a は外周筒の回轉速度を表はす．毛細管法の場合は前報第 III 章 (11) 式

$$v_z=(v_z)-\frac{g\rho r_0}{2\eta_\infty}(r_a-r)$$

(但し，r は $r_a>r>r_0$ とする)，より回轉法に於て $\dot{\nu}$ を求めたと全く同樣に求むれば此の場合に於て各分子は毛細管の軸に對する同心圓を回轉軸とし

$$\dot{\nu}_K=\frac{g\rho}{4\eta_\infty}(r-r_0) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

の回轉速度を持つ．此等 $\dot{\nu}_{rot}$, $\dot{\nu}_K$ を圖示すれば第 35 圖の〔a〕〔b〕の如くなる事明かである．〔a〕圖は回轉圓筒法に於ける $\dot{\nu}_{rot}$ を〔b〕圖は毛細管法に於ける $\dot{\nu}_K$ を示す．

後者の場合には $\dot{\nu}$ は軸よりの距離 (r) によりて異るものである．然るに瀝青乳剤に於て瀝青粒子は一定の質量を有し，且つ μ 程度の大きさであるから常然假說的の場合と異るもので且つ乳剤粒子は Brown 運動による分子運動をなし $\dot{\nu}_{rot}$, $\dot{\nu}_K$ の如きは理想的な流れの狀態を假定する一つの條件に過ぎない．

粒子は回轉運動をなさず分散媒の流れは粒子面に於て滑ると假定する．R. O. Herzog, Kuder[41] が CCl_4 の如き複雜な有機化合物の粘性を計算する場合測定され粘性抵抗性は分子の回轉 "エネルギー" によるものと一般粘性流れによるものとの和によると假定した．今回轉圓筒法と毛細管法の二法に於て粒子の占むる處には分子回轉が缺けてゐると考へ，一方前報第 II 章，(21) 式前報第 III 章 (8) 式で與へられる如き η_∞ では液中總ての部分に $\dot{\nu}_{rot}$, $\dot{\nu}_K$ による分子回轉が分布してゐると考へらる．今單位容積内に於て消費される "エネルギー" W_{emp} は二部よりなるとする．

卽ち一部は $\dot{\nu}$ の存在せる領域に消費されるもの W_1，一部は $\dot{\nu}$ の存在せざる領域に對するもの W_2 を考ふ，卽ち

$$W_{emp}=W_1+W_2 \quad \cdots\cdots(3)$$

と考ふ．W_2 として例へば回轉圓筒法の場合單位容積に對し，$\frac{4}{15}\pi\rho\int a^5 dN\int(\dot{\nu}_{rot})^2 dv$.

(但し，a; 任意の粒子の半徑，dN; 半徑 a と $a+da$ の間にあるもの、單位容積中の個數，ρ; 粒子の密度) を與へ得れば一樣に理想的な流れをなしてゐると假定する事が出來る．毛細管法の場合も全く同樣に $(W_2)_K=\frac{4}{15}\pi\rho\int a^5\cdot dN\int(\dot{\nu}_K)^2 dv$ ……を考へ得．

今本論文實驗に使用せし乳剤は前報第 VI 章 (2) 節に述べた樣に，$dN=N\frac{4\beta^3}{\sqrt{\pi}}r^2e^{-\beta^2r^2}\cdot dr$ ……なる分布式に從ふ，其れ故上式に代入すれば下記の如くなる，

$$(W_2)_{rot}=\frac{32}{5}(\varphi\cdot D_w^2)(\dot{\nu}_{rot})^2, \qquad (W_2)_K=\frac{32}{5}(\varphi\cdot D_w^2)(\dot{\nu}_K)^2$$

但し φ; 瀝青質含有量，D_w; 確率直徑，$\dot{\nu}_{rot}=\frac{r_a^2}{r_a^2-r_i^2}\omega_a\fallingdotseq 3{,}2\omega_a$, $\dot{\nu}_K=\frac{g\rho}{4\eta_\infty}[r-r_0]\fallingdotseq 270\left(\frac{r-r_0}{\eta_\infty}\right)$ を表はす．

然るに W_2 は實測上流体力學的には零で，唯 Brown 運動による "エネルギー" のみを持つと假定し今其の影響を度外視すれば，各實驗法に應じ，W_2 の大なるもの W_{emp} が小さく實測される事となる．今 W_{emp} の値を以て理想的流れに於て實測される抵抗係數の目安とすれば，今の場合測定される値を (W_{emp}) と表はせば

$$(W_{emp})=W_{emp}-W_2=W_{emp}\left(1-\frac{W_2}{W_{emp}}\right) \quad \cdots\cdots(4)$$

と書き得，故に測定される抵抗性係數; (η_∞), は

$$(\eta_\infty)=\eta_\infty-\eta_{rot}=\eta_\infty\left(1-\frac{\eta_{rot}}{\eta_\infty}\right)=\eta_\infty\left(1-\frac{W_2}{W_{emp}}\right)=\eta_\infty(1-k_{1\text{又は}2}) \quad \cdots\cdots(5)$$

と置き得．回轉圓筒法にては，

$$k_1=\frac{W_2}{W_{emp}}=\frac{(W_2)_{rot}}{W_{emp}}=K_1\cdot 6.4(\varphi\cdot D_w^2)$$

毛細管法にては，

$$k_2=\frac{W_2}{W_{emp_2}}=\frac{(W_2)_K}{W_{emp}}=K_2\cdot 6.4\,(\varphi\cdot D_w{}^2\times f\left(\frac{270(\gamma-\gamma_3)}{\eta_\infty}\right)$$

但し K_1, K_2 は常數にて同じ程度の數値である. γ, γ_3 は前報第 III 章に述べしものと同じ f は, 代數函數である. 斯く k_1, k_2 は常數にて毛細管法に於ては任意の點に於て (η_K) が常に大なる値を持つから明かに $k_1<k_2$ である. 斯の如き假定の下に二法による (η_∞) を比較すれば回轉圓筒法より毛細管によるものが小となる.

$(\eta_\infty)_{rot}>(\eta_\infty)_K$ 且つ $(\eta_\infty)_{rot}-(\eta_\infty)_K$ の差は φ, D_w 大なる程大である. 卽ち瀝青含有量 (φ) 大にて粒子直徑大なるものに於て, 差異の大なるを示す. 然るに實驗結果をみるに回轉圓筒法, 毛細管法に於ても一定の濃度に對し粒子確率直徑小なる方粘性係數 (η_∞) が大となる.

以上の如き考察により定性的に回轉法による $(\eta_\infty)_{rot}$ の毛細管法の $(\eta_\infty)_K$ より大なる事は說明した.

然るに顯微鏡寫眞による確率直徑 $(2D_w)$ は胞子 (Micelle) の中心核直徑を表はすから力學系に於ける粒子の大さとしての Micelle は必ずしも之に一致するとは限らない. 上述 $(\eta_\infty)_{rot}-(\eta_\infty)_K$ の大きさと粒子分散度 (D_w) との關係が實驗結果と全く一致しなかつたのは斯る點に原因あるか更に考察すべき問題である, 且つ上述の理論は, 幾何學的に論じたもので分散度を增す事により粒子の運動性の增加等は考慮に入れてない. 斯る粒子の分散度と η_∞ に關する問題は更に後章に論ず.

III 粘性係數と溫度との關係に就て

〔1〕 一般的考察

鋪裝用瀝青乳劑に於ては使用の立場より溫度に對する粘性係數の變化を研究する必要がある. 夏期, 冬期により相當廣範圍の溫度の變化がある. 滲透用として重力による滲透壓力等は液の粘性により支配される場合が多い. 且前報告第 I 章に於て述べた様に構造粘性の範圍に於ける粘性が實用上滲透に際しては重要な役割をなす事が多い.

今乳劑の粘性に對する溫度影響に對しては速度傾度により影響を受ける範圍の係數 (η_E) に對しても研究する必要がある. 斯る範圍に於ては可塑性の性質が抵抗係數中に含まれて來る, 從つて速度傾度に對する影響等複雜な問題が現はれて來るから抵抗係數と溫度との關係を簡單に說明する事頗る困難である.

本章に於ては先づ速度傾度に無關係な η_∞ の範圍に就て η_∞ と溫度との關係を考察し後 η_E の範圍にも及ぶ. 蓋し瀝青乳劑の構造は前報第 VI 章〔2〕節 15 圖の顯微鏡寫眞により明かなる如く, 純粹の溶液の如きものでなく, 又 "ピッチ" 熔融硝子の如き分子構造を特つ高粘性物質とも異る. 勿論瓦斯體, 固體とも著しく異つてゐる. 卽ち屢々述べた様に, 瀝青～水溶液の乳濁液 (Emulsoide) である. 從つて粘性係數としての量の物理的意義は一應吟味して見る必要がある. 前報告第 I 章 (1) 式, (2) 式で示した粘性係數は其の物理的意義著しくは, 粘性發生に對する機構には無關係で, 單に一方は流體力學的の定義とし $\eta\cdot G=P$……(1)……により, (但し, η; 粘性係數, G; 速度傾度, P; 剪應力).

他方は歪の時間的消失に對する Maxwell の定義として $\eta=E\cdot\tau$……(2)……により (但し, E; 常數, τ; 歪消失時定數, 前報告第 I 章 (2), (3), (4) 式參照) 表はしたものである.

(1), (2) 式は共に一つの粘性係數の表示である, 蓋し一樣な媒質中の一部に單位容積當りの運動量の異なる領域が外部より何等かの原因により發生した場合, 運動量, (Momentum) の移動が起り媒質

中各部一樣に運動量が分布される．卽ち一樣な分布に移動する能力を其の物質の粘性とする．

從つて常に運動量移動の機構が粘性係數の規準となる．本章に於ては運動量移動と溫度との關係を乳劑に對し檢討する．瀝青乳劑は外觀上液體であるが顯微鏡的構造によれば瀝青粒子は氣體分子の如く分散せるもので各粒子は一見氣體分子の如く推測されるも未だ其の性狀が明白でない．今粘性の見地より其の特性を判斷する爲めに，i) 氣體，ii) 半固體，iii) 固體，iv) 液體……物質に於ける粘性と溫度との關係と乳劑の二種の粘性係數，卽ち速度傾度に無關係な係數及び Engler 粘度計による係數 (η_E) 二者と溫度との關係とを比較する事は，瀝青乳劑の如き乳濁液の粘性を論究する上に重要である．先づ i), ii), iii), iv) に就き其の傾向を列擧する必要があるから簡單に述べる．

i) 氣體に於ける各部の運動量の移動は各分子運動の衝突による運動量の傳達により行はれる事明かにて，Boltzmann, Maxwell 以後 Sutherland, Chapman 等により氣體分子の平均自由行路 (Mittlere Freie Weglänge; $\bar{\lambda}$) を用ひ表はされ，粘性係數 $\eta \propto \sqrt{T}$…(3) で表されてゐる．Phillips は CO_2 瓦斯で實驗し，更に溫度による影響は (3) 式より增大するを認めてゐる，卽ち一般に瓦斯體に於ては $\eta \propto \frac{\sqrt{T}}{1+\frac{C}{T}}$……(3′) (但し T は絶對溫度とす) の如く溫度と共に η は增大する．

ii) 半固體，例へば "ピッチ"，瀝青，熔融點に近き硝子等に對する粘性係數と溫度との關係中 "ピッチ" に對しては實驗理論研究少きも熔融硝子に對しては必要上多數の研究がある．代表的のもの>二三を述べる．蓋し熔融硝子は溫度 500°～1600°C の範圍に於て粘性係數 η は $\log_{10}\eta = 14 \sim 2$ の程度であるから斯る溫度範圍にては可塑性物質の代表的のもの>如く見える．H. Le Chatelier[42] の式 ……$\log \cdot \log \eta = kT + b$……(4). (但し η; 粘性係數，k, b; 常數，T; 絶對溫度)あるも，物理的意義明かでない．後液體の所で述べるが E. N. da C. Andrade[43] 等の非締合性液體に對する式……$\eta = Be^{\frac{A}{T}}$ ……(5) (但し A, B; 常數) を實驗と比較するに熔融狀態より軟化點までにはよく適應される．更に固化範圍には，上式と全く類似式で T の代りに $(T-\theta)$ と置いたもの卽ち，……$\eta = B_1 e^{\frac{A_1}{T-\theta}}$……(6) にて表はせば實驗値とよく一致する場合がある．但し此の場合 A_1, B_1, θ の物理的意義は明瞭に定義されてゐない．

可塑性物質，瀝青の如きものに對しては著者は論ずる機會あるも今 Umstätter[44] の式を揭げる，彼は瀝青の様なもの>分子は外力に對し減衰振動をする力學系と考へ，振幅の對數減衰率 (Logarithmisches Dekrement) を $\theta = \frac{P.E/\text{mol.}}{K.E/\text{mol.}} = \frac{Q}{kT}$…にて示し得ると假定し，(但し $P.E/\text{mol.}$; 1 瓦分子の位置 "エネルギー"，$K.E/\text{mol.}$; 1 瓦分子の運動 "エネルギー"，Q; 1 瓦分子の凝集力 "エネルギー"，k; Boltzmann の常數……を表す)，粘性係數 η を下式で表はした．η_0 は常數とす．

$$\log \eta = \log \eta_0 + \frac{Q\sqrt{(2\pi kT)^2 + Q^2}}{2\pi (RT)^2} \quad \cdots\cdots(7)$$

實驗と比較してゐるが相當よく一致してゐる．其の他 Pochettino[45] (1914) によるも溫度下るに伴ひ η は非常に增加してゐる．

iii) 固體粘性係數に對する溫度の影響も全く ii) の場合の如き傾向を持つ．實驗方法，(振動法靜力法) により測定される η の値は非常に異るも實驗方法を一定とすれば溫度影響を比較する事が出來る．例へば 15° 度に於ける Al_2, An, Cu の Iokibe, Sakai[46] 兩氏の實驗と 30°C に於ける Al_2,

Au, Zn の Subrahmaniam[47] (1926) の實驗を參照すればよい. 今詳細は別の機會に讓るも, 運動量移動に對する機構のみ考察す. 固體に於ては各分子は氣體の場合の如く自由平均行路を持つ事不可能にて周圍の分子の結合力强く各分子は一定の排列の下に平均位置を中心とし彈性的振動をする. 固體にては分子は一定の自己振動數 (Eigen-Frequenz) ν を持つと考へられる.

Lindemann,[48] Plank 等は ν を用ひて多くの現象を說明してゐる, Frenckel[49] も斯る立場に立ち Boltzmann の原理を併用し固體の粘性係數卽ち運動量移傳能力として下式(8)の如きものを得てゐる.

$$\eta=\left(\frac{\tau_0' kT}{\pi a\delta^2}\right)e^{\frac{U_0'}{kT}} \quad \cdots\cdots(8)$$

但し, τ_0'; 基本振動周期, δ; 分子格子距離, a; 分子の平均直徑, k; Boltzmann 常數, T; 絕對溫度, U_0'; 結晶分子の分解する時の "エネルギー" を表す (5) 式と比較するに e の項は同じ形であるが (8) 式には T が乘じてある. 今特長としては固體の場合は氣體の場合と運動量移傳の機構全く異ると假定し實驗結果の傾向を明かにする式を得た事を特に力說するものである, 斯る考へ方は乳劑の場合の粘性係數を考察するに役立つ.

iv) 液體の場合實驗としては各種の液體に對し枚擧に遑がない. 傾向は溫度と共に η が減少するもので A. W. Porter[50] の洗滌な實驗がある. 粘性溫度 (η~t) に關する公式としては S. E. Scheppard,[51] E. L. Lederer,[52] L. G. Carpenter,[53] E. W. Madge[54] 等多數の研究がある. 今代表的のものに就て瀝靑乳劑の場合との比較に必要なものを述べん. 先づ運動移動の機構を考察せんに, 各液分子は, 氣體, 固體の中間の運動性を持つと考へらるが氣體論的力學系の機構によれば ii) に述べた樣に η は溫度と共に增大し事實と一致しない. 佐藤氏[55]が液體分子を雙極子 (Dipol-molekul) として各分子による電場內で電磁的の衝突にて運動量移傳が行れるとし, 且つ Boltzmann の原理を誘導し實驗式と一致する (9) 式の如きものを得た.

メチールアルコールに對し;

$$\eta=2.57\rho^{5/3}\sqrt{T}\left(5.82\frac{1}{T^2}+6.244\cdot 10^5\frac{1}{T^4}+\cdots\cdots\right) \quad \cdots\cdots(9)$$

を得た. 一方液體に於ては全く固體に類似した運動量移傳機構が行れてゐるとの假定の下に考察する. 斯る格子振動の立場より, J. Frenckel,[56] Dunn,[57] Andare,[58] の諸氏が粘性溫度の關係式を研究した.

J. Frenckel は 固體の場合と全く同じ考察により,

$$\eta=\left(\frac{\tau_0' kT}{\pi a\delta^2}\right)e^{+\frac{U_0'}{kT}} \quad \cdots\cdots(10)$$

を得た. 但し, τ_0'; 格子振動の基本周期, δ; 分子格子距離, a; 分子直徑, U_0'; 分子格子分解に對する "エネルギー" 等を表す. Dunn は固體擴散係數に液體に於ける滲透壓の影響を考慮に入れ (11) 式を得た.

$$\eta=Be^{A/T} \quad \cdots\cdots(11)$$

但し, A, B,; 分子の狀態により定る常數を表す M. P. Venkatarama Iyer,[59] Andare も (11) 式と全く同形式を得た.

$$\eta=Be^{\frac{U}{RT}} \quad \cdots\cdots(12)$$

但し，U; 1 mol. に對する分子生成に對する "エネルギー"，R; 瓦斯常數 (1,985 cal./mol.) T; 絶對溫度，B; 常數を表す.

上述の (11) (12) 式は全部，$\log\eta\sim\left(\frac{1}{T}\right)$ の直線關係を表すもので事實液體内の内部構造が一定即ち溫度により分子の結合，(Assoziation Zustand) 狀態等の一定せる範圍に於ては (12) 式等が成立つ事が立證されてゐる．水は低溫に於て内部構造著しく異り，$\log\eta\sim\left(\frac{1}{T}\right)$ 關係を見るも溫度の下るに伴ひ，U の增加する樣な傾向を示してゐる．$C_nH_{2n+1}I$ の同族に對する實驗に於て CH_3 基の增加する毎に U が一定値づゝ增加してゐる．斯る規則的な變化が一般に認められてゐるが Drucker[60] の研究によればアミン酸 (Amein Säure)，フオルムアミド (Formamid) は正規液體であるが $\log\eta\sim\left(\frac{1}{T}\right)$ 直線式より偏よると述べてゐる．斯く嚴密に云へば未だ議論の餘地あるも斯る例外は僅少で通常正規液體に於ては $\log\eta\sim\left(\frac{1}{T}\right)$ の直線式は成立つと考へて差支へない．(12) 式の公式を全く異る熱力學的立場より即ち Vant' Hoff の蒸氣壓 (p) と氣化熱 (L) との關係式 $\frac{d\log p}{dT}=-\frac{L}{RT^2}$ ……と下記の如く全く類似的に取扱ひ，粘性係數 (η) の代りに流動性 (ϕ) を (13) 式の如く置き，

$$\eta=1/\phi \quad \cdots\cdots(13)$$

氣化熱 (L) の代りに融解熱の樣な液體分子の "エネルギー" に關する量 (U) を代入す．斯くして得た (14) 式を積分し (15) 式の如き全く (12) 式と同じ $\eta\sim T$ の關係式を得，即ち

$$\frac{d\log\phi}{dT}=-\frac{U}{RT^2} \quad \cdots\cdots(14)$$

$$\eta=1/\phi=Be^{\frac{U}{RT}} \quad \cdots\cdots(15)$$

以上の如く液體に於ては固體に於ける如く格子點の周圍の自己振動による運動量移傳の假定を基とし粘性係數と溫度との關係が開明されてゐる

今鋪裝瀝青乳劑の場合果して如何なる形式により粘性係數と溫度との關係が表されるかは頗る興味ある問題である．特に二種の粘性係數，η_∞，η_E に對する關係を考察し上述固體，液體等の場合と比較する事は理論的考察より云ふも實用上見るも極めて重要な事である．

〔2〕 瀝青乳劑粘性係數 (η_∞)～溫度理論式の誘導 (其 I)

〔1〕 節に於て各種の均等性にて一成分系と見做し得る物質の粘性溫度の關係を，主として運動量移傳能力の立場より考察した．瀝青乳劑の如き乳濁液なる二成分系に於て粘性特に η_∞ と溫度との關係を以下考察す．瀝青粒子が氣體分子の如く溶媒中に浮遊し粒子は一定の大きさと，一定の質量を有し溶媒分子の衝突により Brown 運動をなし一定の平衡位置を保つてゐるから氣體に於て各成分分子の互に衝突により運動量を移傳の行れをるのとは大いに異るものである．寧ろ固體の格子分子が一定の自己振動により運動量を移傳するに似てゐる．

構造粘性範圍の如き可塑性の影響の表る範圍に於ける二分系の運動量移傳には二成分の界面に於ける特種な歪による "エネルギー" の分布が上記自己振動に影響を與へるものであるから關係頗る複雜となる．

今乳劑中の粒子に蓄積される "エネルギー" は變形による E_e と乳濁液として粒子の存在せる事による自己振動及界面 "エネルギー" E_p より成立つとする，即ち下記 (16) 式の如く表し得．

$$U=E_p+E_e \cdots\cdots (16)$$

但し，E_p は著者が所報 26 號に述べた形式をとるものと假定すれば單位容積中の平均値を表すものは，下式の如くなる．

$$O\cdot\left[-\sigma_{AB}+\frac{2\pi r d\sigma^2}{D\cdot(r+d)}\right]r^2+V\cdot\frac{9kT}{4\pi}\left(\frac{r}{D_w}\right)^3+L\cdot G\cdot r$$

但し，σ_{AB}; 分散媒分散質間の界面張力，d; 假說二重層の厚み，D; 二重層内の電媒常數，σ; 單位面積當りの荷電，k; Boltzmann 常數，T; 絶對溫度，O, V, L, は常數を表す．

前論文の如く，

$$\sqrt{-\sigma_{AB}+\frac{2\pi d\sigma^2}{D}}=\beta, \qquad \Delta N=N\cdot\frac{4\beta^3}{\sqrt{\pi}}e^{-\beta^2r^2}\cdot r^2\Delta r$$

と置く，但し N; 單位容積中の粒子數，β; $1/D_w$ (D_w; 確率直徑) を表す．E_p は下式 (16)′ 式の如くなる，

$$E_p=\int\left\{O\cdot[\beta^2r^2]+V\cdot\frac{9kT}{4\pi}\left(\frac{r}{D_w}\right)^3+LGr\right\}N\frac{4\beta^3}{\sqrt{\pi}}e^{-\beta^2r^2}\cdot r^2dr$$

$$=O\cdot N\frac{3}{2}+V\cdot N\frac{9kT}{\pi^{3/2}}+LG\frac{2}{\pi^{1/2}}N\cdot D_w \cdots\cdots (16)'$$

但し，O; $4\pi\sim0$, V; $4\pi\sim0$, $L=2\pi\sim0$, の間の任意の値をとるもので，粒子分布法則を論じた際の様に粘性と溫度との關係式に於ても，$V=0$, と見做し得．更に今の場合には L の項も利いて來る様な傾向が現れてゐる．

更に E_e を考察するに今 $E_e=\frac{1}{2}G^p\cdot G/Nn\cdots$ と假定する，但し N; 單位容積中の粒子の數，G; 歪，$\frac{G^p}{n}$; 應力，P; 常數，n; 彈性係數，を表す．n は粘性流の速度傾度に對應するものであるが粘性流即ち速度傾度に無關係な抵抗係數を示す範圍に於ては靜的剪應力は零となるから斯る場合では，$E_e=0$ と置く事が出來る．

統計力學の結果により熱平衡狀態に於ては "U" の "エネルギー" を持つ粒子の數は容易に求める事が出來る．斯る "エネルギー" 狀態に移り行く確率が粒子數に相當するもので實驗上觀測する場合粘性として表示されるものである．

運動量移傳可能性の確率が粘性の物理的意義である．斯の如き原理により以下粘性係數を取扱ひ溫度との關係を考察する．

今一つの體系の總の粒子の位置標及び運動量を……狀態變數 (Zustand Koordinaten) q_1, q_2,……q_n. 及び運動量變數 (Impuls Koordinaten) p_1, p_2,……p_n にて示し得るから任意の瞬間に，q_1,……q_n, p_1,……p_n が無限小なる領域 $dq_1\ dq_2$,……dp_1……dp_n, 内に在るべき確率 dW は下式 (17) で示し得．

$$dW=ce^{-\frac{U}{kT}}dq_1\cdots\cdots dp_n \cdots\cdots (17)$$

但し，k; Boltzmann の常數，c; 常數，今體系内に觀測し得る量 (G) を "パラメーター" として上式内に誘導する．例へば歪により粒子が移動する全體としての移動 (Masse-Bewegung) を考ふ．濃厚粒子は自己振動により運動量移傳に關與しつゝ且つ "パラメーター" G の移動をする．今 G が G と $G+\Delta G$ の間に存在し且つ滲透壓 P の狀態になるべき確率は (17) 式を $O\sim\Delta G$ の間に積分す

る事により求め得.

$$\Delta W=\int P\int^{\Delta G}d\omega=c\int P\int^{\Delta G}e^{-\left(\frac{E_p+E_e}{kT}\right)}\cdot dq_1\cdots\cdots dp_n$$

$$=ce^{-\frac{E_p}{kT}}\int^{\Delta G}e^{-\frac{1}{2kT}(G^{p+1})}\cdot\frac{1}{Nn}\cdot dG\cdot dG^p$$

$$=ce^{-\frac{E_p}{kT}}\cdot e^{-\frac{1}{2kTNn}\cdot G^{p+1}}\cdot\Delta G\cdot\Delta(G^p)\cdot P \quad\cdots\cdots(18)$$

但し, $dq_1=dG_1$, $dp_1=dG_1{}^p$, dq_2, dq_n, dp_3……, dp_n, は系内に表れて來ない, $\int^p dp_3=P$, P; 滲透壓……を示す.

今非常に多數の微粒子よりなる體系を考ふれば確率の代りに微粒子數の個數を取扱ふ事となり (18) 式の dW の代りに $d(N)$ と置き且つ, $\Delta G=1$ とすれば (18) 式は下式 (19) の如くなる, 但し C は (18) 式に於ける c とは別個のものである.

$$d(N)=pC\cdot e^{-\frac{E_p}{kT}}\cdot e^{-\frac{E_e}{kT}}=Cp\cdot e^{-\frac{E_p}{kT}}\cdot e^{-\frac{1}{2kTNn}G^{(p+1)}}$$

$$=CTe^{-\frac{E_p}{kT}}\cdot e^{-\frac{1}{2kTNn}\cdot G^{p+1}} \quad\cdots\cdots(19)$$

を得. 但し滲透壓 $P\propto T$ と假定した. 蓋し (19) 式は G なる歪を持つ狀態と單位 G の增大せる狀態間に單位面積を通り單位時間に移る微粒子の數を示す. 二つの狀態は互に獨立せる平衡狀態を想像せるもので一媒質中に於ける歪の異る二部を直接考へてゐるのではない. 一方媒質中に於ける擴散の係數は統計力學と Stokes の定理を用ひ與へられてをる. 斯る係數に歪[62]狀態による影響 (Massé-Bewegung) も重疊し得ると假定し兩者を考慮に入れ下式 (20) の如く置く.

$$D=\frac{RT}{N_A}\cdot\frac{1+G}{6\pi a\eta} \quad\cdots\cdots(20)$$

但し, D; 擴散係數, N_A; Avogador 數, a; 擴散物質の大さを示す假設的半徑, η; 媒質の粘性係數なれども擴散物質に對する周圍よりの抵抗力の合力を示してゐるから, η は系の粘性係數を表すものと考へ得. R; 瓦斯常數……を表す.

(20) 式に於ても二つの獨立せる平衡にある狀態を假定し兩者間に於ける擴散を取扱つてゐる.

(19) 式 (20) 式は全く同じ現象の二つの表示法によるものであるから兩者を相等しいと置き下記 (21) 式の如き $\eta\sim T$ の關係式を得.

$$\eta=\frac{R}{N_A\cdot 6\pi a}\cdot e^{\frac{E_p}{kT}}\cdot\left\{(G+1)\cdot e^{\frac{1}{2kTNn}G^{p+1}}\right\} \quad\cdots\cdots(21)$$

(21) 式は一般的狀態に於ける粘性係數を表すもので其の意義を考察するに, 乳劑の如き粘性度の大なるものに於ても構造粘性の範圍外の正規粘性の部分に於ては此處に云ふ彈性的變形は成り立たない. 斯る狀態に於ける粘性係數 (η) を示す場合 (21) 式の { } 括弧内のものに於ては G が最初より誘導されず 1 となり, (15) 式と全く同一の式を得, G の一定の狀態に對しても全く同樣な形式となる.

$$\eta_\infty=Be^{A/T} \quad\cdots\cdots(22)$$

但し, $B=\frac{R}{N_A\cdot 6\pi a}$, $A=\frac{E_p}{k}$, にて其の物質に就き特有な常數を表す. 更に (21) 式は假定した樣な一種の運動をも含む狀態に於ける且つ, 滲透壓の影響を蒙る場合の粘性の傾向をも示すものである, 構造粘性範圍の粘性は更に趣を異にせるもので第〔3〕節に述べるも (21) 式の傾向の一を考察するに

粘性の實驗に際し速度傾度小なる範圍に於ては前報告第 II, III 章に述べた様に彈性的變形をなすもので "フロー" 發生までは (21) 式に云ふ如き歪が存在するものである，且つ速度傾度の小なるほど歪存在の領域大である，從つて (21) 式括弧内の項により表される抵抗性は增大する．

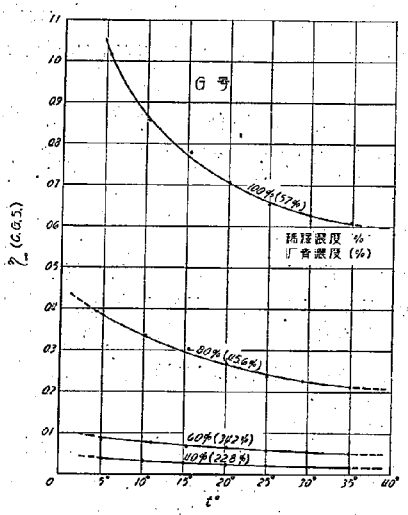
實際上回轉圓筒法，毛細管法に於ける實驗は斯る傾向を示す，更に一歩を進め本章〔1〕節固體粘性係數の項に述べた様に實驗法により，即ち材料に與へる變形の大さにより固體の粘性係數は頗る異るものである．例へば Al_2 に就てこの粘性係數 (η) 測定値を見るも非振動法 (Stationäre Messverfahren) による Hettwer[62] の結果は $\eta=7.5\times10^{15}$, 9°C, (C.G.S.) を與へ，振動法 (Langsame Schwingung Messverfahren) による．Iokihe, Sakai[63] の結果は $\eta=25.8\times10^{8}$, 15°C, 超振動法 (Rasche Schwingung Messverfahren) による Quimby[64] の結果は $\eta=1650$, 20°C の如き値を與へてゐる．其の理由として種々[65] 考へ得るも，各實驗の條件により (21) 式の G の値の異る事も一つの原因と考へらる．

上述の如く瀝青乳劑に於ては全く形式上液體の場合と同じ式にて粘性係數 (η_∞) が表示される事が明かになつた．且つ運動量移動も分散系組成分子の自己振動によると解する事が出來た．更に Engler 比粘度と溫度との關係式は後節に詳論する．

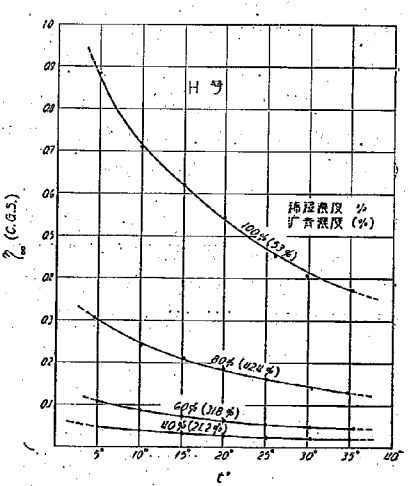
〔3〕 **瀝青乳劑粘性係數 (η_∞) の溫度に對する實驗結果に就て**

瀝青乳劑の粘性係數 (η_∞) の溫度との關係を求めんに，回轉圓筒法のみの結果に就き論ず．毛細管法は 25° に於てのみ試みしもので溫度關係を論ずる事不可能であつた．前報告第 VII 章實驗の結果より $\eta_\infty\sim t$, 即ち粘性係數～溫度の關係を求む．第 36 圖 〔a〕, 〔b〕, 〔c〕, 〔d〕 は各試料 (G, H, E, F 號) の種々なる瀝青含有量に對する $\eta_\infty\sim t$ 曲線である．

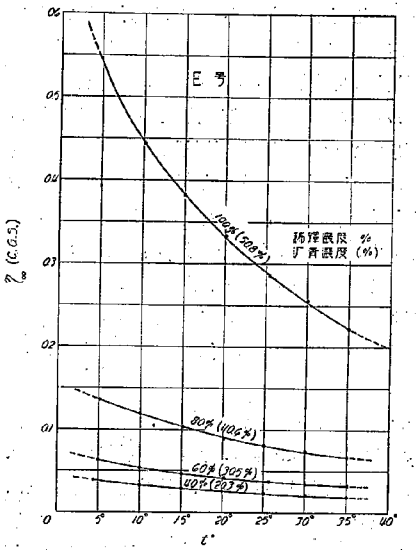
圖より明かなる如く濃度の增加に伴ひ曲線の彎曲度大にて (21) 式にいふ彈性歪の狀態の影響が明かに表れてゐる．全部の曲線は全く同じ傾向に從つて變つてゐる．今 (22) 式を適用し $\log\eta_\infty\sim 1/T$



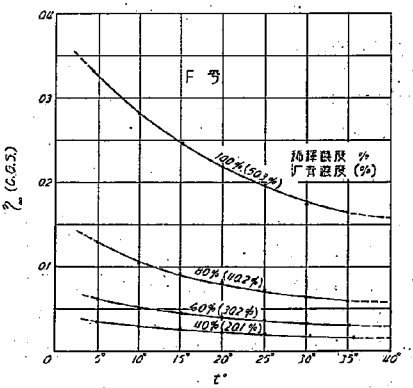
第 36 圖 〔a〕



第 36 圖 〔b〕



第 36 圖 〔c〕



第 36 圖 〔d〕

第 20 表 常數, $A\times10^4$

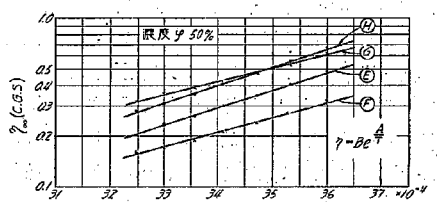
瀝青含有量 ＼ 試料名	G	H	E	F
50%	0.1859	0.2516	0.2409	0.2108
40%	0.1527	0.2382	0.2063	0.2206
30%	0.2260	0.2685	0.1933	0.2362

……なる直線關係式を滿足してゐるかを吟味する.

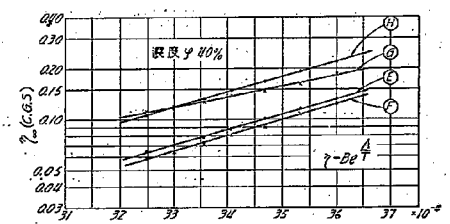
卽ち第 36 圖より第 37 圖 〔a〕, 〔b〕, 〔c〕 の如く瀝青含有量 50%, 40%, 30% に應じて, $\log\eta_\infty\sim1/T$ 曲線を求む.

實驗の誤差範圍内で實驗結果は直線に分布してゐるから第 (22) 式が明かに成立つものと推測し得る.

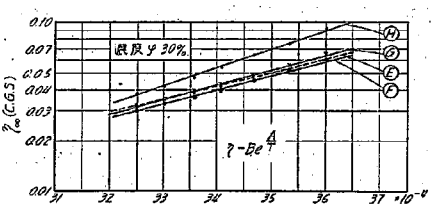
又 (22) 式の常數, A, B, は容易に之を求め得. 今各試料の種々なる瀝青含有量に於ける粘性係數式……$\eta_\infty=Be^{A/T}$……の常數 A, B, を第 20 表 21 表に示す.



第 37 圖 〔a〕



第 37 圖 〔b〕



第 37 圖 〔c〕

第 21 表 常數 $B\times10^4$

試料名 / 瀝青含有量	G	H	E	F
50%	7.700	0.7815	0.8216	1.617
40%	7.576	0.4432	0.7724	0.4476
30%	0.191	0.0595	0.5945	0.1318

A表を見るに粒子小なる即ち分散度大である G 號の A が最小で而かも前報告第 5 表濾過液粘性係數 (η_0) の溫度係數 A の値も最も近く稍々小であるが，B の値が他の三種のものに比し頗る大である．液體の粘性論に於ける同係物質 (Homologe) の粘性係數が例へば CH_2 基の增加に伴ひ A に規則的な增加のある如き關係を瀝青乳劑の場合に見出する事は困難である．G 號の常數 A が小で E 號等確率直徑の大なるもの > A の値の大なるは (16)′ 式の最後の項の影響又は (21) 式內の G の影響とも推測し得るが資料數僅少なる爲め結論を下す事は稍々早計である．

然れども瀝青乳劑に於ては粘性係數 (η_∞) は實驗誤差範圍內で (22) 式にて示し得る事は確實である．又第 37 圖〔a〕,〔b〕,〔c〕により實驗溫度範圍に於ける η_∞ の値の關係を明瞭に了解する事が出來る．

前報告第 VI 章〔3〕節濾過液の粘性係數 (η_∞) 式，$\eta_0=Be^{A/T}$ に於ける常數 A, B, と第 20 表 21 表とを比較するに乳劑の場合 η_∞ を η_0 と粒子相互間の影響を示す量に分折し表す事の困難なるを示す．寧ろ本節に採た方法により始めて粘性係數 (η_∞) と溫度との關係が判明される．粘性係數 (η_∞) と溫度の關係式誘導の際考察した樣に，運動量移轉に對する機構が固體的で氣體的でないといふ事は瀝青粒子の分布理論式[66]に於ても Brown 運動による運動勢力の項が一般には利いて來ず粒子の小なる場合に對して其の影響が表れて來た事に於ても推測する事が出來る．斯の如き實事も本論の主旨を裏書きするものである．

〔4〕 瀝青乳劑粘性係數 (Engler 比粘度)～溫度理論式の誘導 (其 II)

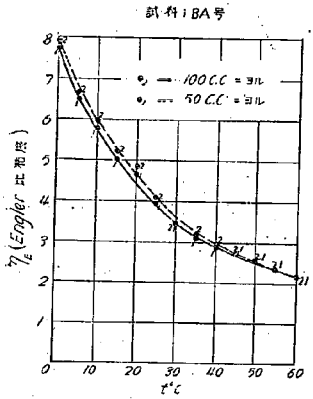
更に一般に使用されてゐる粘性係數である Engler 度にて示されてゐる粘性係數と溫度との關係を考察する．第 38 圖〔a〕,〔b〕,〔c〕は三種 (今假りに BA, BB, EB 號と稱す) の瀝青乳劑に就き本所に於て藤井技師[67]の測定されし Engler 比粘度 (η_E) と溫度 (t°C) の實測値である．

Engler 粘性係數は第 I 章〔3〕節に述べた樣に構造粘性の範圍の粘性を表すから前節の η_∞ の場合と比較對照するは實用上理論上頗る興味ある事である．先づ η_E～t 曲線を吟味する第一着として，$\log\eta_E$～$1/T$. の直線關係を考察す，但し T は t 度に對する絶對溫度を表す．粘度係數 (η_E) には全部 Engler 度又は其れに比例する數値を用ひた．

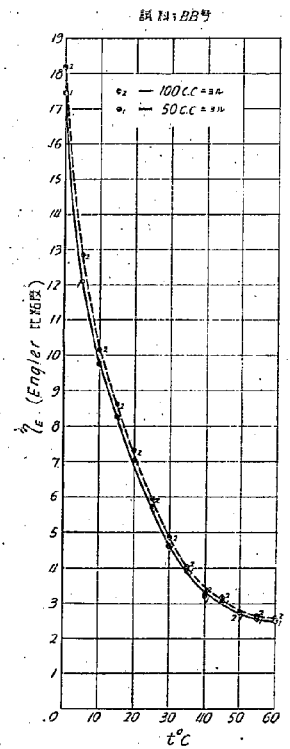
第 39 圖〔a〕,〔b〕,〔c〕は第 38 圖から求めた，$\log\eta_E$～$1/T$ 曲線である總ての曲線は直線でなく橫軸に對し凹形を爲す即ち溫度增加に伴ひ，(22) 式の常數 A の値の減少する傾向を示してゐる．即ち可塑性の範圍を含む粘性係數に於ては運動量移傳能力としての物質內部組織が溫度により相當變化するものとも推測することが出來る．

斯の如く考察すれば係數 η_E と溫度との關係を明かにする事は實用上は勿論の事理論的考察よりも頗る重要な事である．今單位容積に常り蓄積される "エネルギー" U が溫度の函數であり實驗の範圍で下記 (23) 式の如き傾向をとると假定す．

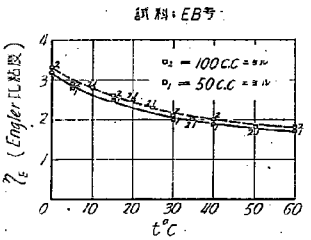
$$U=A_0\left(1+\frac{\theta}{T-\theta}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$



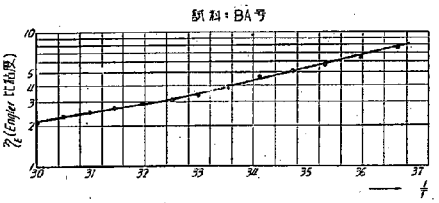
第 38 圖 〔a〕



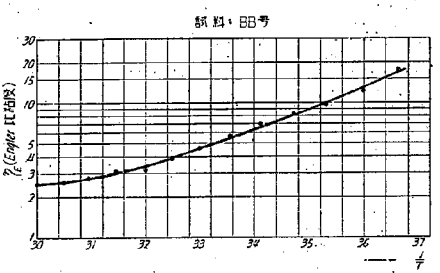
第 38 圖 〔b〕



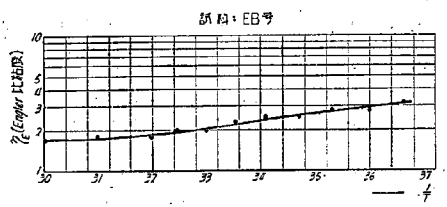
第 38 圖 〔c〕



第 39 圖 〔a〕



第 39 圖 〔b〕



第 39 圖 〔c〕

但し，T; 絶對溫度，θ; 實驗上定められる常數を表すとすれば，

$$T=\theta \text{ 及び } T=\infty \text{ に對し } U=\infty \text{ 及び } U=A_0$$

となり且つ U は (22) 式中の A に相當するものである．斯く假定すれば (23) 式より下式を得．此際粘性係數は Engler 比粘度を表す．

$$\eta_E=Be^{A/(T-\theta)} \quad \cdots\cdots(24)$$

本式は (6) 式と全く同一のものである．A_0 は $T=\infty$ に相對する値で物理的意義としては速度傾度に無關係な流れに於ける粘性係數 (η_∞) の常數 A に相當すると推則される．

第 38 圖〔a〕,〔b〕,〔c〕の場合に於ても果して (24) 式が適用されるかを吟味す．第 22 表は各試料に對し (24) 式を適用し得た A, B, θ を示す．

第 22 表　$\eta_E=Be^{A/(T-\theta)}$ に於ける A. B. θ を示す．

試料名	BA (50 cc)	BB (50 cc)	EB (100 cc)	備　考
A	515	428	48.3	但し，50 cc, 100 cc とは Engler 比粘度測定の際に於ける使用容量を示す．
B	0.131	0.122	1.14	
θ	147	187	227.5	

第 40 圖〔a〕,〔b〕,〔c〕,〔d〕は第 22 表に示す常數より計算せしものと實測値とを比較せるもので便宜上第 38 圖〔a〕,〔b〕は 50 cc〔c〕圖は 100 cc に對するもの＞計算値を使用する．圖示の如く (22) 表に表されたものと實測値は非常によく一致してゐる．

一方可塑性範圍に於ては Maxwell の粘性係數 (前報告第 I 章 (4) 式參照) の如く E, τ, 即ち應力歪の比例常數竝に應力狀態消失時間に對する擴散の概念を用ひる時又は (18) 式誘導に於て滲透壓の影響を度外視し固體に於ける如く運動量移傳が行れると假定する．斯の如き場合は (18), (20) 式より下記(25) 式の如きものを得．

$$\eta=\left(\frac{R}{N_A\cdot 6\pi a}\right)Te^{\frac{E_p}{kT}}\cdot\left\{(G+1)e^{\frac{1}{2kTNn}G^{p+1}}\right\} \quad \cdots\cdots(25)$$

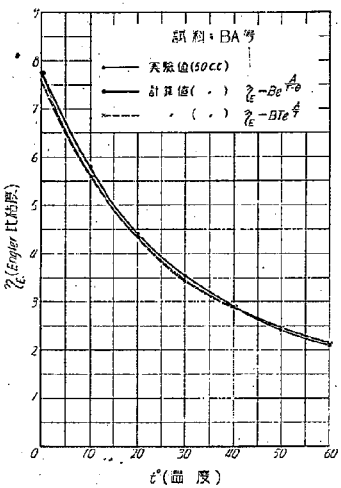
但し，R, N_A, a, E_p, k, N, T, u, p, は (20) 式の際說明したものと同じである．今彈性歪狀態に起因する影響は實驗狀態及び條件の一定せる以上一定資料に對しては一定であるから (25) 式は簡單に下記の樣になる．

$$\eta=BTe^{A/T} \quad \cdots\cdots(26)$$

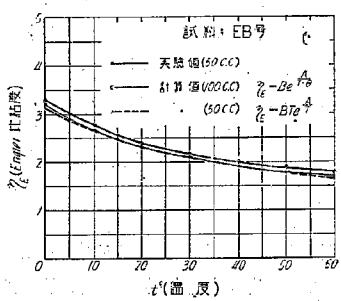
但し A, B, は常數にて上式は固體粘性係數式として示した〔2〕節 (10) 式の J. Frenckel 等による公式と同じ形式である．斯く瀝靑乳劑に於ても粘性特に Engler 度 (η_E) は粘性の機構固體の場合に類似してゐると推察することが出來る．

今 $\eta_E=BTe^{A/T}$ により Engler 比粘度が表さるとして第 38 圖〔a〕,〔b〕,〔c〕の試料から A, B, を計算すれば第 23 表の如きものを得．

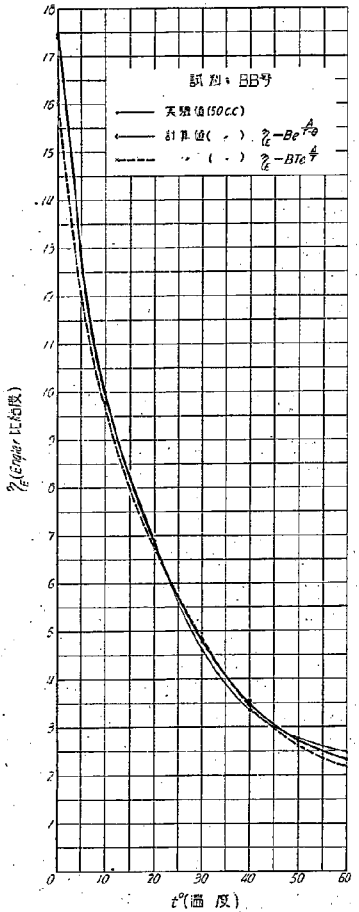
第 23 表より計算せる (η_E) は第 40 圖〔a〕,〔b〕,〔c〕內に記入した，第 23 表の EB 號は試料容量 100 cc に對するものであるが第 40 圖〔c〕に於ては各公式相互關係を明瞭に示す爲め 50 cc に對



第 40 圖 〔a〕



第 40 圖 〔c〕



第 40 圖 〔b〕

第 23 表　$\eta_E = BT_e^{AlT}$ に於ける A, B を示す

試料名	BA (50 cc)	BB (50 cc)	EB (100 cc)
A	2.17×10^{3}	3.45×10^{3}	1.224×10^{3}
B	0.95×10^{-5}	1.7×10^{-7}	0.130×10^{-3}

するもの>計算値を記入した.

第 40 圖によれば Engler 比粘度は溫度に對し (24) 式又は (26) 式何れにても實驗溫度中零度及び 50 度, 60 度附近の小部分を除けば非常によく表す事が出來る.

勿論零度の如き比較的低溫度に於て乳劑の特種のものは内部的に一時的にしろ變質すると豫想されるし, 又瀝青物質の軟化點以上の溫度にても同樣である. 殊に BA 號の如く低溫に於て急劇に粘

性の增加する如きものは斯る現象が特に著しく現れると推測することが出來る．(24) 式 (26) 式共に全く同じ樣な假定より得たものであるが兩者いずれとも本實驗の資料のみでは優劣を定め難い．

以上の如く Engler 度にて與へられる粘性係數は本章〔1〕節の速度傾度に無關係領域の係數 (η_∞) と溫度との關係と著しく異るもので，從つて粘性としての物性も本質上異るものなるを知る．

斯の如く構造粘性領域の粘性を溫度關係より考察すれば前報告第 II, III 章の如き純力學的見解とは別個の新しい概念を得る．

瀝靑乳劑は其の組成上本章に實驗せし溫度範圍以上に涉る時は又化學的な現象等が現れて現象を複雜にするから單一に論ずることが出來ない．

以上の如く瀝靑乳劑に於ける主要なる粘性係數の二種 η_∞, η_{E_1} と溫度との關係より粘性の機構を明かにする事が出來た．

IV 粘性係數と瀝靑質含有量との關係に就て

〔1〕 一般的考察；二成分系粘性係數と分散質濃度との關係に就て

瀝靑乳劑は其の瀝靑質含有量により粘性の著しく異ることは明かで例へば藤井技師[68]報告にも Engler 比粘度ではあるが濃度と粘性との關係とが明かに示されてゐる．實用上混合用滲透用何れにても他の液體にて稀釋する事により粘度を減少す，且つ稀釋されたものにては分離層に於ける瀝靑物の岩石に對する附着力，乳劑の安定力等は原乳劑のものと異るものである．此等の特性は理論上實用上重要な事柄であるが今此等の諸問題には觸れず唯だ稀釋する事による粘性の變化を考察し二成分系乳濁液に於ける運動量移傳の機構を推論し，粘性～溫度との關係とを比較し此等特性相互の關係をも明かにせんとする．乳濁液に於ける分散質濃度と粘性との關係は實用上，理論上重要なものである．

瀝靑乳劑に對しては著者[69]の論文あるも，一般に先づ粘性と濃度との關係を簡單に述べる．公式誘導の詳細は之を省略するも乳濁液及び懸濁液に對しては (1) (2) 式の如きものゝあることは明かである．

$$\eta_s=\eta_0(1+2.5\,\varphi)^{[70]}\cdots\cdots\text{Einstein の式} \quad\cdots\cdots(1)$$

$$\eta_s=\eta_0(1+4.5\,\varphi)^{[71]}\cdots\cdots\text{Hatschek, (1) 式} \quad\cdots\cdots(2)$$

但し，η_0; 分散媒，例へば完全な濾過液の如きもの〉粘性係數，φ; 分散質と分散系との容積比……を表す．殊に乳濁液としては Bon,[72] Taylor[73] の式があるが濃度 (φ) と粘性 (η_s) との關係式は全く (1) (2) 式と同じ形式のもので濃度小なる範圍に適用されるものである．濃度大なるものに對しては又 Hatschek,[74] Hess[75] の式がある．

$$\eta_s=\frac{\eta_0}{1-\sqrt[3]{\varphi}}\cdots\cdots\text{Hatschek, II 式} \quad\cdots\cdots(3)$$

$$\eta_s=\frac{\eta_0}{1-a\varphi}\cdots\cdots\text{Hess の式} \quad\cdots\cdots(4)$$

但し，a; 常數にて，φ; 容積濃度を表す．以上 (1) (2) (3) (4) 式に於て瀝靑乳劑の粘性に關する關係は既に述べた．[76] 元來 Einstein の式は懸濁液に於ける各粒子が互に運動に對し無關係にある事を基礎としてゐる．(1) 式よりの偏差を以て溶質の分子構造の複合性其の他構造論的特性を論じてゐ

る．例へば D. B. Macleod[77] の液體粘性 (η) と重合度 (ϕ) との關係，"ゴム" 及び蛋白質溶液に於ける濃度 $\varphi=1\%$ の如き稀薄溶液にても粘性の極度に增大する現象に對する Staudinger[78] の研究等は Einstein 式からの偏差と粒子形狀の異常性との關係を假定し求めてゐる．更に瀝青乳劑の如き安定な分散系にては粒子は荷重を荷ひ溶媒に對し一定の電位差 (ζ) を有する事明かにて此點に關しては既に論じた事がある．斯る系に於て胞子直徑は增大せる如き影響を粘性係數に有す．M. V. Smoluchowski[79] により提出された (5) 式の如きもので其の傾向を推測する事が出來る．

$$\eta_s=\eta_0\left[1+2.5\frac{\varphi C}{100}\left(1+\frac{\sigma}{a^2\eta_0}\left\{\frac{D(\varphi_i-\varphi_a)}{4\pi}\right\}^2\right)\right] \quad \cdots\cdots(5)$$

但し，φ; 分散質粒子の比容積 cc/gr にて，密度を 1 とすれば上述の如く簡單に容積濃度となる，C; 乳劑の濃度 gr/100 cc，σ; 分散媒の比電氣抵抗，a; 粒子半徑，D; 分散媒の電媒恒數 $\varphi_i-\varphi_a$; 粒子電位－溶媒電位＝電氣＝重層電位差 (ζ)，……等を表す．

其の他粒子の形狀による影響を考慮に入れ例へば粒子を回轉楕圓體としては Jeffery の流體抵抗式を基礎とした R. Eisenschitz[80] の研究，亞鈴型粒子に對する W. Kuhn[81] の研究あるも，今瀝青乳劑の研究對照としては先づ第一濃度の點に於に條件を滿足してゐない．唯上式總ての根本的共通點は溶液又は分散系に於て其の粘性を支配するものは溶質の容積濃度であり，然も容積濃度として粘性に有効に影響を持つものは分析上に云ふ溶質の容積でなく，一つの見掛上の容積濃度であるとし，其の濃度と眞の容積濃度との比を粒子の形狀及び粒子の電氣的性質等に應じ適當に假定し粒性係數を計算したものである．

本研究の如き眞濃度約 0.20～0.50 程度のものに對しては是非粒子相互間の關係を考慮に入れた粘性式を求める事が必要である．一方斯る見地より粘性と濃度との關係を求めたものに Mark-Fischentscher[82] の式及び Staudinger[83] の研究がある．蓋し Einstein の式に於ては各粒子は溶液中任意の位置を制限なくとり得ると假定してゐるが，實際は他の粒子自體の大さ等により各瞬間に於て任意の粒子の占め得る可能空間は縮少されてゐる．斯る考は Staudinger の根本的のもので丁度氣體論に於ける瓦斯示性式の Van der Waals の第 1 修正項 (有効容積に對する) に相當する修正をせるものである．卽ち

$$\left.\begin{aligned}\frac{v}{V}&=\frac{\varphi\cdot C}{100}\quad\cdots\cdots\text{非膨潤狀態}\\ \frac{v}{V}&=\frac{b\cdot C}{100}\quad\cdots\cdots\text{膨潤狀態}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(6)$$

(6) 式の代りに上述の修正をなし (7) 式を得た．

$$\frac{v}{V}=\frac{b\cdot C}{100-b\cdot C}\quad\cdots\cdots(7)$$

但し，v; 分散質の容積，V; 分散系の容積，φ; 粒子の比容積 cc/gr (乾燥狀態を假定す)，b; 一般に膨潤狀態等に於ける粒子の比容積，C; 濃度 % (乳劑 100 cc 中の乾燥狀態に於ける容質 gr 數)．

斯して得た見掛上の容積比 $\left(\frac{v}{V}\right)$…7 式を (1)……(5) 式等の如き一次式中の濃度 (φ) に代入し得たる (8) (9) 式等により Staudinger は "ゴム" "セルロース" 等の粘性を研究した．

$$\eta_s=\eta_0\left(1+[a]\cdot\frac{C\cdot b}{100-C\cdot b}\right)\quad\cdots\cdots(8)$$

$$\frac{C}{\eta_{sp}}=\frac{100}{b\cdot[a]}-\frac{1}{[a]}C \quad \cdots\cdots(9)$$

但し，$\eta_{sp}=\frac{\eta_s}{\eta_0}-1$，$[a]$; 常數にて粒子の形狀及び荷電狀態によるものにて，Smoluchowski (5) 式と比較し ζ 電位との關係を求め得．b は水和度を示すもので溫度等にもより膨潤影響によるものである．今 b, $[a]$ が濃度に無關係と假定する即ち電荷の影響，水和度が常に一定であるとすれば (9) 式は $\frac{C}{\eta_{sp}}$, C……の直線關係式を表すものである．

後節實驗の部に於て論するも瀝靑乳劑に於ては斯る假定は實驗範圍の濃度にては少くとも滿足してゐない樣である．唯僅かに其の傾向を見るのみである．其の他溶液及び親水性 "ゾル" 等の濃度 (φ) と粘性 (η_s) との關係式は R. O. Herzog,[84] 山口[85] 其の他多數の人々の式あるも濃度大なるものに對するもの無し，多くの場合上述 (3) (4) 式の Hatschek, Hess の式，特別の場合に於て (9) 式 Mark-Fischentischer, Staudiger の式を用ひて膨潤比率等が考察されてゐるが瀝靑乳劑に於ては上式等を其の儘適用することは出來ない，更に粒子相互間の關係を深く考慮に入れて粘性係數濃度の關係を開明する必要がある．

第〔2〕節に述べる如く著者は瀝靑乳劑の粘性に關する濃度の影響に就き簡單な公式を發表したが更に本章に其の物理的意義を論じ其の擴張を試みんとする．

〔2〕 瀝靑乳劑に於ける粘性係數～濃度理論式の誘導

著者は既に瀝靑乳劑の粘性と瀝靑質濃度との關係に就き論じ一關係式を得た．其の際理論式と比較せん爲め引用せし實驗値は藤井技師の研究による Engler 粘度計による値である．前章及び前報告第 VII 章の記號を用ふれば η_E に就き考察したものである．今簡單に著者の該公式を引用し更に其の擴張を試みん．

先づ η_E の代りに其の逆數 ϕ (流動度) を用ひ，擴散係數 "D" との關係を (11) 式の如く假定す．

$$\frac{1}{\eta_E}=\phi, \qquad D=\frac{1}{\varphi A} \quad \cdots\cdots(10)$$

且つ不均一系內にて勢力函數 "ϕ" が擴散式 (11) 式より擴散すると假定す．

$$\frac{\partial\phi}{\partial t}=D\nabla^2\phi, \qquad \nabla^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad \cdots\cdots(11)$$

(11) 式を解き特解 (12) に式より常數 α, η_0 を誘導し (13) 式の如き粘性式を得．即ち

$$\phi=\frac{1}{\sqrt{t}}\cdot e^{-\frac{(a-x)^2}{4Dt}} \quad \cdots\cdots(12)$$

$$\phi\propto e^{-A\varphi}, \qquad \eta_E=\eta_0 e^{\alpha\varphi} \quad \cdots\cdots(13)$$

但し，φ; 乳劑中の瀝靑質含有量を表す，(13) 式は $\varphi=0.20\sim0.50$ 範圍にて相當よく實驗値と一致せる結果を示した．(13) 式は構造粘性以外の粘性係數 (η_∞) に對しても當然適用さるべきものである著者の (13) 式と全く同じ形式粘性係數式が其の後全く獨立に發表された，即ち E. G. Richardson[86] により物質の壓縮度 (Kompressibilität) との類似性を假定し導かれたものである．今容積 V のものに對する外部よりの壓力增加を ΔP とし容積增加を ΔV とすれば Hooke の法則の成立する範圍では，

$$-\left(\frac{\Delta V}{V}\cdot\frac{1}{\Delta P}\right)=\text{壓縮率} \quad \cdots\cdots(14)$$

は常數である．乳濁液內の各粒子の平均巨離 l は濃度 (φ) により測り且つ界面間には (14) 式と類似の關係即ち V, P に對し l, φ を引用し且つ……$-\left(\frac{\delta l}{l}\right)=\frac{\delta\eta_s}{\eta_s}$……として粘性との關係を誘導し

$$\eta_s=\eta_0 e^{K\varphi} \quad \cdots\cdots(15)$$

なる (13) 式と同じ式を得た．W. Hess, J. W. Trevan の血液乳濁液，Joshi の油～水乳濁液にもかゝる式が最もよく乳劑の粘性と濃度との關係を示す．今 (10) 式及び Richardson の $-\frac{\Delta l}{l}\cdot\frac{1}{\Delta\varphi}=$ 常數，式等を考察し乳劑に於ける粘性機構が第 II 章に述べた様な全く固體的な格子平衡位置の周圍の振動により運動量が移傳するとの考察に基き濃度粘性の關係を求めん．(10) 式を見るに擴散係數 (D) の逆數と濃度 (φ) との直線關係を先天的に假定してをり實驗の結果と比較し其の妥當なるを推測するものである．Richardson の式では粒子の平均巨離 (l) と其の變化との比が粘性及び其の變化の割合と同一であると假定してゐる．今平均巨離の代りに擴散係數 (D) を代入すれば (14) 式の類似式で且つ物理的意義の一層明かなる式を得．即ち (16) 式 (17) 式を得．

$$-\frac{\delta D}{D}\cdot\frac{1}{\delta\varphi}=K \quad \cdots\cdots(16)$$

$$D=D_0 e^{-K\varphi} \quad \cdots\cdots(17)$$

但し K; 常數又は φ の函數にて固體に於て Hooke の法則の適用範圍に於ては壓縮率が常數であるとの考へと全く類似的考察による．然して固體に於て可塑性が發生すれば法則が成立しなくなる様に乳劑に於ても K が常數でなくなる．特に乳劑の様な不均一系に於ては分散質の狀況により變るものである．故に此等の實例を述べ相互の關係を明かにせん．(17) 式に於ける D_0 は乳劑の如き透滲壓の影響をうけ擴散するものにては透滲壓 (P) の項を有するものであるから第 VIII 章に述べた様に $D_0=D'T$ と考へる事が出來る．但し D' は常數である．D としては第 VIII 章 (20) 式に於ける $G=0$ の場合を考ふればよい．即ち

$$D=\frac{RT}{N_A}\cdot\frac{1}{6\pi a\eta}=D'Te^{-K\varphi} \quad \cdots\cdots(18)$$

但し，R; 瓦斯常數，N_A; Avogadro 數，η; 粘性係數，a; 粒子半徑，を表す．(17), (18) 式より

$$\frac{R}{6\pi N_a D'a}\cdot e^{K\varphi}=\eta \quad \text{今 } K=a \text{ と書き換へれば，即ち} \quad \eta_s=\eta_0 e^{a\varphi} \quad \cdots\cdots(19)$$

を得．但し，η_0, a は常數にて上式より明かである．(19) 式の η_s は速度傾度の影響を度外視せるかの如き感あるも (16) 式の K の常數なるを考ふれば η_∞ 値に於て一層よく成立つ如く推測される．

或る種の分散度のものにては粘性の絕對値は別問題とするも (16) 式に於ける $-\left(\frac{\delta D}{D}\right)\cdot\frac{1}{\delta\varphi}$ が常數でなく "φ" と共に增大する場合がある，例へば分散度小にて可塑性的傾向の物に對しては斯く假定する事が出來る，即ち (16) 式の代りに下記 (20) 式を用ふ．

$$-\frac{\delta D}{D}\cdot\frac{1}{\delta\varphi}=K_1 e^{K_2\varphi} \quad \cdots\cdots(20)$$

(20) 式より積分し下記 (21) 式の如き粘性係數 (η_s) と濃度 (φ) との關係式を得．

$$\eta_s=\eta_0 e^{K_1 e^{K_2\varphi}} \quad \text{又は} \quad \log\eta_s=\log\eta_0+K_1 e^{K_2\varphi} \quad \cdots\cdots(21)$$

但し，K_1, K_2, は常數を示す．斯くの如くして瀝青乳劑の如き相當大なる平均直徑 (1～10 μ) 程度

の乳濁液の粘性係數として全く第 II 章の η_∞ と溫度との場合の如く粘性機構を固體的との考察の下に二種の代表的關係式を求る事が出來た．今假りに此等を第 I 種第 II 種の理論關係式とする．

粘性係數～濃度理論式；

第 I 種； $\eta_s=\eta_0 e^{\alpha\varphi}$ ……(22)

第 II 種； $\eta_s=\eta_0 e^{K_1 e^{K_2\varphi}}$ 又は $\log\eta_s=\log\eta_0+K_1 e^{K_2\varphi}$ ……(23)

但し，φ; 瀝青濃度を表すもので η_0 は必ずしも Einstein, Hatschek 其の他の人々の式にある如く分散媒のみの粘性係數と解する必要はない．

上述 (22), (23) 式により瀝青乳劑のみならず此種乳濁液の抵抗性を洞察する事が出來ると信ず．

次節に於て實驗値と比較對照す．(22) (23) 式の η_0 は上述の如く濃度以外例へば溫度等の函數で第 II 章〔2〕〔3〕節に述べた樣に速度傾度に無關係範圍 (η_∞) と Engler 比粘度 (η_E) により二樣の關係式がある．斯く溫度との關係をも考慮に入るれば乳劑の粘體係數には四種の場合を考へる事が出來る．卽ち下記 (24) (25) (26) (27) 式等の樣に此等を表す，(24) (25) 式は速度傾度に無關係な η_∞ の範圍に屬するもので (26) (27) 式は Engler 比粘度の如く構造粘性の領域に於ける係數に對するものである．

瀝青乳劑粘性係數一般式；

$$\begin{cases}\eta_\infty=Be^{A/T}\cdot e^{\alpha\varphi} & \cdots\cdots(24)\\ \text{,,}\quad Be^{A/T}\cdot e^{K_1 e^{K_2\varphi}} & \cdots\cdots(25)\end{cases}$$

$$\begin{cases}\eta_E=BTe^{A/T}\cdot e^{\alpha\varphi} & \cdots\cdots(26)\\ \text{,,}\quad =BTe^{A/T}\cdot e^{K_1 e^{K_2\varphi}} & \cdots\cdots(27)\end{cases}$$

又は

$$\begin{cases}\eta_E=Be^{\frac{A}{T-0}}\cdot e^{\alpha\varphi} & \cdots\cdots(26')\\ \text{,,}\quad =Be^{\frac{A}{T-0}}\cdot e^{K_1 e^{K_2\varphi}} & \cdots\cdots(27')\end{cases}$$

但し，A, B; 各乳劑の分散度其の他の性狀による常數，T; 絶對溫度，φ; 瀝青質濃度，α, K_1, K_2; は常數，……を表す．斯の如く一般式により其の粘性に關する性狀を明かにする事が出來た．

一方乳濁液の粘性係數と濃度との關係に，Hatschek[87] の純力學的の式を引用し皮相濃度と正味濃度との關係より滲潤比率の關係が多くの人々により常に用ひられて研究の對照とされてゐる．此點に關しては次節末部に少しく述べる．

〔3〕 瀝青乳劑粘性係數の濃度に對する實驗結果に就て

前節に於て瀝青質濃度 (φ) と粘性係數との關係式の二種の形式 (22) (23) 式を得た．

今前報告第 VI 章に於て詳論した各種試料に就き攝氏 5 度より 35 度に至る範圍の瀝青含有量 (φ) に對する粘性度を前報告第 VII 章實驗結果より求め第 24 表に示す．

第 41 圖 〔a〕〔b〕〔c〕〔d〕 は此等 η_∞～φ 曲線を表す．著者は既に Engler 度 (η_E) に對する實測値と理論式との比較は試みたから本節にては速度傾度に無關係な η_∞ の値に對し考察す．試料は前報告第 III 章に述べた樣に四種 G, H, F E, 號で稀釋は 0.25% のオレイン酸曹達溶液で行ふ．

第 41 圖の η_∞～φ 曲線を見るに G 號のみは $\varphi=0.5$ より以上の領域に於て (22) (23) 式の曲線

第 24 表

〔a〕

試料 (G 號) η_∞ : 粘性係數 C.G.S. 單位

$t°$ \ φ	0.50	0.40	0.30
5	0.620	0.185	0.065
10	0.525	0.160	0.055
15	0.465	0.145	0.048
20	0.425	0.135	0.048
25	0.385	0.125	0.037
30	0.355	0.117	0.033
35	0.335	0.110	0.030

〔b〕

試料 (H 號) η_∞ : 粘性係數 C.G.S. 單位

$t°$ \ φ	0.50	0.40	0.30
5	0.670	0.235	0.094
10	0.560	0.195	0.075
15	0.470	0.165	0.064
20	0.405	0.145	0.054
25	0.350	0.130	0.045
30	0.315	0.115	0.042
35	0.285	0.105	0.040

〔c〕

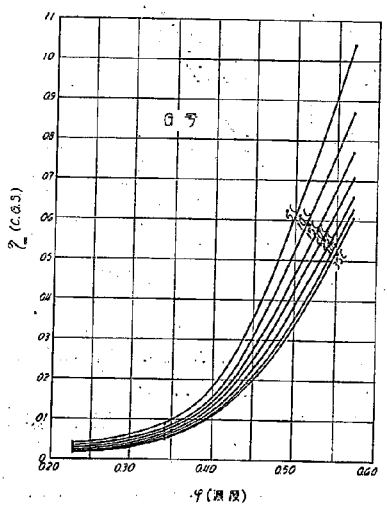
試料 (F 號) η_∞ : 粘性係數 C.G.S. 單位

$t°$ \ φ	0.50	0.40	0.30
5	0.320	0.126	0.065
10	0.275	0.106	0.052
15	0.240	0.090	0.045
20	0.210	0.078	0.044
25	0.187	0.070	0.035
30	0.170	0.065	0.032
35	0.160	0.060	0.030

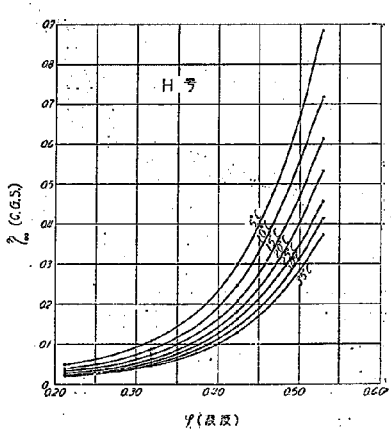
〔d〕

試料 (E 號) η_∞ : 粘性係數 C.G.S. 單位

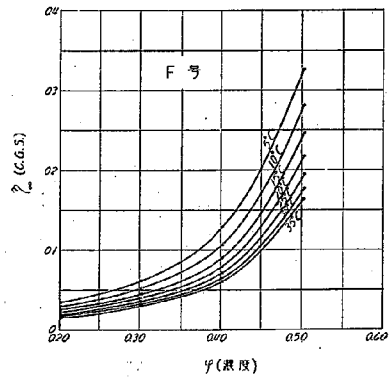
$t°$ \ φ	0.50	0.40	0.30
5	0.480	0.130	0.063
10	0.394	0.115	0.053
15	0.343	0.100	0.046
20	0.300	0.088	0.041
25	0.260	0.078	0.038
30	0.233	0.070	0.035
35	0.200	0.065	0.033



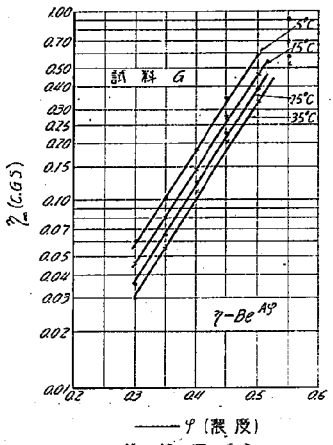
第 41 圖 〔a〕



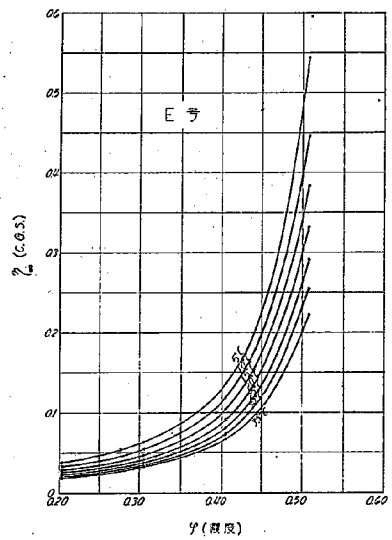
第 41 圖 〔b〕



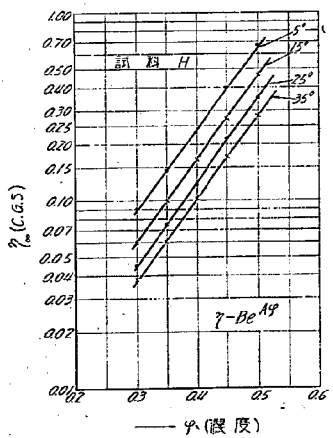
第 41 圖 〔c〕



第 42 圖 〔a〕



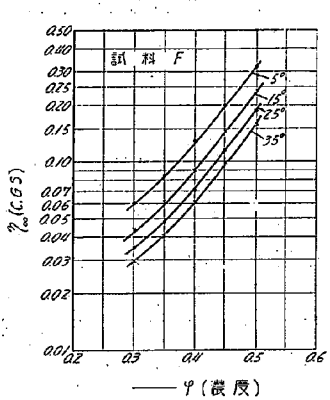
第 41 圖 〔d〕



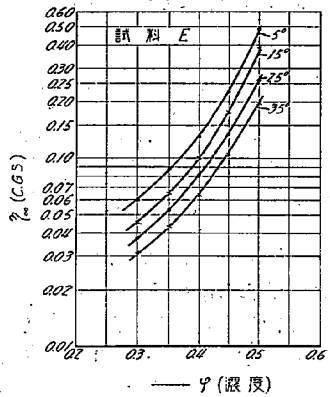
第 42 圖 〔b〕

形と稍々偏よるが如き傾向をとる，又 $\varphi=0.20$ 以下は測定しなかつたから粘性の變化が稀薄乳濁液で Einstein, Hatschek の粘性濃度との直線式を表すや不明であるが，實測範圍内では (2) 節理論式の假定が成立つてゐる傾向を明瞭に示してゐる．第41圖の各曲線より $\log\eta_\infty\sim\varphi$ 曲線を求むれば第 42 圖 〔a〕〔b〕〔c〕〔d〕 の如きものを得．

〔a〕 圖 〔b〕 圖は試料 G 號 H 號に對する，$\log\eta_\infty\sim\varphi$ 曲線で，各溫度に於ける曲線は全部平行直線をなし第 (22) 式の粘性～濃度の關係を滿す．

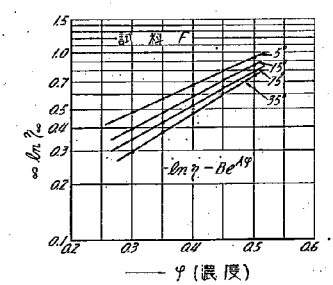


第 42 圖 〔e〕

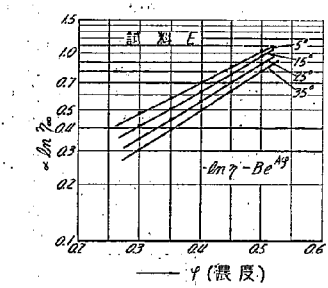


第 42 圖 〔d〕

〔c〕圖〔d〕圖は試料 F 號 E 號に對する $\log \eta_\infty \sim \varphi$ 曲線で各溫度に對する，$\log \eta_\infty \sim \varphi$ 曲線は略竝行であるが，φ 軸に對し明かに凸形をなし直線形の場合に比し濃度 (φ) に對する粘性增加率の大なる事を示す，更に $\log \eta_\infty$ の對數を求め $\log \log \eta_\infty$ と φ との關係を圖示すれば第 42 圖〔e〕，〔f〕の樣になる．



第 42 圖 〔e〕



第 42 圖 〔f〕

〔e〕〔f〕は試料 F 號 E 號に對する曲線で $\log \log \eta_\infty \sim \varphi$ 曲線群は明かに直線をなし，前節 (23) 式の如き粘性濃度の關係式の成立つ事を示す．計算の便宜上 ($\eta_\infty < 1$ なる爲め) $-\log \eta_\infty = B\varphi^A \cdots$ とし A を求め A の負數を得た，第 26 表に之を示す．

第 42 圖〔a〕〔b〕より G 號 H 號に對しては (22) 式の關係式 $\eta_\infty = Be^{A\varphi}$ の常數 A, B, を求むれば第 25 表の如きものを得る．

全く同樣に F 號 E 號に對し第 26 表の如く粘性濃度常數を定め得る．

斯の如く第 42 圖及び第 25, 第 26 表による瀝乳劑の粘性係數 (η_∞) は瀝青質濃度 (φ) に對し全く (22) 式又は (23) 式 の一方に從つて變る事が明かになつた．卽ち粘性を發生する運動量移傳の

第 25 表 粘性～濃度式常数 a, B

試料名 / 温度	a		B (η_0)	
	G	H	G	H
25°C	11.86	10.27	1.024×10^{-3}	2.061×10^{-3}
35°C	12.05	10.39	0.812×10^{-3}	1.581×10^{-3}

粘性係数 (η_∞)～濃度 (φ) 式は $\eta_\infty = Be^{a\varphi}$ を表す

26 表 粘性～濃度式常数 a, B

試料名 / 温度	a		B	
	F	E	F	E
25°C	4.222	5.197	13.41	18.10
35°C	3.754	4.470	11.99	15.04

粘性係数 (η_∞)～濃度 (φ) 式は $-\log\eta = Be^{a\varphi}$ を表す

機構が全く前節 (16) 式又 (20), 式に示された假定に從ふと推測する事が出來る. 斯の如きは第 I 章粘性と温度との關係式誘導の場合と比較對照すれば一層よく内部的機構を洞察する事が出來る. 特に F 號 E 號の如く凝青粒子の確率直經 2.3 μ 及び 4 μ 程度の大なる分散度小なるものに於ては粘性の絶對値は全く別問題とするも濃度に對する傾向は (23) 式の如く變化する事が分つた.

第 27 表 (I) 回轉圓筒法粘性係數による膨潤比率 "h"

試料; G 號, η_s'; 測定値, φ; 凝青含有量

温度C \	$\eta_s'-1$	η_s'	$\left(\frac{\eta_s'-1}{\eta_s'}\right)$	$\left(\frac{\eta_s'-1}{\eta_s'}\right)^3=\varphi'$	φ	h	h 平均値
5°	50.14	51.14	0.9804	0.9423	0.55	1.7133	
15°	53.84	54.84	0.9818	0.9464	0.55	1.7207	
25°	57.67	58.67	0.9830	0.9499	0.55	1.7271	
35°	60.05	61.05	0.9836	0.9516	0.55	1.7302	1.7323
5°	33.36	34.36	0.9709	0.9152	0.50	1.8304	
15°	36.26	37.26	0.9732	0.9217	0.50	1.8434	
25°	38.29	39.29	0.9745	0.9254	0.50	1.8508	
35°	37.95	38.95	0.9743	0.9249	0.50	1.8498	1.845
5°	18.83	19.83	0.9496	0.8563	0.45	1.9029	
15°	21.18	22.18	0.9549	0.8707	0.45	1.9349	
25°	21.95	22.95	0.9564	0.8748	0.45	1.9440	
35°	22.25	23.25	0.9570	0.8765	0.45	1.9478	1.934
5°	12.35	13.35	0.9251	0.7917	0.40	1.9793	
15°	10.69	11.69	0.9145	0.7648	0.40	1.9120	
25°	11.76	12.76	0.9216	0.7828	0.40	1.9570	
35°	11.79	12.79	0.9218	0.7833	0.40	1.9583	1.950
5°	4.586	5.586	0.8210	0.5534	0.35	1.5811	
15°	5.452	6.452	0.8450	0.6034	0.35	1.7240	
25°	5.633	6.633	0.8492	0.6124	0.35	1.7497	
35°	5.395	6.395	0.8436	0.6004	0.35	1.7154	1.690
5°	2.352	3.352	0.7017	0.3455	0.30	1.1517	
15°	2.629	3.629	0.7244	0.3801	0.30	1.267	
25°	2.561	3.561	0.7192	0.3720	0.30	1.2400	
35°	2.488	3.488	0.7133	0.3629	0.30	1.2097	1.215

(2) 節末部に述べた様に一般乳濁液の粘性～濃度の關係式に於て分散媒の粘性度 (η_0) を重要視し濃度との關係を考察せんと試る場合には〔2〕節 (3) 式を用ひて. ……$\eta_s=\eta_0/(1-\sqrt[3]{\varphi})$……中に表される正味濃度 ($\varphi$) と實驗値の η_s から $\frac{\eta_s}{\eta_0}=\eta_s'$ と置き求めた見掛上の濃度 $\varphi'=\left(\frac{\eta_s'-1}{\eta_s'}\right)^3$ との比率 $\frac{\varphi'}{\varphi}=h$ を求む. 之れを Hatschek の運動模型による粘性係数の膨潤比率 "h" と稱す. 今斯る "h" を計算する.

本計算に用ひし實驗値は η_s は第 24 表のものをとり, η_0 は前報告第 VI 章第 4 表よりとり各試料各溫度に對し下記第 27 表の如き計算を試みた. 第 27 表は四種の試料内の一部を示した. 他のものも全くの同じ傾向を有す. 特に本表により著しい特性は膨潤比率 "h" は溫度に對し略一定の値を有する事である, 即ち和水度として考察される "h" は流體力學的な流れの條件に支配され溫度の影響を蒙る事頗る少きを示す. 表中には溫度 10°, 20°, 30° に對するものは省略したが唯 5°C のものに於ては η_0 の値稍々不確實であつた爲めと, 35°C に於ては瀝靑物質の軟化點に近き爲め不均一的な結果を示してゐる.

第 27 表 (II) 回轉圓筒法粘性係數による膨潤比率 "h"

試料; E 號, η_s'; 測定値, φ; 遲靑含有量.

溫度C	$(\eta_s'-1)$	η_s'	$\left(\frac{\eta_s'-1}{\eta_s'}\right)$	$\left(\frac{\eta_s'-1}{\eta_s'}\right)^3=\varphi'$	φ	h	h 平均値
5°	31.55	32.55	0.9693	0.9107	0.50	1.8214	
15°	28.78	29.78	0.9664	0.9025	0.50	1.8050	
25°	27.57	28.57	0.9650	0.8986	0.50	1.7972	
35°	25.315	26.315	0.9620	0.8903	0.50	1.7806	1.795
5°	14.10	15.10	0.9338	0.8143	0.45	1.8095	
15°	14.20	15.20	0.9342	0.8153	0.45	1.8118	
25°	13.84	14.84	0.9326	0.8111	0.45	1.8024	
35°	12.55	13.55	0.9262	0.7945	0.45	1.7655	1.797
5°	7.724	8.724	0.8854	0.6941	0.40	1.7353	
15°	7.695	8.695	0.8850	0.6932	0.40	1.7330	
25°	7.791	8.791	0.8862	0.6960	0.40	1.7400	
35°	7.290	8.290	0.8794	0.6801	0.40	1.7003	1.736
5°	4.832	5.832	0.8285	0.5687	0.35	1.6249	
15°	4.652	5.652	0.8231	0.5576	0.35	1.5931	
25°	4.824	5.824	0.8283	0.5683	0.35	1.6237	
35°	4.526	5.526	0.8190	0.5494	0.35	1.5697	1.602
5°	3.362	4.362	0.7707	0.4578	0.30	1.5260	
15°	2.913	3.913	0.7444	0.4125	0.30	1.3750	
25°	2.846	3.846	0.7400	0.4052	0.30	1.3507	
35°	2.947	3.947	0.7466	0.4162	0.30	1.3873	1.409

本表は濃度約 30% 附近まであるが第 41 圖の η_∞～φ 曲線より更に濃度小なる部分を計算する. 毛細管法に對するものは溫度 25°C のであるが全く同樣な計算により第 28 表と前報告第 VI 章第 4 表より第 29 表の如き膨潤比率 "h" を求む.

第 28 表 毛細管法による粘性係數 η_∞, 温度 25°C
G. H. F. E.; 試料名 φ; 遊書含有量

G	φ	H	φ	F	φ	E	φ
—	0.570	0.406	53.0	0.132	0.503	0.184	50.8
0.088	0.456	0.093	42.4	0.058	0.402	0.065	40.6
0.043	0.342	0.041	31.8	0.032	0.302	0.036	30.5
0.023	0.228	0.023	21.2	0.019	0.201	0.019	20.3

第 29 表 毛細管法による膨潤比率 h, 温度 25°C

試料名	$(\eta_s'-1)$	η_s'	$\varphi'=\left(\frac{\eta_s'-1}{\eta_e'}\right)^3$		φ	h
			$\eta_s'-1/\eta_s'$	φ'		
E	19.22	20.22	0.9505	0.8587	0.508	1.6904(•)
	6.144	7.144	0.8600	0.6361	0.406	1.5667
	2.956	3.956	0.7472	0.4142	0.305	1.3580
	1.088	2.088	0.5211	0.1415	0.203	0.6970
F	13.04	14.04	0.9288	0.8012	0.503	1.5928×
	5.170	6.170	0.8379	0.5883	0.402	1.4634
	2.404	3.404	0.7062	0.3522	0.302	1.1662
	1.021	2.021	0.5052	0.1289	0.201	0.6413
H	40.43	41.43	0.9759	0.9294	0.53	1.9536⊙
	8.489	9.489	0.8946	0.7160	0.424	1.6887
	3.184	4.184	0 7610	0.4407	0.318	1.3858
	1.347	2.347	0.5739	0.1890	0.212	0.8915
G	—	—	—	—	0.57	—△
	7.979	8.979	0.8886	0.7016	0.456	1.5386
	3.388	4.388	0.7721	0.4603	0.342	1.3459
	1.347	2.347	0.5739	0.1890	0.228	0.8289

兩實驗法に於て濃度 0.25 以下に於ては膨潤比率が 1 以下になつた. 卽ち見掛け上の容積濃度が眞の容積濃度より小となる事を示すもので Hatschek の式の假定の如き流れの狀態は斯る稀釋度に於ては成立たない樣で却て Brown 運動の如き運動性の粒子狀態が優勢になると推測する事が出來る.

以上は全部 η_s として速度傾度に無關係範圍の粘性 (η_∞) に就ての考察である. Engler 度 (η_E) に對する "h" は本報告 24 號に揭けた. 今參考の爲め第 43 圖 〔b〕 に毛細管による "h" の値と共に之を記入す. 第 28 表, 29 表よりの "h" の値を圖示すれば第 42 圖 〔a〕, 〔b〕 の如くなる. 回轉圓筒法, 毛細管法は速度傾度竝びに流水の狀態全く異る爲め "h" の値も其の傾向を異にすると解すべきである.

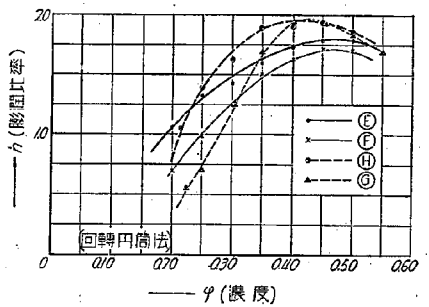
本實驗濃度中 Hatschek の假定の最もよく適用される範圍は濃度 0.4～0.5 の程度である.

今斯る範圍の膨潤比率 "h" を比較するに,

回轉圓筒法の結果:

i) G, H 號の "h" > F, E 號の "h" にて稚率直徑の小なる群の "h" が大である. O. Sibree[88] も "パラフィン" の乳劑に於て濃度 0.50; 0.75 に就て平均直徑 20 μ より大なるものと, 10μ より小なるものにて實驗を試み "h" の値として 1.28 及び 1.40 を得, 粒子の小なる方 "h" の大なる事を報告してゐる.

ii) 各試料に於て, h～φ 曲線は h に就き最大點を持つ.



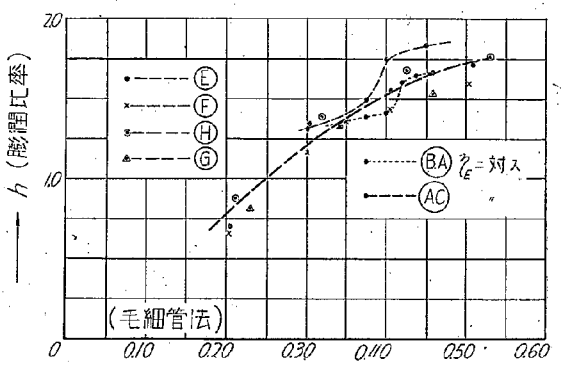
第 43 圖 〔a〕

毛細管法の結果;

i) h～φ 曲線は各試料實驗の誤差範圍内で殆く同じ程度である.

ii) h～φ 曲線は h に就き最大點を持つ傾向がない.

Engler 比粘度 (η_E) の如き構造粘性の領域に於ても第 42 圖 〔b〕 に示す如く同じ程度の膨潤比率 "h" を示してゐるが濃度 0.4 附近に不連續點がある如く且つ濃度小なる部分に對して "h" の減少程度少き傾向を示す. 上述の如く Hatschek の粘性式による場合瀝青乳劑に於ては粘性係數を濃度に對し明瞭に定義する事困難である. 唯だ濃度 0.4～0.5 附近の "h" の値より胞子 (micelle) の見掛け上の大さ等を推測する一方便になる.



第 43 圖 〔b〕

又更に膨潤比率の濃度 φ により變る有樣は 〔1〕 節に述べた (9) 式によるも推測する事が出來る.

今 (9) 式を本試料に適用し瀝青乳劑に於ける粘性係數より其の粒子構造を推測し得るやを吟味す. (9) 式及び Smoluchowski の (5) 式とを用ひ瀝青乳劑の場合の分子構造を考察す. 實驗材料としては前報告第 VII 章回轉圓筒法に於ける η_∞ を用ひた. 資料稀釋には常に 0.25% の "オレイン" 酸曹達溶液を用ひた事を特に附言す. (5) 式より $\varphi=b$ と置き,

$$\frac{\eta_s}{\eta_0}=\eta_{rel.}=1+2.5\frac{b\cdot c}{100}(1+f(\zeta)) \quad \cdots\cdots(28)$$

を得.

$f(\zeta)=\frac{\sigma}{a^2\eta_0}\cdot\left(\frac{D\zeta}{4\pi}\right)^2$ ……を示すもので, ζ, D, σ, a は (5) 式の場合と同じものを表す.

$$\frac{\eta_s}{\eta_0}=1+[a]\cdot\frac{b\cdot c}{100-b\cdot c} \quad\cdots\cdots(28')$$

又は

$$\frac{c}{\eta_{sp}}=\frac{100}{b\cdot[a]}-\frac{1}{[a]}\cdot c, \qquad \eta_{sp}=\frac{\eta_s}{\eta_0}-1 \quad\cdots\cdots(28'')$$

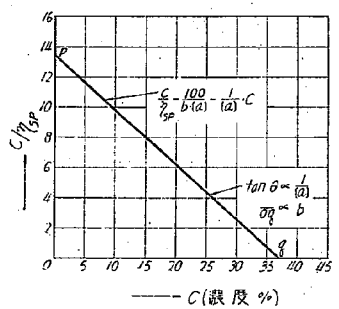
∴ 28′, 28″ 式の $[a]$ は電位差 (ζ) と頗る密接な關係を有すのものである，卽ち (28) 式と比較し，

$$[a]=\{1+f(\zeta)\}\left\{1+\frac{b\cdot c}{100}\right\}\cdot 2.5$$

を得るも元來 (28) 式は Van der Waal の修正項に相當するものを度外視してゐるから斯る修正を施せるものとを比較せんに今 (28) の場合には

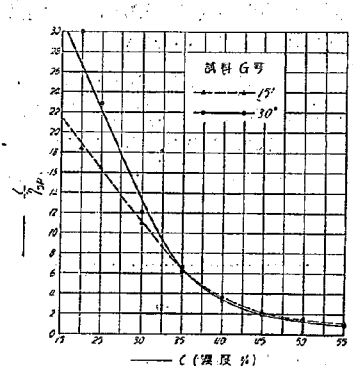
$$[a]=\{1+f(\zeta)\}2.5 \quad\cdots\cdots(29)$$

を得．(29) 式に於ける σ, a, D 等の値不明なるも假りに同一と假定すれば $[a]$ を以て粒子の界面電位差を判定する事が出來る．今實驗値より $c/\eta_{sp}\sim C$ 曲線を求む，若し $c/\eta_{sp}\sim C$ が直線を示せば第 44 圖の如く其の直線の傾きから $1/[a]$ を求めることが出來る，其の直線の縱軸を切る點が $\frac{100}{b\cdot[a]}$ を與へることゝなる．別表第 6 は各試料に就き 25°C, 15°C の粘性係數 η_∞ より c/η_{sp} を計算したものである．此等を圖示すれば第 45 圖〔a〕,〔b〕,〔c〕の如くなる．

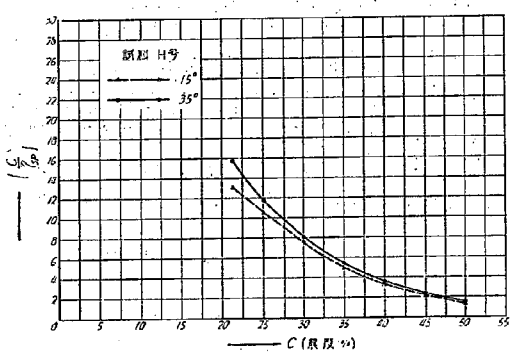


第 44 圖

第 45 圖によるに實驗の範圍内に於て，$c/\eta_{sp}\sim C$ が直線となつたのは……E 號，F 號（一部少し曲線をなすが）のみにて G 號，H 號は横軸に對し大なる凹曲線を爲す，勿論 (9) 式は相當の濃度に於ては成立條件を滿足せず粒子間には密接な相互關係があるものと推測される．一方又 0.25% の "オレイン" 酸曹達液にて稀釋する際

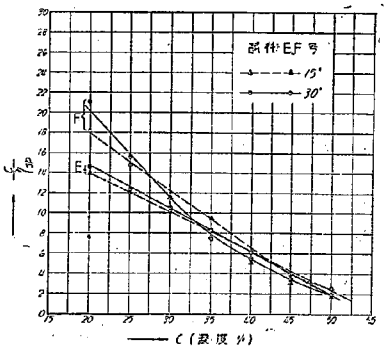


第 45 圖〔a〕



第 45 圖〔b〕

に分散系中の分散媒の狀況が複雜となり新に吸着現象等を生じ原乳劑とは別個の平衡狀態に達するもので，ζ 等に變化を來すものである．特別の場合直線となる事を示す，原乳劑の濃度に近き點で曲線に接線を引き斯かる直線で示される假說的狀態を想像すれば (29) 式により係數 [a] は G 號，H 號，F 號，E 號の順に減少しをり原乳劑に於ける ζ～電位が斯かる [a] と同じ順位に排列し分散度と同じ傾向をとる事を推測することが出來た．



第 46 圖 [c]

以上の如く Mark-Fischentscher, Staudinger の粘性～濃度關係式は瀝青乳劑の使用範圍の濃度に對し著者の試みた稀釋法にて得たものに對しては適用し難く唯だ近似的に粒子の內部構造を洞察するに役立つ事を知る．

瀝青乳劑の粘性係數 (η_∞) と濃度 (φ) との關係式は稀釋條件等により複雜な吸着現象を伴び，濃度の增大せる場合は勿論稀釋溶液にても粒子相互の關係頗る密接であるから Hatschek, Hess, Mark-Fischentscher, Staudinger, 其の他諸氏による力學的機構を基礎とせるものより本章〔2〕節に誘導した巨視的方法による (22) 式，(23) 式の如きものにて最もよく粘性係數と濃度との關係を表し得．

蓋し (22), (23) 式は確率的法則を基礎としてゐるから上述 Hatschek 其の他の式の樣な構造論的に論じたものとは其の趣を異にしてゐる．斯くして回轉圓筒法により得たる瀝青乳劑の粘性係數と濃度との實驗結果を種々の立場より詳細に論じ公式の精度竝びに意義を明瞭にする事が出來た．

V　粘性係數と瀝青質分散度との關係に就て

〔1〕 一般的考察

瀝青乳劑の如き溶媒に固體又は液體分散質の分散せるものに於て其の粘性は第 IV 章に述べた樣に分散質の占むる容積に支配される事が多い．Wo. Ostwald も云へる如く單位容積當りの界面面積の增加に伴び總表面積に應じ抵抗性を現す要素があるから眞の界面面積のみならず粘子の形狀及び分散度の影響を蒙る事は明白な事實である．鋪裝用瀝青乳劑に於ても通常混合用のものは分散度大に粘度頗る大なる事は一般に認められてゐる，分散度に對する影響に就き特に考察せしもの少く通常(Einstein, Hatschek) の粘性式に於ても一樣な球でしかも無限領域に於ける運動を取扱つて居り粒子の大きさの影響は度外視してゐる．一方實驗的にも未だ決定的な定說なく粒子の大きさに無關係な結果を出してゐる場合もあるが下記の如く多數の實驗は粒子分散度大なる場合粘性度大なる傾向を示してゐる．先づ二三粒子分散度の影響に對する考察を試みる前に粒子分散度と粘性係數に關する實驗結果中より本報告の如き乳濁液に關するもの>二三を吟味する．

實驗に於ても分散媒の條件を常に一定にし唯粒子の分散度のみを變じた系に就き試みる事は不可能である．蓋し分散度を增加すれば當然界面に於ける吸着現象の增加を來す事明かで Micelle (胞子)の

狀態が個々の場合異るもので斯る問題の取扱ひに於ては常に概括的に此等複雜な現象を含ましめて論ずるのが最も簡便である．二三の實驗結果を見る場合も斯る見地より常に粘度の影響を考察すべきである．

K. Beck[89] と K. Ebbinghaus[90] は松脂の大なる粒子の乳劑を作つた時溶媒の粘性度 (η_0) に變化を與へない樣にして，"アラビヤゴム" を混じ分散度を增大せしに粘性度の增加せし事を測定したと述べてゐる．

G. Bunglia[91] は牛乳に就き自然乳と均等乳とを一定量の毛細管を通じ流出せしめる時間の變化より均等乳の場合の方約 6% 粘性が增大したと報告してゐる．

S. Oden[92] は硫黄ゾルに就き平均直徑 100$\mu\mu$, 10μ 程度のに對し Ostwald 管で粘性を測り 100 $\mu\mu$ の方が粘性が頗る大きく出てゐる．

又 J.O. Sibree[93] は "パラフィン" 油の乳劑に於て回轉圓筒法の實驗を試み，Hatschek の粘性式による粘性係數より見掛上の皮相容積を求め澎潤比率 "h" を計算せしに先きに述べた樣に平均直徑 10μ 以下のものにては比率大となり濃度 0.75 以上の乳劑を作りしに 10μ 以下の粒子よりなる分散度大なるものにては (平均直徑 20μ より大なるものと比較するに) 粘性頗る增大し測定不可能になつたと報告してゐる．

更に氣泡 (瓦斯～液體乳濁液)[94] による乳濁液を作り容積濃度 0.515～0.70 の程度のものを得，此等に就き粘性係數を測定したが平均直徑 500μ～20μ の分散質の大きさにて回轉圓筒法による結果は構造粘性範圍を始め全般に渉り小となり 20μ 附近の方の粘性が大であつた．

著者の[95]試みた分散度の研究に於ける鉛酸用濃青乳劑に於ても Engler 比粘度値であるが，平均直徑，約 1.0μ のものと約 4.0μ のものとを比較すれば約 3 倍も前者の粘性が大であつた．(鉛酸用濃青乳劑原液に對する實測値であるから嚴密には一應同じ濃度のものに換算する必要があるが)．

一方 Buncelin[96] は乳香 "コム" 松脂の半徑直徑約 0.3μ; 1μ; 2μ; 4; の乳劑を作り粘性を調べたが Einstein の式に一致するも粒子の大小には無關係であると報告してゐる，然して特に注意すべきは Buncelin の試料は濃度の小なる乳劑であつた．

Woudstra[97] 其の他の人々の實驗結果をみるも凝固 (Koagulation) の場合には常に一旦 ζ 電位の減少の爲めに粘性は減少するも引續き起る分散度の減少の爲めに粘性は著しく增加して來る．

以上の如く材料僅少であるが一般に特に稀薄な乳濁液を除いて粘性係數は分散質粒子の小なる方大なる事は一般的の事實と考へられる．

本報告に於ける四種の乳劑に於ても下記の如く斯る傾向を明瞭に見ることが出來る．

〔2〕 **乳劑粒子の分散度と粘性係數とに就て**

粘性係數と分散度即ち粒子の大さとの關係を理論的に定量的に各種多樣の流れ狀態に就き求むる事は非常に困難な事である．本節に於ては此等問題の一局部を考察するもので一般論的に論究するものでない．蓋し粒子分散度の影響といふは測定器の主要部の大さに對する粒子の相對的大さ竝に粒子分散に伴ひ各粒子の相互間に及す影響との二原因によると考ふる事が出來る．前者測定器との關係は其の場合により異るも或る制限内で無關係となる．

今本章に於ては主として後者即ち相互間の關係に就き考察す．第 I, IV 章 η_∞～γ' の關係式及び

η_∞～φ 關係式を見るも卽ち

$$\eta_\infty = Be^{A_1/T}, \qquad \eta_\infty = Be^{A_2\varphi}$$

に於て, B; $\frac{R}{6\pi N_A}\cdot\left(\frac{1}{a}\right)$, R; 瓦斯常數, N_A; Avogadro 數, a; 粒子の平均半徑に相等するものを表す, 上記2式を考察するに粒子小となれば B の値は增大するが斯る理想的の計算が吸着を伴ふ分散系に行れないのは寧ろ當然である, 各實驗より計算せる B の値を見るに第 21 表に明かなる如く濃度 30% のもののみに於て斯る傾向を示してゐる. 然るに一方 η_∞～φ の關係の場合を考ふるに第 25 表と比較對照するに N_A なる Avogadro 數を假りに單位容積中の粒子數と假定すれば, G, H號に於ける B の比は 25°C のものに於て (35°C に於ても殆く略同じ傾向を示す) 第 25 表より例へば

$$\frac{H\text{ 號の }B;\ 2.06\cdot10^{-3}}{G\text{ 號の }B;\ 1.024\cdot10^{-3}} \fallingdotseq 2.$$

となり略確率直徑の2乘の比に比例してゐるから η_∞～φ 式よりは溫度關係式の時の如き B の關係を求める事は出來ない樣である. 且つ A_2 の値は $-\frac{\delta D}{D}\cdot\frac{1}{\delta\varphi}=A_2$ (但し D; 擴散率) を表し, 粒子の小なる方 A_2 の値は大となる. 測定溫度範圍に於ては粘性係數 η の絕對値も a の小なる方大となると解釋する事が出來る.

一方粒子の直徑小なるものは運動性大にして所謂 Brown 運動を盛に行へるもので當然粘性係數に其の影響を與ふ. 卽ち或る一定の領域内で粒子の活動に對して相當する運動量を補給せねばならない. 斯る "エネルギー" は溶媒を通じて, 行れるものであるが運動狀態の摩擦に伴ひ變化する際發生する非平衡狀態に起因する "エネルギー" 損失が外部的に粘性係數として現れて來る. 斯る影響は粒子の小なる分散系に著しいと推測する事が出來る. R. Eisenschitz[98] も斯る考察の下に巧に其の影響を算出してゐる. 粒子の小なる方粘性の大なる事は氣體論的な運動量移傳を假定するも說明し得るが今流體力學的な考察と "エネルギー" 原理を用ひ二三の假定の下に上述の事實を一般化し粘性と粒子分散度との關係を考察せん.

i) 分散媒溶液分子の平均自由行路は瀝青粒子直徑に比し度外視し得る如く小とする.

ii) 粒子直徑と相互距離との關係は分散度に關らず一定とする.

iii) 粒子の形狀は球形とする.

今粒子數を無限にとり得る樣な領域を考へ粒子の存在により攪亂されない狀態の流れを "v_0" とし各粒子は Stókes の定理 ($6\pi\eta_0\cdot av$, a; 粒子半徑, η_0; 溶媒粘性係數, v; 粒子附近の一樣な流れの速度) にて表される抵抗を受ける, 速度 "v" は粒子の存在により "v_0" と異る事明かであるが假定 ii) により運動狀態により比例常數は異るも, 常に "v_0" に比例する. 且つ粒子は一定の密度 (ρ) を有し, 容積濃度を φ とすれば分散系單位容積に就き粒子の存在の爲めに要する "エネルギー" は

$$W=\int^{\infty} v\,(6\pi\eta_0\cdot av)dN+\int^{\infty}\left(\frac{3}{4}\pi a^3\rho\cdot v^2\right)dN+W'$$

となる, 且つ上式は粒子數無限にとり得る如き領域内の平均値とすれば下式の如く變形し得.

$$W=K_1\left(\frac{\eta_0\varphi}{a^2}\right)v_0^2+K_2(\varphi\cdot\rho)v_0^2+W' \qquad \cdots\cdots(1)$$

但し, φ; 容積濃度, K_1, K_2; 流れによる常數にて, 時には零をもとり得. W'; Brown 運動に基

因するものとす.

一方流體力學上粘性流内に於ける消失"エネルギー"の發生により起る粘性係數は上式の K_1, K_2 の値により種々異る場合を生ず, 實驗上の事實と比較對照し考察するに抵抗性 (η) は粒子小なる方大であるが粒子の增大に伴ひ質量による影響が現はて來る. 卽ち明かに K_2 が增大して來る. 又濃度によつても K_1, K_2 が種々組合せをとり得るものである.

斯く考ふれば K_1, K_2 は流れの狀態のみならず粒子の大きさ"a"及び濃度 (φ) の複雜な函數である. 前二者の影響の外に更に Brown 運動の影響が附加するから實際上分散度の影響を簡單に論ずることは出來ないが種々な考察と實驗上の結果より判斷するも一般的に論ずる場合通常の測定法に於ては粒子の小なるもの卽ち分散度大なるものは同一濃度に對し粘性度の大なる事が認められる. 定量的に其の關係を論ずるには更に流れの狀態を假定し個々の場合に對し考察さるべきものである. 本節に於ては最も簡單な假定により粒子分散度と粘性との關係の一側面を明かにすることが出來た. 粒子分散の粘性に對する影響は頗る複雜してゐるが以下鉛製用瀝靑乳劑の實驗値に就き其の關係を考察す.

〔3〕 瀝靑乳劑粘性係數と瀝靑粒子分散度との關係に就て (實驗結果)

本報告に試みた實驗結果を一覽するに四種の資料……G, H, F E, 號の確率直徑として前報告第 3 表の如く……0.8μ; 1.2μ; 2.3μ; 4.0μ;……の如きものを得てゐる, 且つ分散媒と見做し得る濾過液の粘性係數は前報告第 4 表の如く略蒸溜水の粘性に近い (約 2～3% 大である). 此等資料の粘性係數を觀るに第 37 圖により明かなれども濃度 0.5～0.4 の範圍に於ては分散度大なる G, H 號の粘性係數は大であるが濃度 0.3 に至れば G 號の粘性度も E 號のものに接近してゐる. 卽ち Bancelin[99] の實驗結果の如き傾向を示してゐる.

一方 Hatschek の粘性式により計算した見掛上の容積增加率, (膨潤比率; h) も第 43 圖〔a〕に示す樣に式の適用範圍内に於ては G, H 號に對するもの>"h"が大である.

更に濃度 (φ) との關係式をみるも……粒子大なる F, E 號に對しては……η_∞ の値は小であるが……$\frac{d\eta_\infty}{d\varphi}$……の値は一定でなく"$\varphi$"に伴ひ增大するものであることを明かにした. 前報告第 3 表に於ける確率直徑は顯微鏡法によるものであるから實際上流れの狀態に於ける有効な大きさ卽ち Micelle (胞子) の直徑は分散系の吸着程度により異るから前表のものを以て直ちに推測するは時により無理な場合がある.

斯る點を考慮に入れ上述實驗結果及び〔1〕節に引用した多數の實驗により下記の如く瀝靑乳劑に於ける粘性と分散度との關係を歸納することが出來る.

i) 瀝靑質含有度同一の瀝靑乳劑に於て分散度大なる (粒子小なるもの) 場合粘性係數は大である.

ii) 瀝靑質含有度の減少に伴ひ粒子の大きさ (球狀である) の影響は漸次減少す.

iii) 粘性係數 (η_∞) と, 濃度 (φ) との關係を考察するに $\frac{d\eta_\infty}{d\varphi}$ は粒子の增大に伴ひ常數でなく φ に就ても增加する函數である.

i), ii). iii) の諸關係卽ち分散度と粘性係數との定量的關係を明かに示す事の出來なかつたのは試料數の不足によるもので將來多數の實驗資料を得ば必ず簡明し得る事と信ず.

本章に於ては試料として各製造者の異るものに就き考察したから之以上定量的に論ずるは不可能で其の傾向を論ずるに止めをくも, 相互關係の一端を明かにする事が出來た.

VI 結　　論

本論は前報告に續き鋪裝用瀝青乳劑の力學的性質を各種の立場より論究したものである．一般に粘性としての概念を實驗的に觀測し得る特性より明かにする事が出來特に運動量移轉の機構より此が理論を立てた．

以下主要なる結果を引用すれば下記の如きものとなる，但し試料は前報告に用ひたものによる．

(1) 囘轉圓筒法と全く異る流れの狀態を示す毛細管法による粘性係數を求め構造粘性 (Struktur-Viskosität) に就き詳論した．

(2) 上記實驗結果を見るに前報告に於て理論的に誘導した標準形式4種の內2種の異常性を觀測した．

(3) 毛細管法に於ける異常粘性係數と一般に用ひられてゐる "エングラー" 比粘度との關係を數量的に明かにする事が出來，"エングラー" 比粘度の意義を明瞭にする事が出來た．

(4) 瀝青乳劑の粘性係數に於ける2種の係數，η_∞，η_E…… と溫度との關係を明かにし，其の物理的機構を假定し理論式として，下記3種のものを得た．

$$\eta_\infty = Bc^{A/T}, \qquad \eta_E = BTc^{A/T} \quad 又は \quad \eta_E = Bc^{A/T-\theta}$$

η_∞ 式は速度傾度に無關係な粘性係數に對するもので η_E 式は Engler 粘度計の與る如き構造性範圍に於るものに對する關係式である．

η_E の2種の式共實驗値に對し實驗の誤差範圍の程度に一致するが其の意義は異るものである．

(5) 上述の理論式と實驗値とを η_∞，η_E…… に就き比較し，兩者共によく一致するを確めた．

(6) 一般に乳濁液に於ける粘性係數 (η_∞) と分散質濃度 (φ) との理論的考察を行ひ，瀝青乳劑使用範圍の如き濃度に於ける公式とし粘性係數 η_∞ に對する2種の公式を得た．

$$\eta_\infty = Bc^{\alpha\varphi}, \qquad \log\eta_\infty = \log\eta' + K_1 e^{K_2\varphi}$$

但し，B, a, K_1, K_2, η' は試料及び溫度に特有な常數である．

(7) 上述の η_∞ 式は構造粘性範圍 (η_E) にも適用されるもので瀝青乳劑に就き，斯る φ との關係を吟味し實驗結果の全く理論式と一致するを確めた．

(8) 瀝青乳劑の粘性係數と組成構造との關係を粘性濃度との關係式より種々論じた，特に Hatschek の膨潤比率，Smoluchowski の論理及び Van der Waal の修正項の適用性を基としての特性を考察した．

(9) 瀝青乳劑粘性係數一般式として下記の如きものを誘導した．

$$\eta_\infty = Bc^{A/T}\cdot c^{\alpha\varphi}, \qquad \eta_E = BTc^{A/T}\cdot c^{\alpha\varphi} \quad 又は \quad \eta_E = Bc^{A/T-\theta}\cdot c^{\alpha\varphi}$$

η_E 式に於ては $c^{\alpha\varphi}$ の代りに $c^{K_1 e^{(K_2\varphi)}}$ を代入する場合もある．

但し，A, B, a, K_1, K_2,……は常數を，T は絶對溫度を表す．

(10) 瀝青乳劑其の他一般乳濁液に於ける粘性係數と分散質分散度（粒子の大きさ）との關係を考察し，實驗値と比較對照し其の傾向を明かにした．

以上の如く各項に對し詳細に考察し異常粘性液體としての瀝青乳劑の性質を理論的實驗的に研究

し，各種主要なる特性を明かにする事が出來た．特に力學的性質竝に溫度に對する影響を評論したものである．

最後に本研究に對し常に御鞭達と有益なる御指導とを賜りたる所長物部長穂博士竝に所員諸彦に對し著者は深く感謝の意を表すものである．特に實驗及び其の整理に多大の勞を煩した土屋直君に深く謝意を呈する次第である．

引用文献 (32 迄は報告第 29 號に掲載)

33.	R. Köhler	Kolloid Zst. 43, 187, 1927. Zur Geschwindigkeitsabhängigkeit d. Viskosität v. stärken Suspensionen.
34.	藤井眞透	內務省土試報. 第 14 號. 瀝青乳劑及び "ピチユマルス" 鋪裝に關する試驗
35.	島川八郎	乳劑の粘度に就て，內務省土木試驗所報告.第 24 號.
36.	E. Hatschek	Kolloid Zst. 8, 35, 1911. Die Viskosität d. Dispersoide, Emulsionen u. Emulsoide.
37.	R. Köhler	前揭 (33)
38.	E. Hatschek u. R. S. Rane	Kolloid Zst. 40, 53, 1926. Die Viskosität v. Suspensionen-Starrteilchen u. ihre Abhängigkeit v. Schergefälle.
39.	H. Freundlich u. E. Schalek	Zst. f. physikal. Chemie 108, 153. 1924. Ueber d. Zähigkeit u. Elastizität Kolloider Lösungen.
40.	R. Auerbach u. F. Feldmann	Kolloid Zst. 43, 181, 1927. Weitere Beiträge zur Kenntnis v. Solen. mit Strukturviskosität II: Ueber d. Struktur-Turbulenz bei Baumwollgelb u. Hg.-Sulfo-Salzyl-Säure-Solen.
41.	R. O. Herzog u. H. C. Kunder	Zst. f. Physik 80, 621, 1933. Zur kinetischen Theorie. d. Flüssigkeit.
	,,	Zst. f. Physik 83, 28, 1933. Ueber d. Viskosität homogener Flüssigkeit.
	,,	Physikal. Zst. 35, 437, 1934. Zur kinetischen Theorie d. inneren Reibung v. Flüssigkeiten.
42.	H. Le Chatelier	Compt. rendus 179, 1, 517, 1924. Sur la viscosité du vérre.
43.	E. N. Da C. Andrade	Nature 1930, March 1, April 12. Viscosity of liquids.
44.	H. Umstätter	Kolloid Beihefte 37, 287, 1933. Zuständsänderungen zäher Systeme, VII: Erweiterungen d. Theorie auf feste Körper.
	,,	Kolloid Beihefte 39, 264, 1934. Die Temperaturabhängigkeit d. Viskosität d. Asphalte.
45.	Pochettino	Nuovo Cimento 8, 77, 1914. Die Viskosität d. Flüssigkeiten. (E. Hatschek)
46.	K. Iokibe & S. Sakai	Phil. Mag. (6) 42, 397, 1927. The effect of temp. on the modulus of rigidity and on the viscosity of solid metals.
47.	G. Subrahmaniam	Phil. Mag. (6) 50, 716, 1925. 716. Variation of logarithmic decrement with amplitude and viscosity of certain metals.
	,,	Phil. Mag. (7) 1, 1075, 1926. Variation of logarithmic decrement with amplitude and viscosity of certain metals III.
48.	F. Lindemann	Physikal. Zst. 11 Jahrg. 14, 609, 1910. Ueber d. Berechnung molekularer Eigenfrequenzen.
49.	J. Frenckel	Zst. f. Physik 35, 652, 1926. Ueber d. Wärmebewegung in festen und flüssigen Körpern.
50.	W. Porter	Phil. Mag. (6) 234, 1912. Notes on the viscosity of liquids.

51. S. E. Sheppard — Nature, March 29, 489, 1930. The relation of fluidity of liquids to temperature.
52. L. G. Carpenter — Nature, Jan. 9, 60, 1932. Nature of liquids.
53. Le Lederer — Kolloid Beihefte **34**, 270, 1931. Zur Theorie d. Viskosität v. Flüssigkeiten.
54. E. W. Madge — Physics, vol. 5, No. 2, 1934. The viscosities of liquids and their vapour pressures.
55. Mitsuru Satô — Science Report, (Tohoku Imperial Univ.) **14**, 403, 1925. A kinetic theory of the viscosity of liquid.
56. J. Frenckel — 前揭 (49).
57. J. S. Dunn — Journal of Faraday Soc., 22, 287, 1926. A simple kinetic theory of viscosity.
58. E.N. Da C. Andrade — Phil. Mag. vol. **17**, No. 112, 497, 1934. A theory of the viscosity of liquids. Part I.
„ „ „ „ „ — Phil. Mag. vol. **17**, No. 113, 698, 1934. A theory of the viscosity of lquids, Part II.
59. M. P. Venkatarama-Iyer — Indian Journal of Physics, 5, I, 371, 1930. The temp. variation of the viscosity of liquids and its theoretical significance.
60. C. Drucker — Zst. f. physical. Chemie 92, 287, 1918. Untersuchungen über Fluidität, I.
61. A. Einstein — Ann. d. Physik **17**, 549, 1905. Ueber d. von d. molekularkinetischen Theorie v. Wärme geforderte Bewegung v. in ruhenden Flüssigkeit suspendierten Teilchen.
62. F. Hettmer — Wiener Ber. II (a) **134**, 51, 1925. Ueber d. innere Reibung einiger Metalle.
63. K. Iokibe / S. Sakai — 前揭 (46)
64. S. L. Quimby — Phys. Rev. (2) **25**, 558, 1925. On the experimental determination of the viscosity of vibrating solids.
65. E. Madelung / Flügge — Ann. d. Physik, 5 F Bd. 22, H. 2 1935. Ueber Visko-elastizität.
T.H.C. Thompson, Phil. Trans. Royal soc. London, A. vol. 231, 339, 1933, On the theory of Visko-elasticity.
66. 島田八郎 / 扇島彌六 — 前揭 (35). 前揭 (34).
67. 68. 藤非眞透 — 瀝青乳劑及ビ"ピチユマルス"鋪裝に關する試驗, 內務省土木試驗所報告第 14 號.
69. 島田八郎 — 前揭 (35). 70. A. Einstein 前揭 (12). 71. E. Hatschek 前揭 (13)
72. W.W.N. Bon — Phil. Mag. (7) 4, 889, 1927. Rubbles and drops and Stokes' law.
73. K. I. Taylor, — Proc. of Royal Soc. (A) Vol. **136**, 834, 41, 1934. The viscosity of a fluid containing small drops of another fluid.
74. E. Hatschek — 前揭 (13). 75. W. R. Hess 前揭 (16). 76. 島田八郎 前揭 (14).
77. D. B. Macleod — Trans. Faraday Soc. **21**, 151, 1925. On the relation between the viscosities of liquids and their molecular weights.
78. V. H. Staudinger — Kolloid Zst. **51**, 71, 1930. Ueber hochpolymere Verbindungen. Viskositätsuntersuchungen an Molekülekolloiden.
79. M. V. Smoluchowski — Kolloid Zst. **18**, 190, 1916. Theoretische Bemerkungen über d. Viskosität. d. Kolloide.
80. R. Eisenschnitz — Zst., f. Physikal. Chemie 158, 71, 1931. Viskosität von Suspensoiden langgestreckter Teilchen und ihre Interpretation durch Raumbeanspruchung.
81. W. Kuhn — Zst. f. physikal. Chemie **161**, 1, 1932. Ueber Teilchenform u. Teilchengrösse aus Viskosität und Strömungsdoppelbrechung.
82. H. Fischentscher — Kolloid. Zst. 49, 135, 1929. Ueber d. Viskosität lyophiler Kolloide.
83. V. H. Staudinger — 前揭 (77).
84. R. O. Herzog, — Zst. f. Physik **80**, 217, 1933. Zur kinetischen Theorie d. Flüssigkeit.
„ — Zst. f. Physik **83**, 28, 1933. Ueber d. Viskosität homogener Flüssigkeit.
„ — Physikal. Zst. **35**, 437, 1934. Zur kinetischen Theorie d. inneren Reibung v. Flüssigkeit.

85. B. Yamaguchi 東大航研彙. **102**, 1934. On the relation between the temp. coefft. of viscosity and the association of high mollecular liquids.

86. E. G. Richardson Kolloid. Zst. 65, 1933. 34. Ueber d. Viskosität v. Emulsionen.

87. E. Hatschek 前掲 (13). 88. O. Sibree 前掲 (26).

89. K. Beck Zst. f. physikal. Chemie 58, 409, 1907. Beiträge zur Bestimmung d. inneren Reibung.

90. K. Ebinghaus Diss., Leipzig, 1907. Ueber innere Reibung u. Umwandelungspunkte.

91. G. Bunglia Kolloid. Zst. 2, 353, 1908. Ueber einige physikalischchemische Merkmale der homogenisierten Milch.

92. S. Odén Zst. f. physical. Chemie 80, 709, 1912. Physikalisch-chemische Eigenschaften der Schwefelhydrole.

93. O. Sibree 前掲 (26). (87).

94. J. O. Sibree Trans of Faraday Soc., Vol. 30 No. 154, 325, The viscosity of froth.

95. 島田八郎 前掲 (1).

96. Bancelin Compt. rendus 152, II, 1382, 1911. La Viscosité d. Emulsions.

97. H.W. Woudstra Kolloid. Zst. 8, 273, 1911. Dispersitätsgrad und innere Reibung.

98. R. Eisenschnitz Zst. f. physkal. Chemie 163, 133, 1932. Der Einfluss der Brownschen Bewegung auf d. Viskosität von Suspensionen.

99. Bancelin 前掲 (95).

別 表 第 5

試料 G 號, 稀釋濃度 80%, 溫度 25°C, 密度 1.02							試料 G 號, 稀釋濃度 60%, 溫度 25°C, 密度 1.015						
水位差 ΔH(糎)	時間讀 t Δt (秒)	所要時間 Δt (秒)	平均所要時間 $\overline{\Delta t}$ (秒)	$t\frac{\Delta t}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	平均速度 $\frac{V_{m}}{t}$ (糎秒)	水位差 ΔH(糎)	時間讀 t Δt (秒)	所要時間 Δt (秒)	平均所要時間 $\overline{\Delta t}$ (秒)	$t\frac{\Delta t}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正值 η(C.G.S)
40.4	0	18.0″	—	—	—	—	39.8	0	9.4″	—	—	—	—
39.4	18.0″	19.0″	18.5″	728.9	0.0862	0.0540	38.8	9.4″	10.8″	10.1″	392	0.0461	0.0450
38.4	37.0″	18.2″	18.6″	714.2	0.0845	0.0538	37.8	20.2″	10.0″	10.4″	393	0.0462	0.0452
37.4	55.2″	19.6″	18.9″	706.9	0.0836	0.0530	36.8	30.2″	10.2″	10.1″	372	0.0437	0.0426
36.4	1′15.8″	23.4″	21.5″	782.6	0.0926	0.0465	35.8	40.4″	10.4″	10.3″	369	0.0434	0.0424
35.4	1′36.2″	21.0″	22.2″	785.9	0.0930	0.0450	54.8	50.8″	11.0″	10.7″	372	0.0437	0.0427
34.4	1′57.2″	22.4″	21.7″	746.5	0.0883	0.0461	33.8	1′ 1.8″	11.4″	11.2″	379	0.0445	0.0435
33.4	2′19.6″	22.8″	22.6″	754.8	0.0893	0.0443	32.8	1′13.2″	11.4″	11.4″	374	0.0439	0.0430
32.4	2′42.4″	23.2″	23.0″	745.2	0.0882	0.0435	31.8	1′24.6″	12.0″	11.7″	372	0.0437	0.0428
31.4	3′ 5.6″	24.8″	24.0″	753.6	0.0892	0.0417	30.8	1′36.6″	12.6″	12.3″	379	0.0445	0.0436
30.4	3′30.4″	24.8″	24.8″	753.9	0.0892	0.0404	29.8	1′49.2″	12.8″	12.7″	378	0.0444	0.0436
29.4	3′55.2″	26.8″	25.8″	758.5	0.0897	0.0388	28.8	2′ 2.0″	13.2″	13.0″	374	0.0439	0.0431
28.4	4′22.0″	27.0″	26.9″	764.0	0.0904	0.0372	27.8	2′15.2″	13.6″	13.4″	373	0.0438	0.0430
27.4	4′49.0″	29.6″	28.8″	789.1	0.0933	0.0347	26.8	2′28.8″	14.2″	13.9″	373	0.0438	0.0430
26.4	5′18.6″	30.4″	30.0″	792.0	0.0937	0.0334	25.8	2′43.0″	15.0″	14.6″	377	0.0443	0.0436
25.4	5′49.0″	31.6″	31.0″	787.4	0.0931	0.0322	24.8	2′58.0″	15.6″	15.3″	379	0.0445	0.0438
24.4	6′20.6″	34.2″	32.9″	802.8	0.0950	0.0304	23.8	3′13.6″	16.4″	16.0″	381	0.0448	0.0441
23.4	6′54.8″	35.8″	35.0″	819.0	0.0969	0.0286	22.8	3′30.0″	17.0″	16.7″	381	0.0448	0.0442
22.4	7′30.6″	39.0″	37.4″	837.3	0.0991	0.0268	21.8	3′47.0″	18.0″	17.5″	382	0.0449	0.0443
21.4	8′ 9.6″	41.0″	40.0″	856.0	0.1013	0.0250	20.8	4′ 5.0″	19.0″	18.5″	385	0.0452	0.0446
20.4	8′50.6″	42.4″	41.7″	850.7	0.1006	0.0240	19.8	4′24.0″	20.2″	19.6″	388	0.0456	0.0451
19.4	9′33.0″	47.0″	44.7″	867.2	0.1026	0.0224	18.8	4′44.2″	21.2″	20.7″	389	0.0457	0.0452
18.4	10′20.0″	50.8″	48.9″	899.8	0.1064	0.0204	17.8	5′ 5.4″	22.2″	21.7″	386	0.0454	0.0449
17.4	11′10.8″	55.0″	52.9″	920.5	0.1089	0.0189	16.8	5′27.6″	24.9″	23.1″	388	0.0455	0.0451
16.4	12′ 5.8″	60.2″	57.6″	944.6	0.1117	0.0173	15.8	5′51.6″	25.6″	24.8″	392	0.0461	0.0457
15.4	13′ 6.0″	67.2″	63.7″	988.0	0.1169	0.0157	14.8	6′17.2″	27.8″	26.7″	395	0.0464	0.0460
14.4	14′13.2″	74.6″	70.9″	1021.0	0.1208	0.0141	13.8	6′45.0″	30.0″	28.9″	399	0.0469	0.0465
13.4	15′27.8″	89.4″	82.0″	1098.8	0.1300	0.0122	12.8	7′15.0″	32.6″	31.3″	401	0.0471	0.0468
12.4	16′57.2″	89.6″	89.5″	1109.8	0.1313	0.0112	11.8	7′47.6″	36.6″	34.6″	408	0.0479	0.0476
11.4	18′26.8″	111.2″	100.4″	1144.5	0.1354	0.0100	10.8	8′24.2″	39.8″	38.2″	413	0.0485	0.0482
10.4	20′17.6″	131.0″	121.1″	1239.4	0.1490	0.0092	9.8	9′ 4.0″	44.4″	42.1″	413	0.0485	0.0482
9.4	22′28.6″	158.6″	144.8″	1361.1	0.1610	0.0069	8.8	9′48.4″	52.8″	48.6″	428	0.0503	0.0501
8.4	25′ 7.2″	196.4″	177.5″	1491.0	0.1764	0.0056	7.8	10′41.2″	61.2″	57.0″	445	0.0523	0.0521
7.4	28′23.6″	248.6″	222.5″	1646.5	0.1948	0.0045	6.8	11′42.4″	71.8″	66.5″	452	0.0531	0.0529
6.4	32′32.2″	342.4″	295.5″	1891.2	0.2237	0.0034	5.8	12′54.2″	87.8″	79.8″	463	0.0544	0.0590
5.4	35′14.6″	499.0″	420.7″	2271.7	0.2687	0.0024	4.8	14′22.0″	121.6″	104.7″	503	0.0591	0.0661
4.4	46′33.6″	—	—	—	—	—	3.8	16′23.6″	174.6″	148.1″	563	0.0662	0.0661
—	—	—	—	—	—	—	2.8	19′18.2″	302.2″	238.4″	663	0.0785	0.0784
—	—	—	—	—	—	—	1.8	24′20.4″	—	—	—	—	—

別 表 第 5

試料 G 號, 稀釋濃度 40%, 溫度 25°C, 密度 1.015

水位差 ΔH(糎)	時間讀み Δt(秒)	所要時間 Δt(秒)	平均所要時間 $\overline{\Delta t}$(秒)	$f\frac{\Delta t}{\overline{\Delta t}}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正値 η'(C.G.S)
—	0	5.4″	—	—	—	—
39.8	5.4″	5.4″	5.4″	215	0.0253	0.0233
38.8	10.8″	5.2″	5.3″	206	0.0242	0.0222
37.8	16.0″	5.6″	5.4″	204	0.0240	0.0220
36.8	21.6″	6.0″	5.8″	213	0.0250	0.0232
35.8	27.6″	6.0″	6.0″	221	0.0260	0.0242
34.8	33.6″	5.8″	5.9″	205	0.0241	0.0223
33.8	39.4″	6.0″	5.9″	199	0.0234	0.0216
32.8	45.4″	6.6″	6.3″	207	0.0243	0.0226
31.8	52.0″	6.6″	6.6″	210	0.0247	0.0231
30.8	58.6″	6.6″	6.6″	203	0.0239	0.0223
29.8	1′ 5.2″	7.0″	6.8″	203	0.0239	0.0223
28.8	1′12.2″	7.2″	7.1″	204	0.0240	0.0225
27.8	1′19.4″	7.4″	7.3″	208	0.0239	0.0224
26.8	1′26.8″	8.0″	7.7″	206	0.0242	0.0228
25.8	1′34.8″	8.0″	8.0″	206	0.0242	0.0229
24.8	1′42.8″	8.0″	8.0″	198	0.0233	0.0220
23.8	1′50.8″	8.8″	8.4″	200	0.0235	0.0222
22.8	1′59.6″	9.0″	8.9″	203	0.0239	0.0227
21.8	2′08.6″	9.8″	9.4″	205	0.0241	0.0230
20.8	2′18.4″	9.8″	9.8″	204	0.0240	0.0229
19.8	2′28.2″	10.8″	10.3″	204	0.0240	0.0230
18.8	2′39.0″	11.2″	11.0″	207	0.0243	0.0233
17.8	2′50.2″	11.8″	11.5″	203	0.0241	0.0232
16.8	3′02.0″	13.0″	12.4″	203	0.0244	0.0233
15.8	3′15.0″	13.6″	13.3″	216	0.0247	0.0239
14.8	3′28.6″	14.4″	14.0″	207	0.0243	0.0235
13.8	3′43.0″	15.6″	15.0″	207	0.0243	0.0236
12.8	3′58.6″	17.6″	16.6″	212	0.0249	0.0243
11.8	4′16.2″	19.4″	18.5″	218	0.0256	0.0250
10.8	4′35.6″	21.2″	20.3″	219	0.0258	0.0253
9.8	4′56.8″	22.4″	21.8″	214	0.0252	0.0247
8.8	5′21.2″	27.0″	24.7″	217	0.0255	0.0251
7.8	5′48.2″	31.4″	29.2″	228	0.0256	0.0252
6.8	6′19.6″	38.2″	34.8″	237	0.0255	0.0252
5.8	6′57.8″	47.2″	42.7″	243	0.0292	0.0289
4.8	7′45.0″	56.4″	51.8″	249	0.0293	0.0291
3.8	8′41.4″	80.6″	68.5″	260	0.0306	0.0304
2.8	10′02.0″	133.0″	106.8″	299	0.0352	0.0351
1.8	12′15.0″	—	—	—	—	—

試料 H 號, 稀釋濃度 100%, 溫度 25°C, 密度 1.025

水位差 ΔH(糎)	時間讀み Δt(秒)	所要時間 Δt(秒)	平均所要時間 $\overline{\Delta t}$(秒)	$f\frac{\Delta t}{\overline{\Delta t}}$	粘性係數 η(C.G.S)	平均速度 V_m(糎/秒)
44.9	0	75.6″	—	—	—	—
43.9	75.6″	79.0″	77.8″	3415	0.4057	0.0129
42.9	154.6″	80.6″	79.8″	3423	0.4066	0.0125
41.9	235.2″	83.0″	81.8″	3427	0.4071	0.0122
40.9	318.2″	85.2″	84.1″	3440	0.4087	0.0119
39.9	403.4″	86.6″	85.9″	3427	0.4071	0.0117
38.9	490.0″	91.0″	88.8″	3454	0.4103	0.0113
37.9	581.0″	91.6″	91.3″	3460	0.4110	0.0109
36.9	672.6″	95.2″	93.4″	3446	0.4094	0.0107
35.9	767.8″	98.2″	96.7″	3472	0.4125	0.0103
34.9	866.0″	102.8″	100.5″	3507	0.4166	0.0100
33.9	968.8″	105.2″	104.0″	3526	0.4189	0.0096
32.9	1074.0″	110.8″	108.0″	3553	0.4221	0.0093
31.9	1184.8″	111.6″	111.2″	3547	0.4214	0.0090
30.9	1296.4″	117.8″	114.7″	3544	0.4210	0.0087
29.9	1414.2″	122.2″	120.0″	3583	0.4262	0.0083
28.9	1536.4″	127.6″	124.9″	3610	0.4289	0.0080
27.9	1664.0″	131.0″	129.3″	3607	0.4285	0.0077
26.9	1795.0″	133.2″	134.6″	3621	0.4302	0.0074
25.9	1933.2″	143.8″	141.0″	3652	0.4339	0.0071
24.9	2077.0″	153.0″	148.4″	3695	0.4390	0.0067
23.9	2230.0″	159.4″	156.2″	3733	0.4435	0.0064
22.9	2389.4″	166.6″	163.0″	3733	0.4435	0.0061
21.9	2556.0″	175.6″	171.1″	3747	0.4451	0.0058
20.9	2731.6″	191.0″	183.3″	3831	0.4551	0.0055
19.9	2922.6″	201.4″	196.2″	3934	0.4688	0.0051
18.9	3124.0″	213.0″	207.2″	3916	0.4652	0.0048
17.9	3337.0″	228.2″	220.6″	3949	0.4691	0.0045
16.9	3565.2″	247.8″	238.0″	4022	0.4778	0.0042
15.9	3813.0″	266.6″	257.2″	4089	0.4858	0.0039
14.9	4079.6″	291.6″	279.1″	4159	0.4941	0.0036
13.9	4371.2″	315.2″	303.4″	4217	0.5010	0.0033
12.9	4686.4″	349.6″	332.4″	4288	0.5094	0.0030
11.9	5036.0″	393.0″	371.3″	4418	0.5249	0.0027
10.9	5429.0″	440.0″	416.5″	4540	0.5394	0.0024
9.9	5869.0″	502.4″	471.1″	4664	0.5541	0.0021
8.9	6371.4″	587.2″	544.8″	4849	0.5761	0.0018
7.9	6958.6″	700.4″	643.8″	5086	0.6042	0.0016
6.9	7659.0″	855.8″	783.1″	5403	0.6419	0.0013
5.9	8524.8″	—	—	—	—	—

試料 H 號, 稀釋濃度 80%, 溫度 25°C, 密度 1.015

水位差 ΔH(糎)	時間讀み Δt(秒)	所要時間 Δt(秒)	平均所要時間 $\overline{\Delta t}$(秒)	$f\frac{\Delta t}{\overline{\Delta t}}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正値 η'(C.G.S)
42.3	1.0″	18.8″	—	—	—	—
41.3	18.8″	19.6″	19.2″	797.1	0.0937	0.0931
40.3	38.4″	20.8″	20.2″	814.1	0.0957	0.0952
39.3	59.2″	19.8″	20.3″	797.7	0.0938	0.0933
38.3	1′19.0″	21.0″	20.4″	781.3	0.0919	0.0914
37.3	1′40.0″	21.2″	21.1″	787.0	0.0926	0.0921
36.3	2′ 1.2″	22.2″	21.7″	787.7	0.0926	0.0921
35.3	2′23.4″	22.6″	22.4″	790.7	0.0930	0.0925
34.3	2′46.0″	24.0″	23.3″	799.2	0.0940	0.0935
33.3	3′10.0″	24.4″	24.2″	805.9	0.0948	0.0944
32.3	3′34.4″	24.6″	24.5″	791.3	0.0931	0.0927
31.3	3′59.0″	26.2″	25.4″	795.0	0.0935	0.0931
30.3	4′25.2″	26.6″	26.4″	799.9	0.0941	0.0938
29.3	4′51.8″	27.8″	27.2″	797.0	0.0937	0.0933
28.3	5′19.6″	28.6″	28.2″	798.1	0.0938	0.0934
27.3	5′48.2″	29.8″	29.2″	797.2	0.0938	0.0934
26.3	6′18.0″	31.0″	30.4″	799.5	0.0940	0.0935
25.3	6′49.0″	32.2″	31.6″	799.5	0.0940	0.0937
24.3	7′21.2″	33.4″	32.8″	797.0	0.0937	0.0933
23.3	7′54.6″	35.6″	34.5″	803.9	0.0945	0.0942
22.3	8′30.2″	37.4″	36.5″	813.9	0.0957	0.0954

試料 H 號, 稀釋濃度 60%, 溫度 25°C

水位差 ΔH(糎)	時間讀み Δt(秒)	所要時間 Δt(秒)	平均所要時間 $\overline{\Delta t}$(秒)	$f\frac{\Delta t}{\overline{\Delta t}}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正値 η'(C.G.S)
40.5	0	8.8″	—	—	—	—
39.5	8.8″	9.4″	9.1″	359	0.0423	0.0411
38.5	18.2″	9.4″	9.4″	362	0.0426	0.0415
37.5	27.6″	9.4″	9.4″	353	0.0415	0.0404
36.5	37.2″	9.6″	9.5″	347	0.0408	0.0397
35.5	46.8″	10.2″	9.8″	348	0.0410	0.0399
34.5	57.0″	10.4″	10.3″	355	0.0418	0.0408
33.5	1′ 7.4″	10.6″	10.5″	352	0.0414	0.0404
32.5	1′18.0″	11.0″	10.8″	351	0.0413	0.0403
31.5	1′29.0″	10.2″	10.6″	334	0.0393	0.0383
30.5	1′39.2″	12.6″	11.4″	348	0.0410	0.0400
29.5	1′51.8″	12.0″	12.3″	363	0.0427	0.0418
28.5	2′ 3.8″	12.4″	12.2″	348	0.0410	0.0401
27.5	2′16.2″	13.2″	12.8″	352	0.0414	0.0406
26.5	2′29.4″	13.6″	13.4″	355	0.0418	0.0410
25.5	2′43.0″	13.6″	13.6″	347	0.0408	0.0400
24.5	2′56.4″	14.6″	14.1″	345	0.0406	0.0398
23.5	3′11.0″	15.6″	15.1″	355	0.0418	0.0411
22.5	3′26.6″	15.6″	15.6″	351	0.0413	0.0406
21.5	3′42.2″	16.8″	16.2″	348	0.0410	0.0403
20.5	3′59.0″	17.4″	17.1″	351	0.0413	0.0407

別表 第5

試料 H 號, 稀釋濃度 80%, 溫度 25°C

水位差 ΔH(糎)	時間讀數 Δt(秒)	所要時間 Δt(秒)	平均所要時間 Δt(秒)	$I\frac{\Delta t}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正值 η'(C.G.S)
21.3	9′07.6″	39.4″	38.4″	817.9	0.0962	0.0959
20.3	9′47.0″	41.2″	40.3″	818.1	0.0962	0.0959
19.3	10′28.2″	44.6″	42.6″	822.2	0.0967	0.0964
18.3	11′12.2″	46.2″	45.1″	825.3	0.0971	0.0969
17.3	11′58.4″	48.8″	47.5″	821.8	0.0966	0.0964
16.3	12′47.2″	53.4″	46.1″	751.4	—	—
15.3	13′40.6″	56.0″	54.7″	836.9	0.0984	0.0982
14.3	14′36.6″	60.6″	58.3″	833.7	0.0980	0.0978
13.3	15′37.2″	65.2″	62.9″	836.6	0.0984	0.0982
12.3	16′42.4″	73.0″	69.1″	849.9	0.0999	0.0997
11.3	17′55.4″	80.2″	76.1″	865.6	0.1018	0.1017
10.3	19′15.6″	89.0″	84.6″	871.4	0.1025	0.1024
9.3	20′44.6″	98.8″	93.9″	863.9	0.1016	0.1015
8.3	22′23.4″	115.6″	107.2″	889.8	0.1046	0.1045
7.3	24′19.0″	130.6″	123.1″	898.6	0.1057	0.1056
6.3	26′29.6″	164.8″	147.7″	930.5	0.1094	0.1093
5.3	29′14.4″	202.0″	183.4″	972.0	0.1143	0.1142
4.3	32′36.4″	259.6″	230.8″	992.4	0.1167	0.1166
3.3	37′05.0″	387.8″	323.7″	1068.2	0.1256	0.1255
—	43′32.8″	—	—	—	—	—

試料 H 號, 稀釋濃度 60%, 溫度 25°C

水位差 ΔH(糎)	時間讀數 Δt(秒)	所要時間 Δt(秒)	平均所要時間 Δt(秒)	$I\frac{\Delta t}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正值 η'(C.G.S)
19.5	4′16.4″	18.8″	18.1″	353	0.0415	0.0409
18.5	4′35.2″	19.6″	19.2″	355	0.0418	0.0412
17.5	4′54.8″	20.6″	20.1″	352	0.0414	0.0409
16.5	5′15.4″	22.0″	21.3″	351	0.0413	0.0408
15.5	5′37.4″	23.8″	22.9″	355	0.0418	0.0413
14.5	6′01.2″	24.8″	24.3″	352	0.0414	0.0410
13.5	6′26.0″	27.2″	26.0″	351	0.0413	0.0409
12.5	6′53.2″	30.4″	28.8″	360	0.0424	0.0420
11.5	7′23.6″	32.0″	31.2″	359	0.0423	0.0420
10.5	7′55.6″	36.8″	34.4″	361	0.0425	0.0422
9.5	8′32.4″	39.6″	38.2″	358	0.0421	0.0418
8.5	9′12.0″	46.2″	42.9″	365	0.0430	0.0427
7.5	9′58.2″	52.6″	49.4″	371	0.0437	0.0435
6.5	10′50.8″	62.4″	57.5″	374	0.0440	0.0438
5.5	11′53.2″	76.8″	69.6″	393	0.0451	0.0449
4.5	13′10.0″	99.0″	87.9″	396	0.0466	0.0465
3.5	14′49.0″	139.4″	119.2″	417	0.0491	0.0490
2.5	17′03.4″	—	—	—	—	—
1.5	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—

試料 H 號, 稀釋濃度 40%, 溫度 25°C

水位差 ΔH(糎)	時間讀數 Δt(秒)	所要時間 Δt(秒)	平均所要時間 Δt(秒)	$I\frac{\Delta t}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正值 η'(C.G.S)
41.2	0	5.0″	—	—	—	—
40.2	5.0″	5.4″	5.2″	209	0.0246	0.0225
39.2	10.4″	5.6″	5.5″	216	0.0254	0.0235
38.2	16.0″	5.4″	5.5″	210	0.0247	0.0228
37.2	21.4″	5.6″	5.5″	205	0.0241	0.0222
36.2	27.0″	5.8″	5.7″	205	0.0242	0.0223
35.2	32.8″	5.8″	5.8″	204	0.0240	0.0222
34.2	38.6″	6.4″	6.1″	209	0.0246	0.0228
33.2	45.0″	5.8″	6.1″	203	0.0239	0.0221
32.2	50.8″	6.4″	6.1″	196	0.0230	0.0212
31.2	57.2″	6.4″	6.4″	200	0.0235	0.0218
30.2	1′03.6″	7.0″	6.7″	202	0.0238	0.0222
29.2	1′10.6″	7.2″	7.1″	207	0.0243	0.0228
28.2	1′17.8″	7.0″	7.1″	200	0.0235	0.0220
27.2	1′24.8″	7.6″	7.3″	199	0.0234	0.0219
26.2	1′32.4″	8.0″	7.8″	204	0.0240	0.0226
25.2	1′40.4″	8.4″	8.2″	207	0.0243	0.0230
24.2	1′48.8″	8.0″	8.2″	198	0.0233	0.0220
23.2	1′56.8″	9.0″	8.5″	197	0.0232	0.0220
22.2	2′03.8″	9.6″	9.3″	206	0.0242	0.0231
21.2	2′15.4″	9.6″	9.6″	204	0.0240	0.0229
20.2	2′25.0″	10.2″	9.9″	200	0.0235	0.0224
19.2	2′33.2″	10.8″	10.5″	202	0.0238	0.0228
18.2	2′46.0″	11.4″	11.1″	202	0.0238	0.0228
17.2	2′57.4″	11.8″	11.6″	200	0.0235	0.0226
16.2	3′09.2″	12.8″	12.3″	199	0.0234	0.0225
15.2	3′22.0″	13.6″	13.2″	201	0.0237	0.0229
14.2	3′35.6″	14.4″	14.0″	199	0.0234	0.0226
13.2	3′50.0″	15.6″	15.0″	198	0.0233	0.0226
12.2	4′ 5.6″	17.6″	16.6″	203	0.0239	0.0233
11.2	4′23.2″	18.8″	18.2″	204	0.0240	0.0234
10.2	4′42.0″	21.4″	20.1″	205	0.0241	0.0238
9.2	5′03.4″	22.8″	22.1″	203	0.0239	0.0234
8.2	5′26.2″	27.0″	24.9″	204	0.0240	0.0236
7.2	5′53.2″	31.2″	29.1″	210	0.0247	0.0243
6.2	6′24.4″	37.2″	34.1″	211	0.0248	0.0245
5.2	7′01.6″	44.4″	40.8″	212	0.0249	0.0235
4.2	7′46.0″	61.4″	52.9″	222	0.0261	0.0259
3.2	8′47.4″	90.0″	75.7″	242	0.0285	0.0284
2.2	10′17.4″	176.0″	133.0″	293	0.0345	0.0344
1.2	13′13.4″	—	—	—	—	—

試料 F 號, 稀釋濃度 100%, 溫度 25°C, 密度 1.02

水位差 ΔH(糎)	時間讀數 Δt(秒)	所要時間 Δt(秒)	平均所要時間 Δt(秒)	$I\frac{\Delta t}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	平均速度 V_m(糎/秒)
38.5	0	28.8″	—	—	—	—
37.5	28.8″	29.2″	29.0″	1088	0.1287	0.0345
36.5	58.0″	30.6″	29.9″	1091	0.1291	0.0334
35.5	1′28.6″	31.6″	31.1″	1104	0.1305	0.0322
34.5	2′00.2″	32.2″	31.9″	1101	0.1302	0.0314
33.5	2′32.4″	33.6″	32.9″	1102	0.1304	0.0304
32.5	3′06.0″	34.0″	33.8″	1099	0.1300	0.0296
31.5	3′40.0″	35.4″	34.7″	1093	0.1293	0.0288
30.5	4′15.4″	40.6″	38.0″	1139	0.1371	0.0263
29.5	4′56.0″	34.8″	37.7″	1112	0.1315	0.0265
28.5	5′30.8″	39.6″	37.2″	1060	0.1254	0.0269
27.5	6′10.4″	41.0″	40.3″	1108	0.1311	0.0248
26.5	6′51.4″	43.0″	42.0″	1113	0.1317	0.0238
25.5	7′34.4″	44.0″	43.5″	1109	0.1312	0.0230
24.5	8′18.4″	46.8″	45.4″	1112	0.1315	0.0220
23.5	9′05.2″	49.2″	48.0″	1128	0.1334	0.0208
22.5	9′54.4″	51.4″	50.3″	1132	0.1339	0.0199
21.5	10′45.8″	54.2″	52.8″	1135	0.1343	0.0190
20.5	11′40.0″	56.6″	55.4″	1136	0.1344	0.0180
19.5	12′36.6″	60.8″	58.7″	1145	0.1355	0.0170
18.5	13′37.4″	64.4″	62.6″	1153	0.1370	0.0160
17.5	14′41.8″	68.4″	66.4″	1162	0.1375	0.0150
16.5	15′50.2″	71.8″	70.1″	1157	0.1369	0.0142
15.5	17′03.0″	80.4″	76.1″	1180	0.1396	0.0131
14.5	18′22.4″	84.8″	82.6″	1198	0.1417	0.0121
13.5	19′47.2″	92.8″	88.8″	1199	0.1418	0.0113
12.5	21′20.0″	100.8″	96.8″	1210	0.1431	0.0103
11.5	23′00.8″	113.4″	107.1″	1232	0.1457	0.0093
10.5	24′54.2″	125.0″	119.2″	1252	0.1481	0.0084
9.5	26′59.2″	139.8″	132.4″	1258	0.1488	0.0075
8.5	29′19.0″	163.2″	151.5″	1288	0.1524	0.0066
7.5	32′02.2″	196.0″	179.6″	1347	0.1594	0.0056
6.5	35′18.2″	246.0″	221.0″	1372	0.1623	0.0045
5.5	39′24.2″	332.2″	289.1″	1590	0.1881	0.0035
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—

別　表　第 5

試料 F 號，稀釋濃度 80%，溫度 25°C，密度 1.015

水位差 ΔH(糎)	時間讀 t Δt (秒)	所要時間 Δt (秒)	平均所要時間 Δt (秒)	$t\frac{\Delta t}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	平均速度 Vm (秒/糎)
39.3	0	13.0″	—	—	—	—
38.3	13.0″	13.6″	13.3″	509	0.0598	0.0590
37.3	26.6″	13.6″	13.6″	507	0.0595	0.0588
36.3	40.2″	14.2″	13.9″	505	0.0593	0.0585
35.3	54.4″	14.6″	14.4″	508	0.0597	0.0590
34.3	1′09.0″	15.0″	14.8″	508	0.0597	0.0590
33.3	1′24.0″	15.4″	15.2″	506	0.0595	0.0588
32.3	1′39.4″	15.8″	15.6″	504	0.0592	0.0585
31.3	1′55.2″	16.2″	16.0″	501	0.0588	0.0581
30.3	2′11.4″	17.2″	16.7″	506	0.0593	0.0586
29.3	2′28.6″	17.2″	17.2″	504	0.0592	0.0586
28.3	2′45.8″	18.4″	17.8″	504	0.0592	0.0586
27.3	3′04.2″	18.6″	18.5″	505	0.0593	0.0587
26.3	3′22.8″	19.6″	19.1″	502	0.0590	0.0584
25.3	3′42.4″	20.0″	19.8″	501	0.0588	0.0583
24.3	4′02.4″	21.4″	20.7″	503	0.0591	0.0586
23.3	4′23.8″	22.0″	21.7″	506	0.0593	0.0590
22.3	4′45.8″	23.4″	22.7″	505	0.0593	0.0590
21.3	5′09.2″	24.4″	23.9″	503	0.0593	0.0594
20.3	5′33.6″	25.4″	24.9″	505	0.0593	0.0589
19.3	5′59.0″	26.8″	26.1″	504	0.0592	0.0588
18.3	6′25.8″	28.6″	27.7″	507	0.0596	0.0592
17.3	6′54.4″	30.4″	29.5″	510	0.0599	0.0595
16.3	7′24.8″	32.4″	31.4″	512	0.0602	0.0599
15.3	7′57.2″	34.4″	33.4″	511	0.0600	0.0597
14.3	8′31.6″	38.2″	36.3″	519	0.0610	0.0607
13.3	9′09.8″	39.2″	38.7″	515	0.0605	0.0602
12.3	9′49.0″	43.8″	41.5″	510	0.0599	0.0596
11.3	10′32.8″	47.8″	45.8″	518	0.0609	0.0607
10.3	11′20.6″	53.4″	50.6″	521	0.0612	0.0610
9.3	12′14.0″	60.4″	56.9″	529	0.0622	0.0620
8.3	13′14.4″	67.2″	63.8″	529	0.0622	0.0620
7.3	14′21.6″	77.4″	72.3″	528	0.0620	0.0619
6.3	15′39.0″	91.4″	84.4″	532	0.0625	0.0624
5.3	17′10.4″	114.4″	102.9″	545	0.0640	0.0639
4.3	19′04.8″	149.8″	132.1″	568	0.0667	0.0666
3.3	21′34.6″	222.0″	185.9″	613	0.0720	0.0719
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—

試料 F 號，稀釋濃度 60%，溫度 25°C

水位差 ΔH(糎)	時間讀 t Δt (秒)	所要時間 Δt (秒)	平均所要時間 Δt (秒)	$t\frac{\Delta t}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正値 η′(C.G.S)
40.4	0	7.2″	—	—	—	—
39.4	7.2″	7.8″	7.5″	296	0.0348	0.0334
38.4	15.0″	7.8″	7.8″	300	0.0353	0.0339
37.4	22.8″	7.6″	7.7″	288	0.0339	0.0325
36.4	30.4″	7.6″	7.6″	277	0.0326	0.0312
35.4	38.0″	8.2″	7.9″	280	0.0329	0.0316
34.4	46.2″	9.2″	8.7″	299	0.0352	0.0339
33.4	54.4″	8.8″	9.0″	301	0.0354	0.0342
32.4	1′03.2″	8.8″	8.8″	285	0.0335	0.0313
31.4	1′12.0″	8.8″	8.8″	276	0.0325	0.0313
30.4	1′20.8″	9.6″	9.2″	280	0.0329	0.0317
29.4	1′30.4″	9.8″	9.7″	285	0.0335	0.0325
28.4	1′40.2″	9.8″	9.8″	278	0.0327	0.0317
27.4	1′50.0″	10.4″	10.1″	277	0.0326	0.0316
26.4	2′00.4″	10.8″	10.6″	280	0.0329	0.0319
25.4	2′11.2″	11.0″	10.9″	277	0.0326	0.0316
24.4	2′22.2″	12.0″	11.5″	281	0.0330	0.0321
23.4	2′34.2″	11.8″	11.9″	278	0.0327	0.0318
22.4	2′46.0″	13.0″	12.4″	290	0.0341	0.0332
21.4	2′59.0″	13.2″	13.1″	280	0.0329	0.0321
20.4	3′12.2″	13.8″	13.5″	275	0.0323	0.0315
19.4	3′26.0″	14.8″	14.3″	277	0.0326	0.0318
18.4	3′40.8″	16.0″	15.4″	283	0.0333	0.0326
17.4	3′56.8″	15.2″	16.1″	280	0.0329	0.0322
16.4	4′13.0″	17.8″	17.0″	279	0.0328	0.0322
15.4	4′30.8″	19.4″	18.6″	286	0.0336	0.0330
14.4	4′50.2″	20.4″	19.9″	287	0.0337	0.0332
13.4	5′10.6″	21.4″	20.9″	280	0.0329	0.0324
12.4	5′32.0″	24.0″	22.7″	281	0.0330	0.0325
11.4	5′56.0″	27.4″	25.7″	293	0.0345	0.0341
10.4	6′23.4″	27.4″	27.4″	285	0.0335	0.0331
9.4	6′50.8″	32.0″	29.7″	279	0.0328	0.0324
8.4	7′22.8″	36.6″	34.3″	288	0.0338	0.0335
7.4	7′59.4″	43.6″	40.1″	298	0.0350	0.0347
6.4	8′43.0″	52.0″	47.8″	306	0.0360	0.0358
5.4	9′35.0″	62.2″	57.1″	308	0.0362	0.0360
4.4	10′37.2″	82.6″	72.4″	319	0.0375	0.0374
3.4	11′59.8″	115.6″	99.1″	337	0.0396	0.0395
2.4	13′55.4″	203.0″	159.3″	382	0.0449	0.0448
1.4	17′18.4″	—	—	—	—	—

試料 F 號，稀釋濃度 40%，溫度 25°C

水位差 ΔH(糎)	時間讀 t Δt (秒)	所要時間 Δt (秒)	平均所要時間 Δt (秒)	$t\frac{\Delta t}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正値 η′(C.G.S)
41.2	0	4.2″	—	—	—	—
40.2	4.2″	5.0″	4.6″	185	0.0217	0.0191
39.2	9.2″	4.8″	4.9″	192	0.0225	0.0213
38.2	14.0″	5.0″	4.9″	187	0.0219	0.0197
37.2	19.0″	5.2″	5.1″	190	0.0223	0.0202
36.2	24.2″	5.2″	5.2″	188	0.0221	0.0200
35.2	29.4″	5.0″	5.1″	180	0.0211	0.0190
34.2	34.4″	5.6″	5.3″	181	0.0212	0.0192
33.2	40.0″	5.2″	5.4″	179	0.0210	0.0190
32.2	45.2″	5.6″	5.4″	174	0.0204	0.0184
31.2	50.8″	6.0″	5.8″	181	0.0212	0.0193
30.2	56.8″	6.2″	6.1″	184	0.0216	0.0198
29.2	63.0″	6.4″	6.3″	184	0.0216	0.0199
28.2	69.4″	6.4″	6.4″	180	0.0211	0.0194
27.2	1′15.8″	7.0″	6.7″	182	0.0213	0.0197
26.2	1′22.8″	6.6″	6.8″	178	0.0209	0.0193
25.2	1′29.4″	7.4″	7.0″	176	0.0206	0.0191
24.2	1′36.8″	7.4″	7.4″	179	0.0210	0.0195
23.2	1′44.2″	8.0″	7.7″	179	0.0210	0.0196
22.2	1′52.2″	8.0″	8.0″	178	0.0209	0.0196

試料 E 號，稀釋濃度 100%，溫度 25°C

水位差 ΔH(糎)	時間讀 t Δt (秒)	所要時間 Δt (秒)	平均所要時間 Δt (秒)	$t\frac{\Delta t}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正値 η′(C.G.S)
40.2	0	41.8″	—	—	—	—
39.2	39.8″	41.8″	41.8″	1639	0.1927	0.1924
38.2	1′29.6″	42.8″	42.6″	1604	0.1886	0.1883
37.2	2′04.0″	44.6″	43.4″	1614	0.1898	0.1896
36.2	2′44.8″	42.6″	43.6″	1578	0.1856	0.1854
35.2	3′27.4″	46.0″	44.3″	1559	0.1833	0.1831
34.2	4′13.4″	44.2″	45.1″	1542	0.1813	0.1811
33.2	4′57.6″	49.0″	46.6″	1547	0.1819	0.1817
32.2	5′46.6″	50.0″	49.5″	1594	0.1875	0.1873
31.2	6′36.6″	49.8″	49.9″	1557	0.1831	0.1829
30.2	7′26.4″	52.4″	51.1″	1543	0.1814	0.1812
29.2	8′16.8″	54.2″	53.3″	1556	0.1830	0.1828
28.2	9′13.0″	53.2″	54.7″	1543	0.1814	0.1812
27.2	10′08.2″	56.8″	56.0″	1523	0.1791	0.1789
26.2	11′05.0″	62.6″	59.7″	1564	0.1839	0.1837
25.2	12′07.6″	60.8″	61.7″	1555	0.1829	0.1827
24.2	13′08.4″	67.6″	64.2″	1554	0.1827	0.1825
23.2	14′16.0″	63.8″	65.7″	1524	0.1792	0.1790
22.2	15′19.8″	70.4″	67.1″	1490	0.1752	0.1750
21.2	16′30.2″	75.8″	73.1″	1550	0.1823	0.1822

別表 第5

試料 F 號, 稀釋濃度 40%, 溫度 25°C

水位差 ΔH(糎)	時間讀數 Δt (秒)	所要時間 Δt (秒)	平均所要時間 $\overline{\Delta t}$ (秒)	$\frac{\Delta t}{\overline{\Delta t}}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正值 η'(C.G.S)
21.2	2′00.2″	8.6″	8.3″	176	0.0206	0.0193
20.2	2′03.8″	9.0″	8.8″	178	0.0209	0.0197
19.2	2′17.8″	9.6″	9.3″	179	0.0210	0.0198
18.2	2′27.4″	9.6″	9.6″	175	0.0205	0.0194
17.2	2′37.0″	10.6″	10.1″	174	0.0204	0.0193
16.2	2′47.6″	11.0″	10.8″	173	0.0205	0.0195
15.2	2′58.6″	11.8″	11.4″	173	0.0203	0.0194
14.2	3′10.4″	13.4″	12.6″	179	0.0210	0.0192
13.2	3′23.8″	13.6″	13.5″	178	0.0209	0.0201
12.2	3′37.4″	14.6″	14.1″	172	0.0202	0.0194
11.2	3′52.0″	16.6″	15.6″	175	0.0205	0.0198
10.2	4′08.6″	18.0″	17.3″	176	0.0205	0.0200
9.2	4′26.6″	19.8″	18.9″	174	0.0204	0.0198
8.2	4′46.4″	23.2″	21.5″	179	0.0210	0.0205
7.2	5′09.6″	25.0″	24.1″	174	0.0204	0.0200
6.2	5′34.6″	32.2″	28.6″	177	0.0208	0.0204
5.2	6′06.8″	37.0″	34.6″	180	0.0211	0.0208
4.2	6′43.8″	50.6″	33.3″	163	0.0191	0.0183
3.2	7′34.4″	69.6″	60.1″	192	0.0225	0.0223
2.2	8′44.0″	123.3″	95.3″	212	0.0249	0.0248
1.2	10′47.0″	—	—	—	—	—

試料 E 號, 稀釋濃度 100%, 溫度 25°C, 密度 1.015

水位差 ΔH(糎)	時間讀數 Δt (秒)	所要時間 Δt (秒)	平均所要時間 $\overline{\Delta t}$ (秒)	$f\frac{\Delta t}{\overline{\Delta t}}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正值 η'(C.G.S)
20.2	17′46.0″	79.0″	77.4″	1563	0.1838	0.1837
19.2	19′05.0″	83.8″	81.4″	1553	0.1838	0.1837
18.2	20′28.8″	87.2″	85.5″	1556	0.1830	0.1829
17.2	21′56.0″	91.4″	89.3″	1536	0.1806	0.1805
16.2	23′27.4″	101.0″	96.2,′	1558	0.1832	0.1831
15.2	25′03.4″	103.2″	102.1″	1552	0.1825	0.1824
14.2	26′51.6″	111.6″	107.1″	1521	0.1789	0.1788
13.2	28′42.6″	126.8″	118.9″	1569	0.1845	0.1844
12.2	30′49.4″	130.4″	128.6″	1569	0.1845	0.1844
11.2	32′59.8″	143.6″	137.0″	1534	0.1804	0.1803
10.2	35′23.4″	159.8″	151.7″	1547	0.1819	0.1818
9.2	38′03.2″	166.8″	163.3″	1502	0.1766	0.1765
8.2	41′00.0″	221.0″	193.9″	1590	0.1870	0.1869
7.2	44′20.6″	274.0″	247.5″	1782	0.2096	0.2095
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—

試料 E 號, 稀釋濃度 80%, 溫度 25°C

水位差 ΔH(糎)	時間讀數 Δt (秒)	所要時間 Δt (秒)	平均所要時間 $\overline{\Delta t}$ (秒)	$\frac{\Delta t}{\overline{\Delta t}}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正值 η'(C.G.S)
40.6	0	13.8″	—	—	—	—
39.6	13.8″	14.4″	14.1″	558	0.0656	0.0648
38.6	28.2″	15.0″	14.7″	567	0.0666	0.0659
37.6	43.2″	15.0″	15.0″	564	0.0663	0.0655
36.6	58.2″	15.6″	15.3″	560	0.0658	0.0651
35.6	1′13.8″	15.8″	15.7″	559	0.0657	0.0650
34.6	1′29.6″	16.6″	16.2″	561	0.0659	0.0652
33.6	1′46.2″	16.8″	16.7″	561	0.0659	0.0653
32.6	2′03.6″	17.6″	17.2″	561	0.0659	0.0653
31.6	2′20.6″	18.0″	17.8″	562	0.0660	0.0654
30.6	2′38.6″	18.2″	18.1″	554	0.0651	0.0645
29.6	2′56.8″	19.4″	18.8″	556	0.0653	0.0647
28.6	3′16.2″	19.8″	19.6″	561	0.0659	0.0654
27.6	3′36.0″	20.6″	20.2″	558	0.0656	0.0651
26.6	3′56.6″	21.8″	21.2″	564	0.0663	0.0658
25.6	4′18.4″	21.8″	21.8″	558	0.0656	0.0651
24.6	4′40.2″	23.2″	22.5″	554	0.0651	0.0646
23.6	5′03.4″	24.2″	23.7″	559	0.0657	0.0652
21.6	5′27.6″	30.2″	27.2″	615	0.0723	0.0719
21.6	5′57.8″	22.0″	26.1″	564	0.0663	0.0659
20.6	6′19.8″	28.0″	25.0″	515	0.0605	0.0601
19.6	6′47.8″	29.8″	23.9″	566	0.0665	0.0661
18.6	7′17.6″	30.8″	30.3″	554	0.0663	0.0659
17.6	7′48.4″	33.6″	32.2″	557	0.0665	0.0663
16.6	8′22.0″	35.0″	34.3″	569	0.0668	0.0665
15.6	8′57.0″	38.0″	36.5″	569	0.0668	0.0665
14.6	9′35.0″	40.0″	39.0″	569	0.0668	0.0663
13.6	10′15.0″	44.0″	42.0″	571	0.0671	0.0664
12.6	10′59.0″	47.4″	45.7″	576	0.0677	0.0675
11.6	11′46.4″	51.2″	49.3″	572	0.0672	0.0670
10.6	12′37.6″	57.2″	54.2″	575	0.0676	0.0674
9.6	13′34.8″	63.4″	60.3″	579	0.0680	0.0678
8.6	14′38.2″	72.8″	68.1″	585	0.0689	0.0687
7.6	15′51.0″	83.4″	78.1″	594	0.0698	0.0697
6.6	17′14.4″	93.0″	90.7″	599	0.0704	0.0703
5.6	18′52.4″	118.8″	103.4″	607	0.0713	0.0712
4.6	20′51.2″	147.6″	133.2″	613	0.0720	0.0719
3.6	23′18.8″	203.2″	177.9″	640	0.0752	0.0751
2.6	26′47.0″	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—

試料 E 號, 稀釋濃度 60%, 溫度 25°C

水位差 ΔH(糎)	時間讀數 Δt (秒)	所要時間 Δt (秒)	平均所要時間 $\overline{\Delta t}$ (秒)	$f\frac{\Delta t}{\overline{\Delta t}}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正值 η'(C.G.S)
40.4	0	7.0″	—	—	—	—
39.4	7.0″	8.0″	7.5″	296	0.0347	0.0333
38.4	15.0″	7.6″	7.8″	299	0.0351	0.0337
37.4	22.6″	8.2″	7.9″	295	0.0346	0.0333
36.4	30.8″	9.0″	8.6″	313	0.0367	0.0355
35.4	39.8″	7.4″	8.2″	290	0.0340	0.0327
34.4	47.2″	8.4″	7.9″	272	0.0319	0.0306
33.4	55.6″	9.0″	8.7″	291	0.0341	0.0328
32.4	1′04.6″	9.4″	9.2″	298	0.0350	0.0338
31.4	1′14.0″	9.6″	9.5″	298	0.0350	0.0339
30.4	1′23.6″	9.8″	9.7″	295	0.0346	0.0335
29.4	1′33.4″	10.0″	9.9″	291	0.0341	0.0330
28.4	1′43.4″	10.2″	10.1″	287	0.0337	0.0327
27.4	1′53.6″	10.8″	10.5″	288	0.0338	0.0328
26.4	2′04.4″	11.2″	11.0″	290	0.0340	0.0330
25.4	2′15.6″	11.8″	11.5″	292	0.0342	0.0333
24.4	2′27.4″	12.0″	11.9″	290	0.0340	0.0331
23.4	2′39.4″	12.6″	12.3″	288	0.0338	0.0329
22.4	2′52.0″	13.2″	12.9″	289	0.0339	0.0331
21.4	3′05.2″	14.2″	13.7″	293	0.0344	0.0336
20.4	3′19.4″	14.4″	14.3″	292	0.0342	0.0334
19.4	3′33.8″	15.2″	14.6″	283	0.0332	0.0325
18.4	3′49.0″	16.4″	15.8″	291	0.0341	0.0334
17.4	4′05.4″	17.4″	16.9″	294	0.0345	0.0339
16.4	4′22.8″	18.4″	17.9″	294	0.0345	0.0339
15.4	4′41.2″	19.4″	18.9″	291	0.0341	0.0335
14.4	5′00.6″	21.4″	20.4″	294	0.0345	0.0340
13.4	5′22.0″	22.6″	22.0″	295	0.0346	0.0341
12.4	5′44.6″	24.6″	23.6″	293	0.0343	0.0338
11.4	6′09.2″	28.8″	26.7″	304	0.0357	0.0353
10.4	6′38.0″	27.8″	28.3″	294	0.0345	0.0341
9.4	7′05.8″	34.2″	31.0″	291	0.0341	0.0338
8.4	7′40.0″	37.2″	35.7″	300	0.0352	0.0349
7.4	8′17.2″	44.0″	40.6″	296	0.0347	0.0343
6.4	9′01.2″	52.4″	48.2″	308	0.0361	0.0359
5.4	9′53.6″	62.4″	57.4″	310	0.0364	0.0362
4.4	10′56.0″	79.8″	71.1″	313	0.0367	0.0365
3.4	12′15.8″	126.2″	103.0″	350	0.0411	0.0410
2.4	14′12.0″	200.6″	163.1″	391	0.0459	0.0458
1.4	17′32.0″	—	—	—	—	—

別　表　第 5

試料 E 號，稀釋濃度 40%，溫度 25°C							試料 E 號，稀釋濃度 40%，溫度 25°C						
水位差 ΔH(糎)	時間讀み Δt(秒)	所要時間 Δt(秒)	平均所要時間 Δt(秒)	$t\frac{\Delta t'}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正値 η'(C.G.S)	水位差 ΔH(糎)	時間讀み Δt(秒)	所要時間 Δt(秒)	平均所要時間 Δt(秒)	$t\frac{\Delta t'}{\Delta t}$	粘性係數 η(C.G.S)	修正値 η'(C.G.S)
41	0	4.4″	—	—	—	—	20	2′07.8″	9.0″	8.9″	178	0.0208	0.0196
40	4.4″	4.6″	4.5″	180	0.0210	0.0186	19	2′16.8″	9.0″	9.0″	171	0.0200	0.0188
39	9.0″	4.8″	4.7″	183	0.0214	0.0192	18	2′25.8″	10.0″	9.5″	171	0.0200	0.0189
38	13.8″	5.0″	4.9″	186	0.0217	0.0195	17	2′35.8″	10.6″	10.3″	175	0.0205	0.0195
37	18.8″	5.0″	5.0″	185	0.0216	0.0193	16	2′46.4″	10.8″	10.7″	171	0.0200	0.0190
36	23.8″	5.0″	5.0″	180	0.0210	0.0189	15	2′57.2″	12.0″	11.4″	171	0.0200	0.0191
35	28.8″	5.2″	5.1″	179	0.0209	0.0188	14	3′09.2″	12.8″	12.4″	174	0.0203	0.0194
34	34.0″	5.4″	5.3″	180	0.0210	0.0190	13	3′21.8″	13.8″	13.3″	173	0.0202	0.0194
33	39.4″	5.6″	5.5″	182	0.0213	0.0194	12	3′35.6″	14.6″	14.2″	170	0.0199	0.0191
32	45.0″	5.4″	5.5″	176	0.0206	0.0187	11	3′50.2″	16.8″	15.7″	173	0.0202	0.0195
31	50.4″	5.8″	5.6″	174	0.0203	0.0184	10	4′07.0″	17.8″	17.3″	173	0.0202	0.0196
30	56.2″	6.2″	6.0″	180	0.0210	0.0192	9	4′24.8″	19.4″	18.6″	167	0.0195	0.0189
29	1′02.4″	6.0″	6.1″	177	0.0207	0.0190	8	4′44.2″	23.8″	21.6″	173	0.0202	0.0197
28	1′08.4″	6.4″	6.2″	174	0.0203	0.0186	7	5′08.0″	26.2″	25.0″	175	0.0205	0.0201
27	1′14.8″	6.8″	6.6″	178	0.0208	0.0192	6	5′34.2″	31.2″	28.7″	172	0.0201	0.0197
26	1′21.6″	7.0″	6.9″	179	0.0209	0.0194	5	6′05.4″	40.0″	35.6″	178	0.0208	0.0205
25	1′28.6″	7.2″	7.1″	178	0.0208	0.0193	4	6′45.4″	51.2″	45.6″	182	0.0213	0.0211
24	1′35.8″	7.6″	7.4″	178	0.0208	0.0194	3	7′36.6″	72.4″	61.8″	184	0.0215	0.0213
23	1′43.4″	7.4″	7.5″	173	0.0202	0.0188	2	8′49.0″	126.4″	99.4″	199	0.0233	0.0232
22	1′50.8″	8.2″	7.8″	172	0.0201	0.0187	1	10′55.4″	—	—	—	—	—
21	1′59.0″	8.8″	8.5″	179	0.0209	0.0196							

別　表　第 6

C；濃度，η_s；乳劑粘性係數，η_0；分散媒粘性係數 η_{sp}；$\frac{\eta_s}{\eta_0}-1$，

試料名及溫度	C	η_s	η_0	$\frac{\eta_s}{\eta_0}$	$\frac{C}{\eta_{sp}}$		η_s	η_0	$\frac{\eta_s}{\eta_0}$	η_{sp}	$\frac{C}{\eta_{sp}}$
	50	0.343	0.0115	29.886	1.730		0.200	0.0076	26.420	25.420	1.967
	45	0.175	0.0115	15.270	3.153		0.105	0.0076	13.870	12.870	3.496
E 號	40	0.100	0.0115	8.726	5.177	溫	0.053	0.0076	8.322	7.322	5.463
15°C	35	0.065	0.0115	5.671	7.491	35°C	0.043	0.0076	5.680	4.680	7.478
	30	0.045	0.0115	3.926	10.250		0.030	0.0076	3.963	2.963	10.125
	25	0.035	0.0115	3.054	12.170		0.023	0.0076	3.038	2.038	12.265
	20	0.028	0.0115	2.443	13.857		0.018	0.0076	2.378	1.378	14.516
	50	0.240	0.0119	20.168	2.608		0.160	0.0077	20.779	19.779	2.528
	45	0.145	0.0119	12.184	4.023		0.097	0.0077	12.597	11.597	3.880
F 號	40	0.088	0.0119	7.395	6.254	溫	0.058	0.0077	7.533	6.533	6.123
15°C	35	0.056	0.0119	4.705	9.444	35°C	0.040	0.0077	5.195	4.195	8.344
	30	0.043	0.0119	3.613	11.479		0.030	0.0077	3.896	2.896	10.359
	25	0.032	0.0119	2.689	14.500		0.020	0.0077	2.597	1.597	15.650
	20	0.025	0.0119	2.100	18.168		0.015	0.0077	1.948	0.948	21.095
	50	0.470	0.0124	37.903	1.354		0.285	0.0080	35.625	34.625	1.444
	45	0.275	0.0124	22.177	2.124		0.170	0.0080	21.250	20.250	2.222
H 號	40	0.165	0.0124	13.306	3.250	溫	0.100	0.0080	12.500	11.500	3.478
15°C	35	0.100	0.0124	8.064	4.954	35°C	0.060	0.0080	7.500	6.500	5.385
	30	0.060	0.0124	4.838	7.815		0.038	0.0080	4.750	3.750	8.000
	25	0.042	0.0124	3.387	10.473		0.025	0.0080	3.125	2.125	11.765
	21.6	0.033	0.0124	2.661	13.001		0.019	0.0080	2.375	1.375	15.709
	55	0.680	0.0121	56.017	0.999		0.525	0.0086	61.047	60.046	0.916
	50	0.462	0.0121	38.059	1.349		0.335	0.0086	38.954	37.953	1.317
G 號	45	0.275	0.0121	22.654	2.078	溫	0.200	0.0086	23.255	22.255	2.022
15°C	40	0.145	0.0121	11.945	3.654	35°C	0.110	0.0086	12.791	11.791	3.393
	35	0.080	0.0121	6.590	6.260		0.055	0.0086	6.395	5.395	6.487
	30	0.045	0.0121	3.707	11.082		0.030	0.0086	3.488	2.488	12.056
	25	0.030	0.0121	2.471	15.990		0.018	0.0086	2.093	1.093	22.573
	22.5	0.027	0.0121	2.224	18.379		0.015	0.0086	1.744	0.744	30.234

鐘口狀河口に於ける水流に就て

本　間　　仁

内 容 梗 概

鐘口狀河口 (Bell mouth) に於ける水流，特に定流に關する性質を理論及び實驗の兩方面より攻究せるものであつて，不定流に關しては實驗的にその性質の一端を明かにする事に努めた．

目　　次

I．鐘口狀河口に於ける水流の理論 ……(1)
II　定流の場合の數値計算例 ……(9)
III　實驗設備及び方法 ……(10)
IV　實驗結果及び之に關する考察 ……(12)
V　結　　言 ……(17)

I　鐘口狀河口に於ける水流の理論

中心線が直線狀をなす開水路に於ける流水の運動を表はす基本方程式は次の形である．[1]

$$-i+\frac{\partial h}{\partial x}+a'\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{v^2}{2g}\right)+\frac{v^2}{C^2}\frac{w}{A}+\frac{1+2\eta}{g}\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{a-1-2\eta}{g}\left(\frac{v}{A}\frac{\partial A}{\partial t}-\frac{qv}{A}\right)=0 \quad\cdots\cdots(1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial(Av)}{\partial x}-q=0 \quad\cdots\cdots(2)$$

(1) は運動方程式，(2) は連續方程式である．茲に用ひた記號の定義は (第 1 圖參照)．

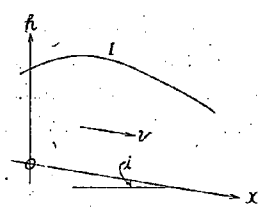
v: 任意斷面中の x 方向の平均流速

C: Chézy の常數　　w: 斷面の潤邊長

A: 斷面積　　h: 水深

q: 水路の單位長當りの側壁よりの流入量

$a'=2a-1-\eta$



第 1 圖

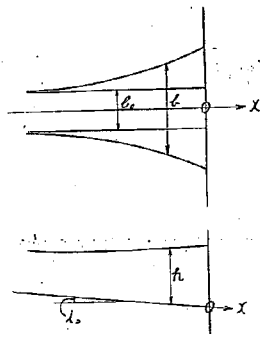
側壁よりの流入量のない場合を考へるから $q=0$ である．

先づ第 2 圖の如き鐘口狀河口 (Bell mouth) に於ける定流の問題を考へる．水路の形狀は次の如く與へる．

$$i=i_0=\text{const.}, \qquad b=b_0+b_1e^{px}, \ (p>0)$$

卽ち水路幅は上流に向つて漸近的に縮小して一樣幅に近付く，この時の運動方程式は水路の斷面を廣矩形と假定すれば (1) 式より

1) 土木學會誌，第 20 卷，第 7 號 "不等速定流に關する二三の問題"



第 2 圖

$$-i+\frac{dh}{dx}+a'\frac{d}{dx}\left(\frac{v^2}{2g}\right)+\frac{v^2}{C^2h}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

連續方程式は

$$\frac{1}{v}\frac{dv}{dx}+\frac{1}{h}\frac{dh}{dx}+\frac{1}{b}\frac{db}{dx}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

であるが更に一つの條件として

$$Q=hbv=\text{const.} \quad \cdots\cdots (5)$$

としてこの Q の値を與へる．之は一つの限界條件を與へた事と同じである．(4) 及び (5) 式を (3) 式に代入すれば

$$\frac{dh}{dx}=\frac{i_0-\dfrac{v^2}{C^2h}+\dfrac{a'v^2}{gb}\dfrac{db}{dx}}{1-\dfrac{a'Q^2}{gh^3b^2}}=\frac{i_0-\dfrac{Q^2}{C^2h^3b^2}+\dfrac{a'Q^2}{gh^2b^3}\dfrac{db}{dx}}{1-\dfrac{a'Q^2}{gh^3b^2}} \cdots(6)$$

$\dfrac{db}{dx}$ は既知量であつてこの場合は pb_1e^{px} である．(6) なる微分方程式は積分不能の形であるが，ある斷面に於ける h の値を知れば

$$\left.\begin{aligned}\Delta h&=\Delta x\frac{i_0-\dfrac{Q^2}{C^2h^3b^2}+\dfrac{a'Q^2}{gh^2b^3}\dfrac{db}{dx}}{1-\dfrac{a'Q^2}{gh^3b^2}}=\Delta x\cdot f(x,\ h)\\ \text{又は}\quad \Delta h&=\Delta x\frac{i_0-\dfrac{v^2}{C^2h}+\dfrac{a'v^2}{gb}\dfrac{db}{dx}}{1-\left(\dfrac{h_c}{h}\right)^3}=\Delta x\cdot f(x,\ h,\ v)\end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

但し $\cdots\cdots\cdots\cdots$ $v=\dfrac{Q}{hb}$ ， $h_c=\sqrt[3]{\dfrac{a'Q^2}{gb^2}}$

として Δx に對する Δh を計算し，$x+\Delta x$ に於ける h の値を $h+\Delta h$ として順次に各斷面に於ける h を計算し得る．然し斷面の變化が稍甚しい時には C の値も之に相當して變化せしめる必要がある．數値計算には (7) 式を用ふるのであるが水面形の一般性質に就ては (6) 式から之を明かにする事が出來る．先づ無限の上流に於ける流れの狀態を考へれば其處にては

$$h=\left(\frac{Q}{Cb_0\sqrt{i_0}}\right)^{\frac{2}{3}}, \qquad h_c=\left(\frac{a'Q^2}{gb^2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

であるから $h \gtrless h_c$ の關係が成立する爲には

$$i_0 \lessgtr g/a'C^2 \cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

が成立しなければならない．$\lessgtr$ の中で上は常流 (ordinary flow)，下は射流 (jet flow) なる事を示す．即ち Q に關係なく i_0 と C の關係のみによつて常流か射流かゞ定まる事になるが，實際には C の値は i_0 及び h にも關係するものであつて (8) 式から嚴格な限界を見出す事は出來ないが，大體 C が粗度によつて定まるものとし，又 h の變化があまり大きな範圍に亘らないものとすれば $i_0=g/a'C^2$ の附近を除いて (8) 式が成立するものと考へられる．

次に限界條件として $x=0$ にて $h=h_0$ を與へて $x\leqq 0$ の部分の狀態を順次に調べる．

(1.) $i_0<g/a'C^2$ の場合

卽ち充分に上流では常に常流狀態を呈し，水深は上流に向つて

$$h_1=\left(\frac{Q}{C^2b_0\sqrt{i_0}}\right)^{\frac{2}{3}}$$

に近付いて行く．此處にて先づ次の三函數を考へる．

$$\left.\begin{aligned}F(h,x)&=i_0-\frac{Q^2}{C^2h^3b^2}\\ G(h,x)&=i_0-\frac{Q^2}{C^2h^3b^2}+\frac{a'Q^2}{gh^2b^3}\frac{db}{dx}\\ H(h,x)&=1-\frac{a'Q^2}{gh^3b^2}=1-\left(\frac{h_c}{h}\right)^3\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(9)$$

但し $\frac{db}{dx}>0$ である．又 (6) 式より

$$\frac{dh}{dx}=\frac{G(h,x)}{H(h,x)}\quad\cdots\cdots(6)'$$

今 $F(h,x)=0$，$G(h,x)=0$ 及び $H(h,x)=0$ を滿足する樣な h と x の關係を表はす曲線を夫々に F 曲線，G 曲線及び H 曲線と名付ける．從つて H 曲線は各斷面に於ける限界水深 h_c の値を表はすものである．又 G 曲線の h の値を計算するには $G(h,x)=0$ より

$$h^3+\frac{a'Q^2}{igb^3}\cdot pb_1e^{px}\cdot h-\frac{Q^2}{iC^2b^2}=0\quad\cdots\cdots(10)$$

$P(x)=\frac{a'Q^2}{igb^3}\cdot pb_1e^{px}$，$Q(x)=\frac{Q^2}{iC^2b^2}$ とおけば $P(x)>0$ であるから (10) 式は唯一つの實根を有する．その値は

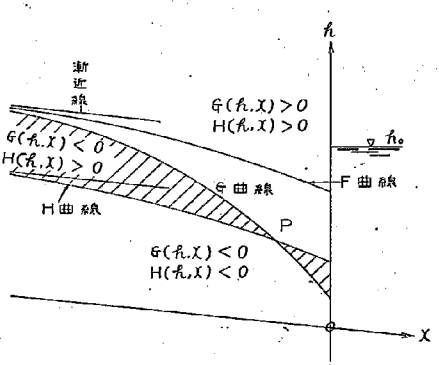
$$h=\sqrt{\frac{4P(x)}{3}}\sinh\theta,\qquad \text{但し}\qquad \sinh 3\theta=\sqrt{\frac{27Q(x)^2}{4P(x)^3}}$$

之等の三曲線を圖示すれば第3圖の樣な形になり何れも單調減少曲線であつて，$x=-\infty$ に向つて河床に平行な漸近線を有する．而してある x の値に對して之等の曲線の表はすよりも大なる h の値に對しては

$F(h,x)>0$，　$G(h,x)>0$，　$H(h,x)>0$

反對に h が之等の曲線の表はす値よりも小さければ

$F(h,x)<0$，　$G(h,x)<0$，　$H(h,x)<0$

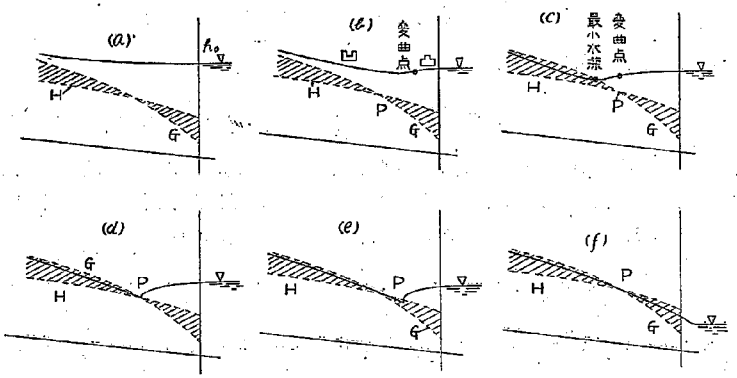


第 3 圖

卽ち G 曲線より上の部分にては (6) 式の分子は正となり之以下では負となる．又 H 曲線の上の部分にてはその分母が正となり之より下では負となるのであるから，第3圖中陰影を施せる部分にては dh/dx が負となり，曲線は x

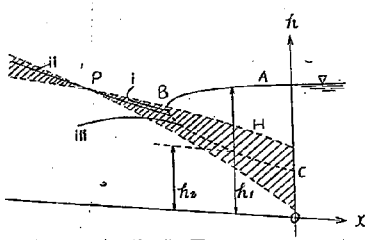
の正の方向即ち流れの下流の方向に低下する．この他の部分では (6) 式の分子及び分母は何れも正か又は何れも負であるから dh/dx は正となり，曲線は下流に向つて上昇する．而してこの水面曲線が G 曲線を切る處にて水面は河床に平行になり，H 曲線を切る處にては鉛直となるのであるが，實際にはこの鉛直の水面を現はす前に跳水現象を生ずる事が多い．又 F 曲線及び G 曲線は同じ漸近線を有するが之は又水面自身の上流部に於ける漸近線である．

先づ h_0 がその位置 $x=0$ に於ける限界水深 h_c よりも大なる場合を考へれば，途中にて一度射流狀態を現はすか否かは $x=0$ より計算を初めて上流へ進む場合に $G(h, x)$ と $H(h, x)$ の何れが先に零になるかによつて定まるのであるが，h_0 が相當に大きくなれば射流は現はれないのが普通である．即ち第 4 圖に示す樣に h_0 が非常に大きければ背水曲線は上方に凹となつて一樣幅の水路の場合に



第　4　圖

近い形となるが，之が稍下れば $x=0$ の附近では水面は上方に凸曲線となり上流に進むに從ひ途中にて變曲點を經て上流の凹曲線部に連る．併し之等の場合は常に dh/dx は正であり，水深は下流に向つて增加する (第 4 圖の a 及び b)．更に h_0 が低下すれば水面曲線は變曲點を經て上方に凹なる曲線となりたる後に G 曲線と交り此處にて最小水深を現はし，之より上流部にては水面は上流に向つて上昇しつゝ G 曲線に近付く (第 4 圖 c)．之等の現象の起る位置は h_0 の他に水路幅の變化を表はす量 p が大に關係するのであつて，玆にはある定つた p の大さに對して述べる．尙 h_0 が低下を續ければ最小水深の位置は次第に下流に移るが，G 曲線と H 曲線の交點 P よりも下流に移れば，水面曲線は G 曲線に交る前に H 曲線に交る事になりそれより上流では射流狀態の部分を生ずる (第 4 圖 d 及び e)．今第 5 圖中の點線 BC を水面曲線 AB に對應する射流水深の曲線，即ち AB 上のある點の水深を h_1 とすればその位置に於ける BC 曲線の表はす水深は次の如きものであるとする．



第　5　圖

$$h_2=-\frac{h_1}{2}\left(1-\sqrt{1+\frac{8\alpha' Q^2}{gh_1^3b^2}}\right)$$

斯くすれば上流より流下する射流の水面曲線が BC と交る位置にて跳水現象が現はれるのであるから，射流狀態としては無數の場合が可能なる如く見えるが，實際は G 曲線と H 曲線の交點 P を通る水面曲線のみが安定であつて他の場合は起り得ない．何となれば第 5 圖の曲線 i の如く水深が上流に向つて增大して水面曲線が H 曲線に交れば之より上流にては水面は上流に向つて低下しつゝ G 曲線に近付かなければならないが，之は H 曲線との交點の附近にて矛盾を生ずる．又同圖の iii の如く先づ G 曲線に交り射流としての最大水深を經て以後は上流に向つて漸減するものは G 曲線に再び近付く事が不可能である．從つて同圖の ii の如く上流に向つて水深を增しつゝ P に於て常流狀態に變ずる場合のみが殘る．卽ち流下せる水が常流より射流に移る位置は h_0 の大さに關係なく (6) 式の合母及び分子が同時に零になる處であつて，之は跳水現象の起る位置よりも上流の狀態は h_0 の大さに拘らず不變なる事を示す．P 點の位置を求めるには其處にて

$$\left.\begin{aligned} &h=h_c \\ &i_0-\frac{Q}{C^2h^3b^2}+\frac{\alpha' Q^2}{gh^3b^3}\frac{db}{dx}=0 \\ \therefore\quad &\left(\frac{\alpha' Q^2}{g^3b^5}\right)^{\frac{1}{3}}\frac{db}{dx}=\frac{g}{\alpha' C^2}-i_0 \end{aligned}\right\} \quad\cdots\cdots(11)$$

然るに　　$b=b_0+b_1e^{px}$

$$\therefore\quad \frac{(b_1pe^{px})^3}{(b_0+b_1e^{px})^5}=\frac{g}{\alpha' Q^2}\left(\frac{g}{\alpha' C^2}-i_0\right)^5 \quad\cdots\cdots(12)$$

(12) 式より x の値は求められるがこの位置に於ける dh/dx の値は一般には計算する事が出來ない．之は P を通る水面曲線が (6) 式より得られる二種の曲線群の境界線に當るものであつて一種の極限値をなす爲であるが，大體の形は上述の二つの曲線群を畫く事によつて決定される．[1]

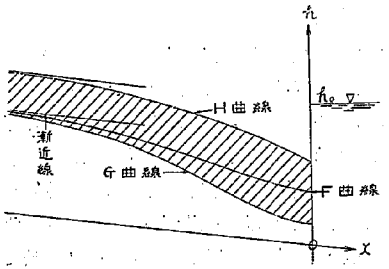
かくして求めたものはあらゆる h_0 に對する射流部及びそれより上流部の水面曲線であつて，尙豫め第 5 圖の ABC 曲線を計算して置き上の射流部の曲線が BC と交る點を求めれば，之が跳水現象の起る位置である．

第 4 圖 (*d*) はかゝる場合 (第 4 圖の *c*) より前述の同圖 (*c*) の場合に變遷する時の狀態を示すものである．h_0 が更に低下して $x=0$ に於ける限界水深以下になれば第 5 圖 (*f*) に示す樣になりこの曲線は P と $x=0$ の點の間でも不變である．

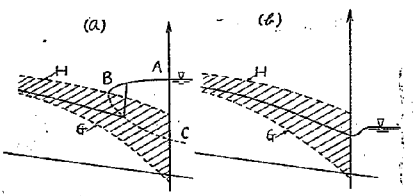
(2.) $i_0>g/\alpha' C^2$ の場合

この場合は充分の上流では必ず射流狀態であつて h_0 がその場所の限界水深よりも大ならば必ず跳水現象を伴ふが，h_0 が之よりも小さければ必ず射流狀態にて終始する．第 6 圖はかゝる場合の F 曲線，G 曲線及び H 曲線を示したものであつて前と同じく陰影を施せる部分にては dh/dx は負となり，その他の部分では之が正となる．又充分の上流では水面は F 曲線又は G 曲線と共通の漸近線を有する．

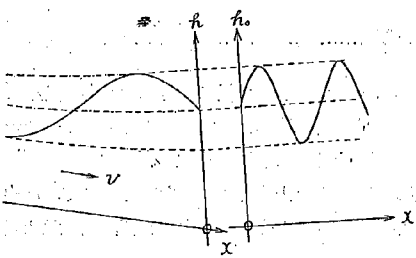
1) 土木學會誌，第 20 卷，第 7 號 p. 721.



第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖

この場合起り得る水面形は第 7 圖の (a) 及び (b) の二種であつてその他は總て起り得ない事は容易に知る事が出來る．又射流部の水面曲線にて (6) 式を滿足しつゝ G 曲線に近付く樣なものが無數に存在するか否かを見るに，かゝるものは少くも一つは存在する筈であるからそれが見出されたものとしてそれより上に更に一つが存在するものとすれば，第 6 圖の陰影を施せる部分にては dh/dx の絶對値は h と共に增大するのであるから後者の勾配は常に前者よりも大なる事となり矛盾を生ずる．同樣にして第一のものゝ下方にも上の條件を滿足するものは存在しない．かくして唯一つの狀態のみが安定なる事は確められたがこの曲線は矢張り前の場合と同じく二つの曲線群の境界線をなすものであつて，その形を計算上より定める事は不可能であるから數回の試算より近似的に定めなければならない．

跳水現象の起る位置は $i_0<g/a'C^2$ の場合と同じく豫め曲線 ABC (第 7 圖 a) を畫いて置き之と射流曲線の交點の位置を求めればよい．然し h_0 が $x=0$ に於ける限界水深より小なる時は $x>0$ の部分の水面が $x\leqq 0$ の部分の水面と連續的に連る爲に，水路が $x>0$ の水域内に幾分延長された狀態となる．

次に同じ形の水路に於ける不定流の問題の一例として，かゝる形の河口を有する感潮河川の水流を考へる．この時の基本方程式は $\alpha-1-2\eta=0$ として

$$-i+\frac{\partial h}{\partial x}+a'\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{v^2}{2g}\right)+\frac{v^2}{C^2h}+\frac{1+2\eta}{g}\frac{\partial v}{\partial t}=0 \quad \cdots\cdots(13)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t}+v\frac{\partial h}{\partial x}+h\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{hv}{b}\frac{db}{dx}=0 \quad \cdots\cdots(14)$$

境界條件は次の二種である．

$$x=-\infty \quad \text{にて} \quad Q=Q_0=\text{const.} \quad \cdots\cdots(15)$$

$$x=0 \quad \text{にて} \quad h=h_0+h_1\sin\sigma t \quad \cdots\cdots(16)$$

感潮河川の水流に就ては一樣幅の水路に對しても未だ充分なる理論的說明が與へられてゐないのであるから俄かに矩狀水路に對する理論を明かにする事は甚だ困難である．從つて先づその大體の性質

を考へれば，水面は常に定流時の背水曲線に近付かんとするが一方に於て長波がかゝる幅の變化を有する水路を遡行すれば傳播と共に振幅は增大する傾向がある.[1] この場合は幅の變化と底勾配が共に存在する水路を長波が遡行するのであるから上の二つの性質を共有してゐるのであるが，第一の性質は上流に進むに從つて振幅を次第に減少せしめる傾向のものであるから之等の二性質は相反する作用と言ひ得る．從つて實際の水面はその中間の性質を現はし，潮の影響は背水曲線より想像されるよりも更に上流にまで及ぶものと考へられる.

尙上に述べたる處は何れも $i_0<g/a'C^2$ にて而も途中にて射流狀態を現はす如き事のない場合であつて，射流狀態の部分があれば波は之より上流には傳播し得ないから振幅の變化は之より下流の常流部に於てのみ考へられる事である.

今潮波の波頂の部分を考へれば此處にては $\frac{\partial h}{\partial t}\fallingdotseq 0$ であるから (13) と (14) 式より定流の場合の (6) 式に相當する式を作れば

$$\frac{\partial h}{\partial x}=\frac{i-\frac{v^2}{C^2h}+\frac{a'v^2}{gb}\frac{db}{dx}-\frac{1+2\eta}{g}\frac{\partial v}{\partial t}}{1-\frac{a'v^2}{gh}} \quad \cdots\cdots(17)$$

この時の水深はその斷面に於ける最大水深であるから之を H にて表はし，又流量は上流より流下する量 Q_0 よりも大きいから之を Q_0+Q_1 とする．波頂に於ける $\frac{\partial v}{\partial t}$ の符號は波が上流に向つて進む場合であるから正である．之等を考慮して (17) 式を次の如く書き改める.

$$\frac{\partial h}{\partial x}=\frac{i-\frac{(Q_0+Q_1)^2}{C^2H^3b^2}+\frac{a'(Q_0+Q_1)^2}{gH^2b^3}\frac{db}{dx}-\frac{1+2\eta}{g}\frac{\partial v}{\partial t}}{1-\frac{a'(Q_0+Q_1)^2}{gH^3b^2}} \quad \cdots\cdots(18)$$

$\frac{\partial h}{\partial x}$ は最大水深の軌跡の傾斜を表はすのではないから記號 h を殘す．茲に論ずる處は總て常流狀態の範圍内に限られてゐるから (18) 式の分母は必ず正であつて，流量の大なる事は $\frac{\partial h}{\partial x}$ の絶對値を大きくする傾向を與へる.

波頂の極めて近くにては $\frac{\partial h}{\partial x}$ と $\frac{dH}{dx}$ は略一致するからこの部分のみを考へるものとすれば (18) 式は $\frac{dH}{dx}$ を與へるものと見做す事が出來る．(18) 式の表はす諸性質は底勾配が $i-\frac{1+2\eta}{g}\frac{\partial v}{\partial t}$ に減少せるものと考へれば (6) 式の表はすものと同樣である．而てその大さの關係に於ては矢張り數値計算によつて比較しなければならない.

洪水波の場合には上流からある流量が傳播するのであるから上流側の境界條件は (15) 式の代りに

$$x=-\infty \quad \text{にて} \quad Q_0=Q_1\sin\sigma_1 t \quad \cdots\cdots(19)$$

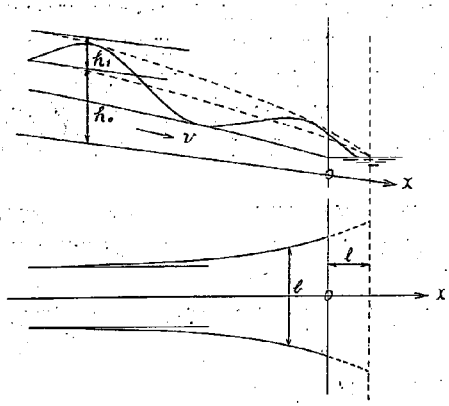
或は

$$x=-\infty \quad \text{にて} \quad h=h_0+h_1\sin\sigma_1 t \quad \cdots\cdots(19)'$$

であつて河口側の條件は前と同じく

$$x=0 \quad \text{にて} \quad h=h_0'+h_1'\sin\sigma_2 t \quad \cdots\cdots(20)$$

1) 土木學會誌，第 19 卷，第 9 號 "長波の變形に就て" 743 頁.
土木試驗所報告，第 27 號 "津波の變形の理論" 85 頁.



第 9 圖

である．然し斯くすれば波は洪水波と潮波の組合せたるものとなり甚だ煩雑であるから，洪水波の變化する狀態を見る爲には潮波を無視して河口の條件を

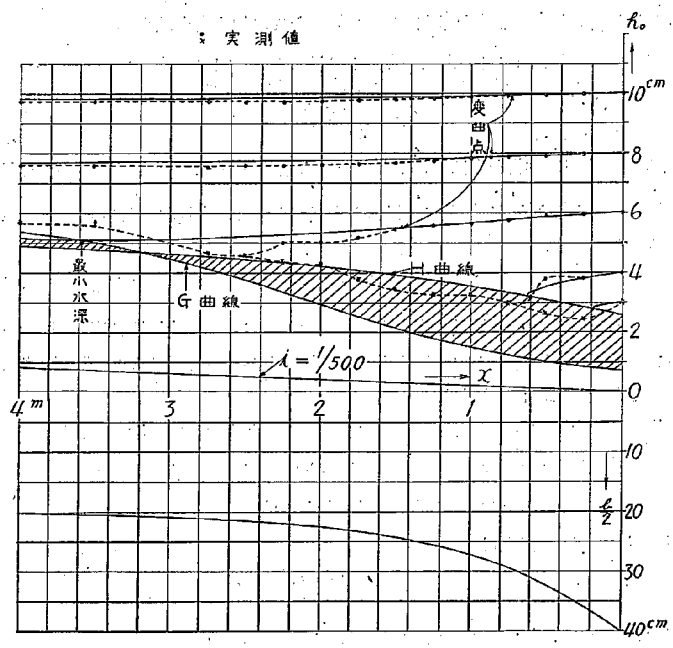
$$x=0 \quad \text{にて} \quad h=0 \cdots\cdots (21)$$

とする．實際には潮波がなくとも河口にて高水位が零とはならないから，河川が更に海中にある長さ l だけ延長せるものと假定して境界條件を

$$x=l \quad \text{にて} \quad h=0 \cdots\cdots (21)'$$

とする方が實際に近い．

感潮水路の場合と異る處は (13) 式中の $\frac{\partial v}{\partial t}$ が最高水位の時間に於ては負となる點であつて，水面形は長波に低下背水の性質を加へたものとなる．最高水位の時の流量は略 Q_0+Q_1 で



第 10 圖

あるから各斷面の最高水位 H を連ねた曲線に關しては大體 (18) 式が成立するものと考へて差支へない．然しこの式より直ちに定流時の背水曲線との比較を行ひ難い事は感潮水路の場合と同樣である．

II　定流の場合の數値計算例

玆には (7) 式の運用法を示し且後節に述べる實驗の結果と比較する爲に次の如き數値を與へて計算を行へる例を示す．即ち

$$b=40+40\,e^{0.01x}\ \text{cm}\ ,\qquad i_0=1/500\ ,\qquad Q=10\ l/\text{sec}$$

$$C=500\ \text{cm}-\text{sec 單位}\ ,\qquad \alpha'=1.1$$

然るに $g/\alpha' C^2=1/281$ であるから $i_0<g/\alpha' C^2$ の場合に相當する．計算は $h_0=10,\ 8,\ 6,\ 4$ 及び 3 cm の五種に就て行つたが次の表に示すものはその中の $h_0=10$ cm の例である．尙之等の計算は常流狀態の部分に對してのみ行つた．計算の結果は第 10 圖中の實線を以て示す．

第　1　表

$-x$	Δx	$-i_0x$	e^{px}	pb_1e^{px}	b	$\frac{\alpha' Q^2}{g b^3}$	h_c	h	v	$-i_0x+h$	分母 $\frac{h_c}{h}$	分母 $1-\left(\frac{h_c}{h}\right)^3$	分子 $\frac{v^2}{C^2h}$	分子 $\frac{h_c^3}{h^3}\frac{pb_1e^{px}}{b}$	分子 總計	Δh
0	20	0	1.000	0.400	80.00	17.5	2.60	10.00	12.50	10.00	0.260	0.982	$\frac{4}{0.0625}$	$\frac{3}{0.0879}$	$\frac{2}{0.02817}$	0.0574
20	,,	0.04	0.819	0.328	72.76	21.2	2.77	9.91	13.83	9.98	0.279	0.978	$\frac{4}{0.0770}$	$\frac{3}{0.0970}$	$\frac{2}{0.02893}$	0.0592
40	,,	0.08	0.670	0.268	66.80	25.2	2.93	9.88	15.15	9.96	0.297	0.974	$\frac{4}{0.0929}$	$\frac{2}{0.01034}$	$\frac{2}{0.02941}$	0.0604
60	,,	0.12	0.549	0.220	61.96	29.2	3.08	9.82	16.44	9.94	0.314	0.969	$\frac{3}{0.0110}$	$\frac{2}{0.01076}$	$\frac{2}{0.02966}$	0.0612
80	,,	0.16	0.449	0.180	57.96	33.4	3.22	9.76	17.68	9.92	0.330	0.964	$\frac{3}{0.0131}$	$\frac{2}{0.01088}$	$\frac{2}{0.02957}$	0.0613
100	,,	0.20	0.368	0.147	54.72	37.5	3.35	9.70	18.84	9.90	0.345	0.959	$\frac{3}{0.0146}$	$\frac{2}{0.01073}$	$\frac{2}{0.02927}$	0.0610
120	,,	0.24	0.301	0.120	52.04	41.4	3.46	9.64	19.93	9.88	0.359	0.954	$\frac{3}{0.0165}$	$\frac{2}{0.01028}$	$\frac{2}{0.02363}$	0.0600
140	,,	0.28	0.247	0.099	49.88	45.1	3.56	9.58	20.92	9.86	0.372	0.949	$\frac{3}{0.0183}$	$\frac{3}{0.0976}$	$\frac{2}{0.02793}$	0.0589
160	,,	0.32	0.202	0.081	48.08	48.6	3.65	9.52	21.85	9.84	0.383	0.944	$\frac{3}{0.0201}$	$\frac{3}{0.0904}$	$\frac{2}{0.02703}$	0.0573
180	,,	0.36	0.165	0.066	46.60	51.7	3.73	9.46	22.68	9.82	0.394	0.939	$\frac{3}{0.0217}$	$\frac{3}{0.0821}$	$\frac{2}{0.02604}$	0.0555
200	,,	0.40	0.135	0.054	45.40	54.5	3.79	9.40	23.43	9.80	0.403	0.934	$\frac{3}{0.0234}$	$\frac{3}{0.0733}$	$\frac{2}{0.02499}$	0.0535
240	40	0.48	0.091	0.036	43.64	58.9	3.89	9.35	24.51	9.82	0.416	0.928	$\frac{3}{0.0257}$	$\frac{3}{0.0555}$	$\frac{2}{0.02298}$	0.0991
280	,,	0.56	0.061	0.024	42.44	62.3	3.96	9.25	25.47	9.81	0.428	0.922	$\frac{3}{0.0291}$	$\frac{3}{0.0410}$	$\frac{2}{0.02129}$	0.0924
320	,,	0.64	0.041	0.016	41.64	64.7	4.01	9.16	26.22	9.80	0.438	0.916	$\frac{3}{0.0300}$	$\frac{3}{0.0295}$	$\frac{2}{0.01995}$	0.0871
360	,,	0.72	0.027	0.011	41.08	66.5	4.05	9.07	26.84	9.79	0.447	0.911	$\frac{3}{0.0318}$	$\frac{3}{0.0216}$	$\frac{2}{0.01898}$	0.0833
400	,,	0.80	0.018	0.007	40.72	67.7	4.08	8.99	27.32	9.79	0.454	0.907	$\frac{3}{0.0332}$	$\frac{3}{0.0144}$	$\frac{2}{0.01812}$	0.0799

第 10 圖には G 曲線及び H 曲線の形を示した．H 曲線は前揭の第 1 表によつて畫く事が出來るが，G 曲線は第 2 表の計算値より畫いたものである．

第 2 表

x	$P(x)$	$Q(x)$	$\sinh 3\theta$	3θ	θ	$\sinh\theta$	$\sqrt{\frac{4P(x)}{3}}$	h	$-i_0x+h$
0	43.846	31.2500	0.2795	0.276	0.0920	0.0921	7.6532	0.7049	0.7049
50	51.347	48.4037	0.3414	0.335	0.1117	0.1122	8.2741	0.9284	1.0284
100	50.352	66.7941	0.4863	0.469	0.1563	0.1566	8.1997	1.2841	1.4841
140	44.771	80.3854	0.6973	0.651	0.2187	0.2187	7.7261	1.6897	1.9697
180	36.604	92.0997	1.6807	0.937	0.3171	0.3171	6.9860	2.2153	2.5753
240	24.310	105.0172	2.2762	1.561	0.5438	0.5438	5.6932	3.0960	3.5760
280	17.621	111.0399	3.9002	2.071	0.7461	0.7461	4.8470	3.6163	4.1763
320	12.437	115.3476	6.8337	2.620	0.9882	0.9882	4.0709	4.0229	4.6629
360	8.905	118.5139	11.5877	3.145	1.2507	1.2507	3.4457	4.3095	5.0295
400	5.819	120.6186	22.3252	3.799	1.6323	1.6323	2.7857	4.5471	5.3471

III 實驗設備及び方法

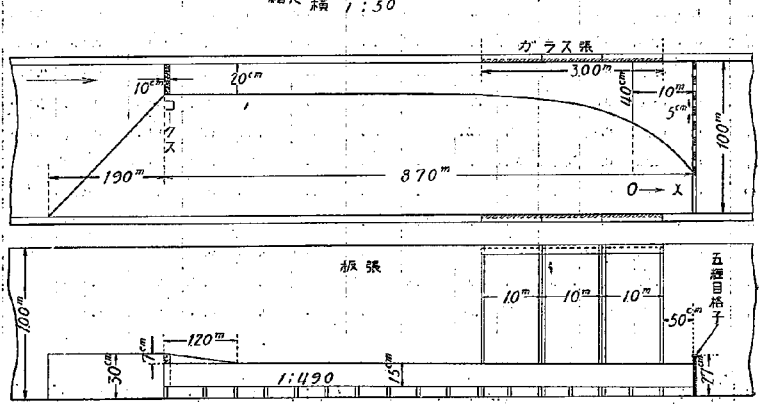
實驗は內務省土木試驗所赤羽分所內に設置せる幅 80 cm の鋼製水路及び幅 1 m の木造ガラス張り水路內に夫々木製の模型を作り之に水を流つて行へるものである. 模型は何れも前節の計算例と同じ數値を用ひて

$$b=40+40e^{0.01x}\text{ cm}, \qquad i_0=1/500$$

としたが, 何れの場合にも水路幅の半分のみを作つて流量も流すべき量の半分とし全體の幅に亘る現象を想像する事とした. 實驗は大體次の如き三段に分つて行つた.

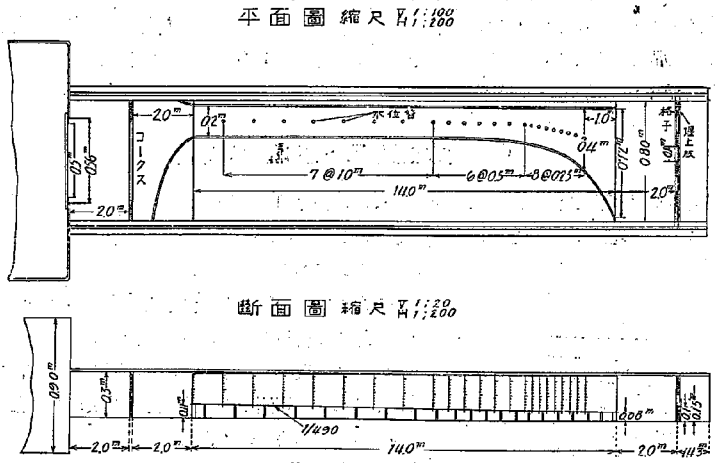
〔1〕 定流に關する試驗

幅 1 m の木造ガラス張り水路內の模型にて觀測を行ふ. その構造の大要は第 11 圖の如くであつ



第 11 圖 水路模型構造圖

て，河口即ち $x=0$ の位置に於ける水位 h_0 は模型の下流側に設けたる格子戸の開閉によつて調節する．又模型の上流側には 4 m の一様幅直線水路を設けて水路の長さの不足による缺點を補ひ，且流入部に於ける波動を鎭靜せしめる．



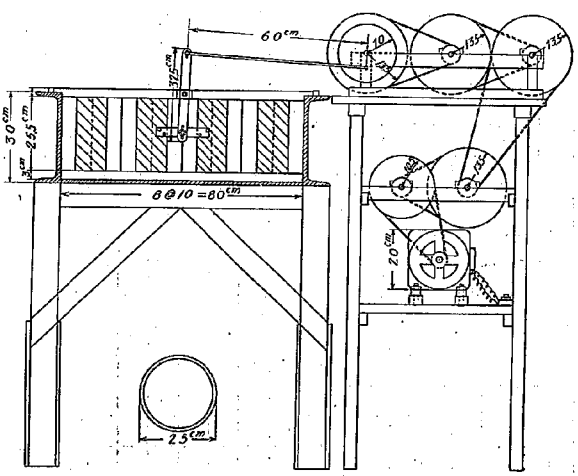
第　12　圖

水面形の測定は模型水路の中心線即ち實際には側壁より幅の $1/4$ の距離にある曲線に沿つて水面測定針を用ひて行つた．

〔2〕 感潮水路に關する試驗

幅 80 cm の鋼製水路内に第 12 圖に示す形の木製模型を作り定流の場合と同樣に水位觀測を行つた．この場合は不定流であつて水位觀測が困難であるから，測定法としては水面測定針，水路床よりゴム管にて差壓計に連結せる水位管及び水路壁上に記入せる尺度を並用した．尙模型製作の精度不充分の爲に河底勾配は約 $1/490$ となつた．

潮波に相當する波を起す爲には水路の下流側に設けたる格子戸を第 13 圖の如き開閉裝置によつて水平方向の單弦



格子開閉裝置　　縮尺 1/10

第　13　圖

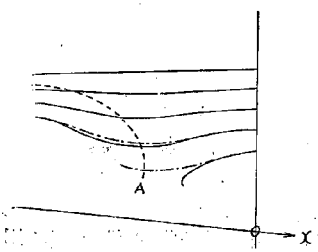
運動をなさしめ，從つて格子戸の開きは週期的に變化して河口の水位を變化せしめる．

〔3〕 洪水波に關する試驗

前の場合の水位調節格子を水路の上流側に移し波動が上流より傳播する樣にした．この時の格子の位置は整流用コークスの上流約 50 cm とした．然しこの方法に於ては波形の不完全と波長の長き爲に傳播速度の測定は殆ど不可能である．從つて傳播速度と水路幅の關係を見る爲には別に引上扉を設けて週期の稍短かき波を作つて觀測した．

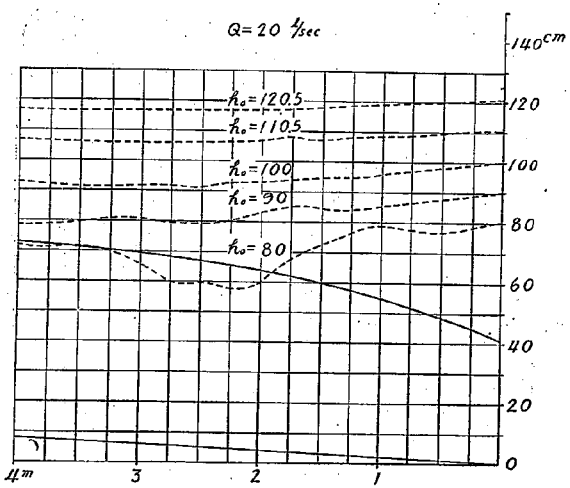
IV 實驗結果及び之に關する考察

定流の場合の水面形實測の結果は $Q=10$ l/sec の例を前揭の第 10 圖中に點線を以て示した．之によつて直ちに計算値との比較を行ふ事が出來るのであるが，一方に於て計算値と雖も近似的の方法によつたものであるから，その中には若干の誤差が含まれてゐる筈であつて，計算値と實測値との完全なる一致は之を見ないのが却つて當然である．唯計算上の誤差が h を大きく與へるか小さく與へるかを知る事は必要であつて，之を知つて初めて計算値と實測値との比較を行ひ從つて理論の精度如何を確める事が出來るのである．



第 14 圖

この計算上の誤差に關しては先づ水面形が上方に凸なる部分にては計算値は大なる Δh を與へ，從つて h の値も大きくなり，水面形が上方に凹なる時は反對に小なる h の値を與へる傾向がある事は明かである．然るに一方 dh/dx の絕對値は h の增加と共に減少するのであるから，$x=0$ の位置より上流に向つて計算を進めれば第 14 圖に示す如く最小水深を連ねた曲線 A に達する迄は計算より得たる水面曲線（圖中に鎖線にて示す）は次第に實際の水面より離れるが，曲線 A を過ぎれば再び實際の水面に近付く傾向を生ずる．



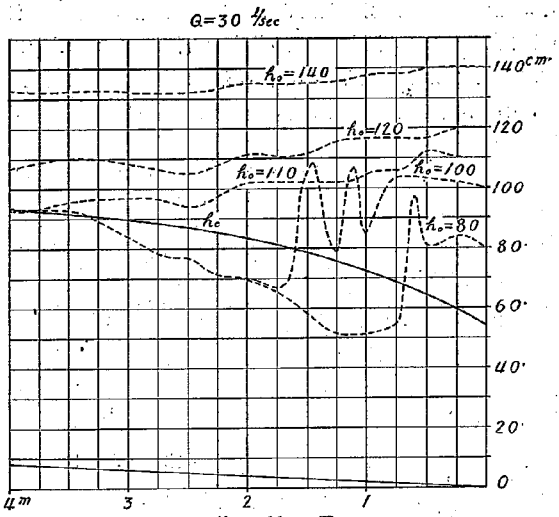
第 15 圖

〔1〕 定流に關する試驗

前述の模型に對して流量を 10, 20 及び 30 l/sec の三種に變化せしめ，各々の場合に就て又 $x=0$ の水位 h_0 を種々に變化せしめてその時の水面の形を測定した．但し模型は水路の中

心線の片側のみを作つたのであるから實際之に流した水量は 5, 10 及び 15 l/sec の三種である.

測定の結果の中にて $Q=10$ l/sec の場合は既に第 II 章中の第 10 圖に點線を以て示した. $Q=20$ 及び 30 l/sec の場合は第 15 圖及び第 16 圖に夫々に示す. 何れも點線が實測せる水面曲線であつて, 實線は各斷面の限界水深を連ねた曲線である.



第　16　圖

$Q=10$ l/sec の場合のみは第 10 圖によつて數値計算の結果と比較する事が出來る. 前述の數値計算上の誤差を考慮しつゝこの圖を觀察すれば, 數値計算に於ては流線の曲り等の影響を無視せるにも拘らず比較的よく實測値に一致し, 且第 I 章に述べたる水面形の諸性質を現はしてゐる. 唯常流より射流に移る點 P の位置が計算と實測にて多少の相異が見られる. $Q=20$ 及び 30 l/sec の場合に就ては數値計算の結果が無いが何れに於ても第 I 章に述べた理論を比較的よく現はしてゐる.

(2) 潮汐水路に關する試驗

前節に述べたる設備を用ひて試驗を行つたのであるが, その時の水位調節用格子の運動の週期, 從つて之より生ずる潮波の週期は 2′ 48″ である. 尙格子の他に第 12 圖に示す如く水位調節用の堰上板を格子の稍下流に設けて之によつて平均水面の高さを變化せしめた.

この試驗に於ては各瞬間に於ける波形を悉く測定する事は不可能であるから, 事實上最も必要なる各斷面に於ける最高及び最低水位を測定した. 尙比較の爲に $x=0$ に於ける最高水位を河口の水位 (h_0) とする如き定流狀態の水面曲線及び各斷面に於ける潮波傳播速度の大要を測定した. 測定は次の五種の場合に就て夫々前章に述べたる三つの方法を用ひて行つた. 而してその結果は第 17 圖～第 21 圖に示す.

測定番號	1	2	3	4	5
流量 (l/sec)	10	10	10	20	20
堰上げ板の高さ (cm)	0	10	15	0	10
圖番號	第17圖	第18圖	第19圖	第20圖	第21圖

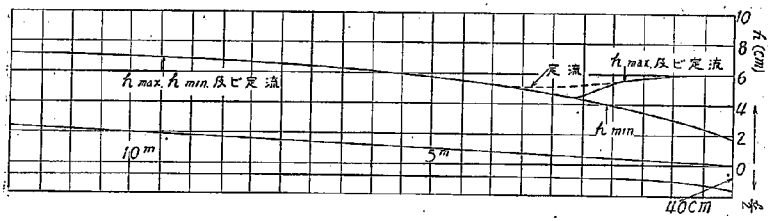
各圖に於て二つの實線は各斷面の最高水位 h_{max} 及び最低水位 h_{min} を連ねたる曲線であつて測尺, 測定器及び水位計にて測定せる結果を平均せるものである. 又圖中の點線は $x=0$ に於ける最高水位

を h_0 とする定流時の水面曲線であつて同じく三種の方法にて測定せる結果の平均である．而してこの三種の方法による測定の相互の差違は大部分 2mm 以内の程度である．

之等の測定結果より見れば各斷面の最高水位は何れも定流時の背水曲線以上に昇る事は明かであつて，第I章に述べたる考察は誤なきものであると思はれる．又第 17 圖より見れば射流狀態の部分の

1 Q=10 l/sec

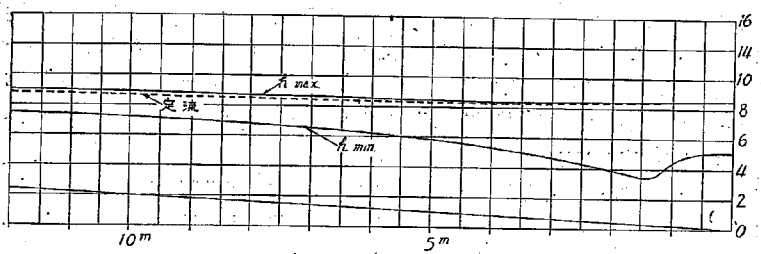
堰上板ナシ



第 17 圖

2 Q=10 l/sec

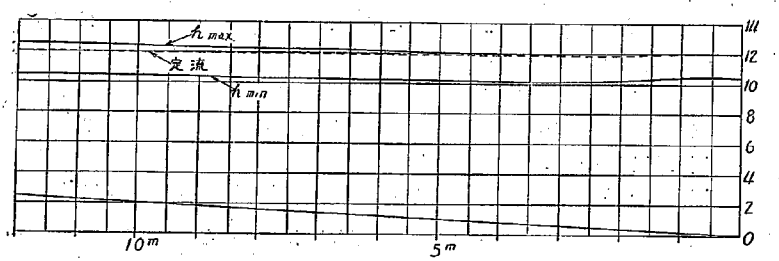
堰上板 10 cm



第 18 圖

3 Q=10 l/sec

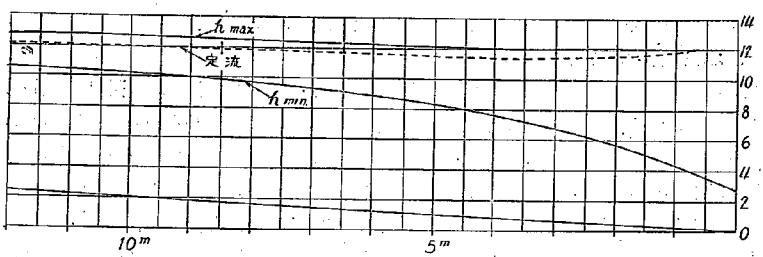
堰上板 15 cm



第 19 圖

4　Q=20 l/sec

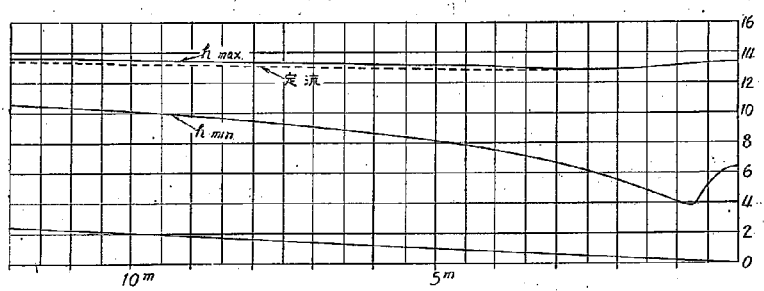
堰上板ナシ



第　20　圖

5　Q=20 l/sec

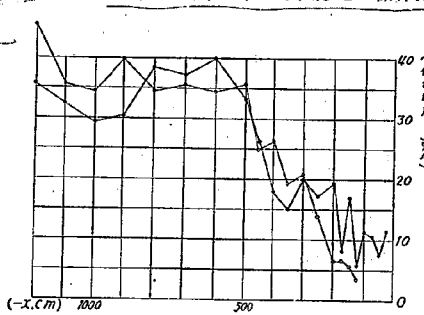
堰上板 10 cm



第　21　圖

ある時は潮波は跳水の起る位置よりも上流に遡行し得ない事が知られ，且定流の場合と不定流の場合とによつて跳水現象の起る場所を異にする事が見られる．河口に於ける水位 h_0 と水面形との關係は定流時と殆ど異る處がなく，流量の增加は H 曲線，G 曲線（第I章參照）等の上昇を來して h_0 が低下せる時の如き水面形を生ずる．然し之等の量的の關係は實驗の數が少き爲に充分に理論の不備を補ふには至らなかつた．

潮波の傳播速度に關しては水位計に現れたる波形の進行をストップウオッチにて測定したのであるが，測定の困難なる爲に得たる結果は甚だしく精度に乏しいものとなつた．第 22 圖は斷面の位置とその斷面に於ける波の傳播速度の



第　22　圖

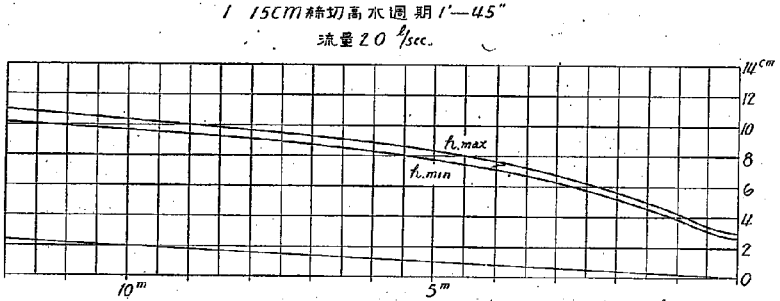
關係を表はすものであつて，この測定値より河口附近に於ける傳播速度の變化する狀態の大要を窺ふ事が出來ると思ふ．

潮波の傳播速度の問題は本試驗の主たる目的ではないのであるから實測の結果は上述の如く不充分のものではあつたが設備の關係上これ以上の精密なる測定は行はなかつた．

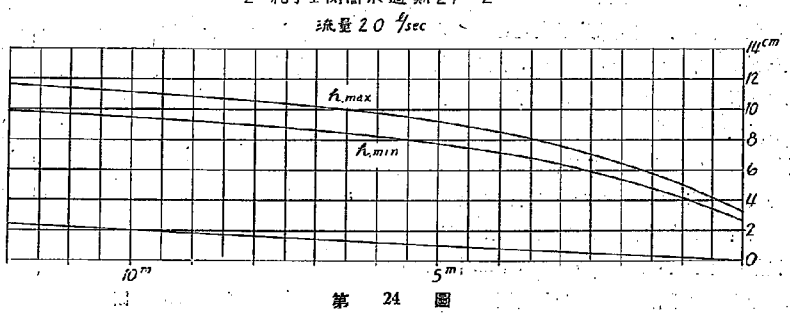
〔3〕 洪水波に關する試驗

この試驗を行へる設備は前述の如く水路の上流端に格子戸を設け之を週期的に開閉して波を起さしめたのであるが，洪水波に對して平時流量を或る量に保つ爲に初め格子戸を全閉時にも尙幾分の開きが存する樣にしたのでのであるが，格子戸の開きが小さくなると同時にその兩面の水位差が增す爲に波の振幅が著しく小さくなり明瞭なる波形を得る事が出來なかつた．從つて平時の水位のみを或る高さに保つ事とし模型の下流端にて約 7 cm の水深を保つ樣に板を以て堰き止め，格子戸は全閉時には全く開きが殘らぬ場合も作つた．尙格子戸の運動の週期卽ち洪水波の週期は 1′45″ 及び 27.2″ の二種としその時の格子戸の開きの最小は夫々 20 cm 及び零である樣な狀態に就て試驗を行つた．上流より供給せる流量は 20 l/sec (模型は半分の幅を有するのみであるから實際には 10 l/sec) である．

この試驗に於ても水位は各斷面の最高及び最低を測定したのみであつて，潮波の場合の如く定流時と比較觀測を行ふ事も不可能であつた．水面の測定には水面測定器と壁面に記入せる測尺を竝用した



第 23 圖

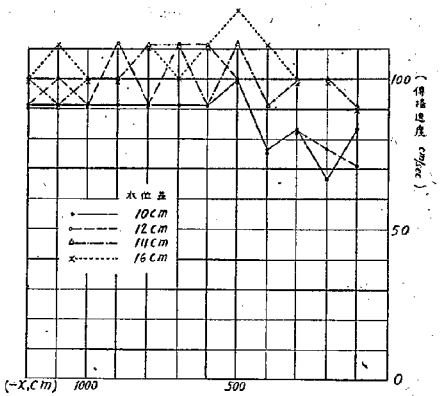


第 24 圖

のであるが第 23 圖及び第 24 圖に示せる實測曲線はこの二つの結果を平均せるものである．而して何れの場合にも兩者の差は甚だ小さく大部分は 1 mm 以下であつた．

之等の場合に相當する定流時の水面は最高水位曲線よりも僅かに低くなるものと考へられる．その程度は潮波の場合と大差なきものと見做し得ると思ふ．

洪水傳播速度の測定は潮波の場合以上に困難であつた．之は波形が潮波に於ける以上に不鮮明となる爲であるからこの場合は全然別な方法にて週期の比較的小さい波を作り，之を上流より下流に向つて傳播せしめて河幅の變化と傳播速度の關係を觀測した．波を起す方法は水路の上流端を上下に動く扉にて閉め切りその上流の水位を上げて扉の兩側にある水位差を與へて置き，扉を一定速度にて引き上げて波を下流に傳播させる．この水位差は 10, 12, 14 及び 16 cm の四種とした．



第　25　圖

かくして測定せる各斷面の洪水波の傳播速度の大さは第 25 圖の如き關係となつた．即ち河口附近に於ける傳播速度の低下は潮波の場合程に著しく現はれなかつた．測定の精度に於ても前者と大差なきものと思はれる．

V　結　　言

前節までに述べたる處は鐘口狀河口の流水に關する理論的竝に實驗的の說明であるから，之を幅一樣なる水路に於ける流水の諸現象と比較する事によつて河幅變化の影響を明かにする事が出來る．

定流時に於ける幅の變化による影響の主なるものは

1.　堰上げ背水にては河幅變化の大なる程，背水の影響は上流に及ぶ事が少い．

2.　河幅變化の大なる程途中にて射流狀態を現はし易い．而て一樣幅の水路にては $i<g/a'C^2$ にて河口に於ける水深 h_0 が限界水深以上なる時は途中にて射流狀態を現はすが如きは起り得ない事である．

之等の關係は第 I 章にて述べたる如く不定流に對しても略適用されるものであつて，尙不定流の最高水位に關しては河口の水位が定まれる時には定流時の水位よりも高くなる．然しこの不定流の問題に關しては此處に述べたるのみでは不充分であるから後日更に精密なる試驗及び研究を行ひ度いと思ふ．

以上に述べたる處は何れも河口の形狀は鐘口狀に擴がる場合であつて而も河狀は直線的であるが，實際の河口は必ずしもかゝる形狀を有するものではなく，殊に本邦の河川に於ては河口が却つて狹くなれるもの等が多く，河床勾配も實際には一樣ではないのが普通である．かゝる河狀に對しても理論的の取扱ひ方には大差ないのであるから本報告に述べたるものと同樣にしてその性質を研究する事が

出來る．殊にその中の定流の問題に關しては (7) 式を用ひてその一般性質が明かにされる.[1] 而して之等に就ても機を見て適當なる實驗を行ひ一般河口の問題解決に資し度いと思ふ．

本報告の作製に當り種々の數値計算，實驗及び製圖に關して本所々員岸田史雄氏に負ふ所が甚だ多い．茲に同氏の勞を謝する次第である．

1). 土木學會誌，第 20 卷，第 7 號 "不等速定流に關する二三の問題" 724 頁
同，　　第 20 卷，第 12 號，　　〃　　1435 頁

下關海峽の潮流に關する模型試驗 (禁轉載)

〔昭和 10 年 3 月 26 日下關要塞司令部許可濟〕

本間仁

內容梗概

下關海峽內に諸種の港灣施設を行へる場合に之等が當海峽內の潮流に如何なる影響を及ぼすかを模型試驗によつて推測せんとせるものであるが，模型の大きさが不充分なる爲に止むを得ず試驗結果に現れぬ點まで多少の推察を加へた．

目次

〔1〕概論 ……(1)
〔2〕豫備試驗 ……(2)
〔3〕模型及び測定方法 ……(6)
〔4〕試驗結果 ……(7)
〔5〕結言 ……(19)

〔1〕概論

下關海峽は本邦に於ける最も重要なる航路の一に當り，而も潮流の極めて顯著なるを以て知られてゐる箇所である．又關門兩港の修築工事又は當海峽の改良工事とこの潮流の關係は頗る密接なるものがある．從つて本試驗は海峽附近に於ける各種の改良工事又は港灣構造物の修築工事が潮流の狀態に如何なる影響を及ぼすかを知らんとして行へるものであるが，實驗に供した構造物は必ずしも實際に行はれてゐる計畫に則れるものではなく，その中の二三のものは全く架空的であつて潮流の性質を確める爲に便宜上考案せるものである．

本試驗に於て取扱へる事項は

1) 小瀨戶の締切りが本海峽の潮流に及ぼす影響

2) 港內の構造物が海峽內の潮流に及ぼす影響

尙港內滾滌による潮流々速の變化に關しては本試驗の如く模型の縮少率の甚しい場合にはその水理學的相似律に多大の疑問があるので實驗は行はず最後に若干の考察を附加するに止める．

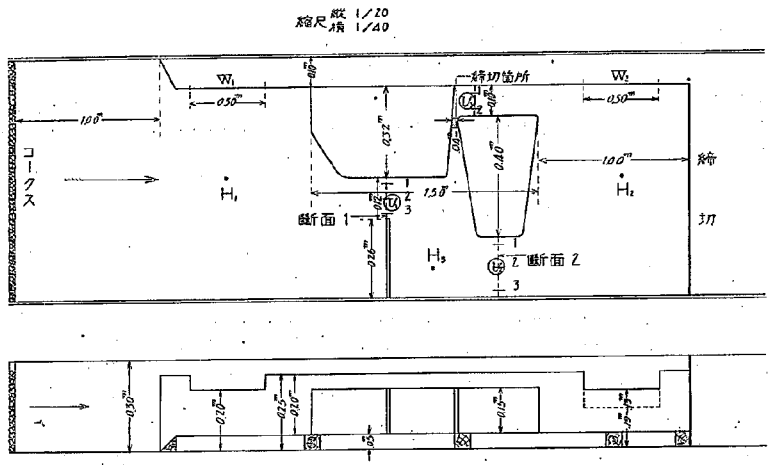
下關海峽の潮流を調査せる結果に就ては既に發表された文獻が多いから[1] 以下に述べる處は大體試驗の報告のみである．

本試驗に關する資料の蒐集等に就ては內務技師前田一三氏の御盡力に負ふ所頗る多く，又模型製作，試驗の實施及び製圖等に就て內務技手柄澤郡治氏を煩はす事大であつた．茲に兩氏に感謝の意を表する次第である．

1) 水路部發行；水路雜誌第 8 號，下關海峽の潮流（海軍技師 小倉伸吉）其他

〔2〕 豫備試驗

前節に述べたる如く本試驗事項の一つは小瀨戸の締切りが潮流の狀態に及ぼす影響を見る事にあるが，この項目に關しては數量的にも多少の精度を欲するものであるから，先づ第1圖に示す如き幾何學的形狀の模型に就て現象の一般性質に關する試驗を行つた．



第　1　圖

（1） 總說　　この豫備試驗の結果は又かゝる分岐水路に於ける河川の水流と潮流との性質の相異をも示してゐる．卽ち河川の定流に於ては分岐水路の一つを締切るも流量に變化はないから，上下流側の水位が一定に保たれるならば分岐點附近にては增速が見られるのが普通である．然るに潮流に於ては締切りの結果として分岐點上流部の水面は若干の上昇を來し爲に海峽を通過する流量は減少する．下關海峽の場合ならば小瀨戸の締切りによつて關門兩港前面の水面が上昇して，早鞆瀨戸附近の流速は減少し，大瀨戸附近にては多少の增速が考へられる．河川の不定流の場合には問題とする箇所の上下流側の水域面積が狹い爲に海峽の場合とは多少異り，洪水波の波頂附近にては前二者の中間の如き狀態を現はすものと考へられる．

玆に試驗せんとするものは潮波の週期が波頂の海峽通過に比して遙に長く，流れの狀態は定流と見做して差支へなき場合である．

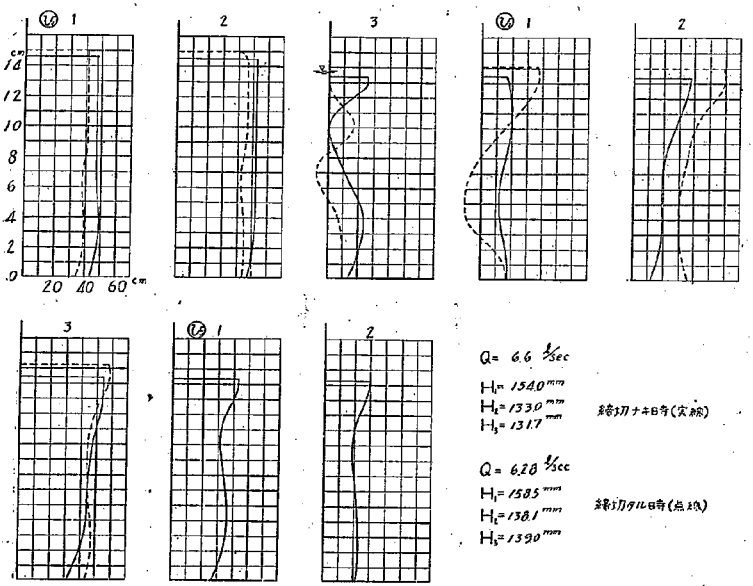
（2） 試驗設備　　當所赤羽分所內の 80 糎幅鋼製水路內に第1圖に示す如き木製の模型を作り之に一定流量の水を送つて試驗を行へるものである．第1圖の平面圖に於て上方の五邊形の部分は下關側の陸地を表はし，梯形は彥島を，下方の突出部は門司岬を表はすものである．從つて地形は東西が實際と反對になつて居り，流れの方向は實際の西流の場合に相當するものゝみである．分岐水路の一方の小瀨戸に相當するものは圖の如く木片によつて完全に遮水する事が出來る．上游の水位 H_1 は

溢流堰 W_1 によつて一定水位に保たれ，下游の水位 H_2 は調節可能なる溢流堰 W_2 によつて H_1-H_2 が任意の一定となる様に定められる．

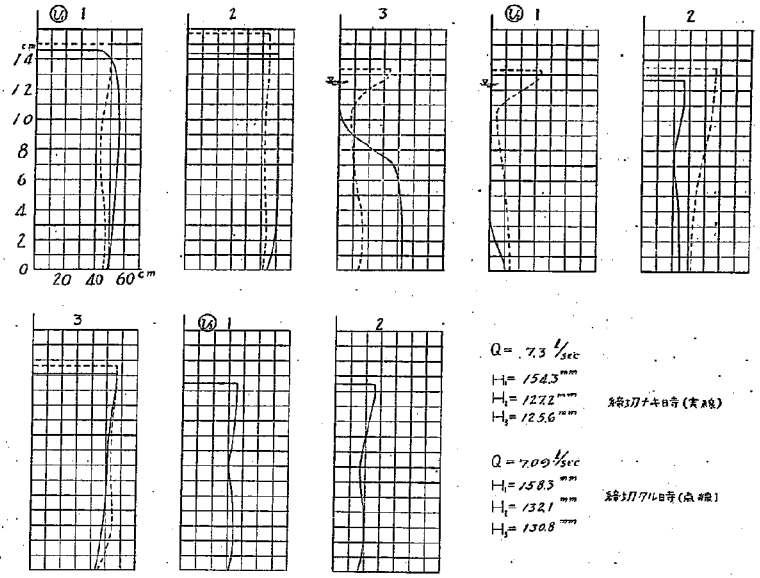
水位の測定には眞鍮製水面測定針を用ひ，流速は細きアルミニウム管を以て製作せるピトー管にて測定した．模型を通過せる流量は溢流堰 W_2 上の溢流水深より計算によつて求めた．

（3） 試驗方法及び結果　試驗水路に或一定流量の水を送れば上述の如く水位は W_1 によつて大體一様に保たれる．然しこの溢流堰 W_1 が充分に大きくない爲に流量の變化に對して多少の水位變化を伴ふ，試驗を行はんとする時はこの流量を加減して一定水深 H_1 とし，その時の斷面 1, 2 及び 3（第1圖參照）の流速及び W_2 の溢流水深，水位 H_2 等を測定する．次に分岐水路を締切り W_2 を高めて H_1-H_2 が締切り前と同じ大きさになる様に調節する．從つて H_1 及び H_2 自身は僅小の增加を來し實際の現象とはやゝ相異するが，その誤差は極めて僅かである．而し誤差は流速に稍大なる値を與へる性質のものであるから，締切りの影響は斷面 1 にては小さくなり斷面 2 にては大きくなる傾向がある．この場合も前と同樣にして斷面 1, 2 の流速及び W_2 の溢流水深を測定する．

この試驗に於ては H_1 を大體 160 mm に定め，H_1-H_2 の値として 7, 12, 17, 22 及び 27 mm の五種を採用した．然しこの中の水位差の小さいものは設備及び測定の誤差の爲に現象を明確に表はさなかつた．從つて次の第2圖及び第3圖には現象の最も明確に表はれてゐる H_1-H_2 が 22 mm 及び 27 mm の場合の測定結果を示した．圖中の v_1, v_2 及び v_3 は夫々斷面 1, 2 及び 3 の流速を表はすものであつて，實線及び點線にて表はす曲線は夫々記入せる位置（第1圖參照）に於ける鉛直



第　2　圖

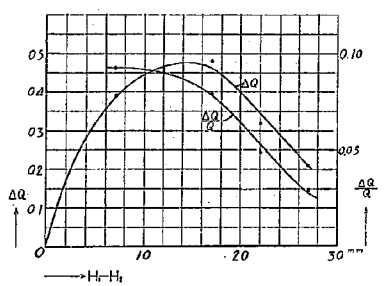


第　3　圖

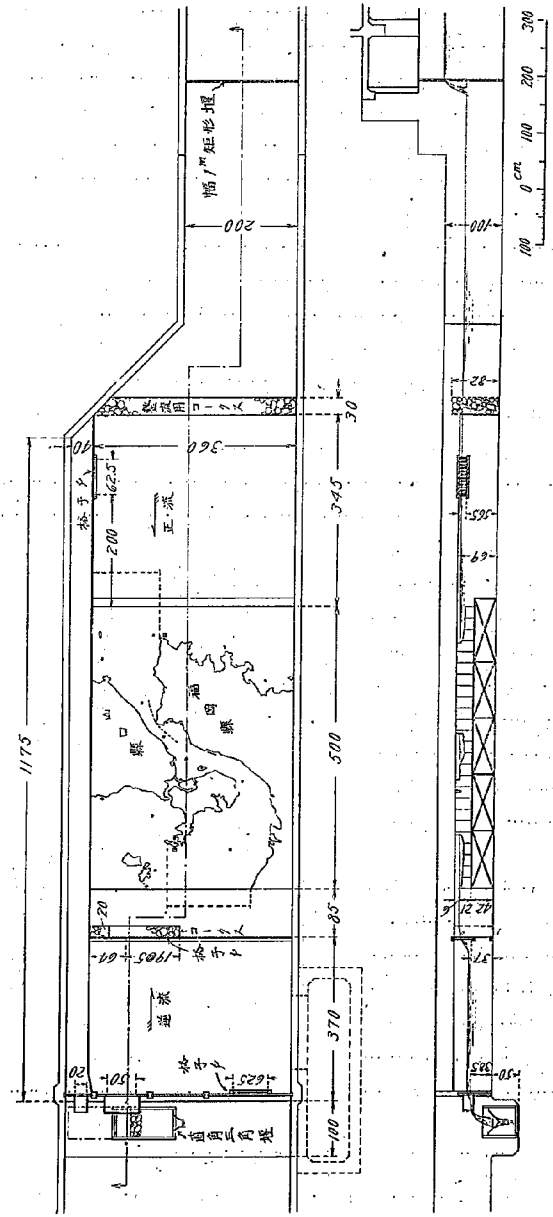
線に沿ふ流速分布曲線であつて，實線は締切りなき時，點線は締切りたる時のものである．

豫期された様に締切りを行つた後は水深 H_3（第 1 圖參照）が增大し，從つて H_1-H_3 は減少，H_3-H_2 は增加して流速 v_1 の減少及び v_2 の增加を來してゐる．又第 2 圖又び第 3 圖に見られる様に流速はその平均値の增減と共に分布狀態にも變化を生じてゐる．斯くの如き流速分布曲線に變化を生じた原因は流線の方向の變化であつて，この現象は實際の場合にも多少現はれる事と思ふ．特に斷面 1 の 3 の位置に於ける流速分布の變化は渦の形の變動の爲に相當に著しい．

流速の平均値の增減は流量の變化から推定した．卽ち溢流堰 W_2 の溢流水深より短形堰の流量公式を用ひて計算し，締切りを行ふ前と後の値の差をとつた．この流量の變化 ΔQ と水位差 H_1-H_3 の大きさとの關係を上述の五回の試驗につきて求めたる結果を第 4 圖に示した．之より締切りが流速 v_1 に及ぼす影響を推定する事が出來る．勿論この測定の精度は可成り低いものであるから之は ΔQ の大さの大體を與へる程度のものであつて，圖中にて水位差が 22 mm 及び 27 mm のものは他のものに比して ΔQ が比較的小さいが，之に關しては物理的の理由としては特に考へられるものがないから或は測定及び前述の如き測定法中



第　4　圖



第 5 圖
（昭和 10 年 3 月 26 日下關要塞司令部許可濟）

に含まれる誤差より生じたるものとも考へられる．海峽内の水位上昇即ち H_3 の増加を見ればこの二つの場合が却つて他の場合よりも大なる増加を示してゐるのであつて，第 4 圖が單に ΔQ の大きさを示す程度のものなる事を思はせる．故に此處には同圖中に示す様に流量變化の割合 $\Delta Q/Q$ (Q は締切り前の流量) は 3～10% 位のものである事を指摘するに止める．

この豫備試驗に於ては設備の不充分の爲に豫期せる精度に達する事が出來なかつたけれども，分岐水路の一つの締切りが他の部分の水流の狀態に及ぼす影響の一般性質を實驗的に確める事が出來た．

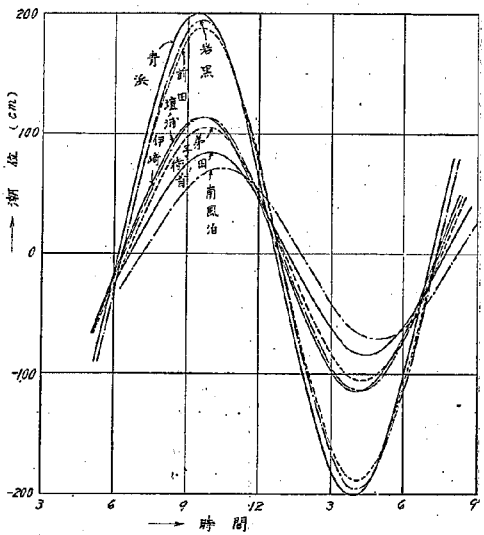
〔3〕 模型及び測定方法

前節に述べたる豫備試驗の終了後同所内の工法試驗水路 (幅 4 m) 内に下關海峽附近の海底模型を製作した．海底及び海岸線の形狀は海軍水路部發行海圖第 1225 號及び第 1226 號に據り，平均海水面以上は鉛直壁狀とした．模型製作に使用せる材料は彫塑用白色粘土に約 5% のポートランドセメントを混じ，水を加へて搗固めたるものである．

模型の縮尺は水平 3,750 分の 1 (15,000 分の 1 の海圖の 4 倍)，鉛直に 200 分の 1 とし，その範圍は第 5 圖に示す．模型の製作には先づ水路内に高さ 40 cm の床を張り，その上に海底の鉛直斷面の形に切り取れる板を 20 cm の間隔に夫々に該當する位置に立て並べ，その間に上記配合の粘土を詰め表面を海底の形狀に削る．之を適當に乾燥せしめたる後，粘土の收縮による龜裂はパテにて補塡し模型の表面全體に亙つて厚くペンキ塗りを施して防水をなし實驗中にも數回塗り直ほしを行つた．

流速の測定は總てピトー管を用ひ，水面勾配は模型の底に埋め込みたる硝子管をベンゾール差壓計に聯結して測定した．差壓計の硝子管は略一樣なるものを用ひ，從つて表面張力の相異に對する補正は行はなかつた．流れの方向は流速測定の際にピトー管を廻轉せしめてその最大流速の方向より定め，渦の形狀等を知るには水面にアルミニウム粉末又は細かき紙片等を浮べてその運動を觀察した.[1]

試驗を行ふ前に先づ渦動の形狀が實際に最も近き狀態を見出す爲に，下流側の水面の水位を零即ち平均海水位に保ち（便宜上潮流が瀨戸内海側より日本海側に向つて流れる場合を正流，その反對の場合を逆流と名付けた．從つてこの下流側とは日本海側の水面を指す）上流側の水位を調節して兩



第 6 圖 秋季朔望に於る潮位曲線

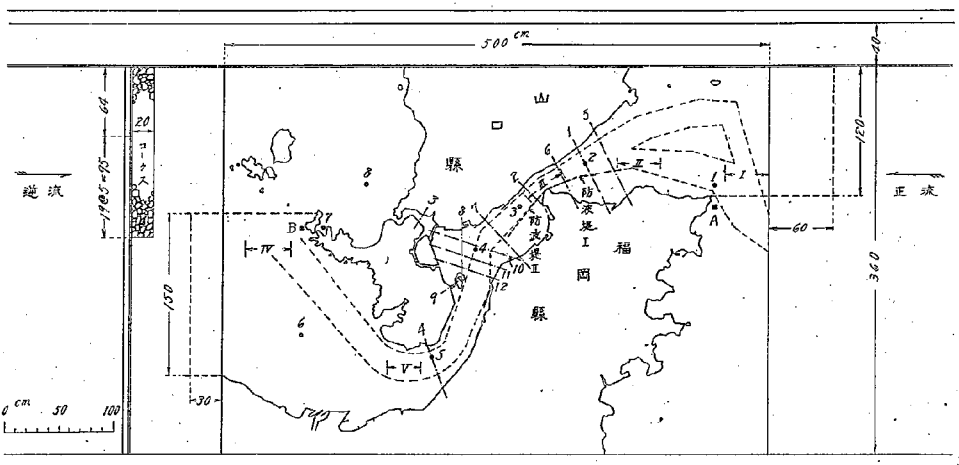
1) 模型の製作，測定の方法等に就ては次の二三の實驗報告を參考とした．
Rapporten en Mededeelingen van den Rijkswaterstaat. No. 26.
Wasserbauliche Modellversuche beim Abschluss der Zuiderzee. (Th. Rehbock)

水面の水位差を 7～9 mm の間にて變化せしめて渦の形狀を觀察した．實際の潮位差は第 6 圖の潮位曲線（同圖は秋季朔望時に於ける潮位曲線の一例を示す）を見れば靑濱，南風泊の最大潮位差が 1.40 m の程度であるから之を模型の縮尺に改めれば 7 mm に相當する．從つて最大流速に關する量的の問題を取り扱ふ時に落差 7 mm の場合に就ても觀測を行つたが，流れの性質を見る時には渦の形狀及び流れの現象が比較的明瞭に現れる 9 mm の落差の場合に就て觀測を行つた．

尙各事項毎にそれに伴ふ特殊の觀測方法は次節に於てその事項の記述中に夫々に詳述する．

〔4〕 試驗結果

（1） **小瀨戶の締切りが本海峽の潮流に及ぼす影響に就て**　之は既に豫備試驗に於ても觀測を行つた事項であるが此處には前よりも稍精密なる方法を用ひた．卽ち上下流の水位を保持する溢流堰 W_1 及び W_2 は何れも調節可能であり，第 5 圖に示す樣に之等の溢流堰はその大きさが模型に對し



第 7 圖

（昭和 10 年 3 月 26 日下關要塞司令部許可濟）

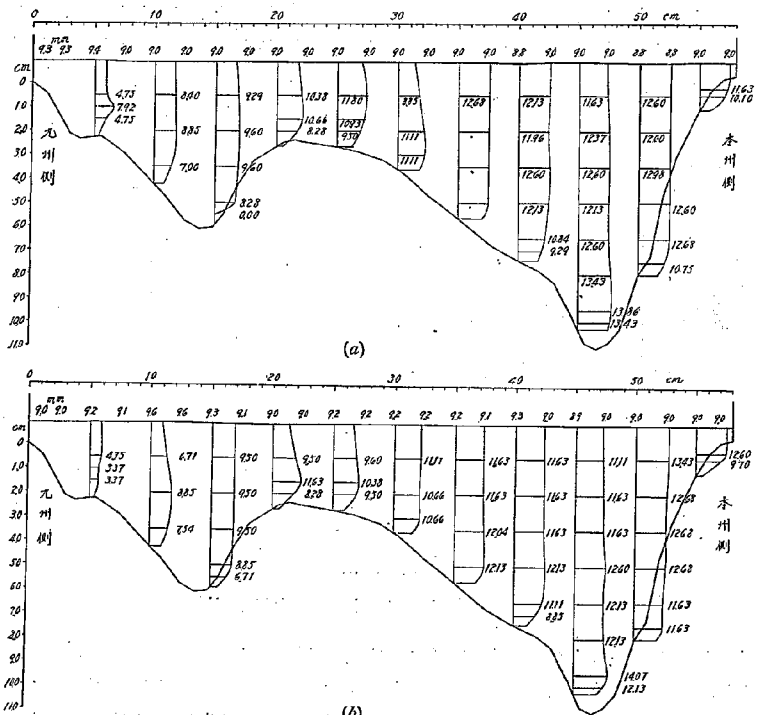
て比較的大きくポンプの流量の一時的不同（pulsation）を減衰する．

試驗を行ふ前の水位調節の方法は最初に上下流側の水位 H_1 及び H_2（記號は〔2〕節の場合と一致せしめる）を與へられた大きさに保ちつゝ或る流量を流し，次に小瀨戶を第 7 圖の如く締め切りその時に流量はそのまゝにして H_1 及び H_2 の水面が最初の大さと一致する樣に二つの溢流堰を調節する．H_1 及び H_2 の水位は圖に示す A 及び B の位置に鉛直の針を固定し，水面が常にこの針の尖端に接觸する樣に調節を行ふ．但しこの模型に於ては溢流堰 W_2 は堰頂の上下によつて調節するものではなく格子型としてその開きを增減するものであるから，此處にて海峽を通過する流量を定める事は困難である．從つて更に一段下に三角堰を設けて流量を測定する．この三角堰は正流の場合は第 5 圖の如き位置に置き逆流の場合は側溝の下流端に置く．第 7 圖中の 1～8 の番號を附せる小圓

は水面測定用硝子管の開口せる位置を示すものである.

先づ東西兩側水面の水位差が 9 mm の場合に就て行へる試驗の結果に就て述べる. 之は既に述べたる如く正流の時は第 7 圖中の B の位置にて水位を零に合はせ, A の位置の水位が +9 mm となる樣に調節する. 逆流の時は反對方向に或る流量を流して置き, A の水位を零に合はせて B の水位が +9 mm となる樣に調節を行つた.

試驗は第一に小瀨戸の部分卽ち模型に於ける斷面 3 を開放せる場合に斷面 1, 2, 3 及び 4 (第 7 圖參照) に就て流速の大きさ及び分布狀態を測定し, 次に斷面 3 を閉塞したる時に斷面 1, 2 及び 4 の各點の流速を同樣にして測定する. 之を正流及び逆流の各々に就て行つた. 之等の測定値の中にて



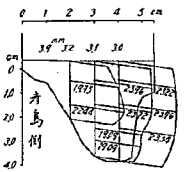
第 8 圖 斷面 1, 正流

正流の場合のものは第 8 圖～第 11 圖に, 逆流の場合のものは第 12 圖～第 15 圖に於て斷面中の各測點の位置に斷面に垂直な流速を cm/sec にて表はせる時の數字を記入する事によつて示す. 各圖に於て何れも (a) は斷面 3 を開放さる場合, (b) は之を閉塞せる場合の測定値である.

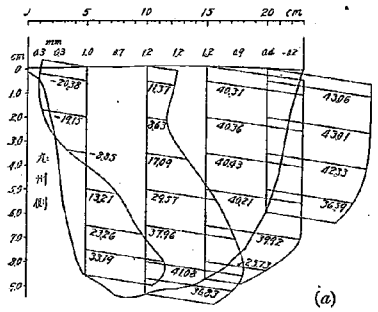
この流速測定に於ては前述の如く內徑 1 mm 程度のアルミニウム細管にて製作せるピトー管を使用したのであるから表面流速及び底流速の測定は殆ど不可能であつた. 從つて圖に示す流速分布曲線

の水面及び水底附近の部分は他の部分の分布狀態より推定せるものである.

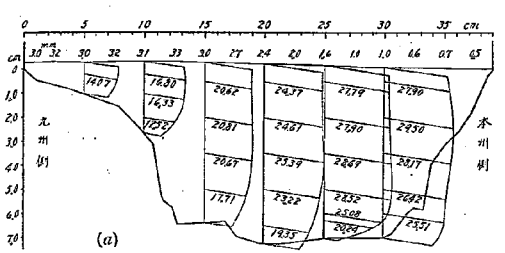
之等の流速分布狀態を測定すると同時に流量及び海峽中心線に沿ふ水面の縱斷曲線を測定した. 海峽を通過する流量は小瀨戶開放の狀態に於て正流の場合に平均 3.28 *l*/sec, 逆流の場合に平均 4.10 *l*/sec にて, 小瀨戶を閉塞せる後

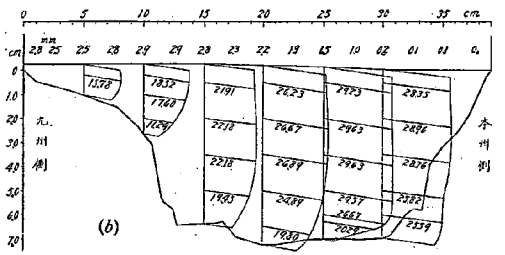


第 10 圖　斷面 3, 正流

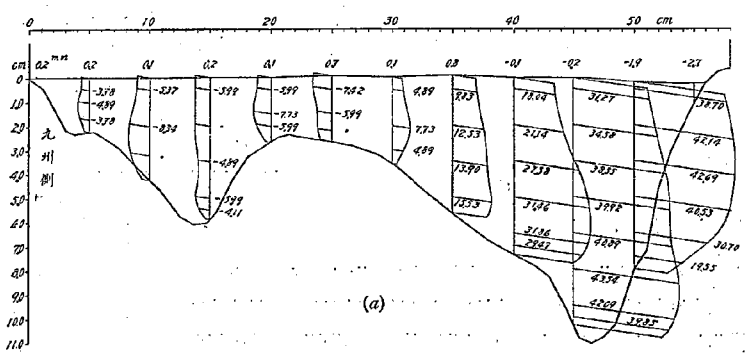


第 9 圖　斷面 2, 正流

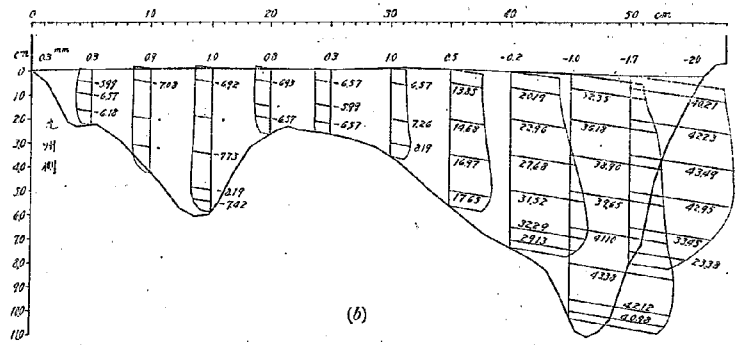




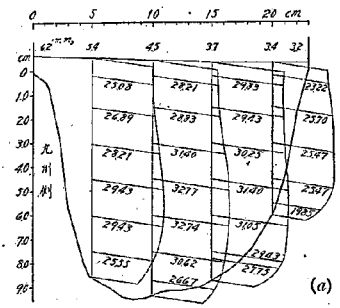
第 11 圖　斷面 4, 正流

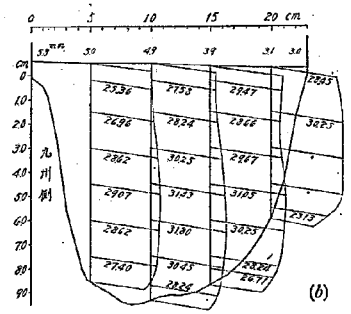


第 12 圖　斷面 1; 逆流

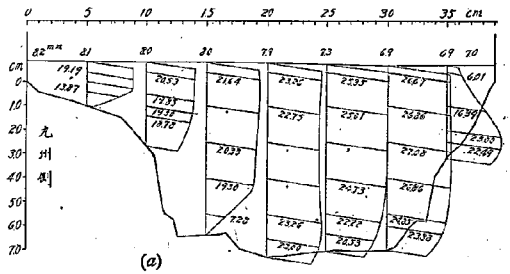


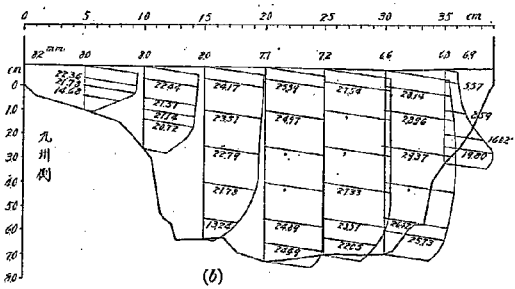
第 12 圖　斷面 1，逆流



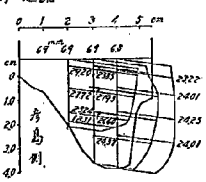


第 13 圖　斷面 2，逆流





第 15 圖　斷面 4，逆流



第 14 圖　斷面 3，逆流

には之が正流の時に平均 3.15 *l*/sec，逆流の時に　均 4.09 *l*/sec となつた．卽ち正流の時は閉塞によつて流量は約 4% を減じたが，逆流時には殆ど變化がなかつた事となる．この小瀨戶締切りの影響が正流の場合に大きく逆流の場合に小さい事は後に述べる兩側水面の落差が 7 mm

の時に觀測に於ても見られてゐる．水面縱斷曲線に關しては後に他の場合の測定値と共に圖示する．

次に東西兩側水面の落差が 7 mm 及び 8 mm の場合に就ては流速の分布狀態は 9 mm の落差の場合と殆ど同じであるから圖示する事は省略する．流速の大きさの關係を明かにする爲に斷面 2 及び 4 に於ける最大流速の大きさを次の表に示す．(流速は小瀨戶を開放せる時の値である．)

	斷面 2		斷面 4	
落差	正流	逆流	正流	逆流
7 mm	36.45 cm/sec	28.42 cm/sec	25.08 cm/sec	25.24 cm/sec
8 mm	37.70 〃	— 〃	26.49 〃	— 〃
9 mm	43.06 〃	31.40 〃	29.50 〃	27.08 〃

海峽を通過する流量の平均値は次の表の如き値となつた．

	落差 7 mm，正流	同左，逆流	落差 8 mm，正流
斷面 3 開放	2.81 l/sec	3.71 l/sec	3.01 l/sec
〃 閉塞	2.71 〃	3.75 〃	2.97 〃

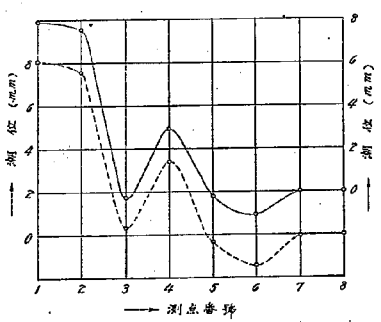
落差 7 mm にて逆流の時は斷面 3 を閉塞せる場合の方が却つて流量が大となつてゐるが，之は實驗方法の精度の不足に基くものであつて，閉塞が流量に及ぼす影響の小さい事を表はしてゐる．

尙流速及び流量に關する相似律等に就ては〔5〕節に於て多少の考察をなす事として此處には單に實測の記錄を掲げるに止める．

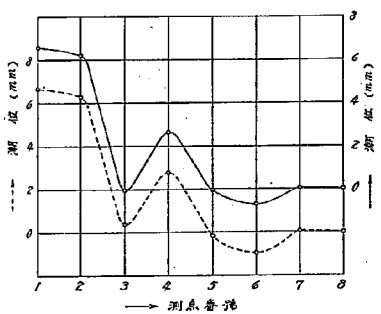
水面の橫斷曲線は各流速圖中に記入してあるが第 16 圖の曲線は水位計より觀測せる水路の中心線に沿ふ各點の水位である．水位觀測點の位置は第 7 圖に見る樣に等距離にはなく，又その間の流線の形も必ずしも一定ではないから，同圖に於ては單に各點の水位の關係のみを示す爲に測點を一直線上に等距離に置いた．流心に沿つて測れる各測點間の距離は大體次の如くである．

1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—8
125 cm	75	58	110	125	180

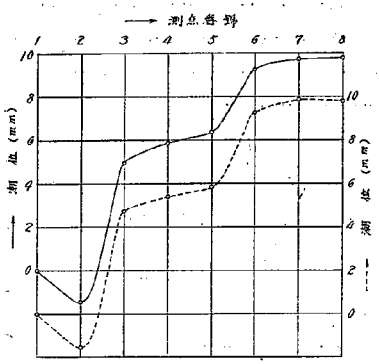
之と第 16 圖より得た落差より二測點間の勾配を知る事が出來る．第 16 圖中にて (a) は兩側水面の落差を 9 mm として正流の場合，(b) は落差 7 mm にて正流の場合，(c) は落差 9 mm にて逆流の



第 16 圖 (a)



第 16 圖 (b)

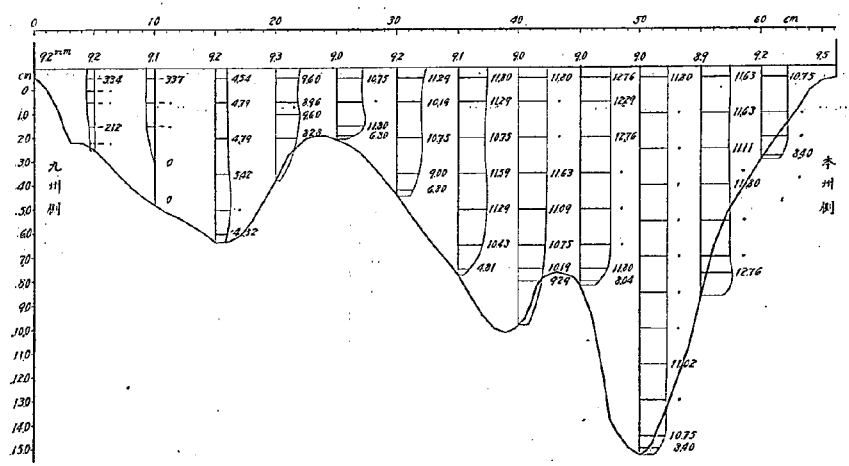


第 16 圖 (c)

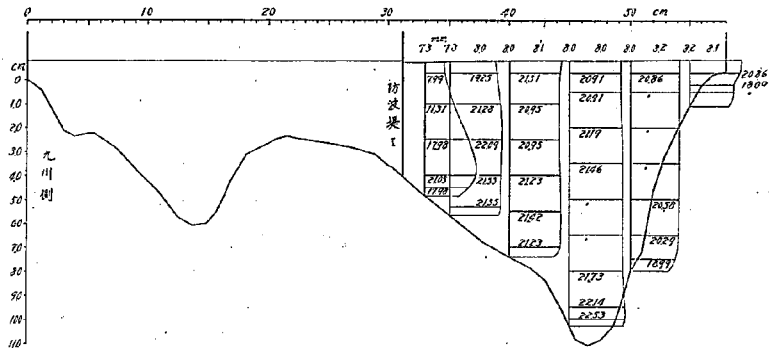
場合であつて，何れも實線は斷面 3 を開放せる場合，點線は之を閉塞せる場合を示すものである．之等の圖より斷面 3 の締切りに伴ふ關門兩港の水面昇降の關係を見る事が出來る．

(2) 早鞆瀨戸附近に防波堤を築造せる時に之が潮流に及ぼす影響　この場合には斷面 3 は常に閉塞して觀測を行つた．先づ第 7 圖に I を以て示した形狀の防波堤の模型を作り，之に對しても前と同じ方法により落差 9 mm の場合に對して各斷面の流速分布，各點の水位及び海峽を通過する流量の測定を行つた．但し流速を測定した斷面は前と異り東側より 5, 1, 6, 2 及び 4 の各斷面である (第 7 圖參照)．防波堤の模型は亞鉛引鐵板を鉛直に立て，下部を粘土の模型中に埋め込みたるものであつて高さは平均水面上 5 cm である．

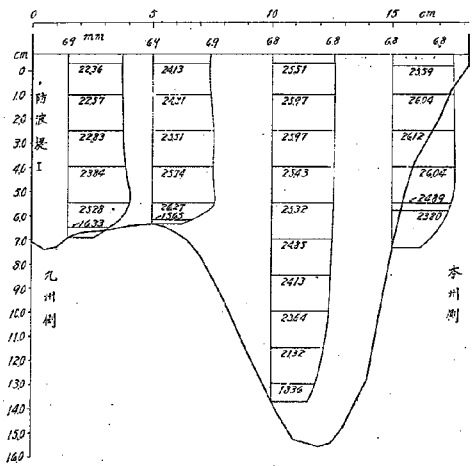
之等の各斷面に於ける流速分布狀態の測定値は正流の場合を第 17 圖～第 21 圖に，逆流の場合を第 22 圖～第 26 圖に示した．之等の圖中の斷面の各點に於ける流速の大さを前揭の第 8 圖～第 11 圖又は第 12 圖～第 15 圖の流速分布曲線より得られる値と比較すれば，かゝる形の防波堤の存在による流速の大きさ及び渦の形狀の變化の狀態を見る事が出來る．特に正流の場合は門司埼による大きなる縮流が除かれる結果として，最强流速の生ずる斷面 2 の附近にては流心は多少南に寄り，最大流速の大きさも防波堤なき時に比して僅に減少を見せてゐる．又最强流速の生ずる位置も多少上流に移る筈であるが，流速を測定せる斷面の數が少い爲に實驗結果より確める事は出來なかつた．逆流の



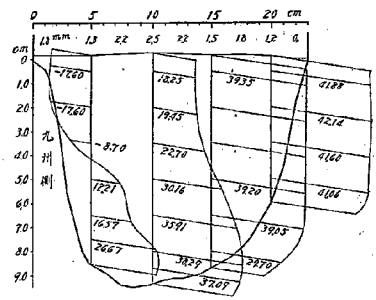
第 17 圖　斷面 5，正流



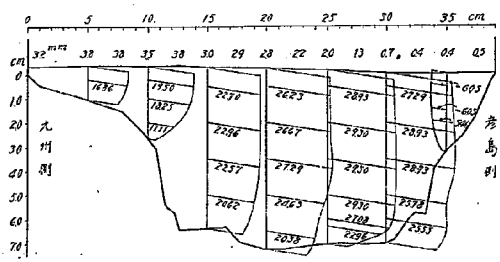
第 18 圖　斷面 1, 正流



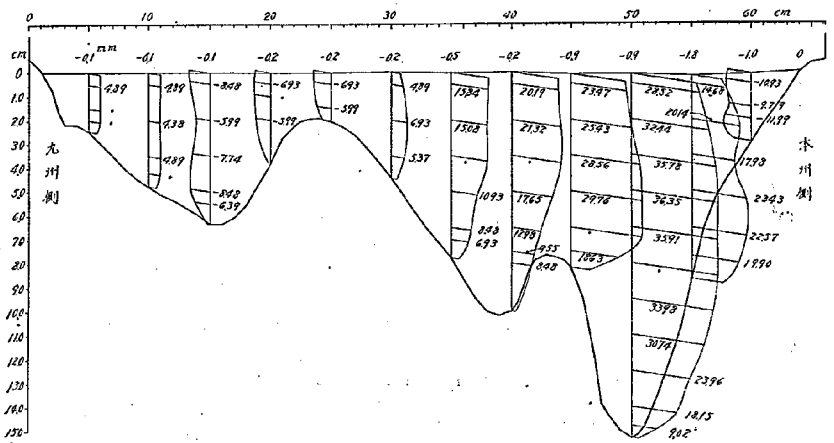
第 19 圖　斷面 6, 正流



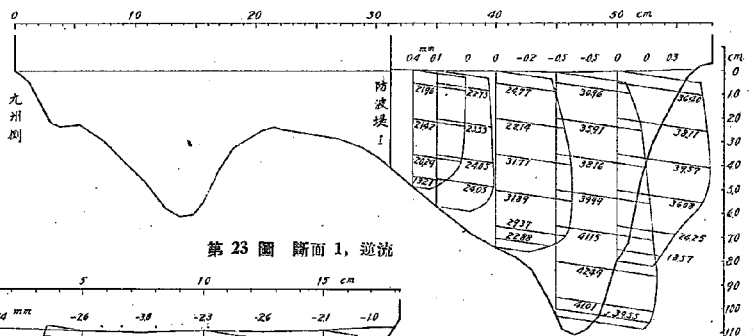
第 20 圖　斷面 2, 正流



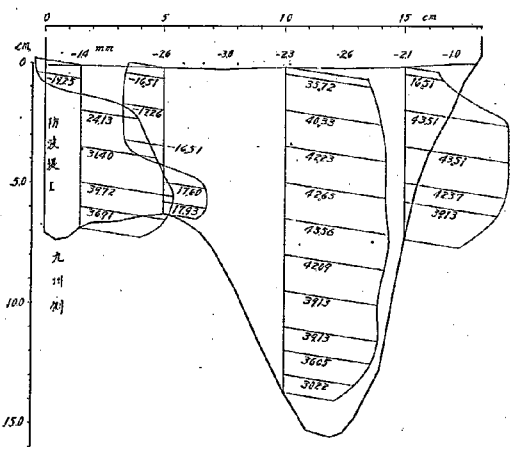
第 21 圖　斷面 4, 正流



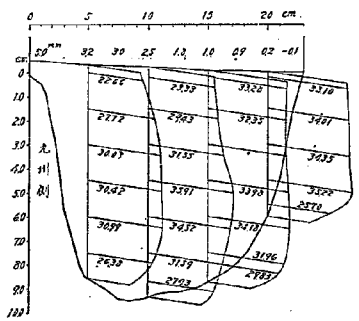
第 22 圖　斷面 5, 逆流



第 23 圖　斷面 1, 逆流

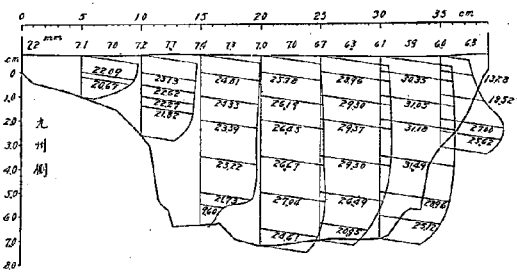


第 24 圖　斷面 6, 逆流

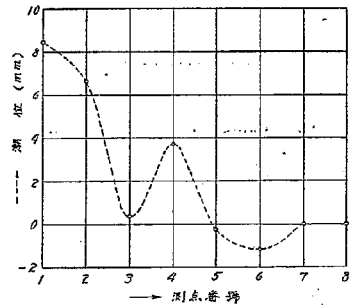


第 25 圖　斷面 2, 逆流

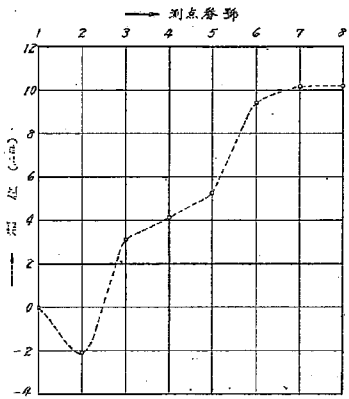
場合には渦の形狀及び流速の大きさ，分布等は門司埼東側の渦を除き何れも防波堤なき場合と殆ど異る處がない．卽ちこの時は防波堤 I は殆ど流れの狀況に影響する事がなく，最大流速は斷面 6 の附近にて生ずる．



第 26 圖　斷面 4，逆流



第 27 圖 (a)



第 27 圖 (b)

防波堤 I のある場合に海峽を通過する流量は正流の時に平均 3·25 l/sec，逆流の時に平均 4.45 l/sec で何れも防波堤なき場合に比すれば 3～8% の程度で增加してゐる．卽ち流速の分布狀態が稍平均して，且平均流速に於ては稍增加せる事を示してゐる．從つて之より縮流による損失の程度をも見る事が出來る．

水位曲線は第 16 圖と同じ方法にて畫けるものを第 27 圖に示す．(a) は正流，(b) は逆流の場合であつて，點線を用ひたのは前と同じく斷面 3 を締切りたる狀態なる事を表はす爲である．之を第 16 圖の (a) 又は (c) と比較すれば，防波堤東端部に該當する測點 2 附近の水位が正流逆流共に特に著しく低下してゐる事が見られる．

次に防波堤 I を取り除き第 7 圖に II を以て示せる防波堤（門司埼より西側に突出して北側より門司港を圍む）を取り付け，前と同じく正流及び逆流に對して觀測を行つた．流速分布を觀測せる斷面は 1, 6, 2, 7 及び 4 (第 7 圖參照) であつて東西兩測水面の落差は 9 mm である．

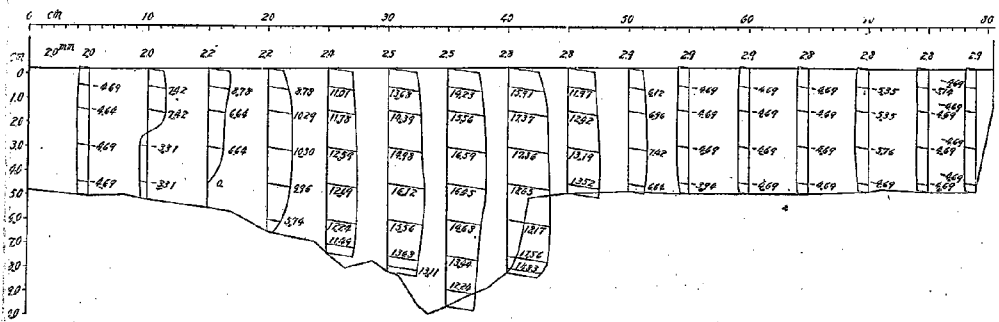
測定せる流速分布曲線は全部之を省略するが，得たる結果の主なるものを擧げれば，正流の場合には門司埼の稍下流にて小さき渦動を生じてゐるが之は表面のみで底部に及んでゐない．最大流速は斷面 2 の附近にあり，測り得たる最大値は 40.87 cm/sec である．この時の通過流量は平均 3.81 l/sec であつた．逆流の場合は流速分布は可成り均一であるが最大流速は斷面 2 の附近にあつて 41.37 cm に達した．その時の通過流量は平均 3.81 l/sec で防波堤のなき場合又は防波堤 I のある場合よりも小さくなつてゐる．尙この場合の著しい現象は門司港內に起るセイシュであつて港の最奥端にて波高 10 mm に及びその週期は 3.93 sec であつた．このセイシュに伴つて下關港前面に當る水面も波高數粍

程度の振動を生じた．門司港の最奥端より彦島東岸までの距離は模型上にては約 1.20 m であつてこの附近の水深は平均 4 cm 位であるからこの水域の自由振動週期は

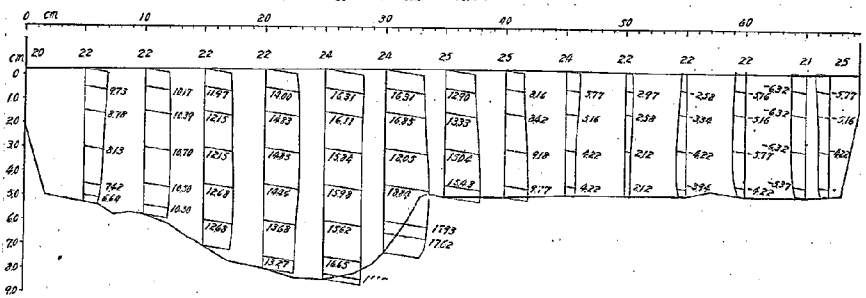
$$1.8\times\frac{120}{\sqrt{980\times4}}=3.45\ \text{sec}$$

であるから上述の測定値に近い値となる．卽ちこのセイシュの現象は彦島の存在によつて助成されてゐるものと考へられる．

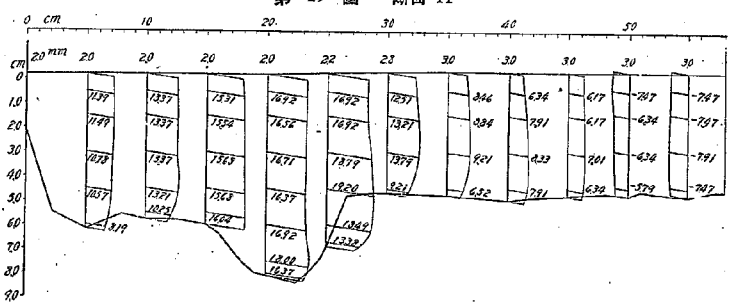
(3) 下關港前面の水流　　小瀨戸の締切りによつて水流の狀態に最も大なる變化を生ずる場所は



第 28 圖　斷面 10



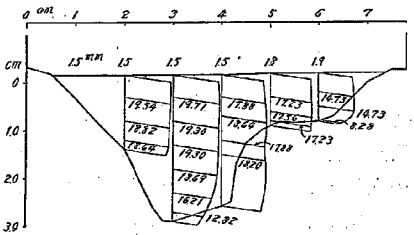
第 29 圖　斷面 11



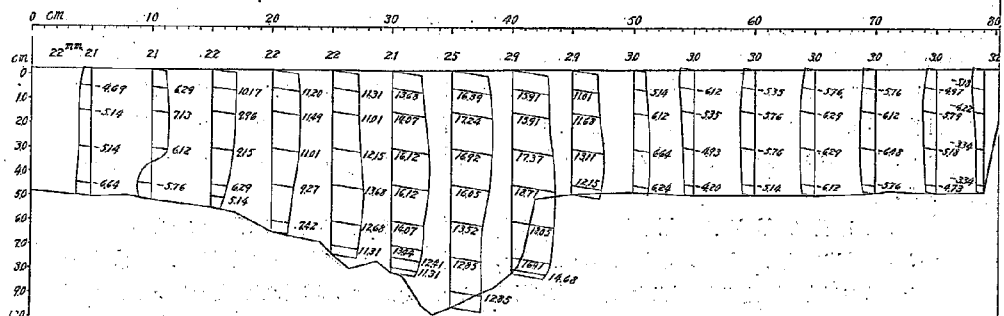
第 30 圖　斷面 12.

下關港前面の水域である．この附近の狀態を明かにする爲に小瀨戸を締切りたる場合に於て更に彦島と巖流島の間の水路（第7圖に於ける斷面 9）を締切りたる時と之を開放せる時に就て，この附近の水流の流速分布を落差 9 mm の正流の狀態に就て測定した．斷面 8 に於ける流速を見るに斷面 9 の締切りの影響は巖流島に近き部分の流速を減少せしめると同時に，下關岸附近の小渦動を消失せしめてゐる．而して最大流速の大きさの減少は 24.33 cm/sec なりしものが 19.85 cm/sec となつた．斷面 8 の西側は水深淺く亂流となる爲に流速を測り得なかつたが斷面 9 の締切りにより流速の低下する程度は相當に大きい．

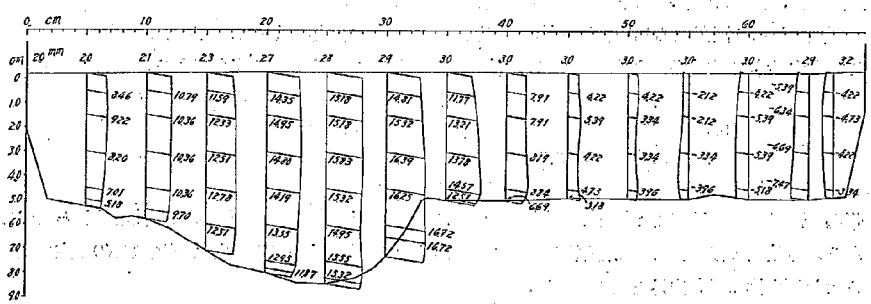
然し乍らこの下關と彦島の間の海面を將來港として使用せんとする時はこの部分の水深が增加するから水流の狀態も相當に變化する筈である．從つてこの部分を水深 50 mm（實際の 10 m に當る）に浚渫し第 7 圖の斷面 10, 11 及び 12 に就て前と同樣にして流速分布を測定した．測定は落差 9 mm にて正流且つ小瀨戸締切りの場合に限つたが彦島と巖流島との間卽ち斷面 9 は開放の場合と締



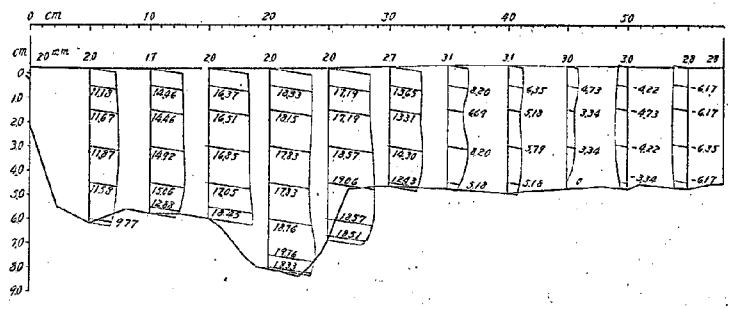
第 31 圖　斷面 12



第 32 圖　斷面 10（斷面 9 締切り）



第 33 圖　斷面 11（斷面 9 締切り）



第 34 圖　斷面 12 (斷面 9 締切り)

切りの場合との二種に就て行つた. 第 28 圖～第 31 圖に示すものはこの斷面 9 を開放せる場合の各斷面の流速分布曲線を示せるものであつて, 第 32 圖～第 34 圖は斷面 9 を締切りたる場合の各斷面の流速分布曲線である. 前と同じく流速は斷面にほゞ直角に取つてゐるが大體之が平均の水流の方向となる樣に斷面の位置を撰んだ.

第 28 圖と第 32 圖, 第 29 圖と第 33 圖, 第 30 圖と第 34 圖とを夫々に比較すればこの水面の西側には斷面 9 の狀態如何に拘らず常に略同じ大さの渦を生じてゐることが見られる. 然しその東側の流速は斷面 9 の開閉によつて相異を示してゐる. 卽ちその變化の最も著しい斷面に於ては海峽の流心部にて最大流速が 18.00 cm/sec なりしものが斷面 9 の締切りによつて 19.76 cm/sec に增加する程度である. 下關港前面の海面は大部分が常に略同大の渦にて占められるのであるが之は渦の廻轉速度に於ても大なる變化はなく, 唯全體として形が多少變化すると考へられるのみである. 從つて斷面 9 の締切りの影響は海峽流心部の水流に及ぼす處は大きいが下關港前面に及ぶ影響は小さいと思はれる.

(4) 海峽內に於ける波の傳播速度　之まで行へる試驗は總て潮流を定流と假定せるものであるから最强流速の附近に於てのみ當嵌まると考へられる. 此處にはその缺點を補ふ意味に於て防波堤の如き構造物が波の傳播速度に及ぼす影響に就て簡單なる試驗を行つた. 模型の上流端又は下流端より波高 10 mm 前後の波を送り, 第 7 圖にて *I*, *II*,……*VI* を以て示せる矢印の部分にて傳播速度を測定した. 但しこの模型は下關港前面を浚渫せざる狀態である.[1]

測定の極めて困難なる爲に結果は精度に乏しいが, 大體の程度を示すものとして次に表を以て示す. この表中 (*a*) は防波堤なき場合, (*b*) は防波堤 I 及び II の兩方がある場合である.

	I	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*
(*a*)	4.5	4.5	5.0	4.0	—	4.0
(*b*)	5.5	5.5	6.0	5.2	4.0	4.8

(單位は cm/sec)

但し *I*, *II* 及び *III* は上流側より波を送れるもの, *IV*, *V* 及び *VI* は下流側より波を送れるものである. 防波堤の存在によつて傳播速度の增加する事は當然考へられるが增加の程度はこの測定の結果るよれば大体 20% 內外となつてゐる.

1) 本試驗は前節の下關港內の水流に關する試驗よりも前に行つたものである.

〔5〕結　　言

(1) **小瀨戸締切りの影響**　之は試驗の點より見れば最も容易な問題であるから比較的明かな結果が得られてゐる．卽ち正流の時は海峽を通過する流量は小瀨戸締切りによつて 4～5% を減じ，從つて斷面 2 に於ける最下流速もその程度の減少を來してゐる．唯測定の結果に於ては逆流の時の測量の變化が殆ど見られず，斷面 2 に於ける流速も增減しない．斷面 4 卽ち大瀨戸の流速は正逆何れの場合にも小瀨戸締切りの結果として增大するが之は當然の事である．增加の量は第 11 圖又は第 15 圖に見られる程度であつて，斷面 2 に於ける最大逆流の大さにまで達する事はない．

之等の流速の變化は測點 3 及び 4 の附近の水面卽ち早鞆瀨戸と大瀨戸の間に位する幅廣き部分の水面の昇降によるものであつて，小瀨戸の締切りによりこの水面は正流の場合は昇り逆流の場合は下る．第 16 圖 (*b*) より見れば正流の場合に於ける測點 3 附近の水位上昇は約 0.4 mm であつて，測點 2 及び 3 の間の落差を約 6.2 mm より約 5.9 mm に減ずる．而して之によれば早鞆瀨戸の流速は約 3% を減ずる事となる．之は直接測定した結果と稍異るが水面測定にも誤差が相當に含まれるから直ちに何れを正しいとも言ひ得ないが，此處には試驗の結果として得たる流速の減少を 3～5% として置く．逆流の時は同圖 (*c*) より見れば測點 4 附近にて約 0.5 mm 測點 3 附近にて約 0.3 mm の水面低下を來してゐるのであるから斷面 2 の流速は多少の減少を見るべき筈であるが實測の結果には之が充分に現はれなかつた．

上述の數値は總て海峽兩側の落差 9 mm の場合であるが，次にこの落差が 7 mm の場合卽ち實際の落差 1.40 m に相當する狀態に關する數値を見るに，最大流速に就ては既に第 11 頁に示した樣な値となつてゐる．平均流速の水理學的相似律は水平の縮尺を $1/n_1$ 鉛直の縮尺を $1/n_2$ とすれば

$$\frac{v'}{v}=\frac{C'\sqrt{n_1}}{Cn_2}$$

但し v, v' は實際及び模型の平均流速，C, C' は實際及び模型に對する平均流速公式の係數である．この場合は

$$n_1=3{,}750, \qquad n_2=200$$

であるから

$$C'/C=1/3$$

とすれば

$$v'/v=0.1021$$

この平均流速に對する相似律が上記の最大流速に對しても大體適用されるものと考へれば，[1] 測り得たる最大流速 36.45 cm/sec に相當する流速は約 35.67 cm/sec である，之は 7 節程度の流速であつて實際の測定に於ても朔望時にはこの程度の結果を得てゐる．唯この相似律に於ては粗度の取り方により結果に可成りの相異のある事を知らねばならない．

下關海峽に於ける潮位と流向の關係は潮位の高き時に正流（西流），潮位の低き時に逆流（東流）で

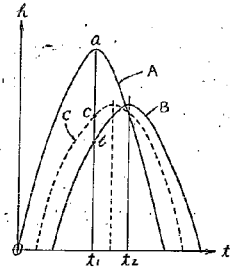
1) 玆に言ふ最大流速は或る斷面內の眞の最大流速ではなく測り得たる最大流速であつて，それに近い大きさの流量が相當の範圍に亘つて存在するのであるから流速曲線に甚しき相異のない限りこの假定は多くの場合大過ないものである．

あるが，小瀬戸締切りの結果は下關門司兩港の水面を正流時には締切り前よりも若干上昇せしめ逆流時には反對に若干下降せしめるのであるから，この附近の水面の潮差 (Tidal range) は多少增加する事となる．その量は實驗の結果より見れば潮流の最強時に於て 5～10 cm の程度と考へられる．

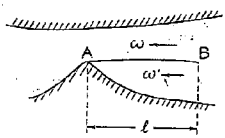
(2) **早鞆瀨戸附近に防波堤を築造せる時に之が潮流に及ぼす影響**　試驗の測定値に就て述べる前に考へ置くべき事は，測定は定流狀態にて行はれてゐるがこの種の構造物は潮波の傳播速度を變化せしめ，その點からも潮流の流速に影響を及ぼしてゐると言ふ點である．本試驗に於て作製せる形の防波堤は何れもこの傳播速度を增加せしめる樣な形狀であるから，之は海峽兩側の水位差を減少せしめ從つて潮流の流速を若干低下せしめる．

海峽內の波の傳播速度に關しては前節の (4) に於て實驗の結果を述べたがそれより見ても傳播速度の增加は 20% 程度のものであり，又早鞆瀨戸或は大瀨戸を潮波が通過するに要する時間は 10 分內外であるから，水位差の變化を表はす量卽ち第 35 圖の bc は甚だ微量となり從つてこの傳播速度の變化より生ずる流速の低下は小なる値に止るものと考へられる．(第 35 圖 A は海峽上流側の潮位曲線，B 及び C は下流側の潮位曲線であつて B は防波堤なき時のもの，C は防波堤のある時のものである．)

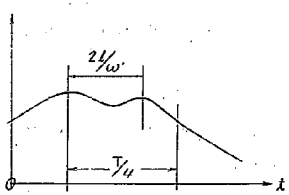
定流としての流速を考へたる時は防波堤の存在の影響の主なるものは縮流の除去であつて，海峽を



第 35 圖



第 36 圖



第 37 圖

通過する流量はその爲に相當に增加する．然し他方縮流の除去は斷面內の流速分布を一樣ならしめ最大流速の大きさを低下せしめる．

之に關しては第 9 圖及び第 20 圖を比較すれば防波堤 I を設けたる場合の流速の變化を見る事が出來る．卽ち實驗の結果によれば防波堤の存在により西流時の最大流速は約 2% を減じてゐる．然し一方に於て第 8 圖と第 18 圖を比較する事により流速の大なる部分が非常に延長されたる事を知る．從つて小船舶の遡行に對しては防波堤の存在は好き影響を與ふるものとは言ひ難い．防波堤 II に對しても同樣に言ひ得る．

次に防波堤の流速調節作用の一つとして第 36 圖の如き場合を考へる．潮波が防波堤の先端 B に達すればその一部は傳播速度 ω を以て海峽を通過し，他の部分は傳播速度 ω' を以て灣內に進入する．後者は灣奥に達すれば反射して $2l/\omega'$ の時間後には再び B に達し，從つて B の附近に於ける水位は第 37 圖の如く波頂の通過後 $2l/\omega'$ にして第二の波頂が現はれる．潮波の週期を T とする時に若し $2l/\omega'$ が $T/8$～$T/4$ の大さに達すれば防波堤は相當の調節作用を有するものと考へられるが，之が

小さい時には殆ど影響がない．然るに現在潮波の波頂が青濱前面より壇之浦町驗潮所附近に達するに約 1/5 時間を要し，防波堤を築造するもこの傳播速度には大差なく却つて稍速くなるものと考へられるから $2l/\omega'$ に相當する時間は 2/5 時間以下になる．而して $T/8$ は約 1.5 時間と考へられるからこの場合は防波堤の貯水作用による流速の調節は殆ど期待されない．

之等の結果より見れば防波堤の流速調節上の效果としては單に流線を整正ならしめ，且つ最大流速を多少低下せしめるのみである．

（3）下關港前面の水流　小瀨戸締切後にこの海面全體を港灣として利用する目的を以て水深 10 m に掘鑿せる場合を豫想して行つた實驗の結果に就ては前節の (3) に於て詳述した．之は海峽海面を利用する爲には彦島と巖流島の間に尙一つの締切りを要するや否やを調べたものであつて，その結果この海面には常に大なる渦動が存在し締切りの影響は南方の一部分に於て見られるのみである事を知つた．

海底の堆積砂に關しては小瀨戸を締切れば此處よりの土砂の供給はなくなるが流れが無くなる爲に他より運ばれる土砂の沈澱は遙かに多くなるものと考へなければならない．唯浚渫によつて水深が大きくなれば渦動に於ても水の線速度は大きくなり土砂の沈澱を妨げる．而してこの部分の渦動中の水の速度は門司港內の渦による水の速度に比して稍小さいのであるから土砂の堆積狀態も門司港內と大差なく之よりも稍多い程度であらう．

實驗は西流に就てのみ行はれたが東流の場合は港內の渦の大さは西流の時よりも東に大きくなり，彦島と巖流島の間を通る流量は極めて小さいものと思はれる．

（4）水深の流速に及ぼす影響に就ての一考察　下關海峽內の航路に當る部分は幅約 500 m の間を水深11 m 以上に保つ樣に浚渫されてゐるが，[1] 若し將來之が現在以上の水深にまで浚渫されたる時に潮流の流速に如何なる變化を生ずべきかを考へる．早鞆瀨戸の中央部は水深 20 m 以上に達するからこれ以上に浚渫される事は考へ難いが，たとへ若干の水深增加があつてもかゝる大なる水深に於ては流速と水深が如何なる關係にあるかは俄に斷じ得ない．一般の平均流速公式がかゝる大水深に對しては適用し難い事は明かであつて，水深無限大の時の落差 h なる二點間の流速は $\sqrt{2gh}$ の値に近付くものと考へられる．事實早鞆瀨戸附近の潮流の流速は $\sqrt{2gh}$ に近い値となつてゐるのである．

大瀨戸附近の水深は現在略 11 m に保たれてゐるのであるがこの程度の水深でも旣に平均流速公式の適用には疑問があると思ふ．卽ち水深が增大しても平均流速公式より計算される程に流速の增加は生じないと考へられる．之等の關係が明瞭ならざる以上は模型試驗を行ふも無意義であるから試驗はこの問題に及ぼさなかつた．

〔附言〕 下關海峽の潮流に關しては尙試驗研究すべき問題が殘されてゐるが試驗設備等の關係上この模型による試驗は之を以て終了し，他の問題は次の機會に讓る事とした．

---

1) 模型は之を13 m に相當する水深以上となる樣にした．

基礎版の基本的研究(第1報)

內務技師　松村孫治

目　次

緒　言 ……(1)
I　地盤の力學的性質 ……(2)
II　近似計算法 ……(3)
III　計算法の近似の程度 ……(6)
IV　α 及 ε と地盤反力及彎曲力率 ……(12)
附錄 I ……(23)
附錄 II ……(28)
附錄 III ……(30)

緒　言

道路の鋪裝版，閘門の基礎版等直接地盤に支持される版は土木工事に於ては屢々使用される．是等の版を設計するには版に生ずる應力從つて基礎版に作用する地盤反力の大きさを求める必要がある．然るに今日迄地盤反力を求める合理的なる方法は存在せず，從つて基礎版の合理的設計は不可能なる狀態にある．

從來地盤反力の大きさを求めるには大體次の諸方法が使用され來つた．

1.　地盤反力の分布を適當に假定する方法

2.　地盤に特種の力學的性質を假定する方法

1. は地盤反力の分布曲線を矩形，三角形，二次曲線其の他適當なる曲線に假定し，版に作用する全重量と反力の總和とが等しき條件の下に求める方法である．彈床係數 (Bettungziffer)を用ふる方法(林博士[1])，基礎地盤上に集中荷重の作用したる場合の表面の沈下曲線に適當なる函數を用ふる方法(Wieghart[2])，及地盤を彈性體と考ふる方法等は何れも 2 に屬する．1 は唯便宜的方法にして何等の理論的根據を有せず，その適否は實驗的研究又は 2 の方法による研究の結果明となる．2 の諸方法に於ても實在地盤の有する力學的性質が上記の諸假定の何れに最もよく適合するかがそれ等諸方法の適否の分る〻點にして實驗的研究を俟つて始めて明にし得る．

本文は 2 に屬する從來餘り取扱はれなかつた彈性地盤上に設置せる基礎版に作用する地盤反力の近似的計算法に就き述べたるものにして，その第1步として版の長さに比して幅は極めて小に，地盤反力は長さの方向のみに變化すると考へて，對稱なる荷重の作用する場合に就て計算し，本計算法が如何なる程度に信賴し得るかを確めんとす．

---

1) 九大工科大學紀要 第一册第四號 大正八年一月
2) Wieghart : Z. ang. Math. u. Mech. 1922, S. 165

I 地盤の力學的性質

實在地盤は多種多樣にその力學的性質は極めて複雜にして，變形と應力との間の關係を1つの式にて表すは元より，個々の地盤に就ても簡單なる式にて示すは多くの場合殆んど不可能である．其の上地盤の力學的性質は深さ，載荷面よりの距離，含水量等により著しく異なり，從つて解析的及實驗的研究が著しく困難である．

地盤を構成する物質の力學的性質に關する實驗結果に依れば，地盤中最も堅硬なる岩石に就ては彈性係數（外力と變形量との比）は外力の大さにより，張力なると壓力なるとにより値を異にする．然し外力の餘り大ならざる限り近似的に一定と見做し得，且つ一般に基礎地盤中に作用する壓力は主として應壓力なるを以て岩石より構成する地盤は近似的に彈性地盤と見做し得る．粘土，ローム，砂質の地盤に就ては多くの載荷試驗が行はれて居り，それ等の結果に據れば地盤表面の沈下は載荷面の附近のみならずその周邊にも生じ，又單位荷重强度が等しき場合沈下量は載荷面積の形狀，大さ等に關係する，從つて特別なる場合を除き所謂彈床地盤の假定は根本的に實在地盤の力學的性質と異なつてゐる．粘土，ローム等の供試體を製作し彈性係數を求めるに壓力が增加すると共に減少する．然し東京山手赤土に就て實驗したる結果によれば 1 kg/cm² の範圍內の應壓力に對しては彈性係數が大體一定なるを知つた．砂，砂利等の地盤に於ては pressure cell を用ひて壓力を測定せる結果によれば尠くとも人工的に堆積せる砂層に於ては砂中及底部の壓力分布は半無限彈性體として求めたる結果とは一致せざる如くである．然し實在地盤を構成する水分を含有し，又は粘土等を混合せる砂層，砂利層或は砂，砂利交り粘土等に就てはその力學的性質は實驗的に明でなく，赤土等に近き性質を有すると考へらる．地盤を構成する物質の力學的性質は作用する外力の性質，卽ち靜的なるか動的なるか，又動的なる時は作用する時間の長短により著しく異なるは實驗的に明である．

かく地盤の力學的性質は極めて複雜なるを以て，その儘にて理論的の取扱ひを爲すは殆んど不可能である．從つて實在地盤に代るに比較的簡單なる力學的性質を有する地盤を假定し，それより得たる結果を實在地盤に適用して滿足しなければならぬ狀態にある．彈床地盤の假定，Wieghart 氏による假定も1つの假想的地盤としての價値があり，彈性體に等しき力學的性質を有する地盤も亦1つの假想的地盤である．然しそれ等を實際問題に適用するに當りては充分實驗的に妥當性を確めて使用する必要がある．唯數學的取扱ひが簡單なる理由の下に實在地盤の力學的性質の如何を確めずして使用する場合は壓力分布曲線を假定すると全く同樣になる．

※ Wieghart 氏の假定せる地盤上に設置せる桁の問題は同氏により取扱はれ，彈床地盤上に設置せる桁及版の問題は數學的取扱ひが比較的簡單なるを以て從來多くの研究者により色々なる場合の解が求められ，基礎地盤は總てかゝる力學的性質を有するかの感を呈してゐる．彈性地盤上に設置せる桁又は版に作用する地盤反力を求める計算はその數學的取扱ひが困難なるを以て極めて特別なる場合に就てのみ解が求められてゐるに過ぎず，一般的の場合に於ける正確なる解を求めるは今日の狀態に

於ては殆んど不可能である．然るに基礎版に作用する地盤反力を理論的に求めるに當りては彈性地盤は1つの假想的地盤として存在の價値があり，又實在地盤への適用の範圍は彈床地盤より廣いと考へらるゝを以て，版に作用する地盤反力を求むるは基礎版の設計上極めて必要なるを以て彈性地盤上に設置せる版の問題は工學上，特に基礎工學上非常に重要なる事項と云はなければならぬ．上述の如く理論的に正確なる解を求めるは不可能なるを以て勢ひ近似計算を使用しなければならぬ，然し實在地盤には完全なる彈性體は存在せず單に力學的性質が彈性體に近似してゐるに過ぎず．彈性體として求めたる正確なる計算結果も實際問題に適用するに當りては彈性不完全による誤差の爲に解そのものが一種の近似解となる．從つて理論上は別として實用上の立場よりすれば近似計算の正確度が相當なる程度に達する場合には充分目的に適すると云ふ事が出來る．

II 近 似 計 算 法

〔1〕 近似計算法

近似計算法として種々なる方法が考へらるゝが，本文に於ける方法は大體次の如くである．適當なる數種の地盤反力分布（級數の各項を以てす）を假定し，實際の地盤反力はそれ等のものを適當に組み合せたるものと考ふる，然る時個々の地盤反力分布による基礎地盤の表面の沈下，地盤反力及荷重による桁の撓度を算定することが出來る．而してかく求めたる地盤の沈下と桁の撓度とを特定の點にて等しくする如く各地盤反力分布の組み合せを適當に定める．從つて最初に假定する地盤反力分布の種類を多くする時は地盤と桁とが接觸する點の數も亦增大し實際の狀態に近づくが，未知數が多くなり計算もそれと共に煩雜になつてくる．

本文中に使用する主なる記號は次の如し．（第1圖參照）

$2l$ ；	桁の長さ，	$2b$ ；	桁の幅
h ；	桁の厚さ，	I ；	桁の斷面の慣性能率
w ；	地盤表面の沈下，	w_0 ；	桁の中心線（$y=0$）の地盤表面の沈下
w_b ；	桁の端（$y=b$）の地盤表面の沈下，	v ；	桁の中立軸の撓度$=v_q+v_p$
v_q ；	地盤反力のみによる桁の撓度，	v_p ；	荷重のみによる桁の撓度
E_1 ；	桁の彈性係數，	E_2, σ_2 ；	地盤の彈性係數及ポアソン比
q ；	地盤反力，	p ；	桁に作用する荷重

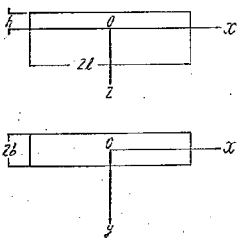
〔2〕 地盤反力

本文に於ては長さに比し幅の小なる矩形版に就て計算するを以て實際には地盤反力は桁の幅の方向には一樣でないが，基礎版の大さの決定は主として彎曲力率に依りて生ずる應力なるを以て，幅の方向の彎曲力率は長さの方向に比し著しく小となる，從つて本文の如き近似計算に於ては幅の方向の壓

力分布を無視して差し支へなく，問題は一元となり非常に簡單となる．

一般に地盤反力の大さは有限にして且つ全區域に亙り連續と考へられ，桁の長さも亦有限なるを以て地盤反力の分布曲線は冪級數（power series）にて表はし得る．級數の各項を最初に假定したる地盤反力分布と考ふる時は級數の適當なる項數を以て地盤反力を示し得る．今項數が無限なる時各項の係數が全部決定され得るならば問題の正確なる解が求められる譯であるが實際上不可能にして有限なる項數にて滿足しなければならぬ．

桁に作用する荷重は之を對稱なる部分と非對稱なる部分とに分つ事が出來，是等の荷重に相當する地盤反力も亦對稱なる分布と非對稱なる分布とを爲すを以て，荷重を對稱なる部分と非對稱なる部分に分つも一般性を失ふ事はない．



第 1 圖

第1圖に示す如く桁の中央に原點をとり，長さの方向を x 軸，幅の方向を y 軸，鉛直方向を z 軸とする．

地盤反力 $q(x)$ は次の如く示さる．（但し上方に作用するを正の方向とする）

$$q(x)=a_0+a_1\left(\frac{x}{l}\right)+a_2\left(\frac{x}{l}\right)^2+\cdots\cdots$$

然るに荷重が x に對し對稱なるを以て反力も亦對稱である．從つて桁の原點に於て地盤反力分布曲線は水平なる切線を有するを要す，

卽ち $$x=0;\qquad \frac{dq}{dx}=0$$

從つて對稱なる場合の地盤反力 $q(x)$ は (1) 式の如し．

$$q(x)=a_0+a_2\left(\frac{x}{l}\right)^2+a_3\left(\frac{x}{l}\right)^3+\cdots\cdots+a_n\left(\frac{x}{l}\right)^n \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

上式に於て $1,\ \left(\frac{x}{l}\right)^2,\ \left(\frac{x}{l}\right)^3$, etc. が豫め假定せる個々の地盤反力分布にして $a_0,\ a_2,\ a_3$, 等は桁の撓度と地盤表面の沈下とを等しくする如く定められる未知の常數を示す．

〔3〕 地盤表面の沈下 w

(1) 式に示す地盤反力による基礎地盤表面の沈下 w は地中に向ふを正の値とすれば附錄 I により次式の如く示さる．

$$w=\frac{1}{\pi}\frac{1-\sigma_2^2}{E_2}l(a_0A_0+a_2A_2+\cdots\cdots+a_nA_n)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

但し $A_0,\ A_2,\ A_3,\ A_4,\ A_5$ は次式により與へらる．（A_5 以上も同樣に計算し得れど本文に必要なるものゝみに止めた）．

$$
\left.\begin{aligned}
A_0&=\frac{1}{2}F_0(n\gamma,a,\xi)\\
A_2&=\frac{1}{2}\left\{F_0(n\gamma,a,\xi)-2F_1(n\gamma,a,\xi)+2F_2(n\gamma,a,\xi)\right\}\\
A_3&=\frac{1}{2}\left\{F_0(n\gamma,a,\xi)-3F_1(n\gamma,a,\xi)+6F_2(n\gamma,a,\xi)-6F_3(n\gamma,a,\xi)+12G_3(n\gamma,a,\xi)\right\}\\
A_4&=\frac{1}{2}\left\{F_0(n\gamma,a,\xi)-4F_1(n\gamma,a,\xi)+12F_2(n\gamma,a,\xi)-24F_3(n\gamma,a,\xi)+24F_4(n\gamma,a,\xi)\right\}\\
A_5&=\frac{1}{2}\left\{F_0(n\gamma,a,\xi)-5F_1(n\gamma,a,\xi)+20F_2(n\gamma,a,\xi)-60F_3(n\gamma,a,\xi)\right.\\
&\qquad\left.+120F_4(n\gamma,a,\xi)-120F_5(n\gamma,a,\xi)+240G_5(n\gamma,a,\xi)\right\}
\end{aligned}\right\}\cdots(3)
$$

式中 $n\gamma=x/l,\quad a=b/l,\quad \xi=y/l$

(3) 式の各函数を附錄 I の (12) 式に示す.

A_0, A_2, A_3, etc. の値は何れも $n\gamma$, a, ξ のみの函數にして桁の長さ, 幅, 厚さ, 地盤の力學的性質, 荷重, 及桁の限界條件には無關係なるを以て, 與へられたる a に對し $A_0, A_1,\cdots\cdots$ の値を計算して置く時はそれと形狀の相似なる總ての桁の任意の荷重, 任意の境界條件に使用し得る利點がある. 而して w_0 は上式に於て $\xi=0$, w_b は $\xi=a$ と置ける値で示さる.

〔4〕 桁の撓度

桁の撓度 v は

$$v=v_q+v_p$$

にて示され, 是等の値は普通の計算法により各荷重, 各限界條件に相當して容易に求め得る. 本文の計算に必要なる場合の v を求め附錄 II に示した. 一般に v は次の如く示さる.

$$v=\frac{bl^4}{E_1I}(a_0B_0+a_2B_2+\cdots\cdots+c+L)\cdots\cdots(4)$$

式中 B_0, B_2, 等は何れも桁の彈性係數, 大きさ等に無關係にして限界條件により定められ, L は荷重に關係する項にして是等は何れも豫め計算し得る, c は積分常數にして桁全體としての下方への移動を示す項である.

〔5〕 常數決定法

(3) 及 (4) 式より各點の地盤表面の沈下及桁の撓度を計算し得るを以て a_0, a_2, etc. を求める事が出來る. 上述の如く或る定められたる點に於て w と v とは等しきを以て

$$x=x_0, x_1,\cdots\cdots\ ;\qquad w=v\cdots\cdots(5)$$

なる關係を滿足しなければならぬ. 更に地盤反力の總和は桁に作用する全荷重に等しきを以て全荷重を $2P$ とすれば

$$a_0+\frac{1}{3}a_2+\frac{1}{4}a_3+\cdots\cdots=\frac{1}{l}P \quad\cdots\cdots(6)$$

なる關係がある．從つて (5) 及 (6) 式に示す聯立方程式を解きて a_0, a_2, a_3, etc. を求むれば (1) 式より地盤反力が得らるゝを以て桁の各點に作用する彎曲力率を計算し得る．

決定せんとする未知數の數を n 個とすれば (4) 式に示す如く桁の撓度を示す式中には1個の未知の常數が新に加はるを以て全體として $(n+1)$ 個となる．又常數 a_0, a_2, etc. を決定する關係式は (5) 及 (6) 式なるを以て n 個の個所に於て桁の撓度と地盤表面の沈下とを一致せしむるときは全體として $(n+1)$ 個の式が得られ，$(n+1)$ 個の未知數を決定することが出來る．既ち未知の常數の數と等しき個所に於て桁の撓度と地盤表面の沈下とを一致せしむることが出來，未知數の多き程兩者の一致する點も多く實際の狀態に近づく．

III 計算法の近似の程度

彈性地盤上に設置せる桁の正確なる解法は寡聞なる著者の知れる限りに於ては未だ存在せざるを以て本法の近似さが如何なる程度であるかを知るは元より不可能である，然し地盤表面の沈下と桁の撓度とを等しくする點が增加すると共に實際の狀態に近づくと考へても差し支へ無きを以て，沈下と撓度とを一致せしむる個所の增加と共に地盤反力分布及彎曲力率が如何なる變化を爲すかにより本文の近似計算法が大體どの程度の正確さを有するかを推定し得る．從つて本文に於ては $\alpha=b/l=0.01$ なる形狀を有し厚さ一樣なる桁に就て數値計算を行ひ地盤反力分布及彎曲力率が如何なる變化を受けるかを求めんとす．

〔1〕 基礎地盤表面の沈下

桁の中央線の撓度 w_0 は附錄 I の (13) 式より

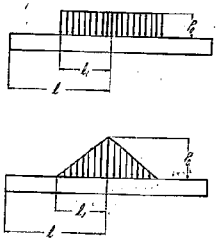
$$w_0=\frac{1}{\pi}\frac{1-\sigma_2^2}{E_2}l\,(a_0A_0+a_2A_2+a_3A_3+a_4A_4) \quad\cdots\cdots(7)$$

(7) 式の A_0, A_2, A_3 及 A_4 の値を $\alpha=0.01$, 0.02, 0.05 及 0.1 の 4 場合に求め附表第 1 に示す．同表に於ては A_3, A_2, A_3, A_4 の値を求めたるを以て未知の常數4個の場合迄計算することが出來，又それ等の値を $x/l=0$, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 及 1 の 6 個所に於て求めたるを以て6個所に於て地盤表面の沈下と桁の撓度とを一致せしめ得る．更に桁の端に於ける撓度 w_b は附錄 I の (17) 式により附表第1より直ちに求め得らるゝことを知る．

〔2〕 桁の撓度

兩端自由にて厚さ一樣なる桁の撓度は附錄 II より次の如し．

$$v=\frac{bl^4}{E_1I}(a_0B_0+a_2B_2+\cdots\cdots+c+L) \quad\cdots\cdots(8)$$



第 2 圖

式中 L は荷重に關係する項にして第2圖に示す如く等布荷重及三角形荷重の作用する場合の値のみを求めた.

B_0, B_2, B_3, B_4 及 L の値を附表第 2 に示す.

(7) 及 (8) 式より A_0,……B_0,…… L 等は E_1, E_2, l, b, h 等には全く無關係にして $\alpha=b/l$, $\xi=x/l$ 及 l_1/l のみの函數なるを以て α, ξ, l_1/l の値が變化せざる限り E_1, E_2, l, b, h 等が如何なる變化を爲すも地盤反力及彎曲力率は附表第1及第2の數値を用ひて計算し得る.

(5) 式に (7) 及 (8) 式を代入すれば

$$a_0(A_0-\varepsilon B_0)+a_2(A_2-\varepsilon B_2)+\cdots\cdots-\varepsilon c=\varepsilon L p_0 \quad\cdots\cdots(9)$$

但し $$\varepsilon=\frac{6\pi}{1-\alpha_2^2}\frac{E_2}{E_1}\left(\frac{l}{h}\right)^3$$

E_1, E_2, l, h は總て ε 中に含まる, 從つて ε を以て是等の値の變化を知り得る. ε は桁の彈性係數 (E_1), 及厚さ (h) に反比例し地盤の彈性係數 (E_2), 桁の長さ (l) に正比例する. 換言すれば桁が地盤に對し變形し易くなると共に ε の値は增大し, 變形し難きときは小となり, 桁が全く變形せざるときは $\varepsilon=0$ となる.

〔3〕 未知數の數及沈下と撓度とを一致せしめる個所の位置の影響

計算に使用する未知數の數及地盤表面の沈下と桁の撓度とを一致せしむべき個所の採り方の如何により地盤反力分布及彎曲力率が異なる譯にて是等の影響が著だしき場合は本文の近似計算法は使用し得られざるを以て先づそれ等の影響を調べる必要がある.

未知數は3個及4個の2場合とし, 沈下と撓度とを一致せしめる點の組み合せを次の如く夫々4組を撰んだ. 卽ち等布荷重に對しては

① $\xi=1,\ 0.8,\ 0.6,\ 0$	② $\xi=1,\ 0.8,\ 0.2,\ 0$
③ $\xi=1,\ 0.6,\ 0.4,\ 0$	④ $\xi=1,\ 0.4,\ 0.2,\ 0$
⑤ $\xi=1,\ 0.8,\ 0$	⑥ $\xi=1,\ 0.6,\ 0$
⑦ $\xi=1,\ 0.4,\ 0$	⑧ $\xi=1,\ 0.2,\ 0$

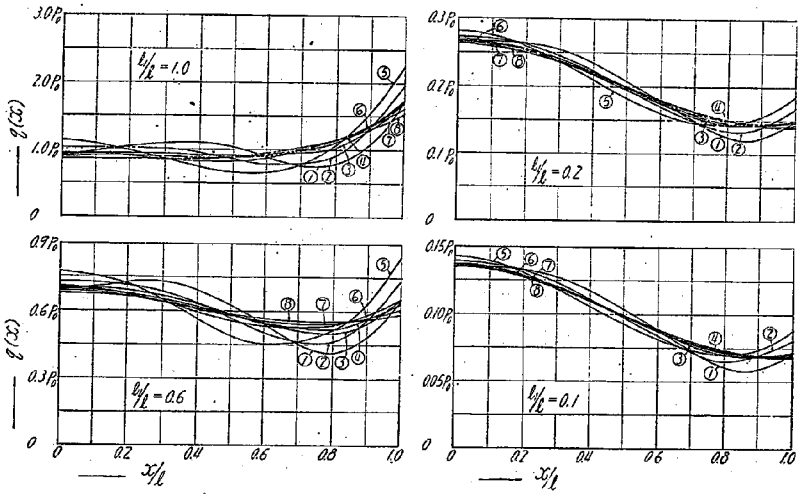
三角形荷重に對しては ② の代りに $\xi=1,\ 0.8,\ 0.4,\ 0$ なる組み合せを使用した.

a) 地盤反力の値 地盤反力 q は未知の常數 a_0, a_1, etc. を知る時は (1) 式より求めらる. 是等の値を第3圖及附表第3に示す.

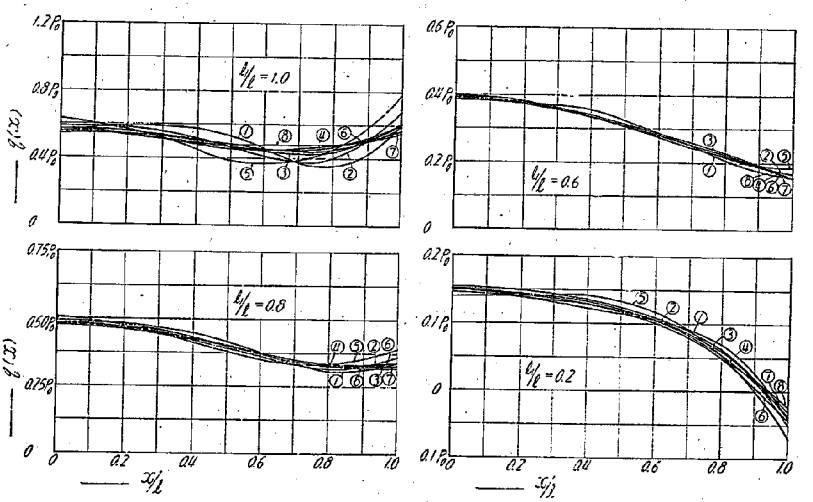
第3圖より未知數の數及位置による影響を知ることが出來る. 未知數の數に依る影響は3個と4個の場合とに於て多少認めらるゝが大體の傾向は兩者一致してゐる. 未知數4個の場合卽ち ①, ②, ③, ④ の曲線は各自の間に多少差異がある, 卽ち位置の撰び方により値が異なる, 之に反し未知數 3 個の場合は ⑤ を除き他の ⑥, ⑦, ⑧ は殆んど一致してゐる. 而して ⑤ は端に近き $\xi=0.8$ なる點にて沈下と撓度とを一致せしめたる極端の場合を示すを以て他と異なるは當然と云はねばならぬ. 未知數4個の場合も $\xi=0.8$ を含む ①, ② は他と異なるも含まざる ③, ④ は殆んど一致するを知る. 而

して是等の傾向は少くとも計算せる範圍内に於ては荷重狀態に無關係なることが認められる.

b) 彎曲力率の値　桁に生ずる彎曲力率は地盤反力により生ずるものと荷重により生ずるものとの



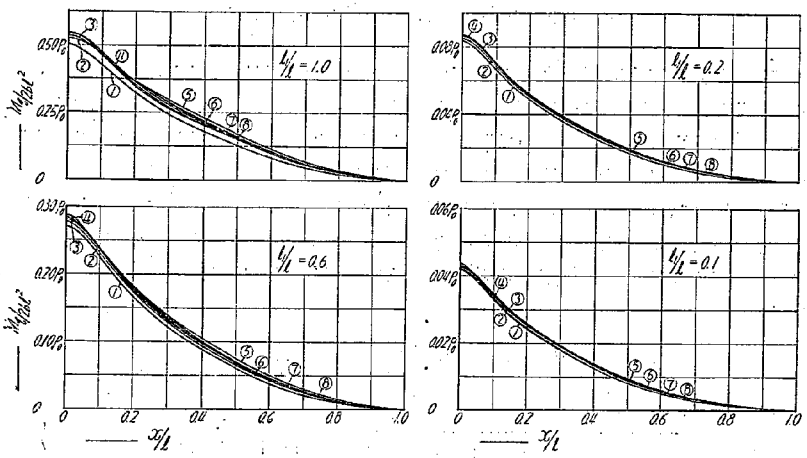
(*a*) 等 布 荷 重



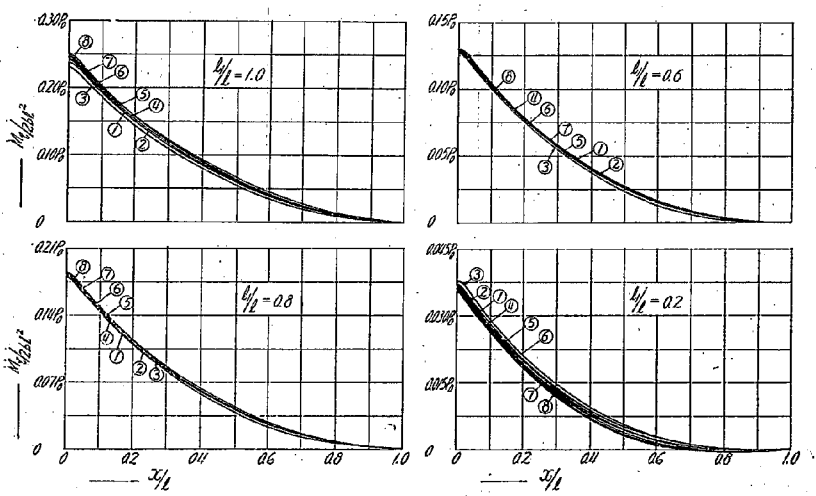
(*b*) 三 角 形 荷 重

第 3 圖　地盤反力の値 ($\alpha=0.01$, $\varepsilon=1$)

代數和にて示さる．然るに荷重より生ずるものは a_0, a_2, etc. に無關係なるを以て未知數の數及桁と地盤との撓度を等しくする點の位置の差異による影響を求めるには地盤反力のみによる値を算定すれば足る．その値を M_q とすれば附錄 II の (6) 式により次の如く示さる．



(a) 等 布 荷 重



(b) 三 角 形 荷 重

第 4 圖 地盤反力による撓曲力率 (α=0.01, ε=1)

$$M_q=-2bl^2\left(\frac{a_0}{2}\xi^2+\frac{a_2}{3\cdot4}\xi^4+\frac{a_3}{4\cdot5}\xi^5+\frac{a_4}{5\cdot6}\xi^6\right)+2bl^2c_1\xi-2bl^2c_2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

但し

$$c_1=a_0+\frac{a_2}{3}+\frac{a_3}{4}+\frac{a_4}{5}, \qquad c_2=\frac{a_0}{2}+\frac{a_2}{4}+\frac{a_3}{5}+\frac{a_4}{6}$$

$M_q/2bl^2$ の値を計算し第4圖及附表第4に示す.（圖には M_q の絶對値を示す）

第4圖に示す如く $M_q/2bl^2$ の値は① を除き他は殆んど一致し，未知數4個より求めたる値は未知數3個に比して絶對値が小である，かく圖に示す如く地盤反力分布に比して彎曲力率の差異は極めて小であると云はなければならぬ．然るに荷重によりて生ずる彎曲力率（M_l）と地盤反力による彎曲力率とは附號が異なる，從つて M_q の値の差異が僅少なる場合と雖も M_q と M_l との絶對値が殆んど等しき場合は，それ等の代數和なる全體の彎曲力率は小となるを以て M_q の差異の影響が著しくなる．

今各點の $(M_q+M_l)/2bl^2$ の値を求め附表第4に示し，一般に彎曲力率最大なる點 $\xi=0$ の値を第1表に示す．

第1表 $(M_q+M_l)/2bl^2$ の値 $(\xi=0)$

	一様なる荷重				三角形の荷重			
	$l_1/l=1.0$	$l_1/l=0.6$	$l_1/l=0.2$	$l_1/l=0.1$	$l_1/l=1.0$	$l_1/l=0.8$	$l_1/l=0.6$	$l_1/l=0.2$
①	−0.0040	−0.0911	−0.0641	−0.0367	−0.0649	−0.0735	−0.0672	−0.0314
②	−0.0227	−0.0977	−0.0655	−0.0375	−0.0712	−0.0752	−0.0689	−0.0305
③	−0.0337	−0.1017	−0.0664	−0.0379	−0.0750	−0.0762	−0.0703	−0.0301
④	−0.0402	−0.1039	−0.0668	−0.0381	−0.0771	−0.0767	−0.0699	−0.0297
⑤	−0.0450	−0.1060	−0.0670	−0.0381	−0.0789	−0.0774	−0.0697	−0.0291
⑥	−0.0467	−0.1066	−0.0672	−0.0381	−0.0795	−0.0776	−0.0698	−0.0290
⑦	−0.0471	−0.1068	−0.0672	−0.0381	−0.0796	−0.0777	−0.0698	−0.0290
⑧	−0.0473	−0.1068	−0.0672	−0.0381	−0.0825	−0.0792	−0.0705	−0.0288

但し表中の値は p_0 の係數を示す.

第1表より等布荷重の $l_1/l=1.0$ なる場合は丁度 M_q と M_l との絶對値が殆ど等しき場合にして①，②，③，etc. の各値の差異は比較的大であるが他の場合は ① を除き他のものは殆ど一致してゐる．而して M_q と M_l との絶對値が殆ど等しきことは彎曲力率の小なる事を意味する．即ち小なるもの>差異なるを以て設計上はさして重大なる影響はないと考へらる．第4圖より三角形荷重の $l_1/l=0.2$ の場合を除き他は何れも未知數3個の場合が4個の場合に比して M_q の絶對値は大である．

是等の計算の結果未知數の數及撓度と沈下とを一致せしむべき點の位置の地盤反力分布及彎曲力率に及ぼす影響の大體の傾向を推定することが出來，本法は設計の基準とするに足る地盤反力及彎曲力率を與へ得る可能性あるを知つた．

上記の計算は $\alpha=0.01$, $\varepsilon=1$ の場合に就て行ひたるが α 及 ε の値が異なる場合にも類似の結果が得られるかを確める必要がある．而して $\alpha=0.01$, $\varepsilon=5$, 10, 15, $\alpha=0.02$, $\varepsilon=1$, 10, $\alpha=0.05$, $\varepsilon=1$, 10

及 $\alpha=0.1, \varepsilon=1, 10$ の諸場合に計算を行ひ附錄 III に示した．その結果に依れば未知數の數，位置の撰び方による影響が $\alpha=0.01, \varepsilon=1$ と相似たるものであることを知つた．

〔4〕 最小二乘法による常數決定法

本文の計算法に於ては未知の常數 a_0, a_2, etc. を決定するに (9) 式より求めたるを以て桁の撓度と基礎地盤表面の沈下は特定の點に於てのみ等しい．本節に於ては (9) 式は一般に滿足せられざるものとしてその差異を d と置き $\Sigma d^2=\min$ なる條件を滿足する如く常數 a_0, a_2, etc. を求めた，而して是等の方法より求めたる結果と本文の近似計算法に依るものとの間に如何なる差異があるかは本近似計算法の近似の程度を推定する一資料となると考へらる．計算は $\alpha=0.1, \varepsilon=1$ にして厚さ一樣なる桁に一樣なる荷重が作用する場合次の 3 場合に就て行つた．

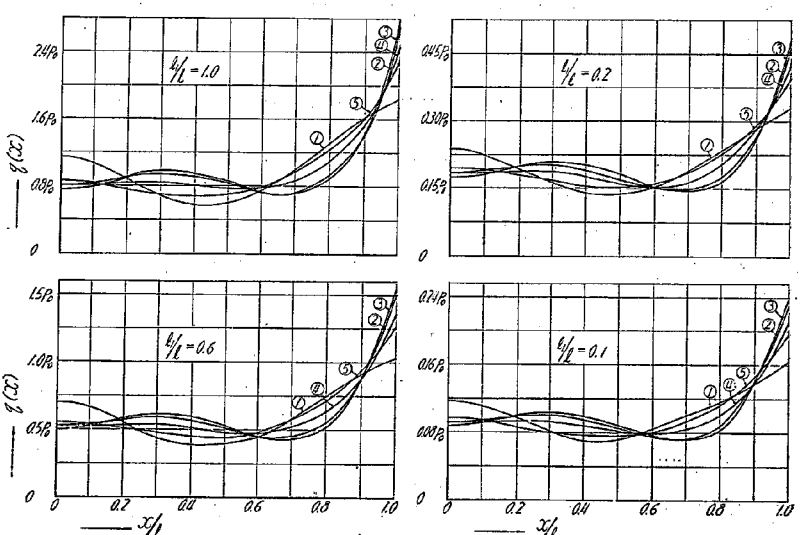
① 總ての點にて地盤表面の沈下と桁の撓度とを一致せしめざる場合

② $x=0$ 卽ち中央に於てのみ撓度と沈下とを一致せしめる場合

③ $x=0$ 及 $x=l$ に於て撓度と沈下とを一致せしめる場合

① は普通の最小二乘法により，② 及 ③ は條件附の最小二乘法により容易に求めらる．計算は省略し結果のみを示す．

地盤反力の値を第 5 圖に，桁の中央の彎曲力率の値を第 2 表に示す．近似計算法と比較する爲に $\xi=0, 0.4, 0.6, 1$ 及 $\xi=0, 0.6, 1$ なる個所に於て基礎地盤表面の沈下と桁の撓度とを一致せしめたるときの値を夫々 ④ 及 ⑤ にて圖及表中に示した．



第 5 圖　地盤反力の値 ($\alpha=0.1, \varepsilon=1$)

第 2 表 $M_q/2bl^2$ の値 ($\alpha=0.1$, $\varepsilon=1$) 一様なる荷重

	$l_1/l=1.0$	$l_1/l=0.6$	$l_1/l=0.2$	$l_1/l=0.1$
①	−0.56119	−0.32658	−0.10684	−0.05332
	−0.06119	*−0.14658*	*−0.08684*	*−0.04832*
②	−0.56246	−0.32721	−0.10701	−0.05340
	−0.06246	*−0.14721*	*−0.08701*	*−0.04840*
③	−0.56164	−0.32643	−0.10669	−0.05324
	−0.06164	*−0.14643*	*−0.08669*	*−0.04824*
④	−0.57504	−0.33404	−0.10917	−0.05447
	−0.07504	*−0.15404*	*−0.08917*	*−0.04847*
⑤	−0.58562	−0.33982	−0.11094	−0.05535
	−0.08562	*−0.15982*	*−0.09094*	*−0.05035*

但し表中の数字は總て p_0 の係数を示し，イタリックは $(M_q+M_1)/2bl^2$ 即ち桁に作用する實際の彎曲力率を示す.

地盤反力は第 5 圖に示す如く分布曲線の形狀は載荷面積即ち l_1/l に殆んど無關係にして ① 曲線を基準にとりそれに近似の程度に從つて竝ぶれば總ての場合に於て①, ⑤, ④, ②, ③ の順になり，最小二乘法により求めたる ① 及 ③ は 5 曲線中の兩極端を示し，更に詳細に見る時は ① と ⑤ 及 ④, ②, ③ は夫々同一の傾向を現はし ② と ③ は殆んど同一である. 第 2 表の桁の中央の彎曲力率は第 5 圖に示したる如く地盤反力の値に可成りの差異あるに拘らず最小二乘法より求めたる ①, ②, ③ は殆んど同樣にして何れの場合に於ても ④, ⑤ より絶對値小である.

今本文の近似計算法より求めたる ⑤ と ④, 及 ④ と最小二乘法より求めたる ①, ②, ③ 中の最小なるものとの差異を求むれば後者の方が多少大なるに過ぎざるを以て彎曲力率に關する限りに於ては最小二乘法によるものと，本文の計算法によるものとは實用上殆んど同一であると云ひ得る.

IV α 及 ε と地盤反力及彎曲力率

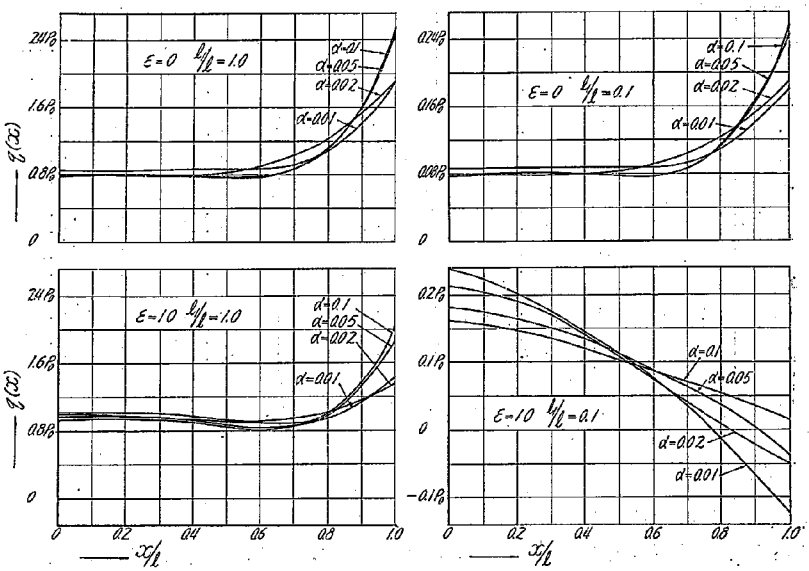
III に於て兩端自由にて厚さ一樣なる幅の狹き桁に等布及三角形荷重が作用したる場合の結果を求めた. 今其れ等の地盤反力分布及彎曲力率が $\alpha=b/l$ 及 $\varepsilon=\frac{6\pi}{1-\sigma_2^2}\frac{E_2}{E_1}\left(\frac{l}{h}\right)^3$ により如何に變化するかを調べることは基礎版の設計に當り多少參考になると考へらる. 上述の如く未知數の數及基礎地盤表面の沈下と桁の撓度とを一致せしめる點の位置により地盤反力分布及彎曲力率は多少その値を異にする，然し未知數の數及一致せしむる點の位置の同じ場合は大體同一の狀態にあると考へらるゝを以て是等が同一なる場合の値を比較しなければならぬ. 上記諸場合中未知數 4 個にて $x=l$, $0.6l$, $0.4l$, 0 の 4 點にて沈下と撓度とを一致せしめたる値が比較的平均値に近きを以て比較は此の値の等布荷重の作用する場合に就て行つた.

〔1〕 $\alpha=b/l$ の影響

本計算は桁の長さと幅との比が 0.01, 0.02, 0.05 及 0.1 なる 4 場合に就て行はれたるを以て $\varepsilon=0$, $\varepsilon=1$, $\varepsilon=10$ の場合に地盤反力分布及桁の中央に於ける彎曲力率が α の値により如何に變化するかを求め，地盤反力を第 6 圖に，彎曲力率を第 3 表に示す.

第6圖には代表的のものとして ε=0, 10 の各 l_1/l=1.0, 0.1 の 4 場合のみを示し他は附圖第 1 に示す.

第6圖に於て地盤反力は x=0 (桁の中央) に於て總ての場合に正 (壓力) にして α の値の小なる程大である. 之に反し $x=l$ (桁の端) に於ては正負何れの場合もあるが α の小なる程小である. 卽ち α の小なる程地盤反力は中央に集中する傾向を有す, 而して最大なる點は桁の中央又は端にして中間には存在しない. l_1/l=1.0 卽ち桁全體に等布荷重の作用する場合には分布曲線は α に著しく關係せざるも, l_1/l が小となり荷重が桁の中央に集中すると共に α に依る影響は著しくなる.



第 6 圖　地盤反力の値 ($\alpha=b/l$ の影響)

桁の中央に於ける彎曲力率は第 3 表に示す如く α が增加すると共に大となり α=0.01 と 0.1 との値の差異は ε が大なると共に增加し, l_1/l が小となると共に減少する傾向あり. ε=0 にて l_1/l=0.1 の場合は殆んど α に無關係と見做し得れど ε=10, l_1/l=1.0 の場合には可成りの差異を見出し得る.

〔2〕 ε の影響

ε は III に述べたる如く桁が地盤に對して變形し易きときは大となり, 變形し難きときは小となる. 從つて ε を桁及地盤の相對的の力學的性質を示す 1 つの尺度と見做し得るを以て ε の影響を求むれば, 地盤, 桁の彈性係數及桁の厚さと地盤反力分布曲線及桁の彎曲力率との關係が求めらる.

第3表 $M_q/2bl^2$ 及 $(M_q+M_l)/2bl^2$ の値

ε	α	$l_1/l=1.0$	$l_1/l=0.6$	$l_1/l=0.2$	$l_1/l=0.1$
0	0.01	−0.5510 *−0.0510*	−0.3306 *−0.1506*	−0.1102 *−0.0902*	−0.0551 *−0.0501*
	0.02	−0.5726 *−0.0726*	−0.3435 *−0.1635*	−0.1145 *−0.0945*	−0.0573 *−0.0523*
	0.05	−0.5791 *−0.0791*	−0.3475 *−0.1675*	−0.1158 *−0.0958*	−0.0579 *−0.0529*
	0.1	−0.5831 *−0.0831*	−0.3499 *−0.1699*	−0.1166 *−0.0966*	−0.0583 *−0.0533*
1	0.01	−0.5337 *−0.0337*	−0.2817 *−0.1017*	−0.0864 *−0.0664*	−0.0429 *−0.0379*
	0.02	−0.5546 *−0.0546*	−0.3045 *−0.1245*	−0.0939 *−0.0739*	−0.0477 *−0.0427*
	0.05	−0.5677 *−0.0677*	−0.3243 *−0.1443*	−0.1048 *−0.0848*	−0.0523 *−0.0473*
	0.1	−0.5750 *−0.0750*	−0.3340 *−0.1540*	−0.1092 *−0.0892*	−0.0545 *−0.0495*
10	0.01	−0.5067 *−0.0067*	−0.2045 *−0.0245*	−0.0472 *−0.0272*	−0.0225 *−0.0175*
	0.02	−0.5153 *−0.0153*	−0.2185 *−0.0385*	−0.0538 *−0.0338*	−0.0259 *−0.0209*
	0.05	−0.5281 *−0.0281*	−0.2436 *−0.0636*	−0.0661 *−0.0461*	−0.0323 *−0.0273*
	0.1	−0.5392 *−0.0392*	−0.2634 *−0.0834*	−0.0756 *−0.0556*	−0.0372 *−0.0322*

表の数字は p_0 の係数を示し，イタリックは $(M_q+M_l)/2bl^2$ の値を示す．

第7圖に $\alpha=0.01$ の場合地盤反力分布が ε により如何に變化するかを示した．而して $\alpha=0.02$, 0.05, 0.1 の場合も大體同樣にして其れ等の値を附圖第2に示す．

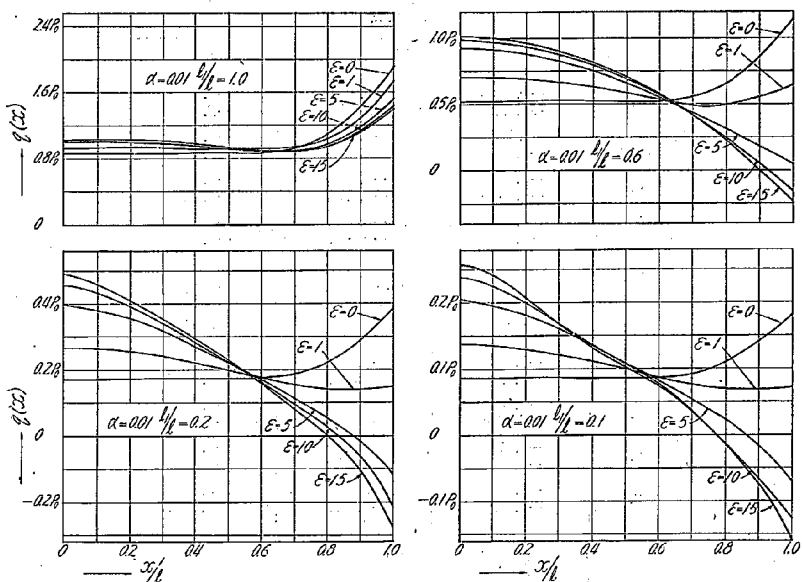
地盤反力は一般に桁の中央部に於てはεの小なる程小にして，桁の端に於ては却つてεの小なるもの程大となり，地盤反力の最大値は桁の中央又は端に生ず．桁全體に等布荷重の作用する場合は反力分布曲線はεに餘り影響なく端に於て最大となる．然し荷重が中央に集中すると共にεの大なる場合は端に於ける反力は漸次小となり，反力の値は負となる．

圖の $l_1/l=0.6$ の ε=10, 15 等は何れも地盤反力は負となる．而して反力の負となるは地盤が桁を支持せざることを意味し，長き小なる桁を使用する方が有効なることを示してゐる．

第4表に桁の中央に作用する彎曲力率を示す．

第4表に示す如く桁の中央の彎曲力率は何れの場合に於てもεの大なる程小となる．即ち比較的地盤に對して變形し易き桁に於ては作用する彎曲力率の小なる事を示してゐる．

以上極めて簡單なる場合に就て計算したるに過ぎないが，是等の結果によるも地盤反力分布曲線は同一形狀の桁に於ても荷重分布狀態地盤及桁の力學的性質等に依り可成り異なる曲線を示し，場合場合に適當なる曲線を假定することは實際上不可能なるは明である．



第 7 圖 地盤反力の値 (ε による影響)

第 4 表 $M_q/2bl^2$ 及 $(M_q+M_t)2bl^2$ の値

$\alpha=0.01$

l_1/l	ε=0	ε=1	ε=5	ε=10	ε=15
1.0	−0.5510	−0.5337	−0.5131	−0.5067	−0.5042
	−0.0510	*−0.0337*	*−0.0131*	*−0.0067*	*−0.0042*
0.6	−0.3306	−0.2817	−0.2234	−0.2044	−0.1968
	−0.1506	*−0.1017*	*−0.0434*	*−0.0244*	*−0.0168*
0.2	−0.1102	−0.0864	−0.0573	−0.0472	−0.0426
	−0.0902	*−0.0664*	*−0.0373*	*−0.0272*	*−0.0226*
0.1	−0.0551	−0.0429	−0.0278	−0.0225	−0.0201
	−0.0501	*−0.0379*	*−0.0228*	−0.0175	*−0.0151*

$\alpha=0.02$

l_1/l	$\varepsilon=0$	$\varepsilon=1$	$\varepsilon=10$
1.0	−0.5726	−0.5546	−0.5153
	−0.0726	*−0.0546*	*−0.0153*
0.6	−0.3435	−0.3045	−0.2185
	−0.1635	*−0.1245*	*−0.0385*
0.2	−0.1145	−0.0959	−0.0538
	−0.0945	*−0.0759*	*−0.0338*
0.1	−0.0573	−0.0477	−0.0259
	−0.0523	*−0.0427*	*−0.0209*

$\alpha=0.05$

l_1/l	$\varepsilon=0$	$\varepsilon=1$	$\varepsilon=10$
1.0	−0.5791	−0.5677	−0.5281
	−0.0791	*−0.0677*	*−0.0281*
0.6	−0.3475	−0.3243	−0.2436
	−0.1675	*−0.1443*	*−0.0636*
0.2	−0.1158	−0.1048	−0.0661
	−0.0958	*−0.0848*	*−0.0461*
0.1	−0.0579	−0.0523	−0.0323
	−0.0529	*−0.0473*	*−0.0273*

$\alpha=0.1$

l_1/l	$\varepsilon=0$	$\varepsilon=1$	$\varepsilon=10$
1.0	−0.5831	−0.5750	−0.5392
	−0.0831	*−0.0750*	*−0.0392*
0.6	−0.3499	−0.3340	−0.2634
	−0.1699	*−0.1540*	*−0.0834*
0.2	−0.1166	−0.1092	−0.0756
	−0.0966	*−0.0892*	*−0.0556*
0.1	−0.0583	−0.0545	−0.0372
	−0.0533	*−0.0495*	*−0.0322*

表中の數字は總て p_0 の係數を示し，イタリックは $(\beta l_0+\beta l_1)/2bl^2$ を示す．

附記　本文は近似計算法が實用に供し得るや否やを調べる爲に行ひたる計算にして目下圓形竝に矩形版に就て計算中である．而して其れ等の計算完了後計算方法及實際の場合の計算例に就て述べる積りである．尙數計算に就ては德田，淺井の兩氏に負ふ所大である．

附表第 1 A_0, A_2, A_3, A_4 の値

$\alpha=0.01$

x/l	A_0	A_2	A_3	A_4
1.0	0.129829374	0.096693738	0.087397282	0.084886457
0.8	0.211508109	0.119031848	0.093147892	0.076487432
0.6	0.223009166	0.076814409	0.048024451	0.031929912
0.4	0.228446723	0.042415208	0.021609988	0.012681547
0.2	0.231117007	0.020708200	0.010540246	0.006901084
0	0.231932612	0.013330023	0.008332757	0.005999733

$\alpha=0.02$

x/l	A_0	A_2	A_3	A_4
1.0	0.231933362	0.165650122	0.145847845	0.143618539
0.8	0.367614831	0.202210406	0.155868441	0.129456505
0.6	0.390579825	0.133661303	0.084221851	0.032178351
0.4	0.401448245	0.075945272	0.039462743	0.025529509
0.2	0.406785753	0.039182684	0.020578812	0.017971107
0	0.408418948	0.026638406	0.016645790	0.013565009

$\alpha=0.05$

x/l	A_0	A_2	A_3	A_4
1.0	0.538207871	0.338490562	0.299816482	0.281826033
0.8	0.836130881	0.443165475	0.351820380	0.295369306
0.6	0.893285479	0.313401226	0.209675046	0.157306407
0.4	0.920523982	0.199029120	0.117758019	0.088639243
0.2	0.933740853	0.125065021	0.076153438	0.064729104
0	0.937817534	0.099706435	0.066614490	0.059958644

$\alpha=0.1$

x/l	A_0	A_2	A_3	A_4
1.0	0.938017534	0.556376734	0.487139832	0.438686859
0.8	1.397967017	0.711414157	0.563012746	0.457333815
0.6	1.510127907	0.526644844	0.358237901	0.256990209
0.4	1.563967270	0.352656669	0.216530391	0.149073124
0.2	1.590503577	0.237801303	0.149265182	0.108533395
0	1.598625496	0.198112461	0.132730339	0.099674513

附表第2

B_0, B_2, B_3, B_4 の値

x/l	B_0	B_2	B_3	B_4
1.0	−0.25	−0.1438	−0.1190476190	−0.1011904762
0.8	−0.18346	−0.10456746	−0.0858326552	−0.0727330621
0.6	−0.1188	−0.0662592	−0.0540666514	−0.0456199954
0.4	−0.0608	−0.03291164	−0.0266705676	−0.0224007802
0.2	−0.01746	−0.00911146	−0.0073333638	−0.0061333364
0	0	0	0	0

L の値 (一様なる荷重)

x/l	$l_1/l=1.0$	$l_1/l=0.6$	$l_1/l=0.2$	$l_1/l=0.1$
1.0	0.25	0.0612	0.00253	0.000325
0.8	0.18346	0.0468	0.002	0.0002583
0.6	0.1188	0.0324	0.00146	0.0001916
0.4	0.0608	0.01813	0.00093	0.000125
0.2	0.01746	0.00573	0.0004	0.0000583
0	0	0	0	0

L の値 (三角形の荷重)

x/l	$l_1/l=1$	$l_1/l=0.8$	$l_1/l=0.6$	$l_1/l=0.2$
1.0	0.06	0.026	0.0013	−0.016
0.8	0.0500053	0.027306	0.007573	−0.006293
0.6	0.033504	0.01878	0.00864	−0.00176
0.4	0.0179626	0.010453	0.005048	−0.00016
0.2	0.0054613	0.003326	0.001724	0.000106
0	0	0	0	0

附表第3. 地盤反力の値 ($\alpha=0.01$, $\varepsilon=1$)

(a) 等布荷重

h/l		ξ					
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1.0	1	0.9086	1.0492	1.0964	0.8884	0.7983	1.7335
	2	1.0072	1.0158	0.9264	0.7844	0.9265	1.9806
	3	0.9281	0.9384	0.9103	0.9281	1.0340	1.7406
	4	0.9103	0.9049	0.8830	0.8969	1.0907	1.6803
	5	1.1254	0.9759	0.7231	0.6601	1.0801	2.2764
	6	0.9367	0.8899	0.8288	0.8717	1.1372	1.7436
	7	0.8916	0.8694	0.8541	0.9223	1.1508	1.6163
	8	0.8713	0.8602	0.8655	0.9451	1.1570	1.5590
0.6	1	0.6963	0.7282	0.6930	0.5402	0.4130	0.6483
	2	0.7312	0.7163	0.6329	0.5034	0.4583	0.7356
	3	0.7032	0.6889	0.6271	0.5361	0.4964	0.6507
	4	0.6970	0.6772	0.6176	0.5439	0.5164	0.6296
	5	0.7749	0.7016	0.5577	0.4575	0.5152	0.8451
	6	0.7065	0.6704	0.5960	0.5342	0.5539	0.6520
	7	0.6893	0.6625	0.6056	0.5536	0.5411	0.6033
	8	0.6809	0.6587	0.6104	0.5629	0.5436	0.5797
0.2	1	0.2670	0.2642	0.2351	0.1766	0.1237	0.1495
	2	0.2743	0.2617	0.2223	0.1687	0.1333	0.1631
	3	0.2694	0.2556	0.2207	0.1737	0.1420	0.1500
	4	0.2675	0.2538	0.2192	0.1769	0.1450	0.1469
	5	0.2824	0.2590	0.2086	0.1604	0.1433	0.1881
	6	0.2689	0.2529	0.2161	0.1754	0.1478	0.1502
	7	0.2664	0.2517	0.2175	0.1783	0.1485	0.1431
	8	0.2652	0.2512	0.2182	0.1796	0.1490	0.1396
0.1	1	0.1354	0.1333	0.1177	0.0880	0.0611	0.0717
	2	0.1392	0.1320	0.1112	0.0840	0.0660	0.0810
	3	0.1362	0.1291	0.1106	0.0875	0.0701	0.0719
	4	0.1355	0.1278	0.1096	0.0884	0.0723	0.0696
	5	0.1425	0.1309	0.1054	0.0805	0.0704	0.0895
	6	0.1364	0.1281	0.1089	0.0874	0.0723	0.0720
	7	0.1354	0.1276	0.1094	0.0885	0.0726	0.0693
	8	0.1353	0.1276	0.1095	0.0886	0.0726	0.0690

(b) 三角形荷重

h/l		ξ					
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1.0	1	0.5547	0.5896	0.5703	0.4478	0.3560	0.6122
	2	0.5882	0.5783	0.5126	0.4125	0.3996	0.6962
	3	0.5613	0.5519	0.5069	0.4438	0.4364	0.6147
	4	0.5555	0.5409	0.4980	0.4511	0.4550	0.5949
	5	0.6289	0.5645	0.4425	0.3696	0.4526	0.7982
	6	0.5643	0.5351	0.4787	0.4421	0.4721	0.6158
	7	0.5487	0.5280	0.4875	0.4595	0.4768	0.5717
	8	0.5413	0.5246	0.4916	0.4679	0.4790	0.5508
0.8	1	0.4819	0.4802	0.4454	0.3714	0.3035	0.3383
	2	0.4907	0.4772	0.4302	0.3621	0.3150	0.3604
	3	0.4837	0.4702	0.4286	0.3704	0.3248	0.3389
	4	0.4822	0.4675	0.4264	0.3722	0.3294	0.3340
	5	0.5027	0.4732	0.4095	0.3495	0.3306	0.3905
	6	0.4856	0.4649	0.4197	0.3693	0.3361	0.3392
	7	0.4797	0.4627	0.4224	0.3753	0.3375	0.3254
	8	0.4769	0.4614	0.4239	0.3783	0.3383	0.3176
0.6	1	0.3841	0.3830	0.3553	0.2857	0.2037	0.1528
	2	0.3929	0.3800	0.3402	0.2795	0.2151	0.1747
	3	0.3861	0.3714	0.3353	0.2875	0.2263	0.1535
	4	0.3874	0.3737	0.3377	0.2860	0.2244	0.1577
	5	0.3973	0.3785	0.3326	0.2745	0.2205	0.1858
	6	0.3858	0.3733	0.3390	0.2877	0.2243	0.1534
	7	0.3876	0.3741	0.3380	0.2858	0.2237	0.1584
	8	0.3877	0.3742	0.3379	0.2855	0.2236	0.1589
0.2	1	0.1496	0.1376	0.1206	0.1053	0.0686	−0.0421
	2	0.1451	0.1390	0.1282	0.1099	0.0628	−0.0531
	3	0.1487	0.1424	0.1288	0.1058	0.0583	−0.0424
	4	0.1496	0.1442	0.1303	0.1046	0.0552	−0.0391
	5	0.1376	0.1416	0.1425	0.1179	0.0530	−0.0721
	6	0.1480	0.1463	0.1354	0.1062	0.0499	−0.0426
	7	0.1517	0.1460	0.1334	0.1021	0.0483	−0.0323
	8	0.1538	0.1490	0.1321	0.0996	0.0480	−0.0261

表中の値は總て p_0 の係數を示す

附表第4 $M_q/2bl^2$ の値 ($\alpha=0.01$, $\varepsilon=1$)

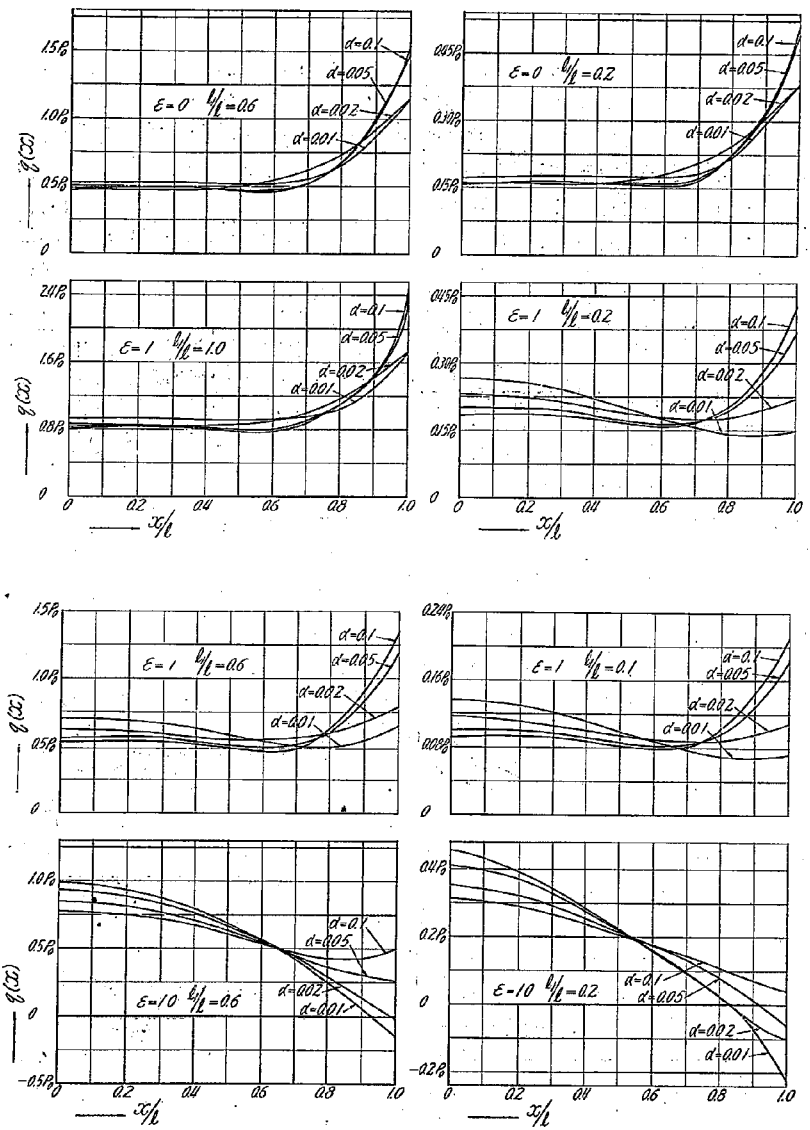
(a) 布等荷重

b/l		ξ					
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1.0	1	−0.5010 *−0.0040*	−0.3228 *−0.0028*	−0.1832 *−0.0032*	−0.0865 *−0.0065*	−0.0255 *−0.0035*	0
	2	−0.5227 *−0.0237*	−0.3429 *−0.0229*	−0.2034 *−0.0234*	−0.1007 *−0.0207*	−0.0303 *−0.0103*	0
	3	−0.5337 *−0.0337*	−0.3523 *−0.0323*	−0.2083 *−0.0283*	−0.1007 *−0.0207*	−0.0287 *−0.0087*	0
	4	−0.5402 *−0.0402*	−0.3583 *−0.0383*	−0.2127 *−0.0327*	−0.1025 *−0.0225*	−0.0287 *−0.0087*	0
	5	−0.5450 *−0.0450*	−0.3669 *−0.0467*	−0.2276 *−0.0476*	−0.1178 *−0.0378*	−0.0360 *−0.0160*	0
	6	−0.5467 *−0.0467*	−0.3652 *−0.0452*	−0.2193 *−0.0393*	−0.1069 *−0.0269*	−0.0301 *−0.0101*	0
	7	−0.5471 *−0.0471*	−0.3648 *−0.0448*	−0.2173 *−0.0373*	−0.1043 *−0.0243*	−0.0287 *−0.0087*	0
	8	−0.5473 *−0.0473*	−0.3646 *−0.0446*	−0.2164 *−0.0364*	−0.1032 *−0.0232*	−0.0281 *−0.0081*	0
0.6	1	−0.2711 *−0.0911*	−0.1652 *−0.0852*	−0.0882 *−0.0682*	−0.0385	−0.0104	0
	2	−0.2777 *−0.0977*	−0.1723 *−0.0923*	−0.0953 *−0.0753*	−0.0435	−0.0120	0
	3	−0.2817 *−0.1017*	−0.1757 *−0.0957*	−0.0971 *−0.0771*	−0.0435	−0.0115	0
	4	−0.2839 *−0.1039*	−0.1778 *−0.0978*	−0.0986 *−0.0786*	−0.0441	−0.0115	0
	5	−0.2860 *−0.1060*	−0.1812 *−0.1012*	−0.1043 *−0.0843*	−0.0498	−0.0141	0
	6	−0.2866 *−0.1066*	−0.1806 *−0.1006*	−0.1013 *−0.0813*	−0.0456	−0.0120	0
	7	−0.2868 *−0.1068*	−0.1804 *−0.1004*	−0.1005 *−0.0805*	−0.0449	−0.0115	0
	8	−0.2868 *−0.1068*	−0.1804 *−0.1004*	−0.1001 *−0.0801*	−0.0444	−0.0112	0
0.2	1	−0.0841 *−0.0641*	−0.0495	−0.0253	−0.0104	−0.0027	0
	2	−0.0855 *−0.0655*	−0.0510	−0.0268	−0.0115	−0.0030	0
	3	−0.0864 *−0.0664*	−0.0518	−0.0272	−0.0115	−0.0028	0
	4	−0.0868 *−0.0668*	−0.0521	−0.0275	−0.0116	−0.0028	0
	5	−0.0871 *−0.0671*	−0.0526	−0.0284	−0.0126	−0.0033	0
	6	−0.0872 *−0.0672*	−0.0525	−0.0279	−0.0119	−0.0029	0
	7	−0.0872 *−0.0672*	−0.0525	−0.0278	−0.0117	−0.0028	0
	8	−0.0872 *−0.0672*	−0.0527	−0.0277	−0.0116	−0.0028	0
0.1	1	−0.0417 *−0.0367*	−0.0245	−0.0124	−0.0051	−0.0013	0
	2	−0.0425 *−0.0375*	−0.0252	−0.0132	−0.0056	−0.0014	0
	3	−0.0429 *−0.0379*	−0.0255	−0.0134	−0.0056	−0.0015	0
	4	−0.0431 *−0.0381*	−0.0258	−0.0136	−0.0057	−0.0014	0
	5	−0.0431 *−0.0381*	−0.0259	−0.0139	−0.0061	−0.0016	0
	6	−0.0431 *−0.0381*	−0.0258	−0.0136	−0.0058	−0.0014	0
	7	−0.0432 *−0.0382*	−0.0258	−0.0135	−0.0057	−0.0014	0
	8	−0.0432 *−0.0382*	−0.0258	−0.0136	−0.0057	−0.0014	0

(b) 三角形荷重

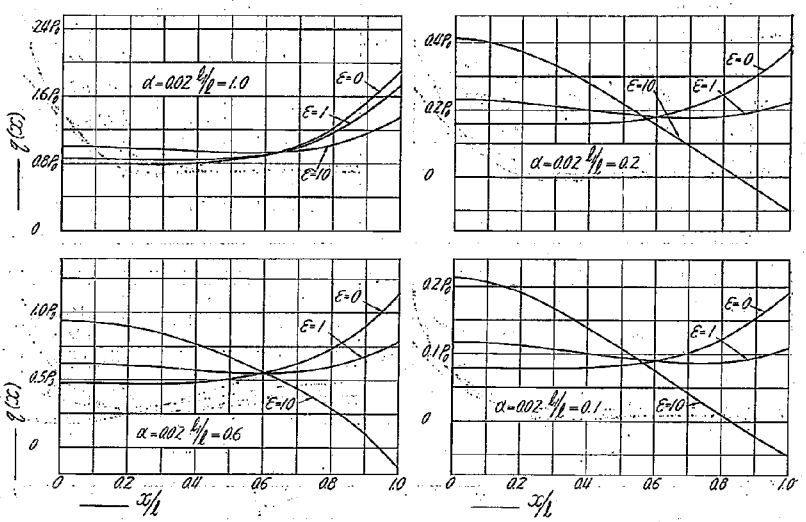
b/l		ξ					
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1.0	1	−0.2315 *−0.0648*	−0.1428 *−0.0575*	−0.0774 *−0.0414*	−0.0345 *−0.0238*	−0.0095 *−0.0088*	0
	2	−0.2378 *−0.0711*	−0.1496 *−0.0643*	−0.0843 *−0.0483*	−0.0393 *−0.0286*	−0.0112 *−0.0105*	0
	3	−0.2416 *−0.0749*	−0.1528 *−0.0675*	−0.0860 *−0.0500*	−0.0393 *−0.0286*	−0.0106 *−0.0099*	0
	4	−0.2438 *−0.0771*	−0.1548 *−0.0693*	−0.0874 *−0.0514*	−0.0399 *−0.0292*	−0.0106 *−0.0099*	0
	5	−0.2456 *−0.0789*	−0.1579 *−0.0726*	−0.0926 *−0.0566*	−0.0452 *−0.0345*	−0.0131 *−0.0124*	0
	6	−0.2461 *−0.0794*	−0.1574 *−0.0721*	−0.0893 *−0.0538*	−0.0415 *−0.0308*	−0.0111 *−0.0104*	0
	7	−0.2463 *−0.0796*	−0.1564 *−0.0711*	−0.0891 *−0.0531*	−0.0406 *−0.0299*	−0.0106 *−0.0099*	0
	8	−0.2463 *−0.0796*	−0.1571 *−0.0717*	−0.0888 *−0.0528*	−0.0402 *−0.0295*	−0.0104 *−0.0097*	0
0.8	1	−0.1802 *−0.0735*	−0.1098 *−0.0648*	−0.0580 *−0.0447*	−0.0225 *−0.0211*	−0.0062	0
	2	−0.1818 *−0.0751*	−0.1116 *−0.0666*	−0.0603 *−0.0470*	−0.0262 *−0.0245*	−0.0066	0
	3	−0.1828 *−0.0761*	−0.1125 *−0.0675*	−0.0608 *−0.0475*	−0.0263 *−0.0246*	−0.0065	0
	4	−0.1834 *−0.0767*	−0.1130 *−0.0680*	−0.0612 *−0.0479*	−0.0264 *−0.0247*	−0.0065	0
	5	−0.1841 *−0.0774*	−0.1140 *−0.0690*	−0.0628 *−0.0495*	−0.0280 *−0.0263*	−0.0072	0
	6	−0.1843 *−0.0776*	−0.1139 *−0.0689*	−0.0620 *−0.0487*	−0.0269 *−0.0252*	−0.0067	0
	7	−0.1843 *−0.0776*	−0.1138 *−0.0688*	−0.0618 *−0.0485*	−0.0267 *−0.0250*	−0.0065	0
	8	−0.1843 *−0.0776*	−0.1138 *−0.0688*	−0.0617 *−0.0484*	−0.0265 *−0.0248*	−0.0064	0
0.6	1	−0.1272 *−0.0672*	−0.0748 *−0.0570*	−0.0374 *−0.0353*	−0.0129	−0.0032	0
	2	−0.1289 *−0.0689*	−0.0767 *−0.0589*	−0.0396 *−0.0375*	−0.0161	−0.0037	0
	3	−0.1303 *−0.0703*	−0.0780 *−0.0602*	−0.0404 *−0.0383*	−0.0163	−0.0036	0
	4	−0.1299 *−0.0699*	−0.0775 *−0.0597*	−0.0401 *−0.0380*	−0.0162	−0.0036	0
	5	−0.1297 *−0.0697*	−0.0776 *−0.0598*	−0.0405 *−0.0384*	−0.0167	−0.0039	0
	6	−0.1298 *−0.0698*	−0.0775 *−0.0597*	−0.0400 *−0.0379*	−0.0160	−0.0035	0
	7	−0.1298 *−0.0698*	−0.0775 *−0.0597*	−0.0401 *−0.0380*	−0.0161	−0.0036	0
	8	−0.1298 *−0.0698*	−0.0775 *−0.0597*	−0.0401 *−0.0380*	−0.0161	−0.0036	0
0.2	1	−0.0380 *−0.0313*	−0.0210	−0.0094	−0.0027	−0.0004	0
	2	−0.0372 *−0.0305*	−0.0201	−0.0085	−0.0020	0	0
	3	−0.0367 *−0.0300*	−0.0197	−0.0083	−0.0020	0	0
	4	−0.0364 *−0.0297*	−0.0193	−0.0081	−0.0019	0	0
	5	−0.0358 *−0.0291*	−0.0185	−0.0069	−0.0009	0	0
	6	−0.0357 *−0.0290*	−0.0186	−0.0074	−0.0015	0	0
	7	−0.0356 *−0.0289*	−0.0187	−0.0076	−0.0018	0	0
	8	−0.0356 *−0.0289*	−0.0187	−0.0077	−0.0019	0	0

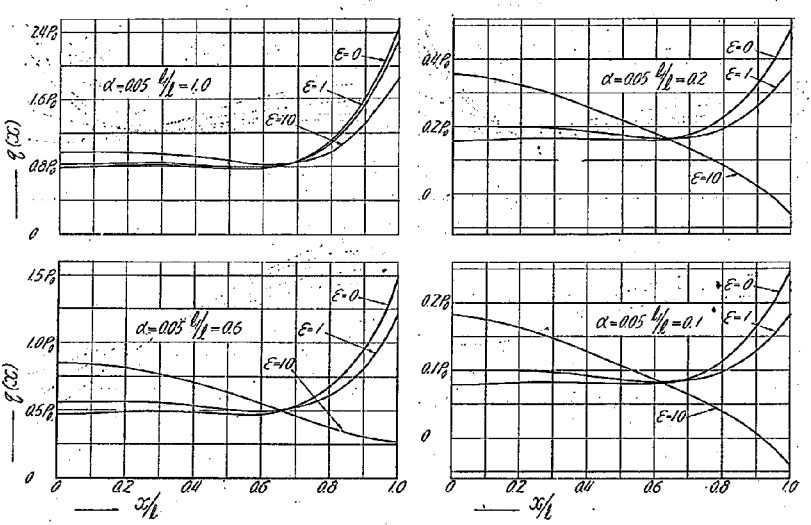
表中イタリックは $(M_q+M_t)/2bl^2$ の値を示す

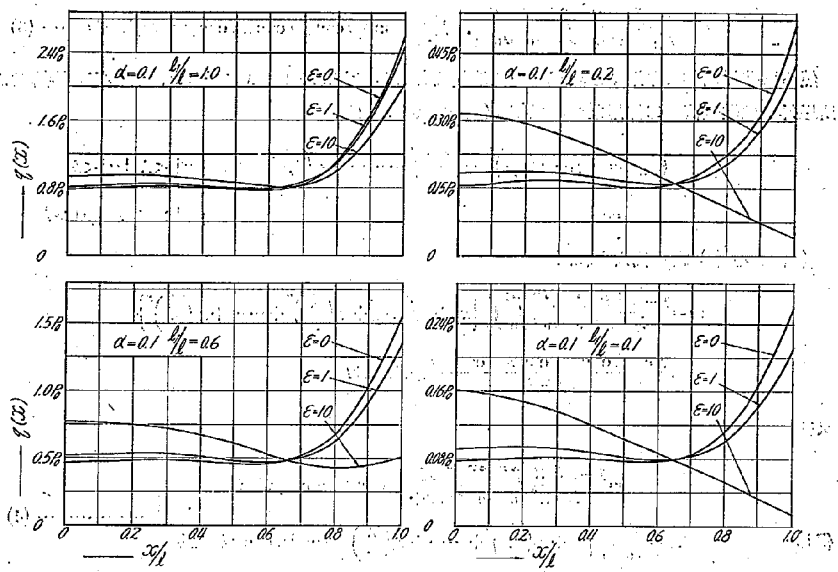


等布荷重

附圖第1　地盤反力の値(α の影響)


α=0.02 b/l=1.0
α=0.02 b/l=0.2
α=0.02 b/l=0.6
α=0.02 b/l=0.1
ε=0
ε=1
ε=10
g(x)
x/l


α=0.05 b/l=1.0
α=0.05 b/l=0.2
α=0.05 b/l=0.6
α=0.05 b/l=0.1
ε=0
ε=1
ε=10
g(x)
x/l



附圖第 2 地盤反力の値 (ε による影響)

附錄 I 基礎地盤表面の沈下

地盤表面の沈下 w は基礎地盤を semiinfinite elastic body と考へ，その表面に垂直荷重 $q(x, y)$ のみが作用し水平荷重の作用なきものとして求めらる．

座標及記號は本文と同一なるものを使用するとき，本文に於ける垂直荷重は x, y に對し對稱なるを以て水平荷重の作用なき場合の表面の沈下 w は次式の如く示さる．[1]

$$w = -\frac{1-\sigma_2}{1-2\sigma_2}\int_0^\infty\int_0^\infty \frac{A_1}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\cos\alpha x\cos\beta y\,d\alpha d\beta \quad\cdots\cdots(1)$$

(1) 式の A_1 は $q(x, y)$ を フーリエの double integral にて示し，次の如く求めらる．

$$A_1 = -\frac{8}{\pi^2}\frac{(1-2\sigma_2)(1+\sigma_2)}{E_2}\int_0^\infty\int_0^\infty q(\lambda,\mu)\cos\alpha\lambda\cos\beta\mu\,d\lambda d\mu \quad\cdots\cdots(2)$$

(2) 式を (1) 式に代入すれば

1) 著者： 弾性地盤に於ける基礎の沈下に關する理論的研究 土木學會誌 昭和 6 年 7 月 846 頁

$$w=\frac{1-\sigma_2^2}{E_2}\frac{8}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{q(\lambda,\mu)}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\cos\alpha x\cos\beta y\cos\lambda\alpha\cos\beta\mu d\alpha d\beta d\lambda d\mu \quad \cdots\cdots(3)$$

然るに基礎地盤に作用する垂直荷重は地盤反力にして本文の (1) 式に示され，且つ桁と接觸せる場所以外には垂直荷重の作用なきを以て $q(x,y)$ は次の如し．

$$q(x,y)=-a_0-a_2\left(\frac{x}{l}\right)^2-a_3\left(\frac{x}{l}\right)^3\cdots\cdots-a_n\left(\frac{x}{l}\right)^n \qquad |x|<l,\ |y|<b$$

$$=0 \qquad |x|>l \text{ or } |y|>b$$

$q(x,y)$ を (3) 式に代入すれば

$$w=\frac{1-\sigma_2^2}{E_2}\frac{8}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty\int_0^l\int_0^b\left\{a_0+a_2\left(\frac{\lambda}{l}\right)^2+a_3\left(\frac{\lambda}{l}\right)^3+\cdots\cdots+a_n\left(\frac{\lambda}{l}\right)^n\right\}$$

$$\times\frac{\cos\alpha\lambda\cos\beta\mu\cos\alpha x\cos\beta y}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}d\mu d\lambda d\alpha d\beta$$

又は

$$w=\frac{1-\sigma_2^2}{E_2}\frac{8}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{A}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\cos\alpha x\cos\beta y d\alpha d\beta$$

但し $$A=\int_0^l\int_0^b\left\{a_0+a_2\left(\frac{\lambda}{l}\right)^2+\cdots\cdots+a_n\left(\frac{\lambda}{l}\right)^n\right\}\cos\beta\mu\cos\alpha\lambda d\mu d\lambda \quad \cdots\cdots(4)$$

(4) 式の A を積分するときは次の如し，

$$A=\frac{\sin\beta b}{\beta}(a_0B_0+a_2B_2+a_3B_3+\cdots\cdots a_nB_n)$$

但し $B_n=\int_0^l\left(\frac{\lambda}{l}\right)^n\cos\alpha\lambda d\mu$. にして $n=5$ 迄の値を求むれば

$$B_0=\frac{\sin\alpha l}{l}, \qquad B_2=\frac{\sin\alpha l}{\alpha}-2\frac{1-\cos\alpha l}{\alpha^2 l}+2\frac{\alpha l-\sin\alpha l}{\alpha^3 l^2}$$

$$B_3=\frac{\sin\alpha l}{\alpha}-3\frac{1-\cos\alpha l}{\alpha^2 l}+6\frac{\alpha l-\sin\alpha l}{\alpha^3 l^2}-\frac{6}{\alpha^4 l^3}\left(\cos\alpha l+\frac{\alpha^2 l^2}{2}-1\right)$$

$$B_4=\frac{\sin\alpha l}{\alpha}-4\frac{1-\cos\alpha l}{\alpha^2 l}+12\frac{\alpha l-\sin\alpha l}{\alpha^3 l^2}-\frac{24}{\alpha^4 l^3}\left(\cos\alpha l+\frac{\alpha^2 l^2}{2}-1\right)+\frac{24}{\alpha^5 l^4}\left(\sin\alpha l-\alpha l+\frac{\alpha^3 l^3}{6}\right)$$

$$B_5=\frac{\sin\alpha l}{\alpha}-5\frac{1-\cos\alpha l}{\alpha^2 l}+20\frac{\alpha l-\sin\alpha l}{\alpha^3 l^2}-\frac{60}{\alpha^4 l^3}\left(\cos\alpha l+\frac{\alpha^2 l^2}{2}-1\right)$$

$$+\frac{120}{\alpha^5 l^4}\left(\sin\alpha l-\alpha l+\frac{\alpha^3 l^3}{6}\right)-\frac{120}{\alpha^6 l^5}\left(-\cos\alpha l+1-\frac{\alpha^2 l^2}{2}+\frac{\alpha^4 l^4}{24}\right)$$

B_0, B_1,…… の値を (4) 式に代入するときは w は次の (5) 式に示す定積分を適當に組み合せて求め得らるゝ事を知る．

$$I_0=\frac{8}{\pi^3}\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta b\sin\alpha l}{\alpha\beta\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\cos\beta y\cos\alpha x d\alpha d\beta$$

$$I_1=\frac{8}{\pi^3}\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta b(1-\cos\alpha l)}{\alpha^2\beta\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\cos\beta y\cos\alpha x d\alpha d\beta$$

$$
\left.\begin{aligned}
I_2&=\frac{8}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta b(al-\sin al)}{a^3\beta\sqrt{a^2+\beta^2}}\cos\beta y\cos ax\,da\,d\beta\\
I_3&=\frac{8}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta b(\cos al+a^2l^3/2-1)}{a^4\beta\sqrt{a^2+\beta^2}}\cos\beta y\cos ax\,da\,d\beta\\
I_4&=\frac{8}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta b(\sin al-al+a^3l^3/b)}{a^5\beta\sqrt{a^2+\beta^2}}\cos\beta y\cos ax\,da\,d\beta\\
I_5&=\frac{8}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta b(-\cos al+1-a^2l^2/2+a^4l^4/24)}{a^6\beta\sqrt{a^2+\beta^2}}\cos\beta y\cos ax\,da\,d\beta
\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(5)
$$

(5) 式に於て $I_1=\int_0^l I_0dl$, $I_2=\int_0^l I_1dl$, $I_3=\int_0^l I_2dl$, etc. の關係あるを以て I_0 の積分値を求めるときは I_1, I_2, etc. は l にて積分して求めらる.

今 I_0 の積分値を求めるに

$$
\sin\beta b\sin al\cos\beta y\cos ax=\frac{1}{4}\Big\{\sin a(l+x)+\sin a(l-x)\Big\}\Big\{\sin\beta(b+y)+\sin\beta(b-y)\Big\}
$$

從つて

$$
\begin{aligned}
I_0=\frac{2}{\pi^2}\Big[&\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta(b+y)\sin a(l+x)}{a\beta\sqrt{a^2+\beta^2}}da\,d\beta+\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta(b+y)\sin a(l-x)}{a\beta\sqrt{a^2+\beta^2}}da\,d\beta\\
&+\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta(b-y)\sin a(l+x)}{a\beta\sqrt{a^2+\beta^2}}da\,d\beta+\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta(b-y)\sin a(l-x)}{a\beta\sqrt{a^2+\beta^2}}da\,d\beta\Big]\quad\cdots\cdots(6)
\end{aligned}
$$

然るに

$$
I=\frac{2}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\sin\beta b\sin aa}{a\beta\sqrt{a^2+\beta^2}}da\,d\beta\qquad a>b,\ b>0
$$

なる積分値は次の如く示さるゝを以て

$$
I=\frac{1}{2\pi}\left\{a\log\frac{\sqrt{a^2+b^2}+b}{\sqrt{a^2+b^2}-b}+b\log\frac{\sqrt{a^2+b^2}+a}{\sqrt{a^2+b^2}-a}\right\}
$$

從つて (5) 式に示さるゝ I_1, I_2 等は容易に求めらる.

今 (6) 式に於ける第一項に相當するものゝみを示せば (他の項は $b+y$, $l+x$ と $b-y$, $l-x$ とを適當に交換して得らる)

$$
\left.\begin{aligned}
I_0&=\frac{1}{2\pi}f_0(l+x,\ b+y),\qquad I_1=\frac{1}{2\pi}\Big\{f_1(l+x,\ b+y)-f_1(x,\ b+y)\Big\}\\
I_2&=\frac{1}{2\pi}\Big\{f_2(l+x,\ b+y)-f_2(x,\ b+y)-lf_1(x,\ b+y)\Big\}\\
I_3&=\frac{1}{2\pi}\Big\{f_3(l+x,\ b+y)-f_3(x,\ b+y)-lf_2(x,\ b+y)-\frac{l^2}{2}f_1(x,\ b+y)\Big\}\\
I_4&=\frac{1}{2\pi}\Big\{f_4(l+x,\ b+y)-f_4(x,\ b+y)-lf_3(x,\ b+y)-\frac{l^2}{2}f_2(x,\ b+y)-\frac{l^3}{6}f_1(x,\ b+y)\Big\}\\
I_5&=\frac{1}{2\pi}\Big\{f_5(l+x,\ b+y)-f_5(x,\ b+y)-lf_4(x,\ b+y)-\frac{l^2}{2}f_3(x,\ b+y)\\
&\quad-\frac{l^3}{6}f_2(x,\ b+y)-\frac{l^4}{24}f_1(x,\ b+y)\Big\}.
\end{aligned}\right\}\quad(7)
$$

但し f_0, f_1, etc. は次式に示す如し.

$$\left.\begin{aligned}
f_0(x,y)&=x\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+y}{\sqrt{x^2+y^2}-y}+y\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}\\
f_1(x,y)&=\frac{x^2}{2}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+y}{\sqrt{x^2+y^2}-y}+xy\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}-y(x^2+y^2)^{1/2}\\
f_2(x,y)&=\frac{x^3}{6}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+y}{\sqrt{x^2+y^2}-y}+\frac{x^2y}{2}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}-\frac{y^3}{12}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}\\
&\quad-\frac{5}{6}xy(x^2+y^2)^{1/2}\\
f_3(x,y)&=\frac{x^4}{24}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+y}{\sqrt{x^2+y^2}-y}+\frac{x^3y}{6}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}-\frac{xy^3}{12}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}\\
&\quad-\frac{13}{36}y(x^2+y^2)^{3/2}+\frac{5}{12}y^3(x^2+y^2)^{1/2}\\
f_4(x,y)&=\frac{x^5}{120}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+y}{\sqrt{x^2+y^2}-y}+\frac{x^4y}{24}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}-\frac{x^2y^3}{24}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}\\
&\quad+\frac{y^5}{320}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}-\frac{77}{720}xy(x^2+y^2)^{3/2}+\frac{15}{96}xy^3(x^2+y^2)^{1/2}\\
f_5(x,y)&=\frac{x^6}{720}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+y}{\sqrt{x^2+y^2}-y}+\frac{x^5y}{120}\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}-\left(\frac{x^3y^3}{72}-\frac{xy^5}{320}\right)\log\frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x}\\
&\quad-\frac{29}{1200}y(x^2+y^2)^{5/2}+\frac{61}{864}y^3(x^2+y^2)^{3/2}-\frac{23}{480}y^5(x^2+y^2)^{1/2}
\end{aligned}\right\}\quad(8)$$

(4) 式の w を (9) 式の如く示すときは

$$w=\frac{1}{\pi}\frac{1-\sigma_2^2}{E}l\,(a_0A_0+a_2A_2+\cdots\cdots+a_nA_n)\quad\cdots\cdots(9)$$

A_0, A_2,……と (5) 式に示す I_0, I_1, 等と次の關係あり.

$$\left.\begin{aligned}
A_0&=\frac{\pi}{l}I_0\,,\qquad A_2=\frac{\pi}{l^3}(l^2I_0-2lI_1+2I_2)\\
A_3&=\frac{\pi}{l^4}(l^3I_0-3l^2I_1+6lI_2-6I_3)\\
A_4&=\frac{\pi}{l^5}(l^4I_0-4l^3I_1+12l^2I_2-24lI_3+24I_4)\\
A_5&=\frac{\pi}{l^6}(l^5I_0-5l^4I_1+20l^3I_2-60l^2I_3+120lI_4-120I_5)
\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(10)$$

(10) 式に (7) 式の I_0, I_1, I_2,…… を代入して整理するときは A_0, A_2, A_3, A_4, A_5 は (11) 式に示さる.

$$\left.\begin{aligned}
A_0&=\frac{1}{2}F_0(n\gamma,\ a,\ \xi)\,,\qquad A_2=\frac{1}{2}\left\{F_0(n\gamma,\ a,\ \xi)-2F_1(n\gamma,\ a,\ \xi)+2F_2(n\gamma,\ a,\ \xi)\right\}\\
A_3&=\frac{1}{2}\left\{F_0(n\gamma,\ a,\ \xi)-3F_1(n\gamma,\ a,\ \xi)+6F_2(n\gamma,\ a,\ \xi)-6F_3(n\gamma,\ a,\ \xi)+12G_3(n\gamma,\ a,\ \xi)\right\}
\end{aligned}\right|$$

$$\left.\begin{aligned} A_4&=\frac{1}{2}\Big\{F_0(n\gamma,\alpha,\xi)-4F_1(n\gamma,\alpha,\xi)+12F_2(n\gamma,\alpha,\xi)-24F_3(n\gamma,\alpha,\xi)+24F_4(n\gamma,\alpha,\xi)\Big\}\\ A_5&=\frac{1}{2}\Big\{F_0(n\gamma,\alpha,\xi)-5F_1(n\gamma,\alpha,\xi)+20F_2(n\gamma,\alpha,\xi)-60F_3(n\gamma,\alpha,\xi)+120F_4(n\gamma,\alpha,\xi)\\ &\quad -120F_5(n\gamma,\alpha,\xi)+240G_5(n\gamma,\alpha,\xi)\Big\}\end{aligned}\right\}\quad(11)$$

但し $n\gamma=x/l$, $\alpha=b/l$, $\xi=y/l$

(11) 式の $F_0(n\gamma,\alpha,\xi)$, $F_1(n\gamma,\alpha,\xi)$ etc. は次式の如し

$$\left.\begin{aligned} F_0(n\gamma,\alpha,\xi)&=f_0(1+n\gamma,\alpha+\xi)+f_0(1+n\gamma,\alpha-\xi)+f_0(1-n\gamma,\alpha+\xi)+f_0(1-n\gamma,\alpha-\xi)\\ F_1(n\gamma,\alpha,\xi)&=f_1(1+n\gamma,\alpha+\xi)+f_1(1+n\gamma,\alpha-\xi)+f_1(1-n\gamma,\alpha+\xi)+f_1(1-n\gamma,\alpha-\xi)\\ F_2(n\gamma,\alpha,\xi)&=f_2(1+n\gamma,\alpha+\xi)+f_2(1+n\gamma,\alpha-\xi)+f_2(1-n\gamma,\alpha+\xi)+f_2(1-n\gamma,\alpha-\xi)\\ F_3(n\gamma,\alpha,\xi)&=f_3(1+n\gamma,\alpha+\xi)+f_3(1+n\gamma,\alpha-\xi)+f_3(1-n\gamma,\alpha+\xi)+f_3(1-n\gamma,\alpha-\xi)\\ F_4(n\gamma,\alpha,\xi)&=f_4(1+n\gamma,\alpha+\xi)+f_4(1+n\gamma,\alpha-\xi)+f_4(1-n\gamma,\alpha+\xi)+f_4(1-n\gamma,\alpha-\xi)\\ F_5(n\gamma,\alpha,\xi)&=f_5(1+n\gamma,\alpha+\xi)+f_5(1+n\gamma,\alpha-\xi)+f_5(1-n\gamma,\alpha+\xi)+f_5(1-n\gamma,\alpha-\xi)\\ G_5(n\gamma,\alpha,\xi)&=f_5(n\gamma,\alpha+\xi)+f_5(n\gamma,\alpha-\xi),\quad G_5(n\gamma,\alpha,\xi)=f_5(n\gamma,\alpha+\xi)+f_5(n\gamma,\alpha-\xi)\end{aligned}\right\}\quad(12)$$

桁の中央即ち $y=0$ に於ける基礎地盤の沈下は (12) 式に於て $\xi=0$ と置けるものに等しく

$$w_0=\frac{1}{\pi}\frac{1-\sigma_2^2}{E_2}l(a_0A_0+a_2A_2+\cdots\cdots+a_nA_n)\quad\cdots\cdots(13)$$

A_0, A_2 は (11) 式に $\xi=0$ と置けるものにして, (12) 式の $F_0(n\gamma,\alpha,\xi)$, etc. は次の如く示さる

$$\left.\begin{aligned} F_0(n\gamma,\alpha,\alpha)&=2\Big\{f_0(1+n\gamma,\alpha)+f_0(1-n\gamma,\alpha)\Big\},\quad F_1(n\gamma,\alpha,o)=2\Big\{f_1(1+n\gamma,\alpha)+f_1(1-n\gamma,\alpha)\Big\}\\ F_2(n\gamma,\alpha,o)&=2\Big\{f_2(1+n\gamma,\alpha)+f_2(1-n\gamma,\alpha)\Big\},\quad F_3(n\gamma,\alpha,o)=2\Big\{f_3(1+n\gamma,\alpha)+f_3(1-n\gamma,\alpha)\Big\}\\ F_4(n\gamma,\alpha,o)&=2\Big\{f_4(1+n\gamma,\alpha)+f_4(1-n\gamma,\alpha)\Big\},\quad F_5(n\gamma,\alpha,o)=2\Big\{f_5(1+n\gamma,\alpha)+f_5(1-n\gamma,\alpha)\Big\}\\ G_3(n\gamma,\alpha,o)&=2f_3(n\gamma,\alpha),\quad G_5(n\gamma,\alpha,o)=2f_5(n\gamma,\alpha)\end{aligned}\right\}\quad(14)$$

桁の端即ち $y=b$ に於ける基礎地盤の沈下は (12) 式に $\xi=b/y=a$ と置けるものに等しく

$$w_b=\frac{1}{\pi}\frac{1-\sigma_2^2}{E_2}l(a_0A_0+a_2A_2+\cdots\cdots+a_nA_n)\quad\cdots\cdots(15)$$

にして $F_0(n\gamma,\alpha,\xi)$, etc. は次の如し.

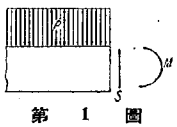
$$\left.\begin{aligned} F_0(n\gamma,\alpha,\alpha)&=f_0(1+n\gamma,2\alpha)+f_0(1-n\gamma,2\alpha),\quad F_1(n\gamma,\alpha,\alpha)=f_1(1+n\gamma,2\alpha)+f_1(1-n\gamma,2\alpha)\\ F_2(n\gamma,\alpha,\alpha)&=f_2(1+n\gamma,2\alpha)+f_2(1-n\gamma,2\alpha),\quad F_3(n\gamma,\alpha,\alpha)=f_3(1+n\gamma,2\alpha)+f_3(1-n\gamma,2\alpha)\\ F_4(n\gamma,\alpha,\alpha)&=f_4(1+n\gamma,2\alpha)+f_4(1-n\gamma,2\alpha),\quad F_5(n\gamma,\alpha,\alpha)=f_5(1+n\gamma,2\alpha)+f_5(1-n\gamma,2\alpha)\\ G_3(n\gamma,\alpha,\alpha)&=f_3(n\gamma,2\alpha),\quad G_5(n\gamma,\alpha,\alpha)=f_5(n\gamma,2\alpha)\end{aligned}\right\}\quad(16)$$

(14) 式と (16) 式とを比較すれば, $b/l=\alpha$ なる桁の端の沈下 w_b は幅が2倍なる即ち $b/l=2\alpha$ なる桁の中央の沈下 w_0 の半分なることを知る. 即ち

$$(w_b)_x=\frac{1}{2}(w_0)_{2x} \quad \cdots\cdots(17)$$

附錄 II 桁の撓度

座標及附號は本文に於けるものと同一なるものを使用し bending moment (M), Shear (S), 及荷重 p の正の方向は第1圖に示す如し. 桁の撓度 v は下方を正とする.



第 1 圖

然るとき, v, M, S, 及 p の間には次式に示す關係あり.

$$\frac{d^4v}{dx^4}=\frac{p}{E_1I}, \qquad M=E_1I\frac{d^2v}{dx^2}, \qquad S=E_1I\frac{d^3v}{dx^3} \quad \cdots\cdots(1)$$

1) 厚さ一樣なる桁が兩端にて自由なる場合

地盤反力のみによる桁の撓度 v_q と地盤反力 q との間には (1) 式より次の關係あり.

$$\frac{d^4v_q}{dx^4}=-\frac{q}{E_1I}$$

又は q の代りに本文の (1) 式を代入すれば

$$\frac{d^4v_q}{dx^4}=-\frac{2b}{E_1I}\left\{a_0+a_2\left(\frac{x}{l}\right)^2+a_3\left(\frac{x}{l}\right)^3+\cdots\cdots+a_n\left(\frac{x}{l}\right)^n\right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

(2) 式より

$$v_q=-\frac{2b}{E_1I}l^4\left\{\frac{a_0}{2\cdot3\cdot4}\left(\frac{x}{l}\right)^4+\frac{a_2}{3\cdot4\cdot5\cdot6}\left(\frac{x}{l}\right)+\cdots\cdots+\frac{a_n}{(n+1)(n+2)(n+3)(n+4)}\left(\frac{x}{l}\right)^{n+4}\right\}$$

$$+\frac{c_1}{6}x^3+\frac{c_2}{2}x^2+c_3x+c_4 \quad \cdots\cdots(3)$$

但し c_1, c_2, c_3, c_4 は積分常數を示す.

荷重が對稱にして, 兩端自由なるを以て常數 c_1, c_2, c_3 は次の限界條件より求めらる.

$$\left.\begin{array}{ll} x=0; & \dfrac{dv_q}{dx}=0 \\ x=l; & \dfrac{d^2v_q}{dx^2}=0, \qquad \dfrac{d^3v_q}{dx^3}=0 \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(4)$$

(3) 式を (4) 式に代入して c_1, c_2, c_3 を求むれば次の如し.

$$c_3=\frac{2bl}{E_1I}\left\{a_0+\frac{a_2}{3}+\cdots\cdots+\frac{a_n}{n+1}\right\}, \qquad c_2=-\frac{2bl^2}{E_1I}\left\{\frac{a_0}{2}+\frac{a_2}{4}+\cdots\cdots+\frac{a_n}{n+2}\right\}, \qquad c_3=0$$

是等の値を (3) 式に代入し v_q, M_q, S_q を求むれば次の如し.

(M_q; 地盤反力のみによる bending moment,)

(S_q; 〃 Shear)

$$v_q=\frac{bl^4}{E_1I}(a_0B_0+a_2B_2+a_3B_3+\cdots\cdots)+c_4$$

但し $B_0=-\frac{1}{3\cdot4}\left(\frac{x}{l}\right)^4+\frac{1}{3}\left(\frac{x}{l}\right)^3-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{l}\right)^2$, $B_2=-\frac{2}{3\cdot4\cdot5\cdot6}\left(\frac{x}{l}\right)^6+\frac{1}{9}\left(\frac{x}{l}\right)^3-\frac{1}{4}\left(\frac{x}{l}\right)^2$

$B_3=-\frac{2}{4\cdot5\cdot6\cdot7}\left(\frac{x}{l}\right)^7+\frac{1}{12}\left(\frac{x}{l}\right)^3-\frac{1}{5}\left(\frac{x}{l}\right)^2$, $B_4=-\frac{2}{5\cdot6\cdot7\cdot8}\left(\frac{x}{l}\right)^8+\frac{1}{15}\left(\frac{x}{l}\right)^3-\frac{1}{6}\left(\frac{x}{l}\right)^2$

$B_5=\frac{2}{6\cdot7\cdot8\cdot9}\left(\frac{x}{l}\right)^9+\frac{1}{18}\left(\frac{x}{l}\right)^3-\frac{1}{7}\left(\frac{x}{l}\right)^2$ ……(5)

$$M_q=-2bl^2\left\{\frac{a_0}{2}\left(\frac{x}{l}\right)^2+\frac{a_2}{3\cdot4}\left(\frac{x}{l}\right)^4+\frac{a_3}{4\cdot5}\left(\frac{x}{l}\right)^5+\cdots\cdots\right\}$$
$$+2bl^2\left(a_3+\frac{a_2}{3}+\frac{a_3}{4}+\cdots\cdots\right)\left(\frac{x}{l}\right)-2bl^2\left(\frac{a_0}{2}+\frac{a_2}{4}+\frac{a_3}{5}+\cdots\cdots\right)$$
$$S_q=-2bl\left\{a_0\left(\frac{x}{l}\right)+\frac{a_2}{3}\left(\frac{x}{l}\right)^3+\frac{a_3}{4}\left(\frac{x}{l}\right)^4+\cdots\cdots\right\}$$
$$+2bl\left(a_0+\frac{a_2}{3}+\frac{a_3}{4}+\cdots\cdots\right) \quad \cdots\cdots(6)$$

(5) 式に示す如く $B_0, B_2, \cdots\cdots$ は何れも (x/l) の函數なるを以て $a=\frac{b}{l}$ の値の如何に係らず厚さ一様にして兩端自由なる總ての桁に適用し得ることを知る.

次に荷重に依る撓度 v_p を求めるに荷重を $p(x)$ とすれば p と v_p との間には次の關係あり.

$$\frac{d^4v_p}{dx^4}=\frac{1}{E_1I}p(x) \quad \cdots\cdots(7)$$

$p(x)$ が既知なる時は (7) 式に示す微分方程式より一般の場合の v_p を求め得るが本文に於ける計算は必要なるものゝみに止める.

a) $0<x<l_1$ なる範圍に一樣なる荷重 p_0 が作用する場合 {本文第2圖 (*a*)}

$p(x)$ は (8) 式の如く與へらるるを以て

$$\left.\begin{aligned} p(x)&=p_0 \quad 0\leqq x\leqq l_1\\ &=0 \quad l_1\leqq x\leqq l\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(8)$$

是等の値を (7) 式に代入し, 兩端が自由にて, 荷重が對稱なる條件の下に積分常數を定める v_p, M_p, S_p は次の如し. (M_p ; 荷重のみによる bending moment, S_p ; 〃 Shear)

$$\left.\begin{aligned} v_p&=\frac{bl^4}{E_1I}p_0\left\{\frac{1}{12}\left(\frac{x}{l}\right)^4-\frac{1}{3}\left(\frac{l_1}{l}\right)\left(\frac{x}{l}\right)^3+\frac{1}{2}\left(\frac{l_1}{l}\right)^3\left(\frac{x}{l}\right)^2\right\}+c' && 0<x\leqq l_1\\ &=\frac{bl^4}{E_1I}p_0\left\{\frac{1}{3}\left(\frac{l_1}{l}\right)^3\left(\frac{x}{l}\right)-\frac{7}{12}\left(\frac{l_1}{l}\right)^4\right\}+c' && l_1\leqq x<l\\ M_p&=2bl^2p_0\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{x}{l}\right)^2-\frac{l_1}{l}\left(\frac{x}{l}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{l_1}{l}\right)^2\right\} && 0<x\leqq l_1\\ &=0 && l_1\leqq x<l\\ S_p&=2blp_0\left\{\left(\frac{x}{l}\right)-\left(\frac{l_1}{l}\right)\right\} && 0<x\leqq l_1\\ &=0 && l_1\leqq x\leqq l\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(9)$$

b) $0<x<l_1$ なる範圍に三角形の荷重の作用する場合 {本文第2圖 (*b*) 參照}

$p(x)$ は次の如く與へらるゝを以て

$$p(x)=p_0\frac{l_1-x}{l_1} \qquad 0\leq x\leq l_1$$
$$=0 \qquad l_1\leq x\leq l$$

是等の値を (7) 式に代入し v_p, M_p, 及 S_p を求むれば

$$\left.\begin{aligned}
v_p&=\frac{bl^4}{E_1I}p_0\left\{\frac{1}{12}\left(\frac{x}{l}\right)^4-\frac{1}{60}\frac{l}{l_1}\left(\frac{x}{l}\right)^5-\frac{1}{6}\left(\frac{l_1}{l}\right)\left(\frac{x}{l}\right)^3+\frac{1}{6}\left(\frac{l_1}{l}\right)^2\left(\frac{x}{l}\right)^3\right\}+c_1' && 0\leq x\leq l_1\\
&=\frac{bl^4}{E_1I}p_0\left\{\frac{1}{12}\left(\frac{l_1}{l}\right)^3\left(\frac{x}{l}\right)-\frac{1}{60}\left(\frac{l_1}{l}\right)^4\right\}+c_1' && l_1\leq x\leq l\\
M_p&=2bl^2p_0\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{x}{l}\right)^3-\frac{1}{6}\left(\frac{l}{l_1}\right)\left(\frac{x}{l}\right)^3-\frac{1}{2}\left(\frac{l_1}{l}\right)\left(\frac{x}{l}\right)+\frac{1}{6}\left(\frac{l_1}{l}\right)^2\right\} && 0\leq x\leq l_1\\
&=0 && l_1\leq x\leq l\\
S_p&=2blp_0\left\{\left(\frac{x}{l}\right)-\frac{1}{2}\left(\frac{l}{l_1}\right)\left(\frac{x}{l}\right)^2-\frac{1}{2}\left(\frac{l_1}{l}\right)\right\} && 0\leq x\leq l_1\\
&=0 && l_1\leq x\leq l
\end{aligned}\right\}\cdots(10)$$

(9) 及 (10) 式の v_p を見るに括弧中の數値は總て $\left(\frac{x}{l}\right)$ 及 $\left(\frac{l_1}{l}\right)$ の函數にして α 等には independent なるを以て，兩端自由にて厚さ一樣なる同一荷重狀態の桁に適用することが出來る．

附 錄 III

本文に於ては $\alpha=0.01$, $\varepsilon=1$ なる場合に就て未知數の數及基礎地盤の沈下と桁の撓度とを一致せしめる點の撰び方により地盤反力分布及彎曲力率が如何なる變化を爲すかを求めたるが，α 及 ε の異なれる場合に於ても類似の結果が得らるゝや否やを確める必要がある．而して本文に於ける如く8場合を全部計算するは頗る煩雜なるを以て次の3場合に就て計算を行つた．

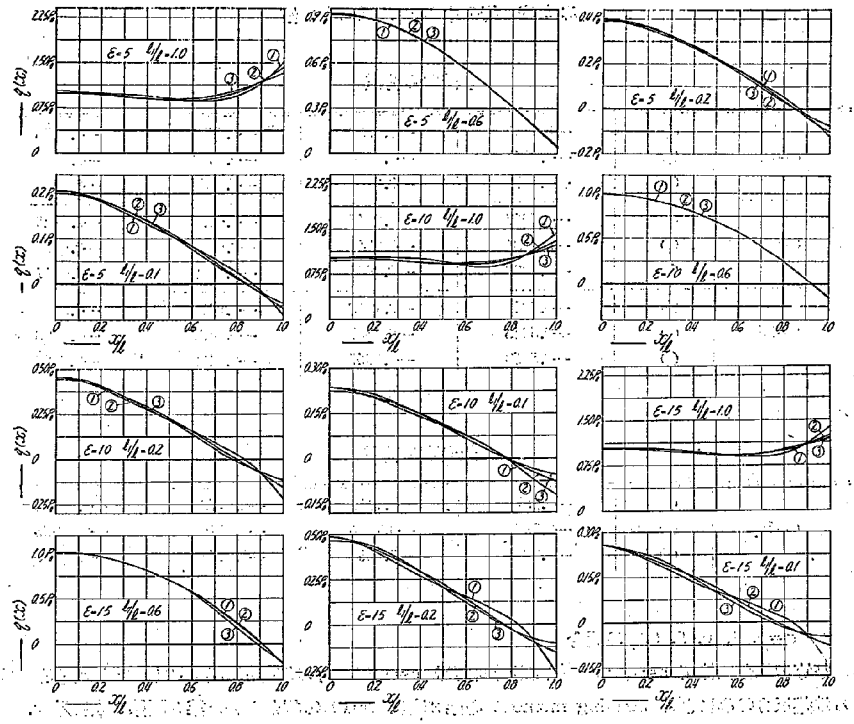
① $\xi=1,\ 0.6,\ 0.4,\ 0,$　② $\xi=1,\ 0.6,\ 0$

③ $\xi=1,\ 0.4,\ 0$

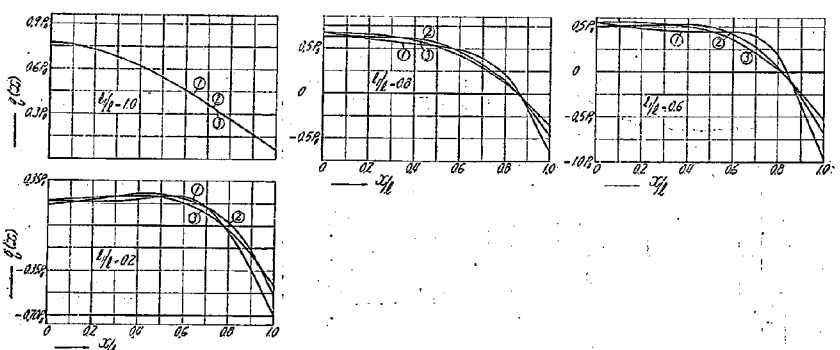
3つのものは本文に於ける ③, ⑥, ⑦ に相當する．而して是等3つのものゝ間に本文に於けると類似の關係があるときは他の場合に就ても略同樣なるは推定するに難くない．

1. $\alpha=0.01$ の場合．

$\alpha=0.01$ の　合には等布荷重一樣なるときは $\varepsilon=5,\ 10,\ 15$, 三角形荷重なるときは $\varepsilon=10$, に就て計算を行ひ地盤反力は第1圖に桁の中央に於ける地盤反力のみによる彎曲力率を第1表に示す．



(a) 等 布 荷 重



(b) 三 角 形 荷 重

第 1 圖　地盤反力の値 ($\alpha=0.01$)

第1表 桁の中心の $M_0/2b\ell^3$ の値

一様なる荷重

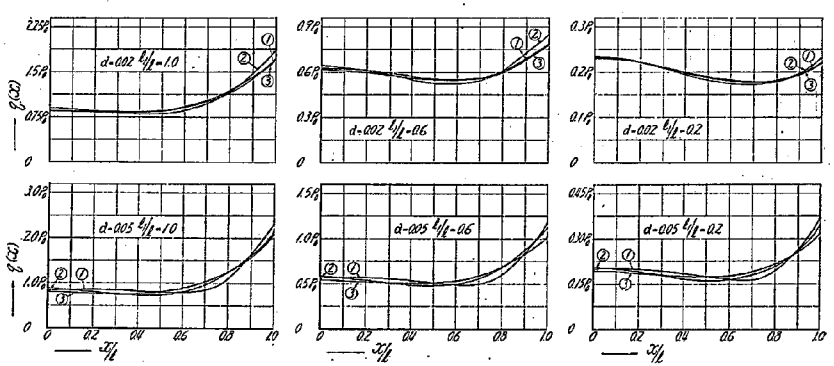
ε=5	①	−0.5131	−0.2232	−0.0573	−0.0278
	②	−0.5167	−0.2234	−0.0564	−0.0272
	③	−0.5179	−0.2235	−0.0561	−0.0270
ε=10	①	−0.5067	−0.2045	−0.0472	−0.0225
	②	−0.5081	−0.2044	−0.0465	−0.0221
	③	−0.5092	−0.2044	−0.0459	−0.0217
ε=15	①	−0.5042	−0.1968	−0.0426	−0.0201
	②	−0.5048	−0.1967	−0.0421	−0.0198
	③	−0.5058	−0.1967	−0.0412	−0.0192

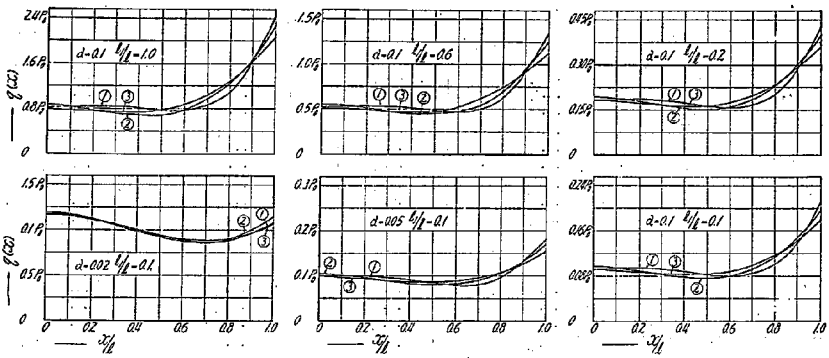
三角形の荷重

ε=10	①	−0.1879	−0.1252	−0.0773	−0.00923
	②	−0.1877	−0.1214	−0.0716	−0.00928
	③	−0.1877	−0.1231	−0.0742	−0.00913

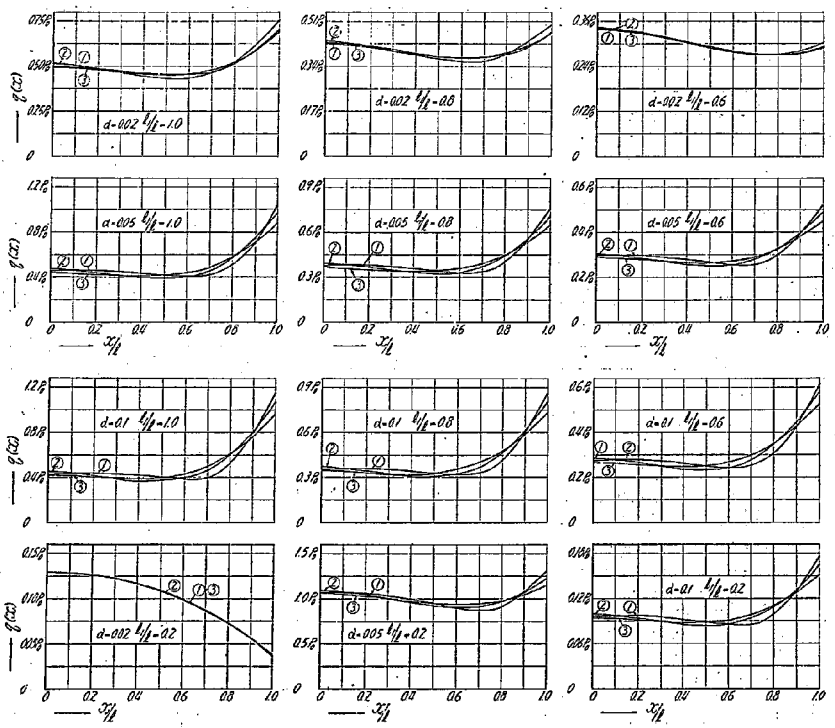
2. α=0.02, 0.05, 0.1 の場合

是等の場合は總て ε=1, 10 に就て計算を行ひ ε=1 の場合の地盤反力を第2圖に桁の中央に於ける地盤反力のみによる bending moment を第2表に ε=10 の場合を夫々第3圖第3表に示す.





(a) 等布荷重



(b) 三角形荷重

第 2 圖　地盤反力の値　(ε=1)

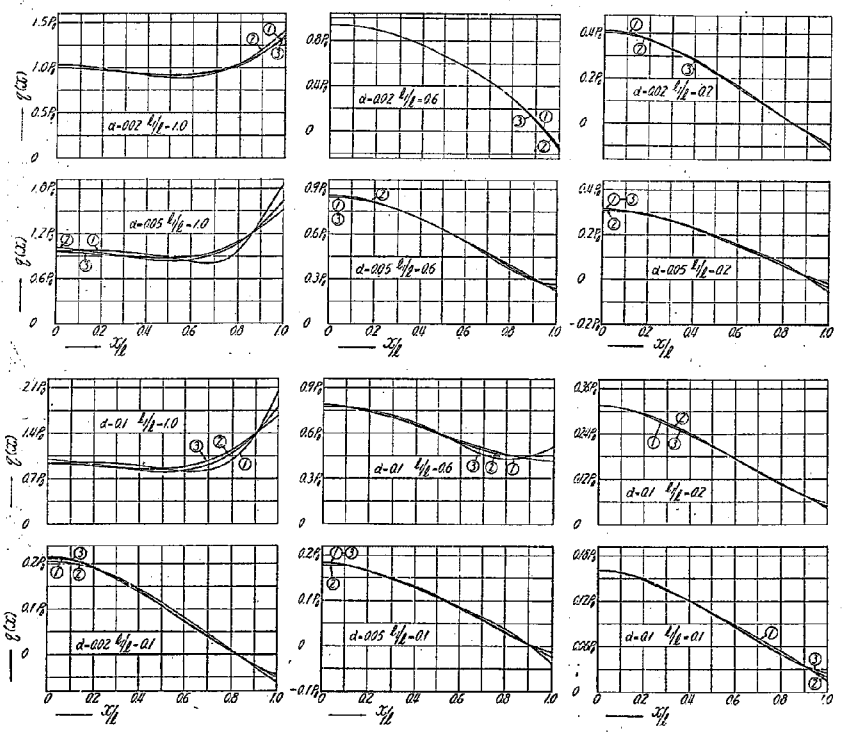
第 2 表　桁の中心の $M_a/2b\ell^2$ の値

一様なる荷重 ($\varepsilon=1$)

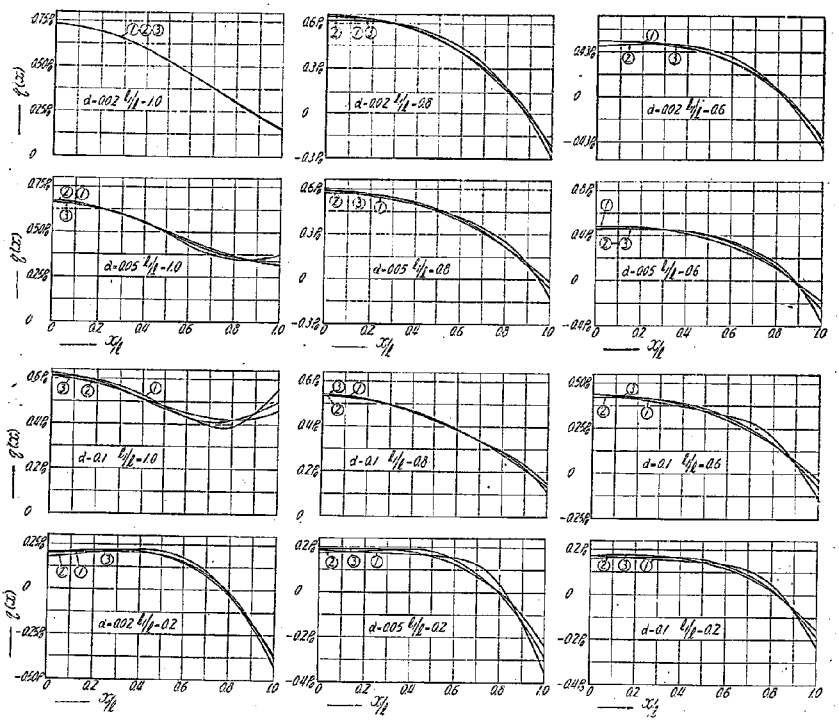
$\alpha=0.02$	①	−0.5546	−0.3045	−0.0959	−0.0477
	②	−0.5593	−0.3067	−0.0965	−0.0479
	③	−0.5584	−0.3063	−0.0964	−0.0479
$\alpha=0.05$	①	−0.5677	−0.3243	−0.1048	−0.0523
	②	−0.5767	−0.3290	−0.1062	−0.0529
	③	−0.5768	−0.3290	−0.1062	−0.0529
$\alpha=0.1$	①	−0.5750	−0.3340	−0.1092	−0.0545
	②	−0.5856	−0.3398	−0.1109	−0.0554
	③	−0.5858	−0.3398	−0.1110	−0.0554

三角形の荷重 ($\varepsilon=1$)

$\alpha=0.02$	①	−0.2588	−0.1985	−0.1432	−0.0425
	②	−0.2607	−0.1995	−0.1436	−0.0425
	③	−0.2603	−0.1993	−0.1436	−0.0425
$\alpha=0.05$	①	−0.2731	−0.2137	−0.1571	−0.0494
	②	−0.2771	−0.2165	−0.1589	−0.0498
	③	−0.2772	−0.2165	−0.1589	−0.0498
$\alpha=0.1$	①	−0.2803	−0.2210	−0.1637	−0.0526
	②	−0.2852	−0.2246	−0.1661	−0.0532
	③	−0.2853	−0.2247	−0.1662	−0.0533



(a) 等布荷重



(b) 三角形荷重

第3圖 地盤反力の値 (ε=1)

第3表 桁の中心の $M_0/2b\ell^2$ の値

一様なる荷重 (ε=10)

α=0.02	①	−0.5153	−0.2185	−0.0538	−0.0259
	②	−0.5152	−0.2185	−0.0539	−0.0259
	③	−0.5162	−0.2185	−0.0535	−0.0257
α=0.05	①	−0.5281	−0.2436	−0.0661	−0.0323
	②	−0.5297	−0.2438	−0.0660	−0.0322
	③	−0.5312	−0.2440	−0.0658	−0.0320
α=0.1	①	−0.5392	−0.2634	−0.0756	−0.0372
	②	−0.5421	−0.2641	−0.0755	−0.0371
	③	−0.5436	−0.2645	−0.0754	−0.0370

三角形の荷重 (ε=10)

α=0.02	①	−0.1979	−0.1322	−0.0817	−0.01163
	②	−0.1979	−0.1323	−0.0819	−0.01174
	③	−0.1979	−0.1314	−0.0805	−0.01099
α=0.05	①	−0.2159	−0.1517	−0.0998	−0.02054
	②	−0.2161	−0.1512	−0.0990	−0.02001
	③	−0.2164	−0.1508	−0.0982	−0.01947
α=0.1	①	−0.2301	−0.1668	−0.1136	−0.02733
	②	−0.2308	−0.1665	−0.1128	−0.02670
	③	−0.2312	−0.1664	−0.1124	−0.02637

溢流堤下游洗掘防止に關する一試験

内務技手　八　木　龜　助

梗　概

溢流堤下游の洗掘狀態を模型實驗により觀測し，溢流水勢緩和裝置として阻柱又は噴水を設けたる場合洗掘防止に如何に効果あるかを試驗し，尙魚道のある場合その吐口附近の洗掘狀況に對する實驗をも行つたものである．

目　次

I　緒　論 ……(1)
II　試驗の方法 ……(2)
III　測定の結果 ……(3)
IV　魚道吐口附近の洗掘試驗 ……(9)

I　緒　論

（1）試驗の目的　溢流堤を越えて流下する水勢を弱め下游の洗掘を防止する爲めの裝置として先年當試驗所に於て種々なる阻柱に對して模型試驗を行ひ，其の結果は「阻柱に關する試驗」として當所員本間仁氏の報告が當所報告第 24 號（昭和 8 年 6 月刊行）に掲載されてゐる．本試驗は之に連絡して同氏指導の下に特に次の點を明らかにすることを目的として行はれたものである．

i　阻柱の溢流堤下游洗掘に及ぼす影響
ii　溢流堤下游に於ける土砂の流動狀態
iii　阻柱の位置と洗掘との關係
iv　噴水式水勢減殺裝置に關する試驗
v　魚道吐口附近に於ける洗掘狀況

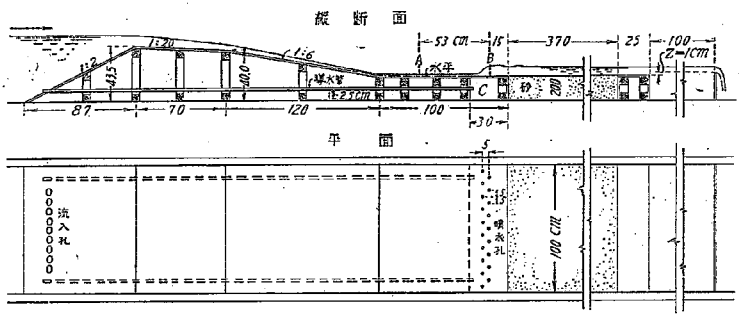
この種の試驗は種々の副作用の混入し易き點，相似律の明確ならざる點等より試驗によつて結論を得ることの甚だ困難な問題である．從つて本試驗に於ても常に比較を主として行つてゐるのである．

（2）試驗の種類　この試驗に用ひた阻柱は第 2 圖 (*a*) に示すもので，これは前回の實驗報告第 III 型（小角錐）と同一構造寸法のもので同報告に於てこの型の阻柱及び他の數種の阻柱の効果は比較されてゐるから今回はこれと噴水式水勢減殺裝置とを比較して觀た．これは堰堤上流側にて高水位を有する水を有壓水路にて溢流部下流に導き，溢流水勢を阻碍する如く數多の孔口より溢流路面に噴出せしめて水勢を緩和し洗掘を防止しやうとするものである．本試驗では噴水孔或は阻柱の設置位置を溢流堤下流に於て，53 cm 隔て > 上下流 2 個所に位置を變へ其の影響を試驗し，又之等と障碍物のない場合とを比較し，且つ各々流量を毎秒 30 *l*，20 *l*，15 *l* の 3 種に就いて實驗し流量の大小による影響をも比較した．尙下流部水位堰上げ高 ζ[1] は各場合共 1 cm と一定した．

1) 報告第 24 號第 29 頁參照．

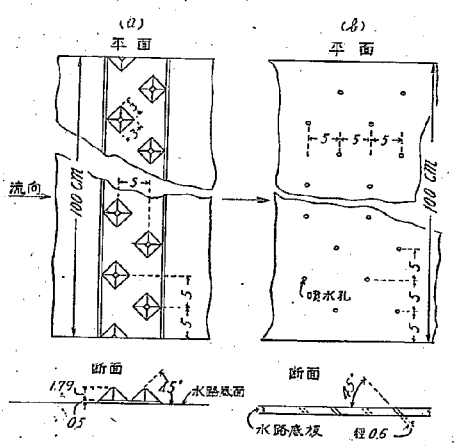
II 試驗方法

（1） 試驗設備　本試驗は當所赤羽分所内設備の水理試驗樋内で行つたもので，この試驗樋は幅，深各 1 m，長約 17 m，中央部兩側面は 3 m に亙り硝子張りにて側面から水の流動狀態を觀測するこ



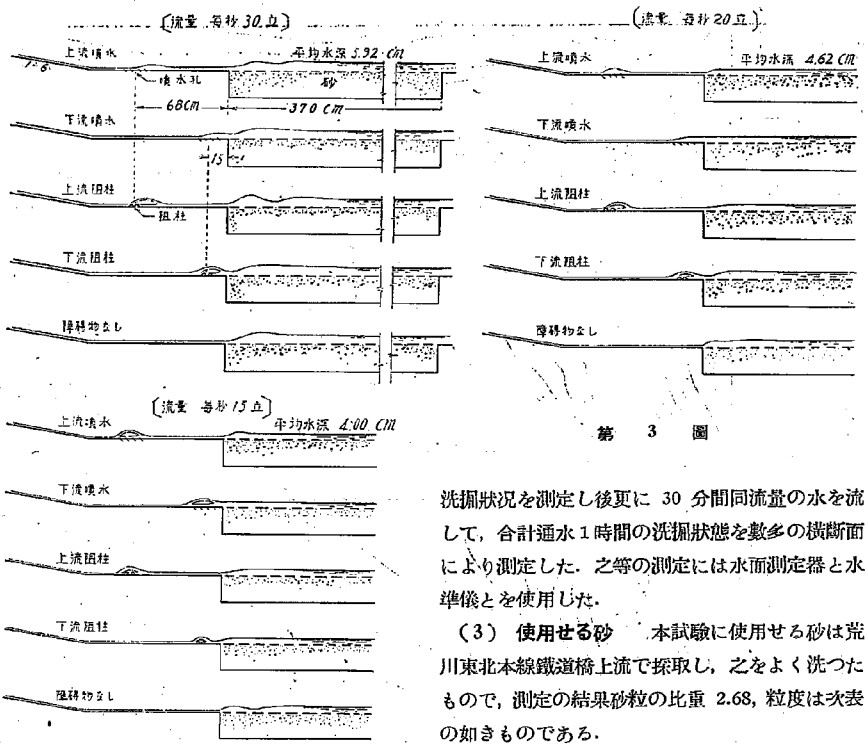
第　1　圖　　溢流堤洗掘試驗設備

とが出來る．試驗用水は循環式に依り任意一定の流量を連續して供給出來る樣になつてゐる．此の試驗樋の中に第 1 圖の如き寸法で堤體全部飽仕上げせる杉材にて張り詰め，其の下流 3.7 m の區間は厚 20 cm に砂を入れ表面を水平に均せる模型を作り，阻柱又は噴水列の中央を同圖の A 或は B に置く樣にした．噴水孔は第 2 圖 (b) の如く溢流堤下流水平板張り部の底板（厚約 11 mm）に徑 6 mm，上流に向つて 45° に傾け，孔列 4，列間隔 5 cm，孔の橫間隔各列共 10 cm 合計 38 孔を穿ちたるもので，堤上流側法面に徑 4.5 cm の孔 9 個を穿ち噴出水は之から流入して堤體内全部に充滿してゐる樣にした．最初は噴出孔底板下に一室 C を區劃して堤上流より徑 2.5 cm の鐵管 2 本にて噴出水を供給し，噴出孔も 2 列 19 孔として見たが噴出水勢弱く，溢流水勢減殺効果微弱なる爲め前記の樣に改造して實驗せるものである．



第　2　圖

（2） 測定方法　下游 3.7 m の區間の砂を水にて飽和せしめたる後其表面を定規にて水平に均し，阻柱のあるとき及び其の無いとき竝に噴水のあるときの各場合について，豫ねて檢測してある幅 1 m 矩形測水堰にて流量を測定し，各實驗各々所定の流量を流した．第 3 圖は通水初期に測定せる水路中央の縱斷面形であるが，之は測定に 5 乃至 10 分を要し，其間急速な洗掘と共に水面形は刻々變化し，且つ水面の動搖多き爲め精確なものではない．通水 30 分にして一旦給水を停止し，其の



第　3　圖

洗掘狀況を測定し後更に 30 分間同流量の水を流して，合計通水 1 時間の洗掘狀態を數多の横斷面により測定した．之等の測定には水面測定器と水準儀とを使用した．

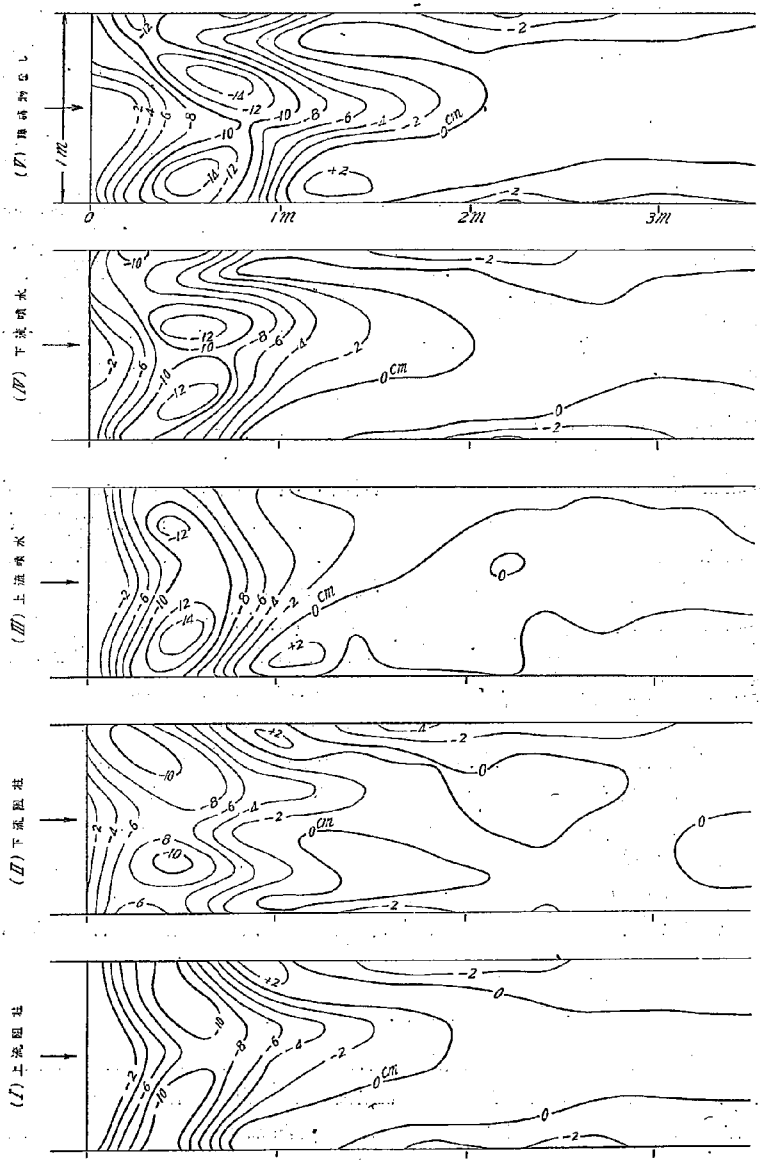
（3）**使用せる砂**　本試驗に使用せる砂は荒川東北本線鐵道橋上流で採取し，之をよく洗つたもので，測定の結果砂粒の比重 2.68，粒度は次表の如きものである．

篩番號	百分率	篩番號	百分率
No. 200 以下	0.05	30—16	21.66
No. 200—100	1.09	16—8	4.90
No. 100—50	14.01	8— 以上	0.19
No. 50—30	58.01		

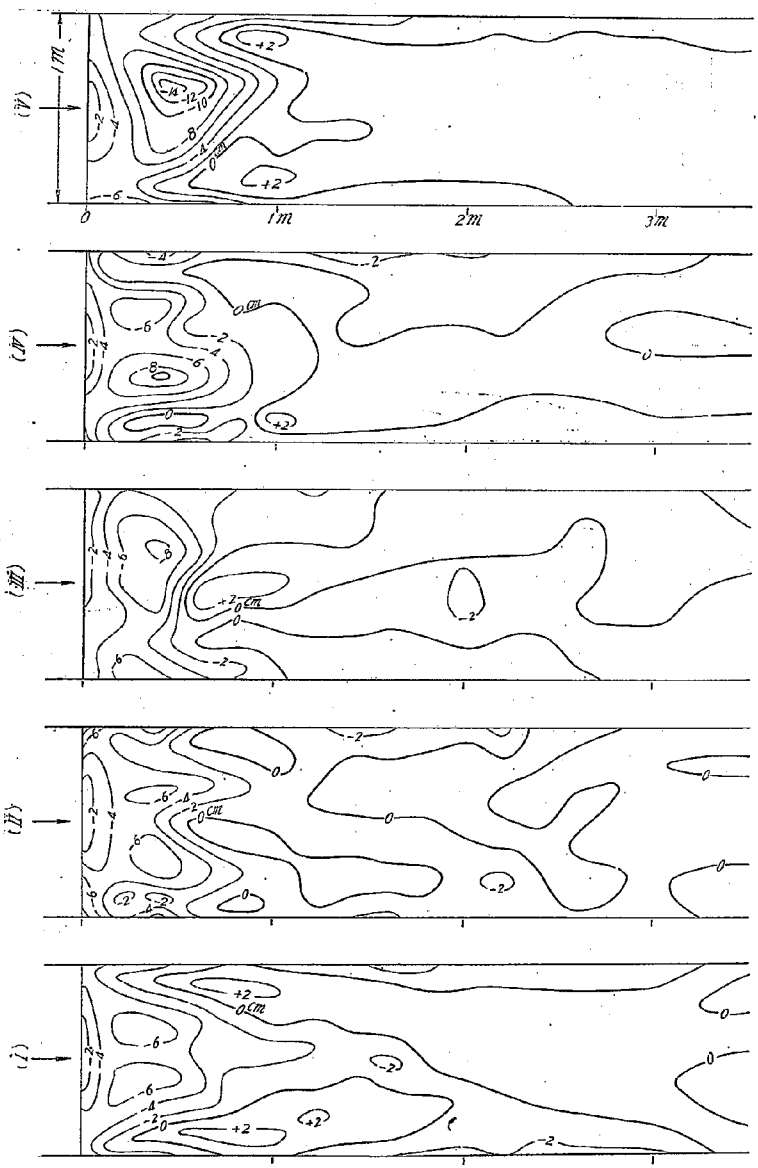
No. 8 以上の中には更に No. 4 に止るものは極く稀に混入せる程度にて殆んど全部がそれ以下であつた．

III 測 定 の 結 果

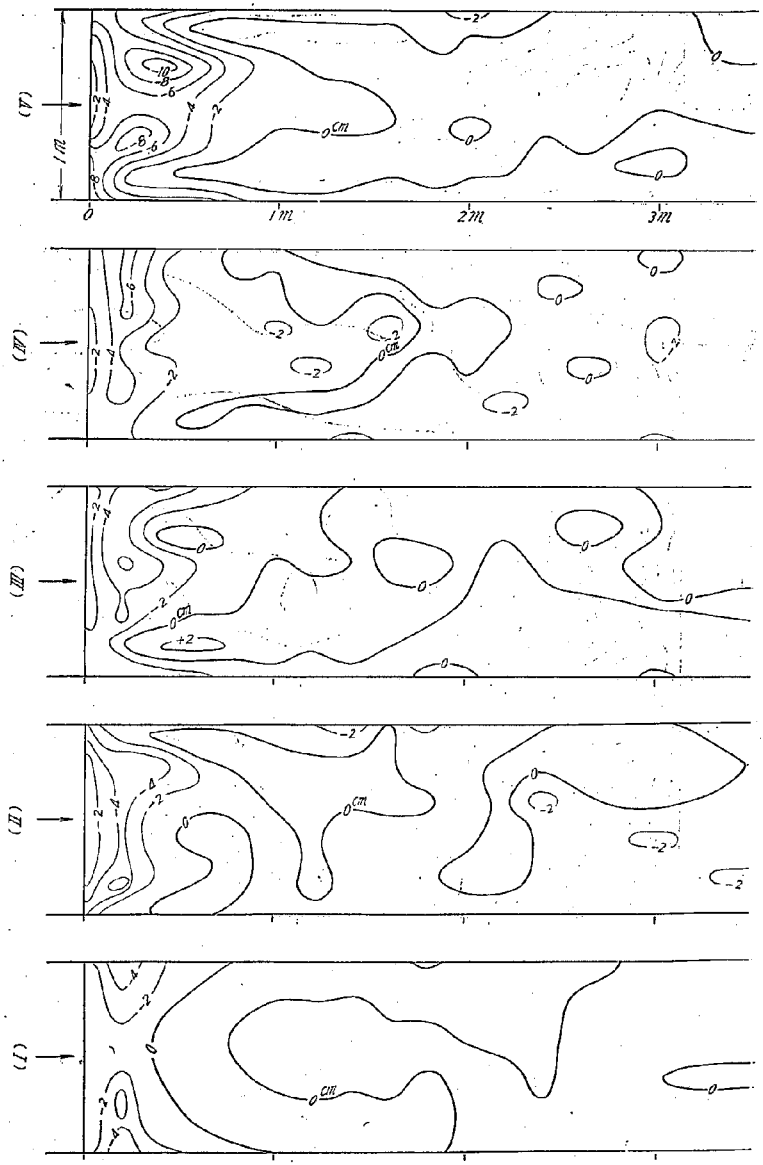
各實驗共通水 30 分後及び 1 時間後の洗掘狀態を測定せるも，30 分後までに大部分は洗掘され，それより後の變化は割合に少く，從つて 1 時間後の洗掘狀態は通水開始竝に停止が瞬間的に出來ない爲に生ずる通水時間の多少の差による誤差が少いから，こゝでは全部 1 時間後の狀況に就いて相互比較をして觀た．第 4 乃至第 6 圖は，初めに水平に均せる砂面高を 0 として 1 時間通水後の洗掘形狀を 2 cm 毎の等高線にて表はしたもので，符號 ＋ は堆積，－ は洗掘を示す．又この幅 1 m の砂敷



第 4 圖 洗掘狀況圖（單位毎秒 30 l の場合）

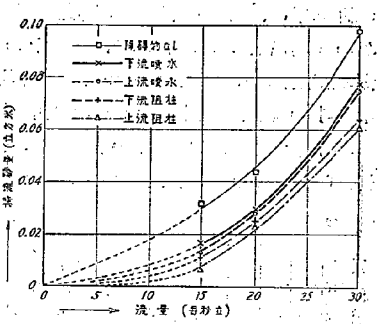


第　5　圖　洗掘狀況圖（流量毎秒20 l の場合）



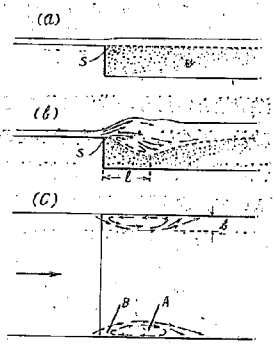
第 6 圖 洗掘狀況圖（流量毎秒 15 l の場合）

込部の中，上流より 1.5 m の區域に於て掃流された砂量卽ち其區域內の洗掘砂量より堆積砂量を除いたものを計算せる結果を圖示すれば第7圖の如くなる．



第 7 圖．

通水直後に於ては各場合共板張りの上は射流のまゝ通過し，砂上に至つて其の抵抗の爲め跳水を生じ常流となるが，流量の少い場合には下流部の堆積砂の爲め上流側の水位高まり，時間の經過と共に跳水位置は漸次上流に移り 15 l/sec の時はそれが上流部阻柱の位置まで達した．砂の移動狀態は最初洗掘のはじまる以前は射流のまゝ砂上へ流入し，其の流勢のため表面の砂は掃流されると同時に第8圖 (a) の S 部に低壓を生じ砂を吸ひ上けて之を掃流し，忽ちのうちに同圖 (b) の如く洗掘され底の抵抗益々大となり，水面は跳水して全く常流となり水底にては底に沿ふて S に向ふ逆流を生じ，其の順逆流の分岐點附近に洗掘の最深部を形成する．分岐點までの距離 l は阻柱の設計に當つて重要視されるものであるが，通水時間從つて洗掘程度及び流量，阻柱の位置等によつて一定しない．而して底の洗掘が安定せる後には l がなるべく大なることが必要とされる．尙これを平面的に見ると砂面平坦にして通水直後は全幅に亙り略並行して流れるが，兩側は側壁の抵抗のため水勢劣り，從つて洗掘も中央部より後れ益々水勢を不均一とし，漸次第8圖 (c) の如く兩側に平面渦を生じ其の幅 b は次第に大となり，爲に中央部の流勢は增大して其の部分のみ特に著しく洗掘され幅廣き溢流路の一部分とはやゝ異る結果を來す．殊に同圖 A 部に於ける土砂堆積と，B 部に於ける橫流のための著しき洗掘は全くこの壁面の影響によるものと見て差支へない．

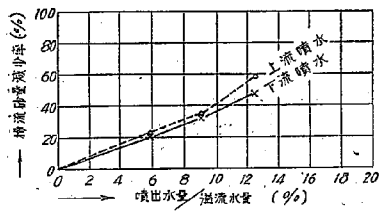


第 8 圖

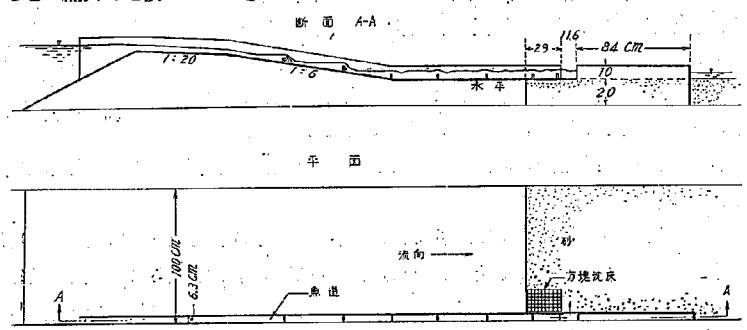
阻柱又は噴水の位置と洗掘との關係は，第 4 圖乃至第 7 圖に見る如く上下流二ケ所だけの比較では，上流に裝置した場合の方が掃流砂量が少い結果を示してゐるが，之は直ちに其の位置が上流に移るに從つて洗掘が少くなるといふことを示すものではなく，此の例では下流に裝置した場合，射流が阻柱又は噴水に阻まれてはね上り，之が砂上に落下する狀態で第 4 乃至第 6 圖に見る如く下流に裝置した場合の方が上流の場合よりも大體に砂の上流板張りの近くまで洗掘してゐるために差を生じてゐるもので，砂上に落下せぬ程度に上流に裝置すれば大差ないものと考へられる．

噴水式水勢減殺裝置は此の試驗では溢流堤上下流の水位差各流量の場合共大差なく，平均約 26 cm なる故噴出速度は大體 $\sqrt{2\times980\times26}=226$ cm/sec の等であるが，この水位差にて噴出水量を實測せるに 38 孔合計にて 1.67 l/sec にして各孔平均噴出速度は 156 cm/sec となり，この差は模型中の損失水頭であつてその大さは $26-\frac{156^2}{2\times980}=13.6$ cm 卽ち損失を極力減少につとめたるに拘らず全水頭

の約 52% は損失水頭となる.[2] 噴出水量が上記の通りなる故溢流水量は，合計流量各 30, 20, 15 l/sec の場合各々 28.33, 18.33, 13.33 l/sec となり，阻柱又は噴水位置に近づける際の射流水深は實測の結果各々 1.5, 1.1, 0.85 cm にして平均流速各々 189, 167, 157 cm/sec となり，水路幅 1 m の中 1 列 10 個竝べる徑 6 mm の噴出孔の直上を通過すべき水量は合計各々 1.7, 1.1, 0.8 l/sec となる．斯の如き流勢の水が相衝き實際には，合計水量 30 l/sec の場合は大體に於て噴水は溢流水勢に抑えられて，水路の一縱斷線中に 2 個ある噴出孔共溢流し來れる射流を突き破つて噴出する力なく，下流側の孔の上で稍著しく水面が盛り上る程度で，20 l/sec のときは上流側の噴水で勢を殺がれ，下流孔で射流を突き破つて噴出し，15 l/sec の場合は更に勢ひよく，場所によつては上流孔で射流を貫いて噴水するものもある程度であつた．其の洗掘防止に就ては第 4 乃至第 7 圖の如く阻柱の場合に比し稍劣るが，全く障碍物なき場合に比すれば掃流砂量は著しく減じてゐる．而して其の減少率が，噴水量と溢流量との割合の變化に依つて如何に變るかは第 9 圖の如く，概略 噴水量/溢流量=0.1 のとき掃流砂量の減少は 40% を示してゐるが 噴水量/溢流量 が同じであつても合計流量の異る場合，其他洗掘地盤の性質に關する比較實驗等を缺くため，第 9 圖の關係は本試驗の場合の一つの例として示したもので，尙實際の場合はその洗掘防止効果と共に此の様な多量の水を噴出せしめる爲の設備と阻柱を設けることの經濟的比較竝にその堰堤の安定及び强度に對する影響等が問題となる譯である．



第 9 圖

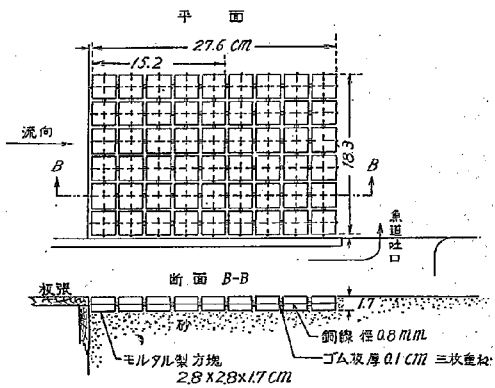


第 10 圖

2) 斯くの如く損失の大なるは噴出孔が木板に錐にて穿ちたるものなるため粗度の大なるのと模型が小なるために起因するもので，此の損失は大部分噴水孔への流入損失と孔中の摩擦損失との合計と考へられ，その中摩擦損失に就ては圓管の摩擦損失を表す式 $h_r=\frac{8g}{C^2}\cdot\frac{l}{D}\cdot\frac{v^2}{2g}$ の中 C は模型の縮尺に比例せず，Manning 式に依れば $C=\frac{R^{\frac{1}{6}}}{n_1}$ にて圓管の場合 $R=\frac{D}{4}$，而して粗度 n_1 は上記の理由で本試驗では實物の 2 倍と假定すれば，模型とこの 100 倍の實物との摩擦損失係數の比は $\left\{\frac{2}{\left(\frac{1}{4}\right)^{\frac{1}{6}}}\right\}^2\Big/\left\{\frac{1}{\left(\frac{100}{4}\right)^{\frac{1}{6}}}\right\}^2=18.5$ となり，實物の場合の損失水頭は本試驗の如く高率とならないことは明らかである．但し本試驗では 噴出孔に到るまでの導水管を廢したるも實際の場合は此の導水管の損失が加はる譯である．

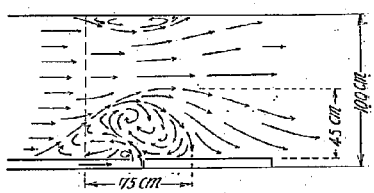
IV　魚道吐口附近の洗掘試験

（1）試驗設備　之は黒部川筋縣營水力の某堰堤の計畫を概略型どつたものである．ただ前試驗の模型堰堤をそのまゝ利用し第 10 圖の如き魚道を設け，其吐口附近にモルタル製方塊沈床を敷設したもの放堰堤の高さは之を無視し，模型板張り末端を床固末端と考へ，堰堤の幅 87 m を模型堰堤の全幅 1 m に取り魚道の幅，方塊沈床の大きさ等は凡て 1/87 として圖の如き寸法を定めた．方塊沈床の構造は第 11 圖に示す如く 2.8 cm 角厚 1.7 cm のモルタル製方塊の細孔に徑 0.8 mm の銅線を通して縦横に連ね，方塊間には 4 mm 平方厚約 1 mm のゴム板 3 枚を重ねてその銅線に通し方塊の間隔を一定に保つと共に屈撓性を害はぬ様にした．方塊の數は横に 6 個縦に 9 列のものと，同じく 5 列のものと 2 種作り，前試驗と同様に砂面を模型堰堤下流の水平板張り面と同高に均し，方塊沈床の面も之と揃へて第 11 圖の如く魚道吐口附近へ敷設したもので，魚道の吐口に於ける高さも砂面と同高である．



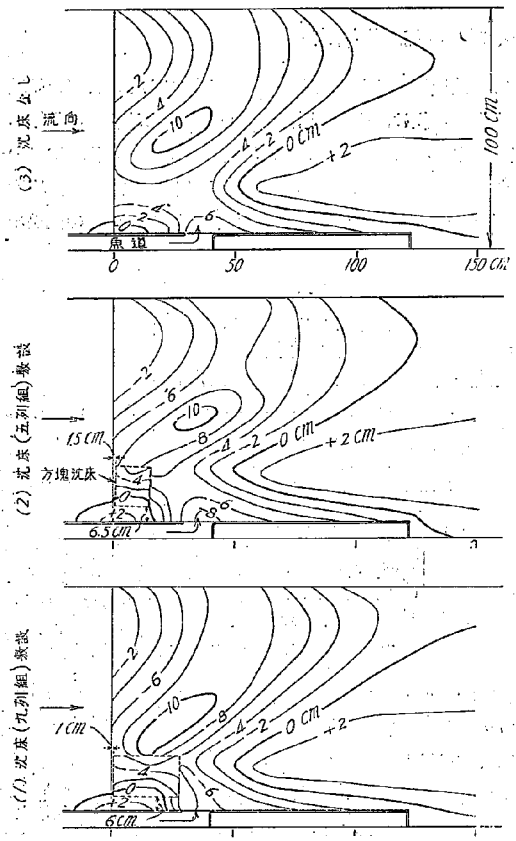
第　11　圖　沈床構造並に敷設圖

（2）試驗の種類及方法　方塊沈床 9 列組みの場合と 5 列組みの場合及び沈床のない場合の 3 種に對し流量は各々 20 *l*/sec を流し，下流水位堰上げ高 *Z* は何れも 1 cm として試驗した．各場合共通水 15 分にして止め，其洗掘狀態を前試驗と同樣の方法で測定し之を第 13 圖に示す．



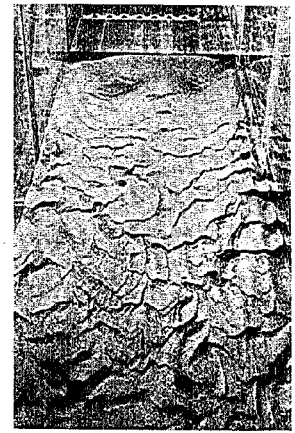
第　12　圖　魚道吐口附近の流向

（3）試驗の結果　この模型では魚道の幅 6.3 cm 仕切板の厚 1 cm であるから溢流路幅 92.7 cm となり，從つて魚道の流量は略 1.27 *l*/sec の筈であるが，溢流路は側面の影響だけでも兩側に平面渦を生ずる所へこれだけの流量が直角に當るため，3 種の場合共略同樣右岸側に大なる平面渦を生じ全水路の流向は第 12 圖の如き狀態となる．實驗によれば溢流水が射流にて全幅殆んど一樣に流れ來る場合何れか一方の側壁近く流水に僅かの障害を與へるとき，若し流勢強く以下も尚射流狀態の場合は影響少いが，障碍物の位置が既に射流の限界水深に近づいてゐる場合はその障害を動機として其の位置で跳水し常流狀態となり，其下流に平面渦を生じて僅かの障害のために水路全體の流勢を非常に不均一にし，之に反し常流狀態で流れ來る場合は側方からの障碍に對して非常に鈍感となる．この實驗の例では魚道の水に影響されて平面渦を生じ，渦のため反撥された溢流水が水路に對して斜の方向をとり右岸側水路半ばまでの流水が殆んど中央近くに集中しそこに深掘れを生じてゐるのであるが，其の

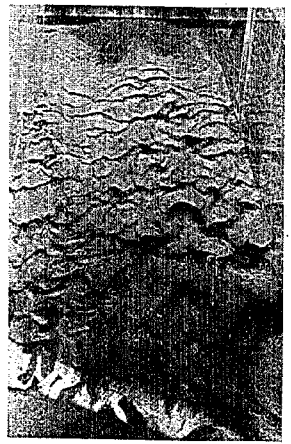


第　13　圖

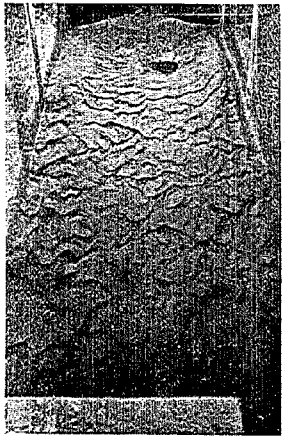
斜流の及ぶ幅の水路全幅に對する割合は溢流水と魚道の水との水勢關係，下流の水位如何その他前記の様な複雜な問題が影響し，實物の場合必ずしもこの通りとは言へない．恐らく實際には斜流の及ぶ範圍は實驗の如く廣くはなく，從て深掘れは更に魚道に近付いて起るものと考へられる．本實驗では第13圖に見る如く沈床を敷設せる場所は却つて堆積部に當り3種實驗共殆んど大差なき洗掘狀態を示し，沈床は可成り沈下を來し水平方向にも移動してゐるが之は中央の深掘れ部に向ふ急傾斜のために滑動したもので，沈床のない場合でも沈床位置右岸寄りには多少の堆積を生じてゐる有樣であるから，その位置に洗掘の虞れはなく寧ろ中央側に防護の要あるものと考へられる．若し溢流水勢が强大で魚道の水の影響が殆んど無視される樣な場合を假想してもこれは全幅に亙り一樣に洗掘さるべきで特に沈床の位置が多く洗掘されることはなく，何れにしてもこの實驗に於ては中央側に沈床の幅の不足なることを示してゐるが，上に述べた樣に模型試驗にては橫流の影響が特に甚しく現はれてゐるのであるから實際にはこの幅でも或る程度の効果を示すであらう．沈床の長さに關しては魚道の水による洗掘は微々たるものであるから沈床をこの附近まで延ばすよりは僅かでも幅を擴ける方が有効と思はれる．要するに溢流堤の下流趾に平面渦を生ずる樣な何等かの原因が存するときは，渦を生ずる部分の洗掘は最も注意を要するものであつて，之は魚道に限らず橋脚，ゲート等の下流側にては常に洗掘の著しい個所のあることに注意せねばならない．



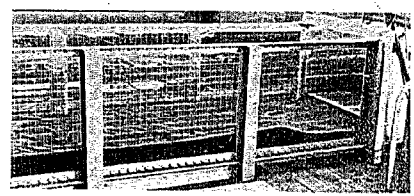
場合、同
寫眞第五　阻柱が上流（第一圖A）にある



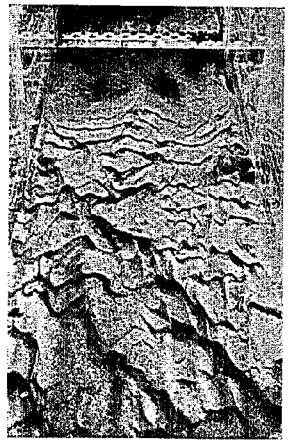
場合、同上
寫眞第三　噴水が上流（第一圖A）にある



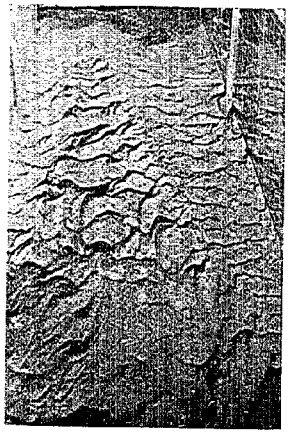
寫眞第一　噴水、阻柱なき場合通水一時間後の洗掘狀況を上方から見る、流量毎秒二十立



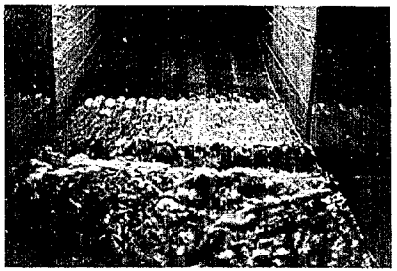
寫眞第六　噴水が下流 B にある場合，流量毎秒三十立，一時間通水後の洗掘狀況を側面から見る



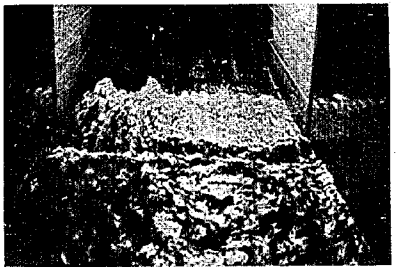
場合、同
寫眞第四　阻柱が下流（第一圖B）にある



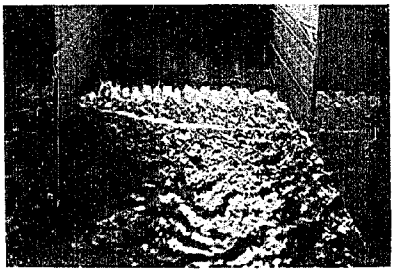
寫眞第二　噴水が下流（第一圖B位置）にある場合、同上



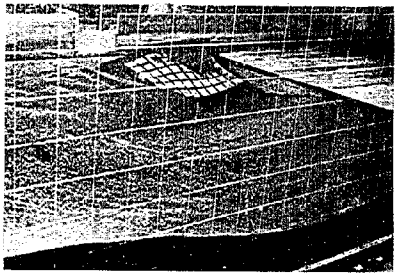
寫眞第七　噴水式水勢減殺裝置の噴水狀況，噴水位置第一圖 A（上流）流量 30 *l*/sec



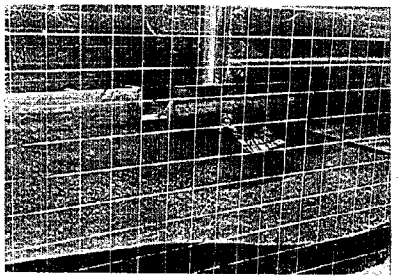
寫眞第八　同流量 20 *l*/sec の場合



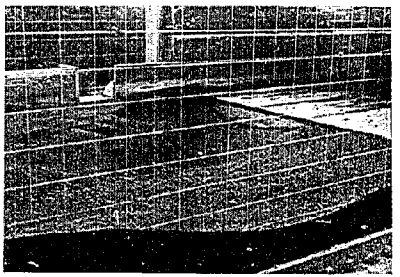
寫眞第九　同流量 15 *l*/sec の場合



寫眞第十　魚道吐口附近の洗掘狀況を左岸側面より見る，流量 20 *l*/sec，通水時間 15 分，方塊沈床幅 6 個，長 9 個の場合



寫眞第十一　同方塊沈床幅 6 個長 5 個の場合



寫眞第十二　同方塊沈床のない場合

國道鈑結鈑桁橋標準設計案

內務技師　青　木　楠　男
囑　託　牧　野　　喬

本稿は國道鈑桁橋に對する設計試案にして，この種構造物の實施に從事せらるゝ技術者の意見を求め，最も適當なる設計規範を得んとするものである．

I　緒　　言

本設計案は國道鈑桁橋のあらゆる場合に對する標準設計を設定し様とするものではない．蓋し標準設計の對象とすべく道路橋の構造は餘りに多岐多様である．この多様性の主なる原因は　1) 其有効幅員が一定せざること．2) 有効幅員そのものが鐵道橋に比して大なること等にある．今假りに對象を國道橋に限定するも，その幅員は 7.5, 9, 11m ……等と一定せず，更に或特定の幅員を採るとするも，支間及び架橋地點の狀況に應じて主桁の數，間隔，床組及び横構の構造等に多様の型式を生ずる．從つてあらゆる場合を包括する標準設計を設定することは，實に容易ならざる勞力と時間とを必要とする至難の仕事である．而も假りに標準設計を設定するとするも，これによつて全國の道路橋を劃一的に或る型式に統一せんとすることに對しては，鐵道橋の場合と異り，各種の異論を免れないものと考へられる．

斯く觀じ來れば，道路橋の標準設計設定の試みは，勞徒らに多くして功甚だ薄きを豫期せざるを得ない．これ諸外國に於ても全般的な道路橋標準設計の確立を見ない所以であらう．併し我國の事情は稍特殊の立場にありてこれを諸外國と一律には考へられない，蓋し歐米諸國にあつては，道路橋に對して其設計計算より架設に至るまで，極めて詳細なる示方書が制定されてをるのであるが，本邦道路橋に關しては，纔かに「道路構造に關する細則」の第二章が，極めて基本的な設計基準を規定してをるに過ぎず．細目の設計に至つては全く擔當者各自の自由裁量に委せてをる．此方針は進歩途上にある國情に則し，且つ道路橋の多様性を尊重したものであつて，構造技術上の進歩を促すと共に，特殊の事情に於ても自由なる設計計畫を行ひ得る點に於て極めて便宜なる方針と認められるゝも，一面に於て道路橋の設計方針を甚しく不統一ならしめた．即ち細目の設計に當つて，鐵道省の「鋼鐵道橋設計示方書」を參考とするもの，米國鐵道協會の「鋼道路橋示方書」(Specification for Steel Highway Bridges—1929) に準據するもの，獨逸構造物標準規格 (DIN. 1071, 1072, 1073) を引用するもの，或はこれ等の一部づゝを採擇するもの等，全く混亂の狀態にある．其結果は所要鋼重に著しい相違を生ぜしめ，往々にして常軌を逸したる設計を見受けないでもない．

斯くの如き混亂狀態の裡に進歩發達の萌芽が表はれると考へられないでもないが，何時までもこの狀態に彷徨すべきではないのであつて，道路構造令發布以來すでに拾五年餘，全國主要幹線道路橋の略完成せんとする今日に於ては既に綜合統制の時機に達してをるものと思惟される．即ち本設計案を

して設計方針統制化に對する第一歩たらしめ，且つ國道鈑桁橋の細目設計に關する最も妥當なる規格を得るために役立たしむることが出來れば幸である．

尙遠からず我國に於ても道路鋼橋の細目設計に關する示方書の制定を見る筈であるが，其曉に於ては本設計案も之に應じたる多少の變改を必要とするに至るであらう．又「道路構造に關する細則」の改訂に伴ひ橋梁規格に變更ありたる場合に於ても同樣である．

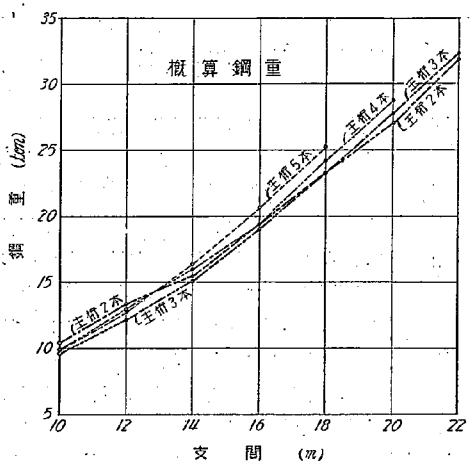
II　設計要項

本設計の目的が上述の點にある關係上，幅員，支間等は總ての場合を網羅する必要を認めない譯であり，又實際問題としてあまりに廣範圍の計畫は實行困難なるため，本稿に掲げたものは其有効幅員 7.5 m の場合のみに限り，支間は便宜上 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 及び 30 m の 9 種に限定した．

荷重及許容應力は「細則」に準據せること勿論であり，橋面鋪裝，縱橫斷勾配及び高欄は各架橋地點の狀況に適する樣，工事擔當者に於て考案するを便とするが故に，本設計案に於てはこれに觸れず，單に鋪裝及び床版の重量を 560 kg/m². 各側高欄及び地覆の重量を 460 kg/m と假定して計算した．

III　主桁の數及び間隔

有効幅員 7.5 m に對し主桁數 2, 3, 4, 5 本の 4 型式を考へ，これ等によつて上記の各支間に對し主要部の實際設計を行つた上で，所要鋼材の概算重量を求め，これ等の比較を試みた．其の結果を概述すれば（第 1 圖參照）



第 1 圖　鈑桁概算鋼重比較圖表

(a)　主桁 4 本及び 5 本の型式は，鋼重に於て不經濟なるのみならず，構造細目に於ても種々面白からざる點ありて，幅員 7.5 m に對しては主桁數過多なることが明かに認められた．

(b)　主桁 2 本及び 3 本の型式は，鋼重に於て全く伯仲の間にあり，孰れを選ぶかに困難を感じた．主桁 2 本の型式は，荷重分擔の割合が明瞭な點に於て，理論的には優つてをるのであるが，短支間のものに於ては床桁が殆んど主桁と同高となり構造細目に於て困難があり，且パネル割にも不便を免れない．概してこの型式は支間が主桁間隔の約 2.5 倍以上の場合でなくては，經濟的な床組構造となし得ないことが認められる．

以上の結論により，支間 10～18 m に對しては主桁 3 本，20～30 m に對しては主桁 2 本の型式を採用した．この決定は有効幅員 7.5 m といふ特定の場合に對してのみ根據を有するものであつて，一

般の場合に當嵌まるべき性質のものではない．若し有効幅員が更に大なる場合には，主桁4本の型式も相等有利の位置に立つべく，亦主桁 3 本の型式の經濟的支間は 20 m 以上に及ぶであらう．

主桁の間隔は 3 本の場合は 3.3 m，2 本の場合は 6.6 m とし，縦桁はすべて 1.65 m の間隔に配置した．これは兩側端に於ける床版の突出を過大ならしめざることゝ，この程度の縦桁間隔に於て床版の所要厚が丁度 15 cm（施工上の都合を考慮したる最小厚）となること等に基いて決定したものである．

IV 各部設計

各部の設計に當つては何等新奇の方法を用ひず，從來慣用されたる方法に從つた．詳細は卷末添附の附圖によつて明かであるが以下に其要項を列記する．

(1) 主　桁

(a) 主桁計算の基礎となる最大曲げモーメントは 0.2 *l* 點，0.4 *l* 點，及び 0.5 *l* 點に對して求め，床桁取付箇所に於ける曲げモーメント圖の屈折は考慮しなかつた．

(b) 最大剪斷力も上記 3 點に對して求めた．

(c) 慣性モーメント及び抵抗モーメントの計算に當つては，突縁鋲孔をすべて控除した．これは鋲の位置を自由ならしめる爲めである．

(d) 蓋鈑の長さは圖式的に決定し，上突縁の蓋鈑のうち 1 枚は桁端まで延長した．從つて桁端附近の斷面は非對稱である．

(e) 非對稱斷面に對しては，中立軸の移動を總斷面によつて求め，抵抗モーメントの計算は勿論，鋲距の計算に於ても非對稱を考慮に入れた．

(f) 主桁接合の數は，主として運搬上の便宜を考へ，長さ 8 m 以上の材片を造らざる方針の下に決定した．從つて支間 10～16 m は 1 箇所，16～25 m は 2 箇所，30 m は 3 箇所に於て全接合を行つてをる．若し事情が許すならば，接合數は更に少くする事に努むべきは勿論である．

(g) 主桁の接合位置は格間にある補剛材取付箇所とした．これは接合を格點に設くるときは其箇所の床桁が他の床桁と寸法を異にすること，接合を補剛材の中間に置くときは隣接補剛材が突縁山形鋼添接の妨害となること等の理由による．但し短支間のもの（支間 10 m 及び 12 m）にては已むを得ず格點に接合を設けた．

(h) 接合は多くの場合桁の中央に設けて，桁をなるべく相等しい兩半部に分ける樣にした．但し支間 14 m 及び 16 m の桁は，桁の中央に補剛材なきため，已むなく中央より少しく離れたる點に接合を置いた．

(i) 格間數は總ての點より見て奇數が好都合である．依つて支間 14～18 m は 5 格間，22 及び 25 m は 7 格間，30 m は 9 格間とした．但し支間 10 m，12 m 及び 20 m は格間長の關係より止むなく偶數格間を用ひてをる．

(j) 複列の鋲を有する構造部分に於ては，最初の鋲を努めて外側に置き，若し外側に置き難き場合には，該材片（突縁山形鋼，蓋鈑等）の端を斜めに剪除した．

(k) 塡材は塡充すべき間隙の長さより 5 mm だけ短くした．

（2）床組構造

(a) 主桁 3 本の型式では，床桁も縦桁も壓延鋼桁とし，床桁は主桁腹鈑の上端に，縦桁は床桁腹部の上端に取付けた．

(b) 主桁 2 本の型式では，床桁は鈑桁構造として主桁腹鈑の中部に取付け，縦桁は壓延鋼桁を用ひ床桁突縁上に載置した．床桁の取付け位置を低めた理由は格點荷重による腹鈑挫屈作用の危險を避けんがためである．

(c) 縦桁の連續性はすべて無視し單桁として計算した．而して其壓縮突縁は直上の床版によつて横揺を完全に防止さるゝものと見做し，許容應力として最大値 1100 kg/cm² を採つた．又壓延鋼桁の腹部は鋼材節約の點より其厚さを 7.5 mm まで許容した．

（3）横　構

(a) 上部横構の働きは連續せる床版に負擔せしむることゝした．

(b) 下部横構は，主桁 3 本の場合は主桁の下突縁間に設け，主桁 2 本の場合は床桁の下端に取付けた．

（4）支　承

(a) 總ての支承は線支承とし，各部の寸法は從來慣用の計算方法によつて決定した．（曲面の半徑決定には Hertz の方法を用ひた）．

以上の要項に從つて卷末附圖の如き設計圖を得た．其の重要諸數値は次表の如くである．但し表の鋼材重量には沓の重量を含まない．

支間 m	格間長 m	縦桁	床桁	中桁				側桁				鋼材重量	
				max M (t. m)	腹鈑	突縁山形	蓋鈑	max M (t. m)	腹鈑	突縁山形	蓋鈑	t	Kg/m²
10	4×2.50	I-250×125×7.5	I-300×150×8	58.9	850×9	125×90×9	1−290×9	44.4	850×9	125×90×9	1−270×9	10.48	140
12	4×3.00	I-300×150×8	I-300×150×9	82.6	950×9	〃	2−270×9	62.2	950×9	125×90×9	1−270×9	13.03	145
14	2×2.50, 3×3.00	〃	〃	110.6	1060×9	125×90×10	2−300×9	83.6	1060×9	125×90×10	1−300×10	16.93	161
16	2×3.05, 3×3.30	〃	〃	142.4	1190×9	125×90×9	3−270×9	107.4	1190×9	125×90×9	2−270×9	19.52	163
18	5×3.60	〃	〃	178.9	1340×9	125×90×10	3−290×9	135.0	1340×9	125×90×10	2−270×9	23.40	173
20	2×3.34, 4×3.33	〃	鈑桁 (h=68cm)					274.5	1530×9	150×100×12	3−340×10	28.56	190
22	2×3.15, 5×3.14	〃	〃 (h=67cm)					331.8	1660×10	150×100×15	3−350×10	33.94	206
25	2×3.50, 5×3.60	〃	〃 (h=70cm)					427.9	1810×11	〃	3−370×12	40.60	217
30	2×3.10, 7×3.40	〃	〃 (h=69cm)					617.4	2070×12	150×150×15	3−400×14	57.92	257

附記：主桁 3 本（支間 18 m 以下）の場合には，概算鋼重と精算鋼重とが略正確に一致したが，主桁 2 本（支間 20 m 以上）に於ては各支間とも概算鋼重が過小であつた．材片の制限長を概算の際には 10 m にとり，後に 8 m に改めたこと，換言すれば主桁接合箇所を增加したことが，この違算の主要原因であつて，主桁 3 本の型式も若し支間 20 m 以上についてこの制限を用ふれば，略同程度の鋼重增加を免れない．例へば支間 25 m のものについて行つた檢算によれば，主桁 2 本のものが鋼材重量 40.600 t あるに對し，主桁 3 本のものは 41.800 t となつた．故に上記の違算によつて，主桁數選定の根據に動搖を來たす樣な惧れはないものと信ずる．

本設計に當つては內務技師大野博氏と合議した點が尠くない．又計算，製圖は主として豊田松吉，額賀慶三郎，兩氏の手を煩したものである．

土木試驗所出版圖書

報告

第一號	路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告．瀝青質材料並瀝青質混合物に關する研究第一報	大正十四年三月發行
第二號	瀝青質材料針度に就て	大正十五年一月發行
第三號	「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定．瀝青混合物に關する研究．「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て	同　二月發行
*第四號	急硬セメントに關する試驗報告	同　五月發行
*第五號	簡易鋪裝に關する試驗報告	昭和二年三月發行
*第六號	混凝土及鐵筋混凝土抗扭力試驗報告	同　五月發行
*第七號	八幡製鐵所副產部製品，瀝青質材料，瀝青質鋪裝，「セメント」類及揮發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績	同　七月發行
*第八號	瀝青質材料標準試驗方法．　石材類標準試驗方法	同　十月發行
*第九號	急硬性「セメント」に關する試驗．「ソリデチット」の耐壓强度に關する試驗．「ブロック」に關する試驗．高知縣黑瀧川產砂に關する試驗．多摩川產砂利及砂に關する調查．石材類試驗成績	同　十一月發行
*第十號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第一）道路橋振動試驗	昭和三年三月發行
*第十一號	瀝青滲透ブロック試驗成績．鋪裝工事用サーフニス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗．常願寺川產砂に關する試驗	同　七月發行
*第十二號	アスファルト・ブロック試驗成績．各種アスファルト・ブロック比較試驗成績．石油アスファルトとコール・タール・ピッチとの混合物に關する試驗．瓦斯鹽及骸炭鹽タール及ピッチに關する試驗成績．コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て．大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化．石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす火山灰及石粉の影響	昭和四年一月發行
第十三號	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗．橋梁用敷板强度試驗．舊廢橋鐵材の腐蝕に關する調查．鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗	同　五月發行
*第十四號	瀝青乳劑及ピチュマルス鋪裝に關する試驗．瀝青滲透ブロックに關する試驗．瀝青質材料の滲透性に關する試驗．瀝青質材料の粘度及膨脹係數に關する試驗	同　十二月發行
*第十五號	北上川陸閘式轉動堰模型試驗．電氣鎔接法による鐵筋の接合．現場打混凝土の耐壓試驗報告	昭和五年二月發行
*第十六號	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第二）．瀝青滲透ブロック鋪裝試驗．工事用石材試驗成績	同　五月發行
*第十七號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第三）	同　五月發行

*第十八號	混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試驗．鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響竝に之に應ずる設計及工法に就て(一)．鬼怒川上流改修工事用角礫凝灰岩砂利及砂に關する試驗．鐵筋混凝土道路橋設計資料．各種土木工事用材料試驗成績	昭和五年十月發行
*第十九號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響竝に之に基く道路設計の基本に關する研究（第四）	同　十一月發行
第二十號	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)．基礎の沈下量算定法(一)．岩淵水門に關する水理試驗．單鉸拱橋模型試驗．國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案	昭和六年六月發行
第二十一號	背水曲線の一般的解法．單鉸拱の振動に關する理論竝に實驗混凝土鋪裝の繼目に關する試驗．河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響．瀝青乳劑試驗成績	同　十二月發行
第二十二號	地震時土壓の實驗的研究．混凝土鋪裝繼目用ニラスタイト試驗．高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗．基礎の沈下量算定法(第二)．新土壓計算圖表．	昭和七年五月發行
第二十三號	簡易鋪裝に關する實地比較試驗．鋼矢板試驗．大和川筋龜ノ瀨地辷に關する調査(第一)	同　七月發行
第二十四號	道路の背向曲線の設計に就て．粗粒に關する試驗．乳劑の粘度に就て．府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案．碎石の磨損率に關する一試驗．三陸津浪調査報告．本邦產鋪裝用石材(附錄)．	昭和八年六月發行
第二十五號	本邦鋪裝用タールの性質に就て．模型流堤流量試驗．擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗．砂利層の支持力に關する試驗（第一報）．鋼矢板試驗（續）．エタニツト・パイプ試驗．	同　十一月發行
第二十六號	地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法．田中村調節池模型流堤に關する水理試驗．瀝青鋪裝切取試驗體の性質．道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第1報)．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其一)	昭和九年三月發行
第二十七號	道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て．津浪の災害輕減に關する模型試驗．津浪の變形の理論．三陸津浪調査報告(追加)．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其の二)．瀝青透入マカダムに關する試驗(第一報)	同　六月發行
第二十八號	地震動による土堰堤の變形．鋅着鋼引張試驗用小型驗片．國產瀝青乳劑試驗成績．骨材及び類似材料の靱性に關する研究．鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計（1）	同　十月發行
第二十九號	矢板擁壁の控板に作用する力に關する試驗．瀝青繼目材試驗成績．南洋村カポール並にタールペンタインの物理的諸性質に關する試驗．道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第2報）阪神地方沿岸風水害調査報告．	同　十二月發行

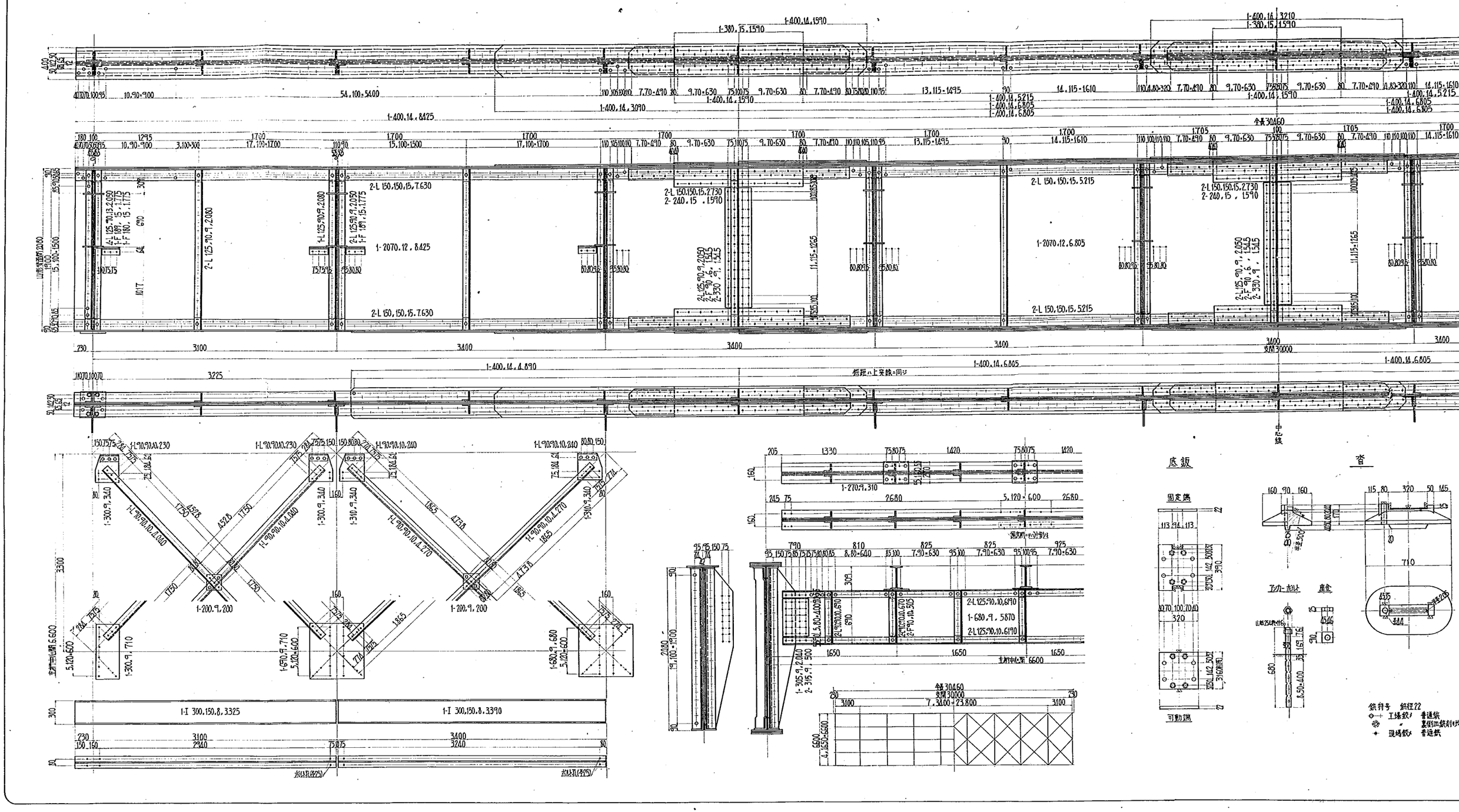
其他

本邦道路橋輯覽	大正十四年十二月發行
本邦道路橋輯覽（增補）	昭和三年三月發行
第六回國際道路會議に關する報告書	昭和七年四月發行
土木工事用材料標準試驗方法	昭和七年十二月發行

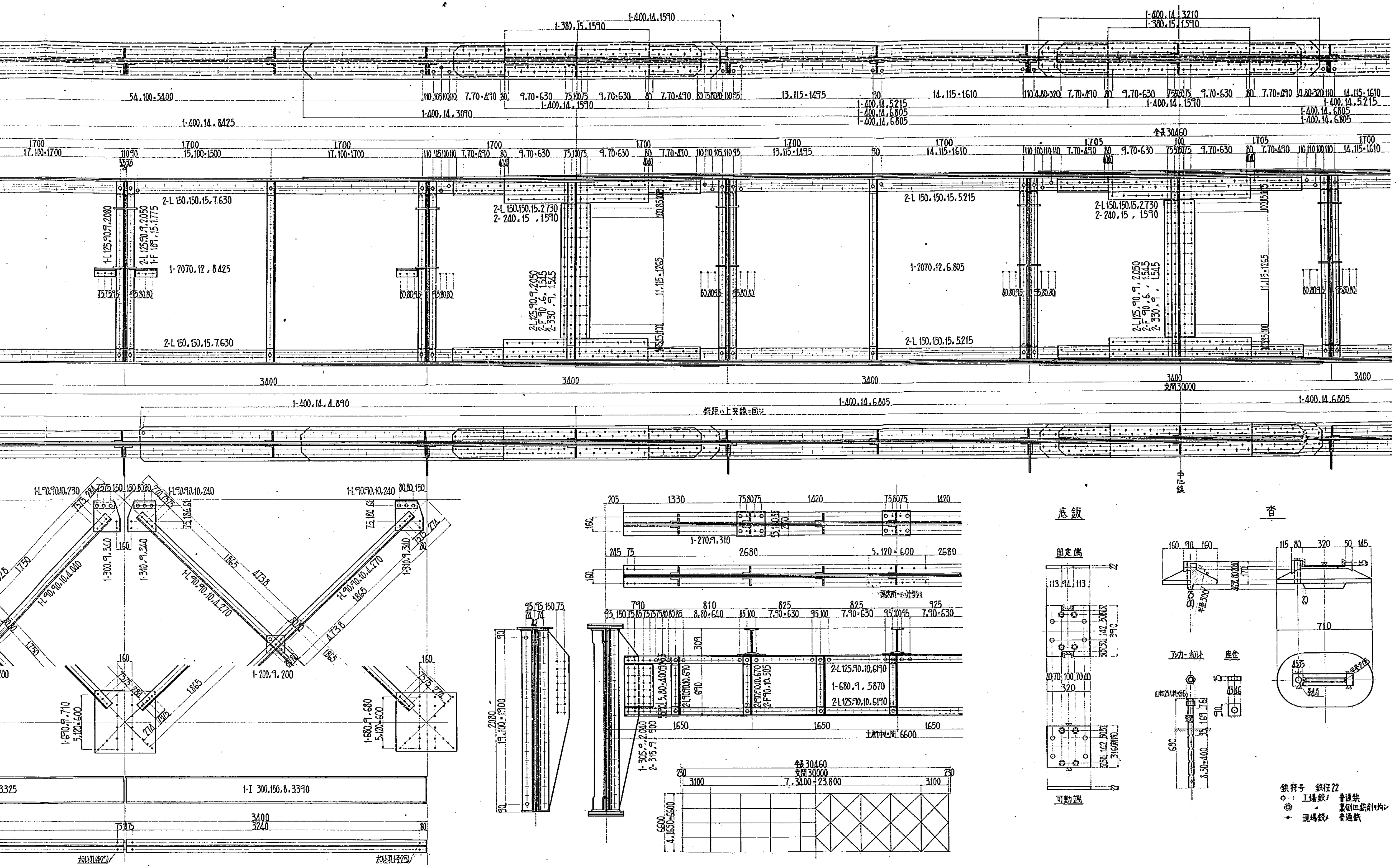
（*印は殘部なし）

昭和十年四月二十五日　印刷
昭和十年四月三十日　發行

內務省土木試驗所
東京市本郷區駒込上富士前町二十六番地
電話大塚(86)〔自3101番 至3103番〕
印刷者　守岡功
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二
印刷所　凸版印刷株式會社本所分工場
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二



1-400.14.1590
1-380.15.1590
1-400.14.3210
1-400.14.8425
1-400.14.3090
1-400.14.5215
1-400.14.6805
1-400.14.4890
1-400.14.6805
2-L 150.150.15.7.630
2-L 150.150.15.2730
2-240.15.1590
2-L 150.150.15.5215
1-2070.12.8425
1-2070.12.6805
2-L 125.90.9.2080
2-L 125.90.9.2050
2-F 90.6.1545
2-330.9.1545
1-I 300.150.8.3325
1-I 300.150.8.3390
1-200.9.200
1-L 90.90.10.230
1-L 90.90.10.240
1-L 90.90.10.4.040
1-L 90.90.10.4.270
1-300.9.340
1-310.9.340
1-300.9.710
1-690.9.710
1-680.9.680
1-270.9.310
1-680.9.5870
2-L 125.90.10.6190
1-305.9.2040
2-315.9.500
底鈑
固定端
可動端
沓
アンカーボルト
座金
鋲符号 鋲径22
工場鋲 普通鋲
現場鋲 普通鋲



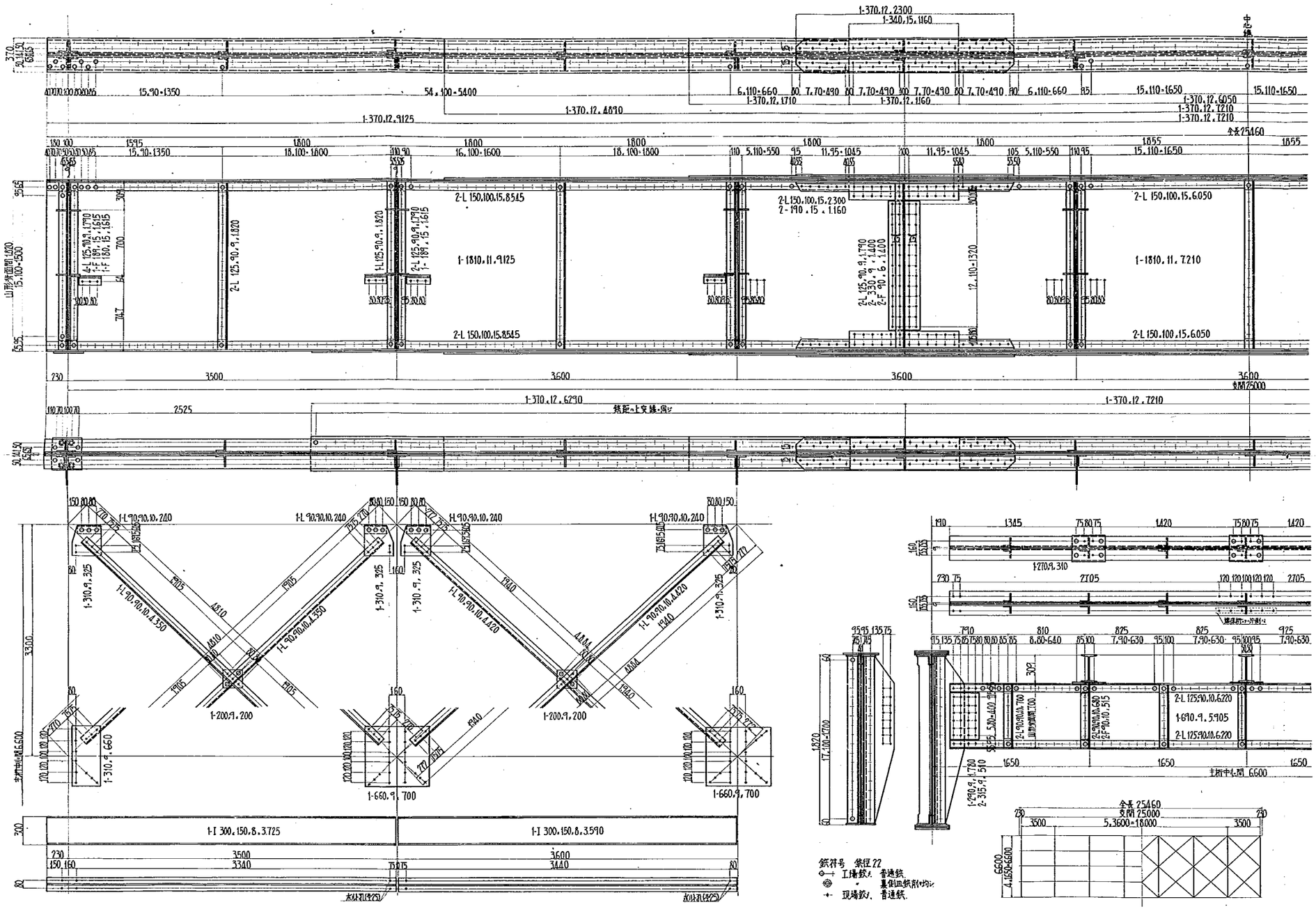
材料表

數量	種別	寸法 断面	寸法 長サ	重量	摘要
		主桁			
2	鈑	2070.12	8425	3286	腹鈑
2	〃	〃 〃	6805	2654	〃
8	山形	150.150.15	7630	2051	突縁山形
8	〃	〃〃〃	5215	1402	〃
2	鈑	400×14	8425	741	〃 鈑
2	〃	〃×〃	4890	430	〃
4	〃	〃×〃	3090	543	〃
8	〃	〃×〃	6805	2393	〃
4	〃	〃×〃	5215	917	〃
8	山形	125.90.13	2050	338	補剛材
22	〃	125.90.9	2050	658	〃
20	〃	〃〃〃	2080	608	〃
10	鈑	189×15	1775	395	填材
2	〃	180×15	1775	75	〃
10	〃	305×9	2040	440	取付鈑
12	〃	240×15	1590	539	腹鈑添接
6	〃	330×9	1545	216	〃
6	〃	90×6	1545	40	填材
12	山形	150.150.15	2730	1100	突縁添接
6	鈑	380×15	1590	427	〃
10	〃	400×14	1590	699	〃
2	〃	〃×〃	3210	282	〃
1	〃	320×22	320	18	可動端底鈑
1	〃	〃	390	22	固定端底鈑
				20274	
		2×20274=40548			
		横桁			
1	鈑	680×9	5870	282	腹鈑
4	山形	125.90.10	6190	399	突縁山形
8	〃	90.90.10	610	74	補剛材
6	〃	〃〃〃	610	53	〃
6	鈑	90×10	505	22	填材
4	〃	315×9	500	44	添接鈑
3	〃	270×9	310	18	縦桁底鈑
				892	
		10×892=8920			
		縦桁			
6	I型	300.150.8	3325	964	
21	〃	〃×〃〃	3390	3438	
				4402	
		横綾構			
8	山形	90.90.10	4040	430	横綾材
28	〃	〃〃〃	4270	1590	〃
8	〃	〃〃〃	230	25	取付山形
28	〃	〃〃〃	240	90	〃
8	鈑	300×9	340	58	〃 鈑
28	〃	310×9	340	210	〃
2	〃	300×9	710	30	〃
2	〃	690×9	710	69	〃
6	〃	680×9	680	196	〃
18	〃	200×9	200	50	〃
				2148	
		鋲頭			
11212	工場鋲	径22		832	
6416	現場鋲	〃		474	
54	ボルト及座金	〃		30	
				1336	
		沓及附属品			
4	鋳鉄	4×140		560	
4	座金			6	
4	アンカーボルト	径38		26	
				592	
		總重量 58546瓩.			

標準國道鈑桁橋

支間	30.0m	活荷重	第二種
有效幅員	7.5m	床版,舗装	<560 kg/m
主桁間隔	6.6m	高欄,地覆	<460 kg/m

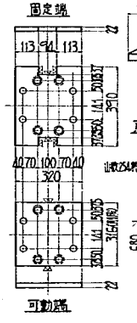
昭和十年四月 内務省土木試驗所

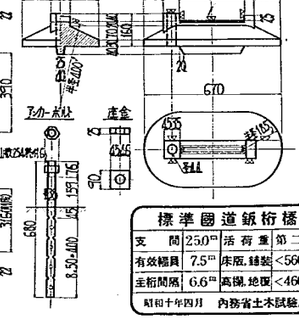


材料表

数量	種別	寸法 断面	寸法 長さ	重量	摘要
		主桁			
2	鈑	1810×11	9125	2852	腹鈑
1	〃	〃	7210	1429	〃
8	山形	150.100.15	8545	1844	突縁山形
4	〃	〃	6050	610	〃
2	鈑	310×12	9125	536	〃 鈑
1	〃	〃	6290	438	〃
4	〃	〃	4890	687	〃
4	〃	〃	1110	238	〃
4	〃	〃	1710	1005	〃
2	〃	〃	6050	422	〃
24	山形	125.90.9	1790	626	補剛材
16	〃	〃	1820	426	〃
8	鈑	189×15	1615	288	填材
2	〃	180×15	1615	68	〃
8	〃	290×9	1180	292	取付鈑
8	〃	190×15	1160	208	腹鈑添接
4	〃	330×9	1400	131	〃
4	〃	90×6	1400	24	填材
8	山形	150.100.15	2300	510	突縁添接
4	鈑	340×15	1160	186	〃
4	〃	310×12	1160	162	〃
4	〃	〃	2300	321	〃
1	〃	370×22	320	18	可動端底鈑
1	〃	〃	3940	22	固定端底鈑
				13246	
				2×13246=26492	
		横桁			
1	鈑	690×9	5905	288	腹鈑
4	山形	125.90.10	6270	400	突縁山形
8	〃	90.90.10	700	14	補剛材
6	〃	〃	680	54	〃
6	鈑	90×10	515	22	填材
4	〃	315×9	510	46	添接鈑
3	〃	210×9	310	18	鉄筋添鈑
				902	
				8×902=7216	
		縦桁			
6	I型	300.150.8	3725	1079	
15	〃	〃	3590	2601	
				3680	
		横締桿			
8	山形	90.90.10	4350	463	横締材
20	〃	〃	4420	1116	〃
28	〃	〃	240	90	取付山形
28	鈑	310×9	375	199	〃 鈑
7	〃	〃	660	29	〃
6	〃	660×9	100	196	〃
14	〃	200×9	200	39	〃
				2192	
		鉄頭			
4168	工場鉄	径22		121	
4016	現場鉄	〃		291	
42	ボルト及座金	〃		73	
				1041	
		普通附属品			
4	鋳鉄	4:1155-462			
4	座金			6	
4	アンカー			76	
				494	
		総重量		41115瓩	

底鈑

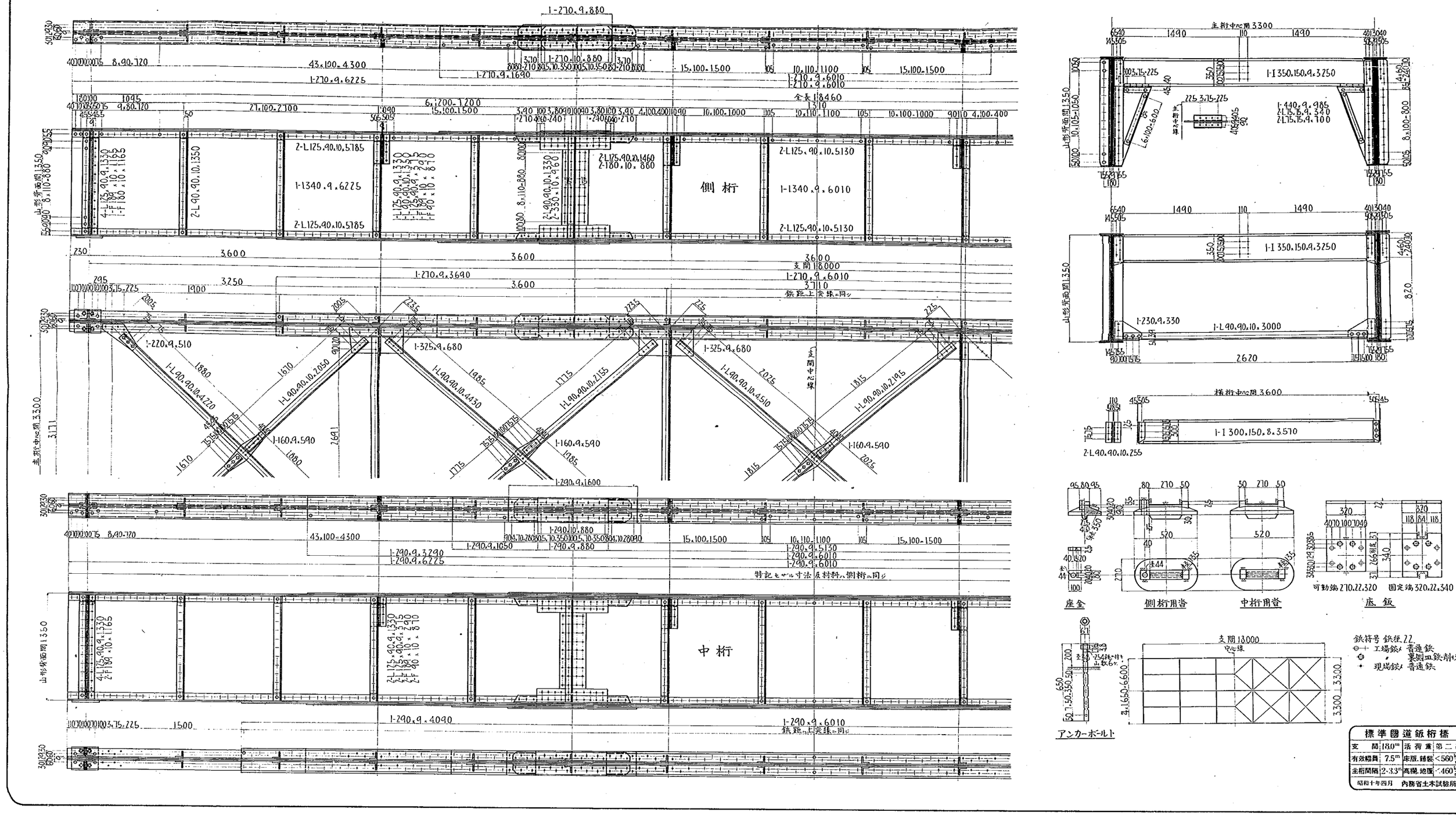


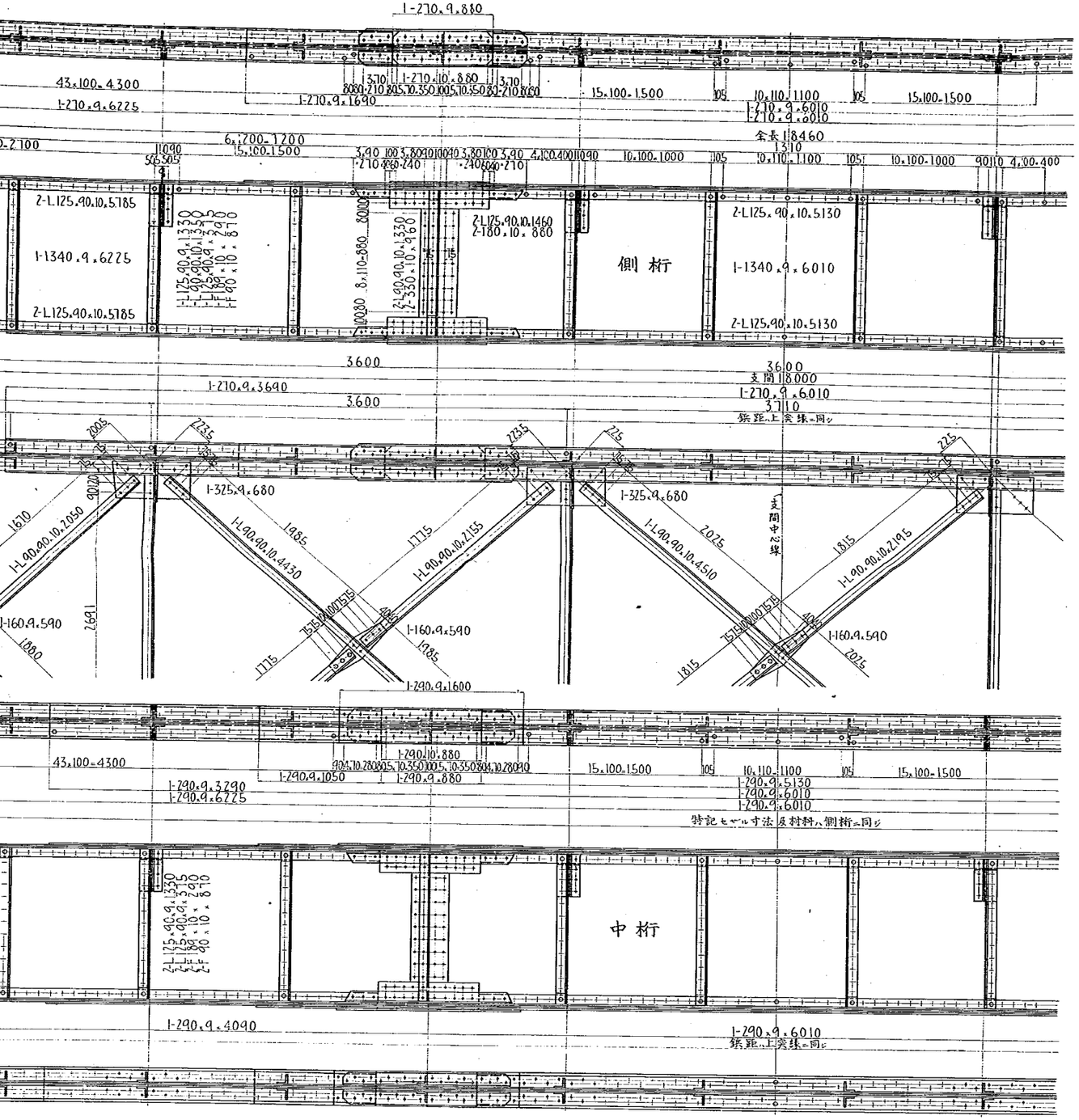


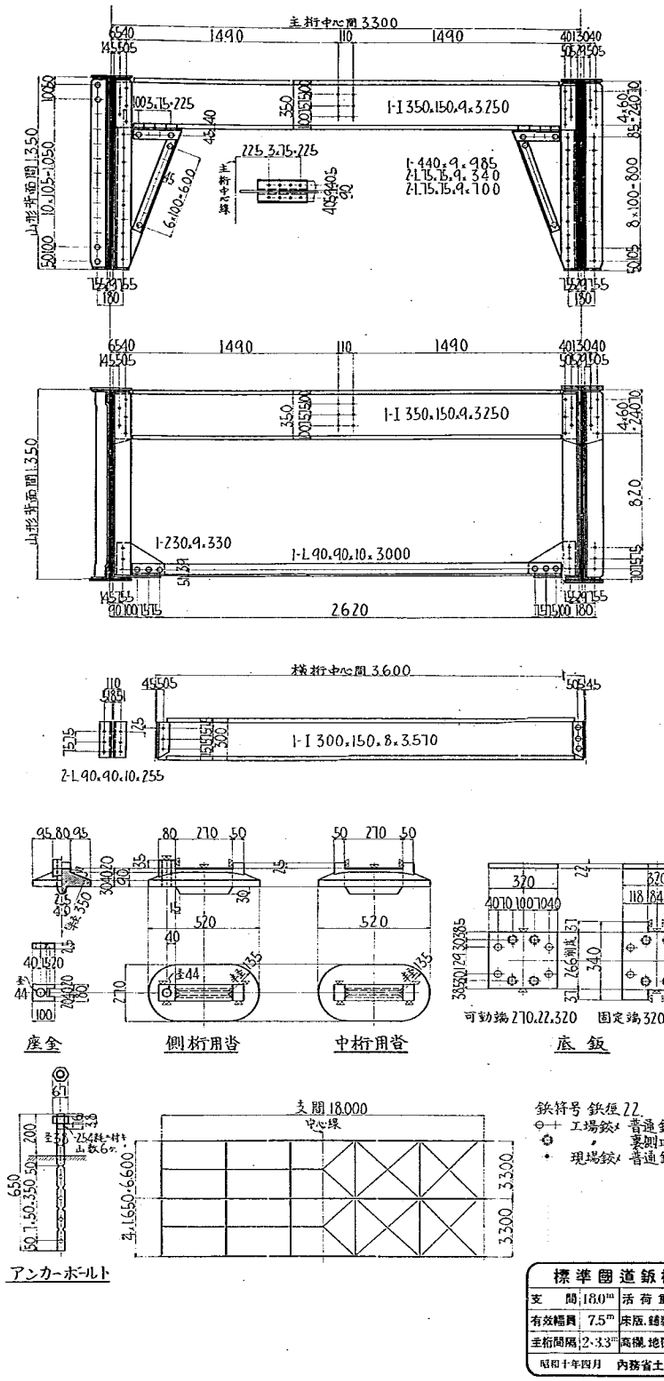
標準國道鈑桁橋

支間	25.0m	活荷重	第二種
有效幅員	7.5m	床版、鋪装	<560kg/m²
主桁間隔	6.6m	高欄、地覆	<460kg/m

昭和十年四月 内務省土木試験所


側桁
中桁
主桁中心間3300
山形背面間1350
支間18000
鉄距ハ上突縁ニ同ジ
特記セザル寸法及材料ハ側桁ニ同ジ
座金
側桁用沓
中桁用沓
底鈑
可動端270.22.320
固定端320.22.340
アンカーボルト
鉄符号 鉄径22
工場鉄ノ 普通鉄
〃 裏側皿鉄削
現場鉄ノ 普通鉄
標準國道鈑桁橋
支間 18.0m
活荷重 第二
有效幅員 7.5m
床版.鋪裝 <560
主桁間隔 2-3.3m
高欄.地覆 <460
昭和十年四月
内務省土木試驗所





標準國道鈑桁橋

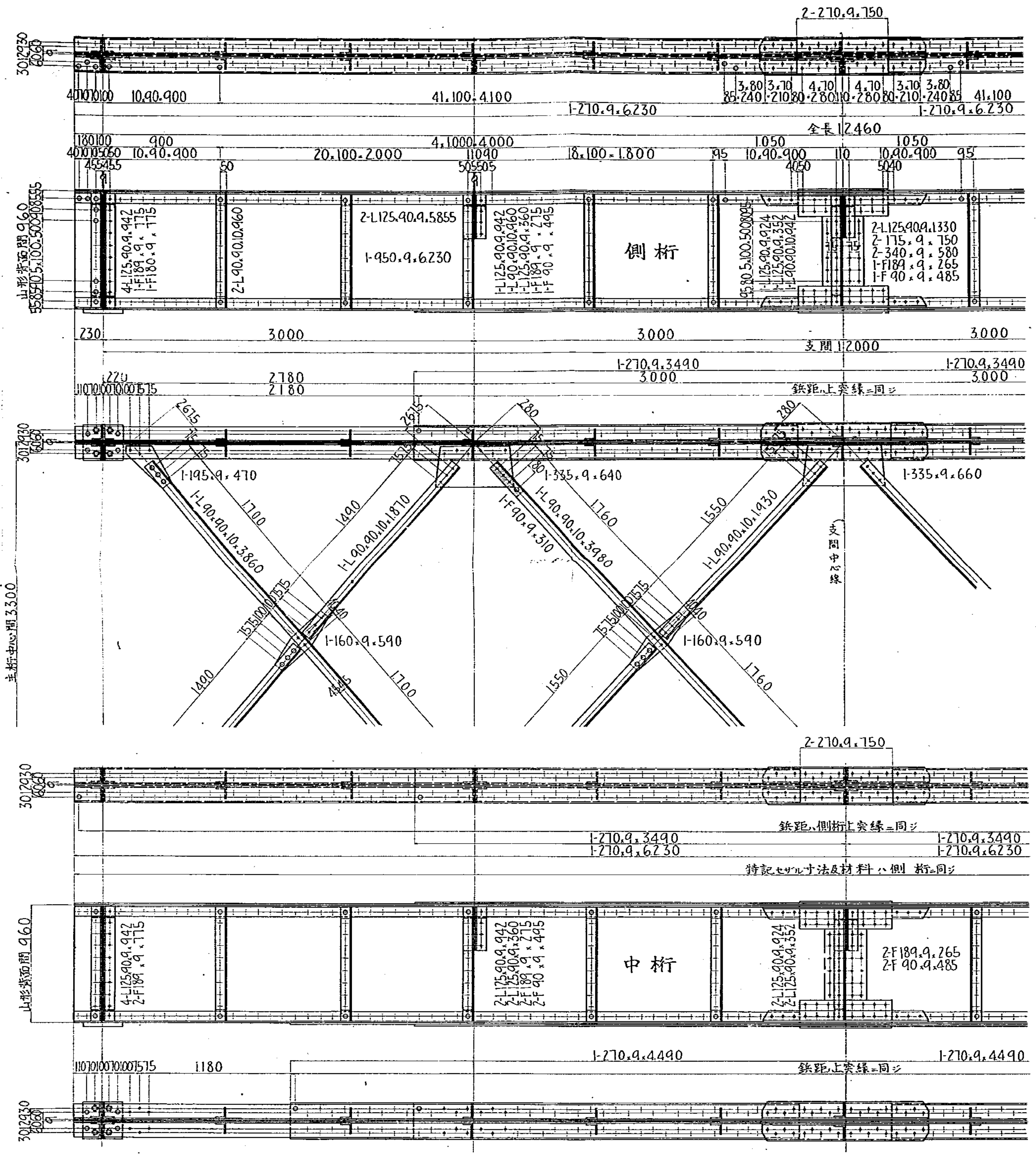
支間	18.0m	活荷重	第二種
有效幅員	7.5m	床版、鋪裝	<560kg/m
主桁間隔	2.33m	高欄、地覆	<460kg/m

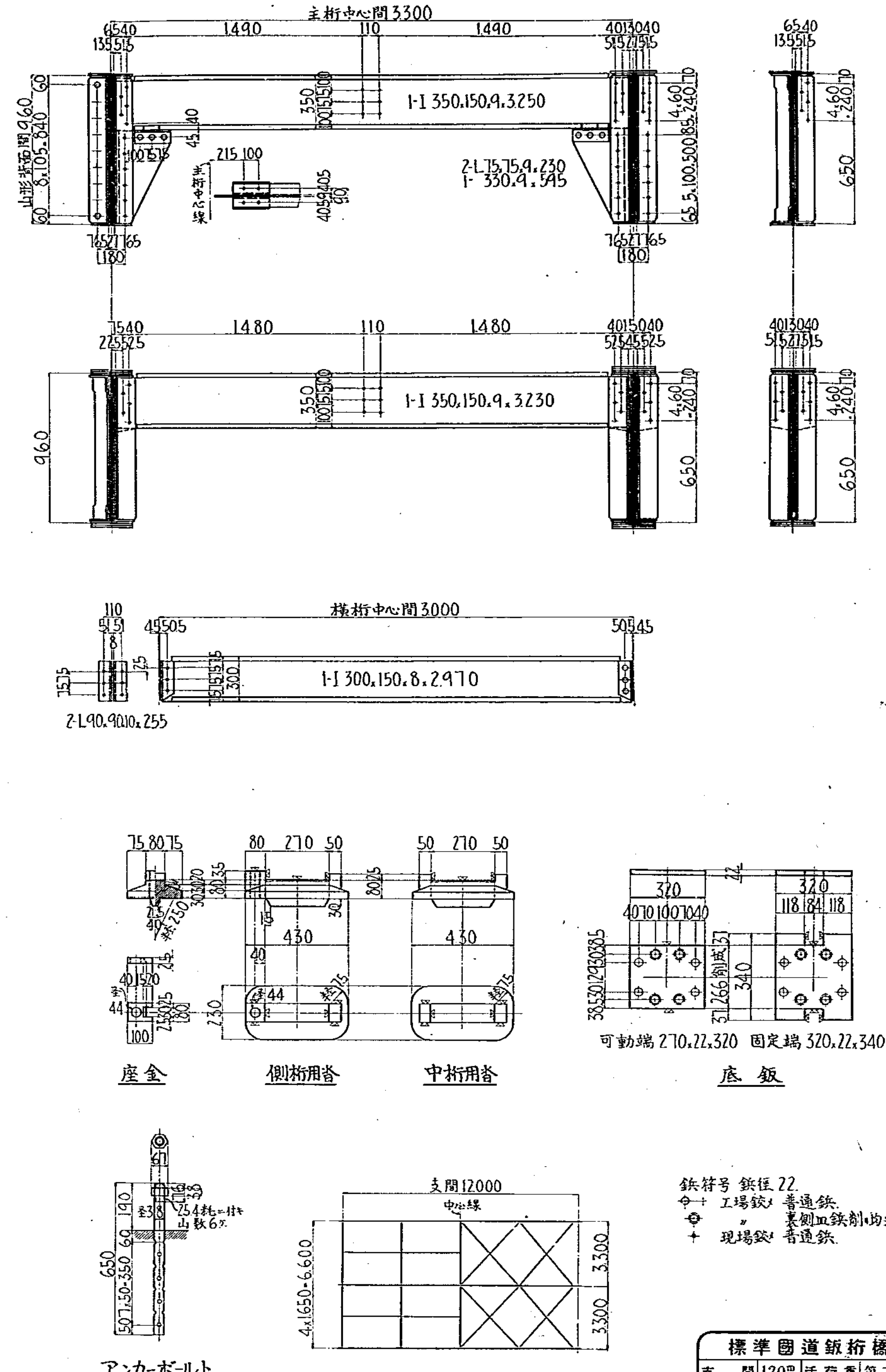
昭和十年四月　内務省土木試驗所

材料表

数量	種別	寸法 断面	寸法 長サ	重量	摘要
		側桁			
2	鉄	1340.9	6225	1179	腹鉄
1	〃	〃	6010	569	〃
8	山形	125.90.10	5185	145	突縁山形
4	〃	〃	5130	330	〃
2	鉄	270.9	6225	238	〃 鉄
2	〃	〃	3690	141	〃
4	〃	〃	1690	129	〃
4	〃	〃	6010	459	〃
12	山形	125.90.9	1330	233	補剛材
20	〃	90.90.10	350	360	〃
4	〃	〃	1330	11	〃
4	〃	125.90.9	315	22	取付山形
2	鉄	189×10	1165	35	填材
2	〃	180×10	1165	33	〃
4	〃	189×10	290	11	〃
4	〃	90×10	870	25	〃
8	〃	180×10	880	99	腹鉄添接
4	〃	330×10	960	100	〃
8	山形	125.90.10	1460	188	突縁添接
4	鉄	270×10	880	75	〃
4	〃	270.9	880	61	〃
1	〃	270.22	320	15	可動端底鉄
1	〃	320.22	340	19	固定端底鉄
				5149	
		2×5149=10298			
		中桁			
2	鉄	1340.9	6225	1179	腹鉄
1	〃	〃	6010	569	〃
8	山形	125.90.10	5185	145	突縁山形
4	〃	〃	5130	330	〃
2	鉄	290.9	6225	255	〃 鉄
2	〃	〃	4040	168	〃
4	〃	〃	3290	270	〃
4	〃	〃	1050	86	〃
4	〃	〃	6010	497	〃
2	〃	〃	5130	210	〃
16	山形	125.90.9	1330	310	補剛材
16	〃	90.90.10	1350	288	〃
4	〃	〃	1330	11	〃
8	〃	125.90.9	315	44	取付山形
4	鉄	189×10	1165	69	填材
8	〃	〃	290	34	〃
8	〃	90×10	870	50	〃
8	〃	180×10	880	99	腹鉄添接
4	〃	330×10	960	100	〃
8	山形	125.90.10	1460	188	突縁添接
4	鉄	290×10	880	80	〃
4	〃	290×9	880	72	〃
4	〃	〃	1690	131	〃
1	〃	270.22	320	15	可動端底鉄
1	〃	320.22	340	19	固定端底鉄
				5814	
		横桁			
12	I型	350.150.8	3250	2281	
8	鉄	440×9	985	245	隔床
16	山形	75.75.9	340	54	〃
16	〃	〃	100	17	〃
8	〃	90.90.10	3000	319	補材
16	鉄	230×9	350	86	取付鉄
				3091	
		縦桁			
10	I型	300.150.8	3510	1724	
40	山形	90.90.10	255	136	取付山形
				1860	
		横筋違			
4	山形	90.90.10	4720	274	横筋材
4	〃	〃	4430	236	〃
2	〃	〃	4510	170	〃
8	〃	〃	2050	218	〃
8	〃	〃	2155	231	〃
4	〃	〃	2195	119	〃
8	鉄	220×9	510	63	取付鉄
16	〃	325×9	680	250	〃
10	〃	160×9	540	61	〃
				1525	
		鉄頭			
6368	工場鉄	径 22		410	
3112	現場鉄	〃		279	
				149	
		沓及附属品			
4	鋳鉄		4.580.732		側桁用
2	〃		2.560.112		中桁用
4	座金			8	
4	アンカボルト	径 38		25	
				315	

鋼重量
25118瓩



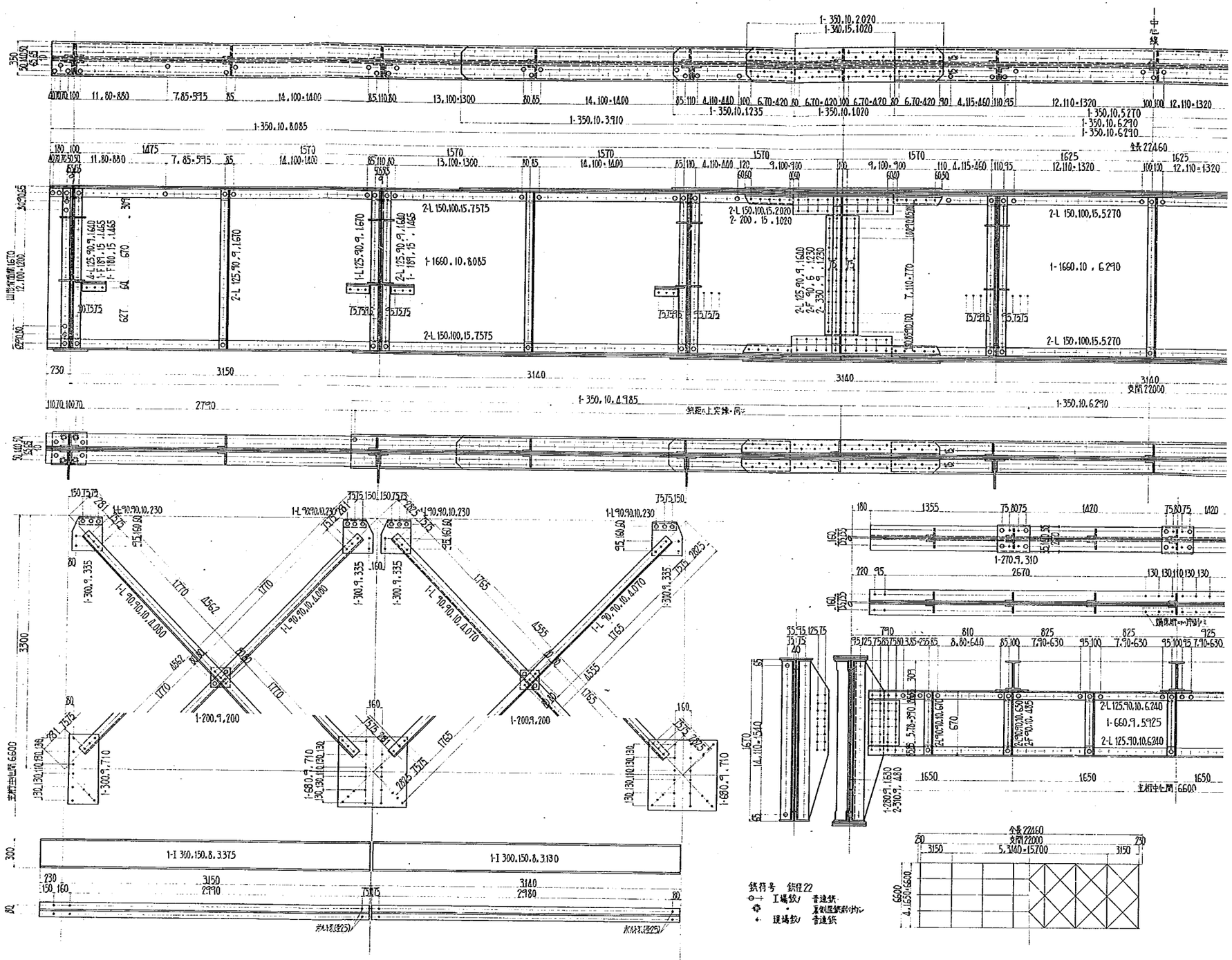


鋲符号 鋲径 22.
⊕ 工場鋲 普通鋲
◎ 〃 裏側皿鋲削リ均シ
✛ 現場鋲 普通鋲

標準國道鈑桁橋			
支間	12.0m	活荷重	第二種
有效幅員	7.5m	床版.鋪裝	<560 kg/m²
主桁間隔	2×3.3m	高欄.地覆	<460 kg/m
昭和十年四月		内務省土木試験所	

材料表

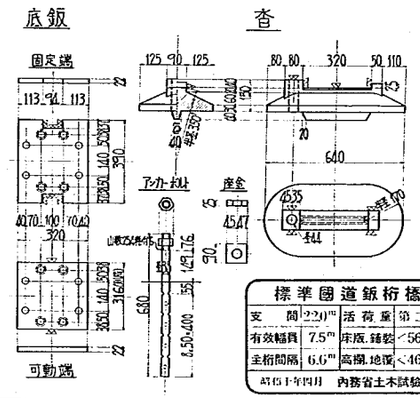
数量	種別	寸法 断面	寸法 長サ	重量	摘要
		側桁			
2	鈑	950×9	6230	836	腹鈑
8	山形	125.90.9	5855	684	突縁山形
2	鈑	270×9	6230	238	〃 鈑
2	〃	〃×〃	3490	133	〃
10	山形	125.90.9	942	138	補剛材
1	〃	〃	924	14	〃
18	〃	90.90.10	960	230	〃
1	〃	〃	942	13	〃
2	〃	125.90.9	360	11	取付山形
1	〃	〃	352	5	〃
2	鈑	189×9	775	21	填材
2	〃	180×9	775	20	〃
2	〃	189×9	275	7	〃
1	〃	〃×〃	265	4	〃
2	〃	90×9	495	6	〃
1	〃	〃×〃	485	3	〃
4	〃	175×9	750	37	腹鈑添接
2	〃	340×9	580	28	〃
4	山形	125.90.9	1330	78	突縁添接
4	鈑	270×9	750	57	〃
1	〃	270×22	320	15	可動端底鈑
1	〃	320×22	340	19	固定端底鈑
				2597	
		2×2597=5194			
		中桁			
2	鈑	950×9	6230	836	腹鈑
8	山形	125.90.9	5855	684	突縁山形
2	鈑	270×9	6230	238	〃 鈑
2	〃	〃×〃	4490	171	〃
4	〃	〃×〃	3490	266	〃
12	山形	125.90.9	942	166	補剛材
2	〃	〃	924	27	〃
16	〃	90.90.10	960	205	〃
4	〃	125.90.9	360	21	取付山形
2	〃	〃	352	10	〃
4	鈑	189×9	775	41	填材
4	〃	〃×〃	275	15	〃
2	〃	〃×〃	265	7	〃
4	〃	90×9	495	12	〃
2	〃	〃×〃	485	6	〃
4	〃	175×9	750	37	腹鈑添接
2	〃	340×9	580	28	〃
4	山形	125.90.9	1330	78	突縁添接
4	鈑	270×9	750	57	〃
1	〃	270×22	320	15	可動端底鈑
1	〃	320×22	340	19	固定端底鈑
				2939	
		横桁			
8	I型	350.150.9	3250	1521	
2	〃	〃	3230	378	
8	鈑	330×9	595	111	隔束
16	山形	75.75.9	230	37	〃
				2047	
		縦桁			
8	I型	300.150.8	2970	1148	
32	山形	90.90.10	255	109	取付山形
				1257	
		横綴構			
4	山形	90.90.10	3860	205	横綴材
4	〃	〃	3980	212	〃
8	〃	〃	1870	199	〃
8	〃	〃	1930	206	〃
8	鈑	195×9	470	52	取付鈑
8	〃	335×9	640	121	〃
4	〃	〃×〃	660	62	〃
8	〃	160×9	590	54	〃
8	〃	90×9	310	16	填材
				1127	
		鋲頭			
4356	工場鋲	径22		322	
1904	現場鋲	〃		141	
				463	
		沓及附属品			
4	鋳鉄	4×410=164		164	側桁用
2	〃	2×395=79		79	中桁用
4	座金			6	
4	アンカーボルト	径38		25	
				274	
		總重量			
		13301瓩			



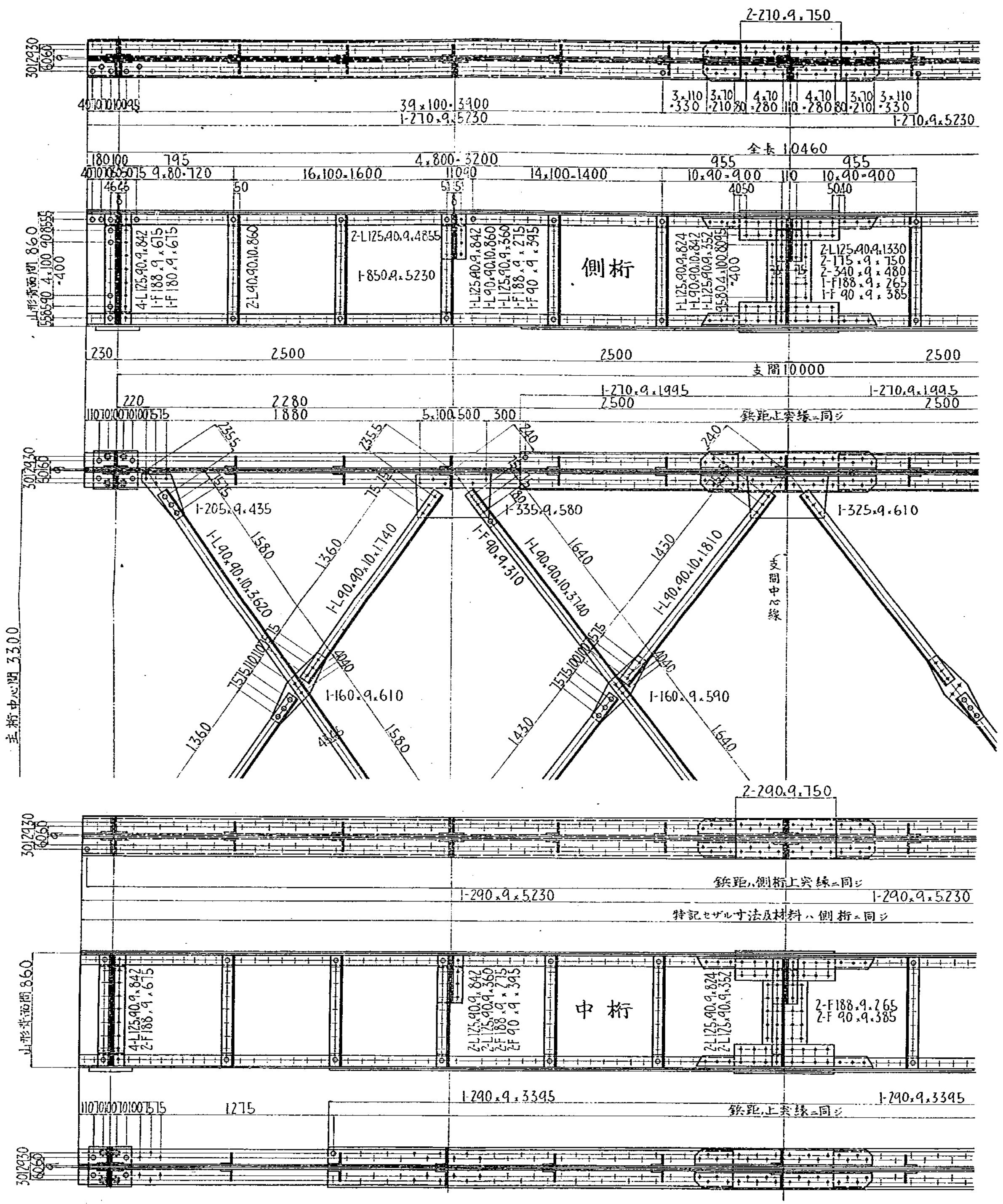
鉄符号　鉄径22
工場鉄/　普通鉄
・　夏剣屋鉄剤付ケン
現場鉄/　普通鉄

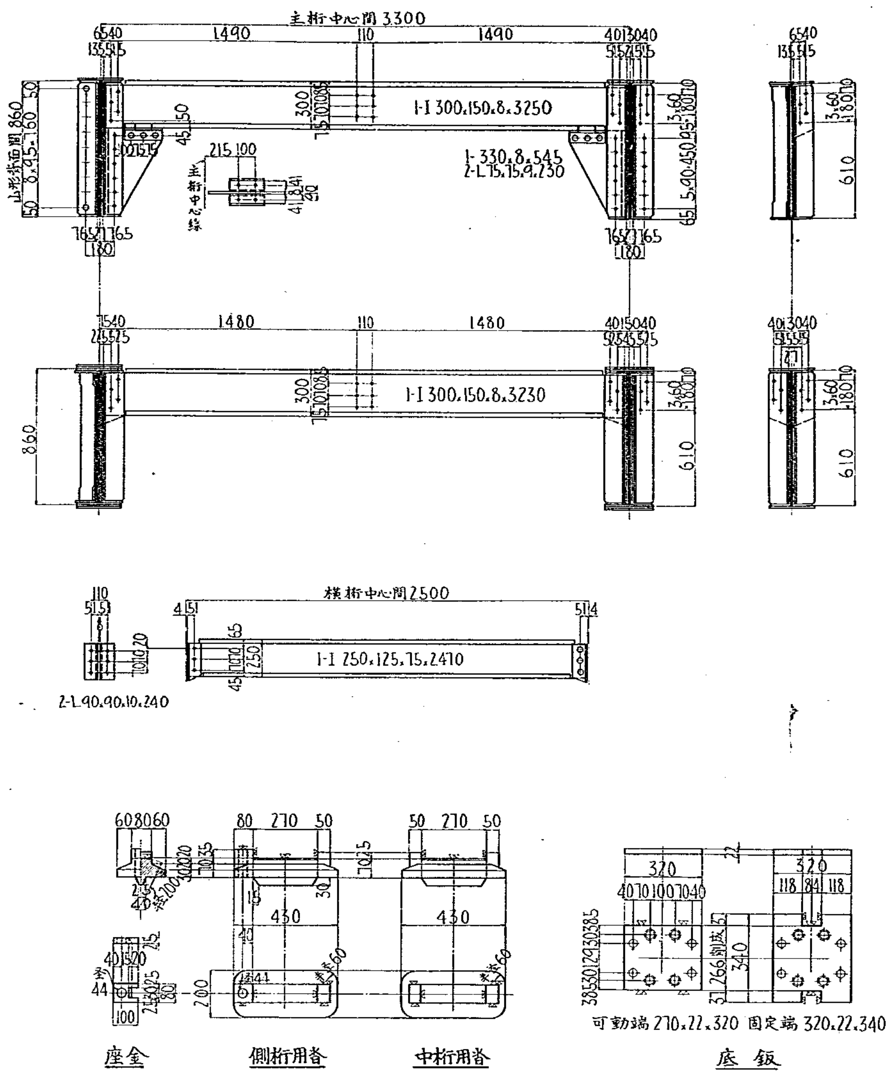
材料表

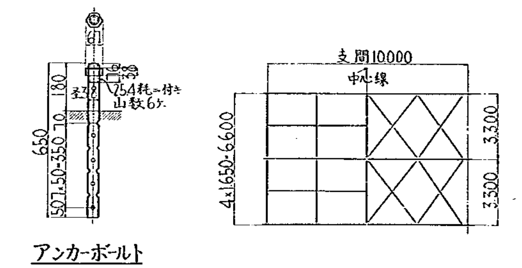
数量	種別	寸法 断面	寸法 長寸	重量	摘要
		主桁			
2	鈑	1660×10	8085	2101	腹鈑
1	〃	〃	6290	820	〃
8	山形	150.100.15	7575	1678	突縁山形
4	〃	〃	5270	584	〃
2	鈑	350×10	8085	444	〃 鈑
2	〃	〃	4985	274	〃
4	〃	〃	3910	430	〃
4	〃	〃	1235	136	〃
4	〃	〃	6290	691	〃
2	〃	〃	5270	290	〃
24	山形	125.90.9	1640	574	補剛材
16	〃	〃	1670	390	〃
8	鈑	189×15	1465	261	填材
2	〃	180×15	1465	62	〃
8	〃	280×9	1630	258	取付鈑
8	〃	200×15	1070	192	腹鈑添接
4	〃	330×9	1230	115	〃
4	〃	90×6	1230	21	填材
8	山形	150.100.15	2020	448	突縁添接
4	鈑	340×15	1070	163	〃
4	〃	350×10	1070	112	〃
4	〃	〃	2020	222	〃
1	〃	320×22	320	18	可動端底鈑
1	〃	320×22	390	22	固定端底鈑
				10.312	
				2×10312=20.624	
		横桁			
1	鈑	660×9	5925	276	腹鈑
4	山形	125.90.10	6240	402	突縁山形
8	〃	90.90.10	670	71	補剛材
6	〃	〃	650	52	〃
6	鈑	90×10	485	20	填材
4	〃	310×9	480	42	添接鈑
3	〃	270×9	310	18	縦桁底鈑
				881	
				8×881=7.048	
		縦桁			
6	I 型	300.150.8	3375	978	
15	〃	〃	3130	2268	
				3246	
		横綾材			
8	山形	90.90.10	4080	434	横綾材
20	〃	〃	4070	1082	〃
28	〃	〃	230	87	取付山形
28	鈑	300×9	335	199	〃 鈑
2	〃	〃	710	30	〃
6	〃	680×9	710	205	〃
14	〃	200×9	200	39	〃
				2.016	
		鉄頭			
9020	工場鉄	径22		666	
3160	現場鉄	〃		278	
42	ボルト及座金	〃		23	
				967	
		沓及附属品			
4	鋳鉄	4×915=390			
4	座金			7	
4	アンカーボルト	径38		26	
				423	
		総重量			
		34.384瓩			



標準國道鈑桁橋			
支間	220m	活荷重	第二種
有效幅員	7.5m	床版.鋪装	<560kg/m
主桁間隔	6.6m	高欄.地覆	<460kg/m
昭和十年四月	内務省土木試驗所		





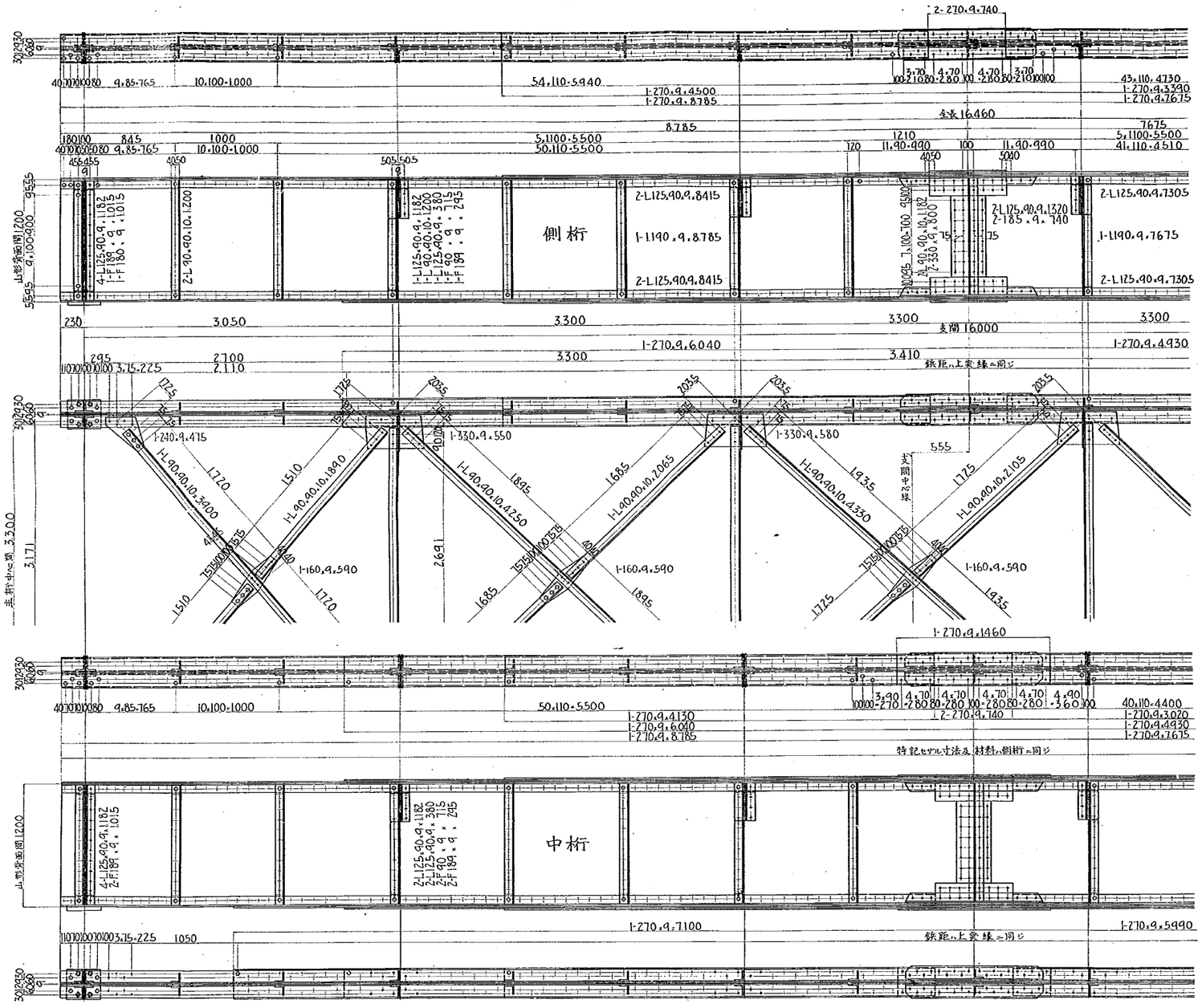


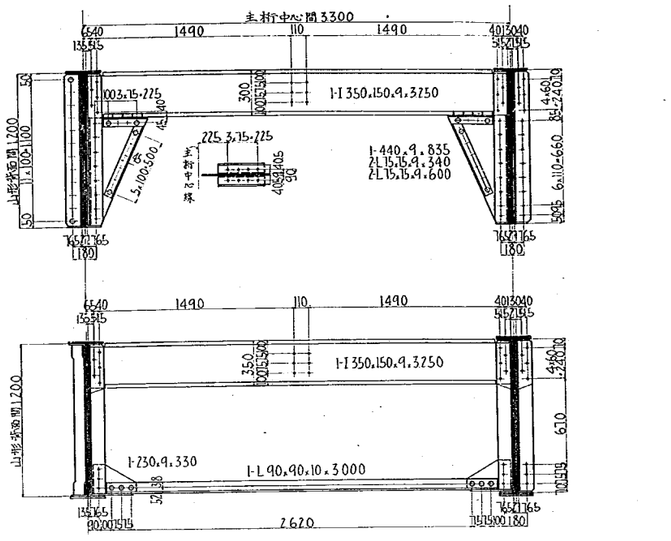
鋲符号. 鋲径 22.
⊖+ 工場鋲ノ普通鋲
⊚ 〃 裏側皿鋲削均シ
✦ 現場鋲ノ普通鋲

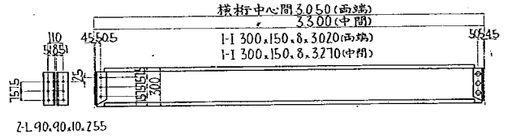
標準圖道鈑桁橋			
支 間	10.0ᵐ	活荷重	第二種
有效幅員	7.5ᵐ	床版.鋪裝	<560 kg/m²
主桁間隔	2×3.3ᵐ	高欄.地覆	<460 kg/m
昭和十年四月	内務省土木試驗所		

材料表

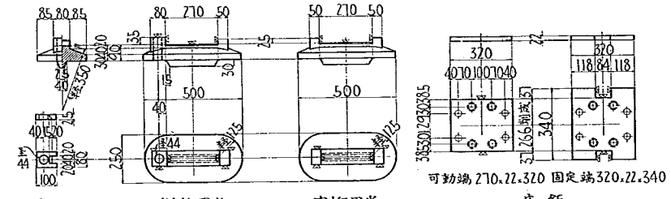
數量	種別	寸法 断面	寸法 長サ	重量	摘要
側桁					
2	鈑	850×9	5230	628	腹鈑
8	山形	125.90.9	4855	567	突縁山形
2	鈑	270×9	5230	200	〃〃鈑
2	〃	〃×〃	1995	76	〃
10	山形	125.90.9	842	123	補剛材
1	〃	〃	824	12	〃
18	〃	90.90.10	860	205	〃
1	〃	〃	842	11	〃
2	〃	125.90.9	360	11	取付山形
1	〃	〃	352	5	〃
2	鈑	188×9	675	18	填材
2	〃	180×9	675	17	〃
2	〃	188×9	275	7	〃
1	〃	〃×〃	265	4	〃
2	〃	90×9	395	5	〃
1	〃	〃×〃	385	2	〃
4	〃	175×9	750	37	腹鈑添接
2	〃	340×9	480	23	〃
4	山形	125.90.9	1330	78	突縁添接
4	鈑	270×9	750	57	〃
1	〃	270×22	320	15	可動端底鈑
1	〃	320×22	340	19	固定端底鈑
				2120	
				2×2120=4240	
中桁					
2	鈑	850×9	5230	628	腹鈑
8	山形	125.90.9	4855	567	突縁山形
2	鈑	290×9	5230	214	〃鈑
2	〃	〃×〃	3395	139	〃
12	山形	125.90.9	842	148	補剛材
2	〃	〃	824	24	〃
16	〃	90.90.10	860	182	〃
4	〃	125.90.9	360	21	取付山形
2	〃	〃	352	10	〃
4	鈑	188×9	675	36	填材
4	〃	〃×〃	275	15	〃
2	〃	〃×〃	265	7	〃
4	〃	90×9	395	10	〃
2	〃	〃×〃	385	5	〃
4	〃	175×9	750	37	腹鈑添接
2	〃	340×9	480	23	〃
4	山形	125.90.9	1330	78	突縁添接
4	鈑	290×9	750	62	〃
1	〃	270×22	320	15	可動端底鈑
1	〃	320×22	340	19	固定端底鈑
				2240	
横桁					
8	I型	300.150.8	3250	1256	
2	〃	〃	3230	312	
8	鈑	330×8	545	90	隅束
16	山形	75.75.9	230	37	〃
				1695	
縦桁					
8	I型	250.125.7.5	2470	757	
32	山形	90.90.10	240	102	取付山形
				859	
横綾構					
4	山形	90.90.10	3620	192	横綾材
4	〃	〃	3740	199	〃
8	〃	〃	1740	185	〃
8	〃	〃	1810	193	〃
8	鈑	205×9	435	50	取付鈑
8	〃	335×9	580	110	〃
4	〃	325×9	610	56	〃
4	〃	160×9	610	28	〃
4	〃	〃×〃	590	27	〃
8	〃	90×9	310	16	填材
				1056	
鋲頭					
3476	工場鋲	径22		257	
1828	現場鋲	〃		135	
				392	
沓及附属品					
4	鑄鉄			4×345=138	側桁用
2	〃			2×330=66	中桁用
4	座金			6	
4	アンカーボルト	径38		25	
				235	
總重量				10717瓩	

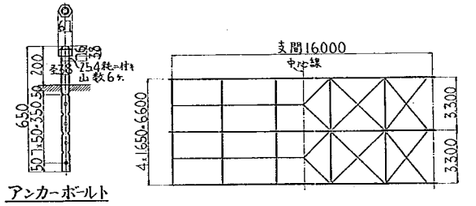






2-L 90.90.10.255

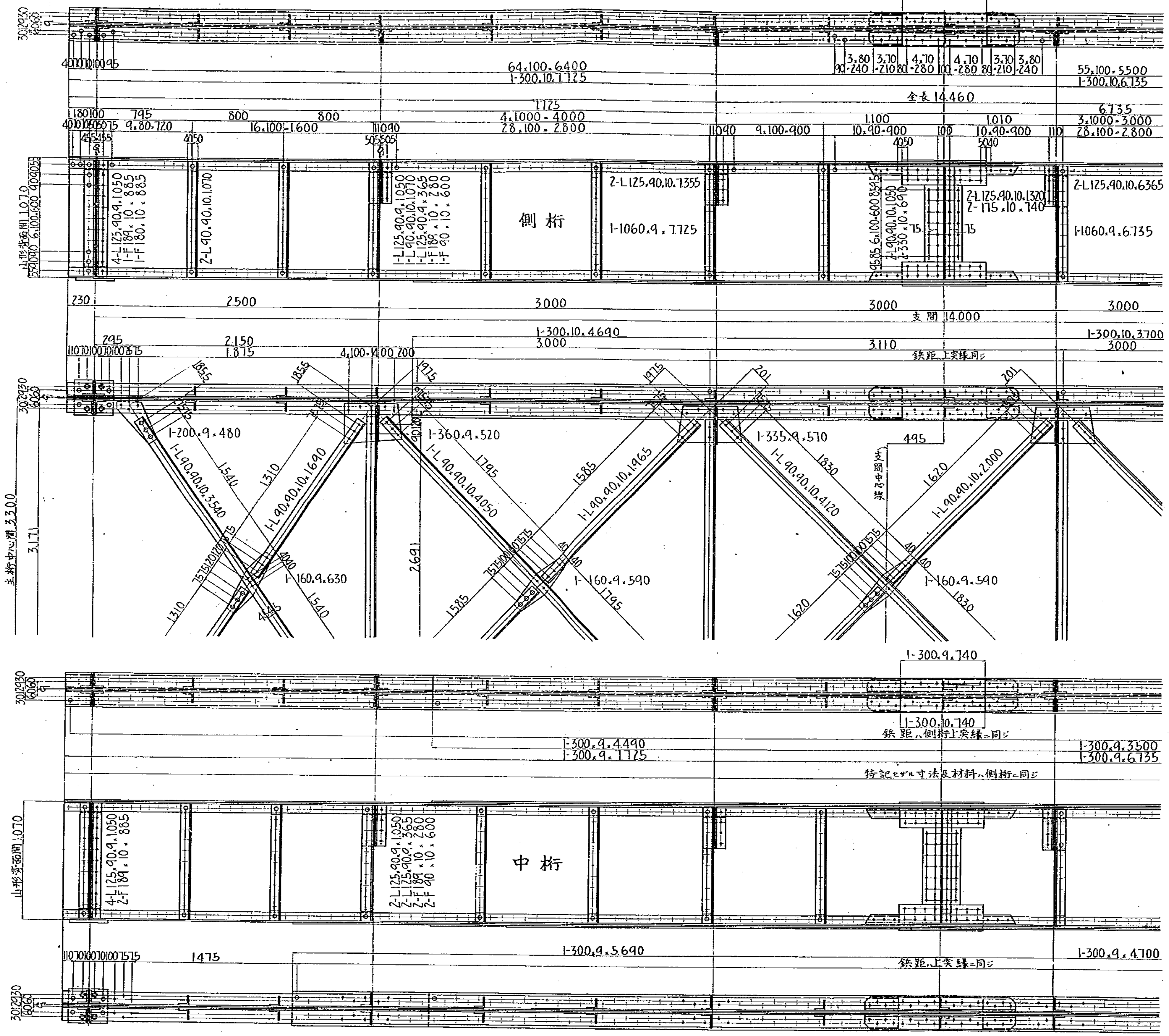


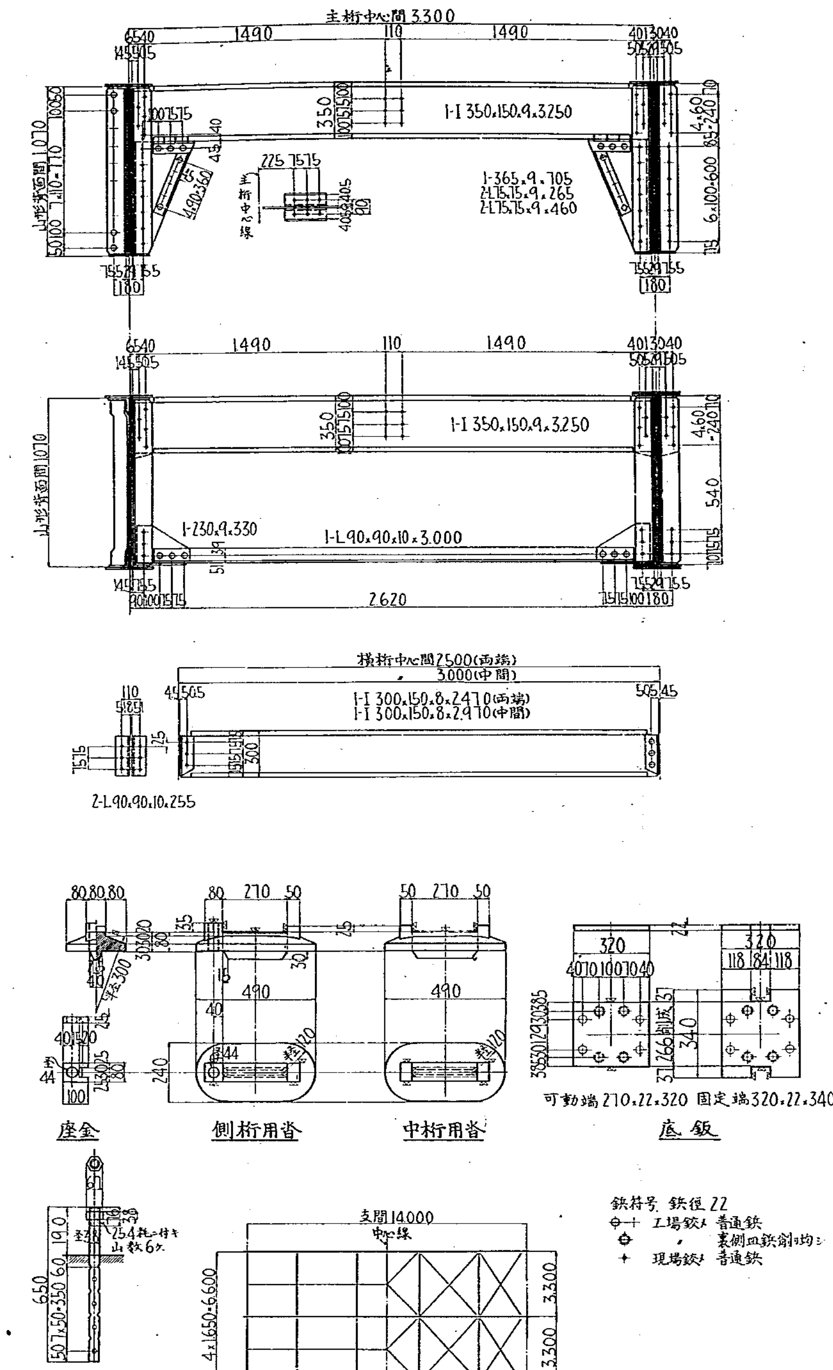


標準國道鈑桁橋			
支間	16.0m	活荷重	第二種
有效幅員	7.5m	床版、鋪裝	<560kg/m²
主桁間隔	2-3.3m	高欄、地覆	<460kg/m
昭和十年四月		内務省土木試驗所	

材料表

數量	種別	寸法 断面	寸法 長サ	重量	摘要
		側桁			
1	鈑	1190.9	8.785	739	腹鈑
1	〃	〃	7.615	645	〃
4	山鉄	125.90.9	8.415	492	実縁山鉄
4	〃	〃	7.305	427	〃
1	鈑	210×9	8.785	168	〃 鈑
1	〃	〃	7.615	146	〃
1	〃	〃	6.040	115	〃
1	〃	〃	4.930	94	〃
2	〃	〃	4.500	172	〃
2	〃	〃	3.390	129	〃
12	山鉄	125.90.9	1.182	208	補剛材
22	〃	90.90.10	1.200	352	〃
2	〃	〃	1.182	31	〃
4	〃	125.90.9	380	27	取付山鉄
2	鈑	189×9	1.015	27	端材
2	〃	180×9	1.015	26	〃
4	〃	189×9	295	16	〃
4	〃	90×9	715	18	〃
4	〃	185×9	140	39	腹鈑添接
2	〃	330×9	800	37	〃
4	山鉄	125.90.9	1.320	11	実縁添接
4	鈑	210×9	140	56	〃
1	〃	270×22	320	15	可動鋳底鈑
1	〃	320×22	340	19	固定鋳底鈑
				4.010	
				2.40 10-8.140	
		中桁			
1	鈑	1190.9	8.785	739	腹鈑
1	〃	〃	7.615	645	〃
4	山鉄	125.90.9	8.415	492	実縁山鉄
4	〃	〃	7.305	427	〃
1	鈑	210×9	8.785	168	〃 鈑
1	〃	〃	7.615	146	〃
1	〃	〃	7.100	136	〃
1	〃	〃	5.990	114	〃
2	〃	〃	6.040	230	〃
2	〃	〃	4.930	188	〃
2	〃	〃	4.130	158	〃
2	〃	〃	3.020	115	〃
16	山鉄	125.90.9	1.182	277	補剛材
18	〃	90.90.10	1.200	288	〃
2	〃	〃	1.182	31	〃
8	〃	125.90.9	380	44	取付山鉄
4	鈑	189×9	1.015	54	端材
8	〃	〃	295	31	〃
8	〃	90×9	715	36	〃
4	〃	185×9	140	39	腹鈑添接
2	〃	330×9	800	37	〃
4	山鉄	125.90.9	1.320	11	実縁添接
4	鈑	210×9	140	56	〃
1	〃	270×22	320	15	可動鋳底鈑
1	〃	320×22	340	19	固定鋳底鈑
				4.618	
		横桁			
12	上覆	350.150.9	3.750	2.781	
8	鈑	440×9	835	2.081	隔床
16	山鉄	15.15×9	340	541	〃
18	〃	〃	600	96	〃
8	〃	90.90.10	3.000	319	横桁
16	鈑	230×9	330	86	取付鈑
				3.044	
		縦桁			
4	上覆	300.150.8	3.020	584	
6	〃	〃	3.710	941	
40	山鉄	90.90.10	255	136	取付山鉄
				1.661	
		横縦桁			
4	山鉄	90.90.10	3.900	208	横集材
4	〃	〃	4.750	275	〃
2	〃	〃	4.330	125	〃
8	〃	〃	1.890	201	〃
8	〃	〃	2.065	220	〃
4	〃	〃	2.105	112	〃
8	鈑	240×9	415	65	取付鈑
8	〃	330×9	550	102	〃
8	〃	〃	580	108	〃
10	〃	160×9	590	61	〃
				1.424	
		鉄頭			
5948	工場鉄	徑22		439	
2570	現場鉄	〃		186	
				625	
		各々附屬品			
4	鋳鉄	4.530-212			側桁用
2	〃	2.510-102			中桁用
4	座金			6	
4	アンカーボルト	徑30		25	
				345	
		總重量			
		19.863瓲			





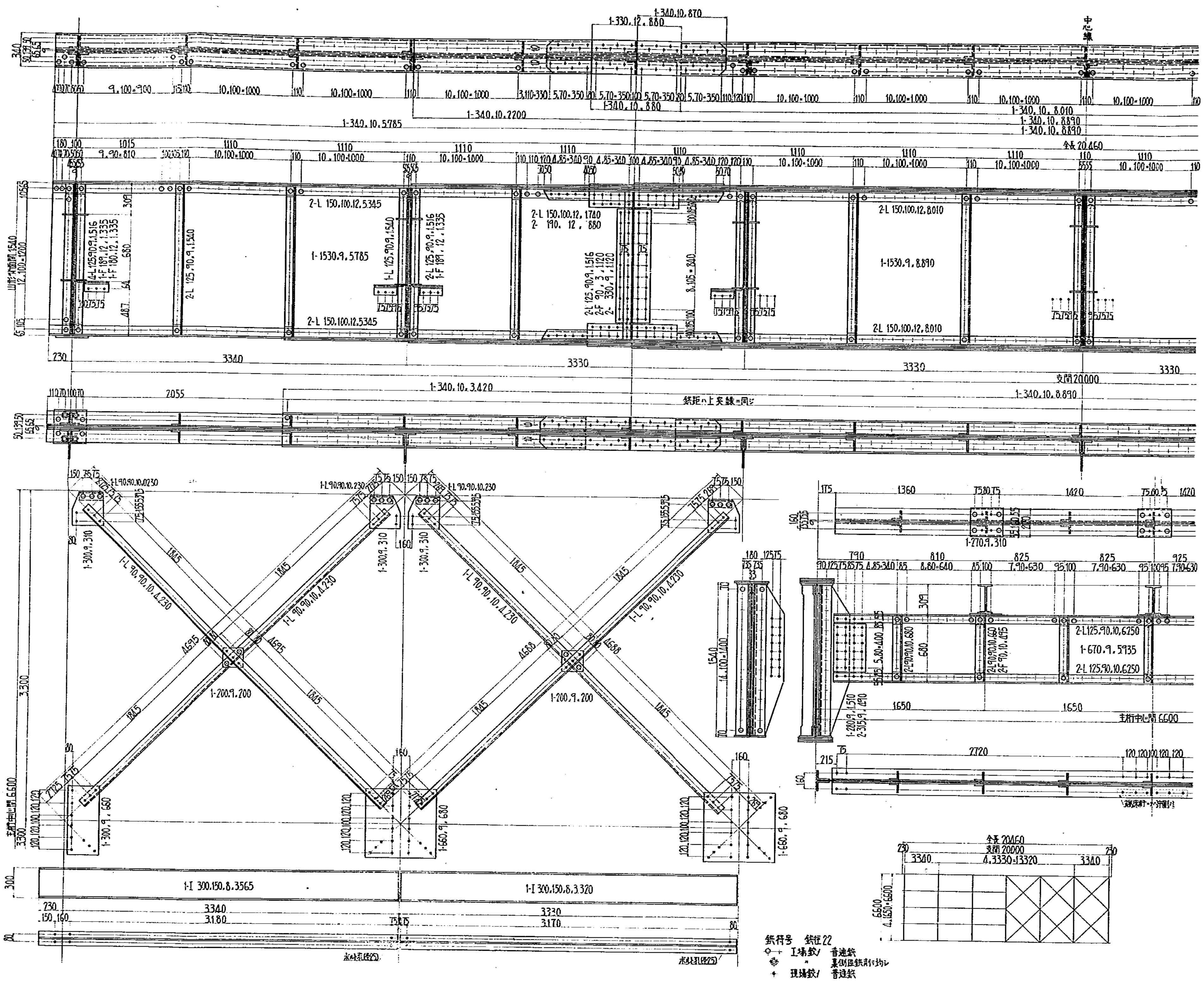
材料表

数量	種別	寸法 断面	寸法 長サ	重量	摘要
		側桁			
1	鈑	1060×9	7725	579	腹鈑
1	〃	〃×〃	6735	504	〃
4	山形	125×90×10	7355	474	突縁山形
4	〃	〃×〃×〃	6365	410	〃
1	鈑	300×10	7725	182	〃 鈑
1	〃	〃×〃	6735	159	〃
1	〃	〃×〃	4690	110	〃
1	〃	〃×〃	3700	87	〃
12	山形	125×90×9	1050	184	補剛材
22	〃	90×90×10	1010	312	〃
2	〃	〃×〃×〃	1050	28	〃
4	〃	125×90×9	365	21	取付山形
2	鈑	189×10	885	26	填材
2	〃	180×10	885	25	〃
4	〃	189×10	280	17	〃
4	〃	90×10	600	17	〃
4	〃	175×10	740	41	腹鈑添接
2	〃	330×10	690	36	〃
4	山形	125×90×10	1320	85	突縁添接
4	鈑	300×10	740	70	〃
1	〃	270×22	320	15	可動端底鈑
1	〃	320×22	340	19	固定端底鈑
				3401	
				2×3401=6802	
		中桁			
1	鈑	1060×9	7725	579	腹鈑
1	〃	〃×〃	6735	504	〃
4	山形	125×90×10	7355	474	突縁山形
4	〃	〃×〃×〃	6365	410	〃
1	鈑	300×9	7725	164	〃 鈑
1	〃	〃×〃	6735	143	〃
1	〃	〃×〃	5690	121	〃
1	〃	〃×〃	4700	100	〃
2	〃	〃×〃	4490	190	〃
2	〃	〃×〃	3500	148	〃
16	山形	125×90×9	1050	245	補剛材
18	〃	90×90×10	1010	256	〃
2	〃	〃×〃×〃	1050	28	〃
8	〃	125×90×9	365	42	取付山形
4	鈑	189×10	885	52	填材
8	〃	〃×〃	280	33	〃
8	〃	90×10	600	33	〃
4	〃	175×10	740	41	腹鈑添接
2	〃	330×10	690	36	〃
4	山形	125×90×10	1320	85	突縁添接
2	鈑	300×10	740	35	〃
2	〃	300×9	740	31	〃
1	〃	270×22	320	15	可動端底鈑
1	〃	320×22	340	19	固定端底鈑
				3784	
		横桁			
12	I型	350×150×9	3250	2281	
8	鈑	365×9	705	146	隅束
16	山形	75×75×9	265	42	〃
16	〃	〃×〃×〃	460	74	〃
8	〃	90×90×10	3000	319	横材
16	鈑	230×9	330	86	取付鈑
				2948	
		縦桁			
4	I型	300×150×8	2470	477	
6	〃	〃×〃×〃	2970	861	
40	山型	90×90×10	255	136	取付山形
				1474	
		横繋構			
4	山形	90×90×10	3540	188	横繋材
4	〃	〃×〃×〃	4050	216	〃
2	〃	〃×〃×〃	4120	110	〃
8	〃	〃×〃×〃	1690	180	〃
8	〃	〃×〃×〃	1965	209	〃
4	〃	〃×〃×〃	2000	106	〃
8	鈑	200×9	480	54	取付鈑
8	〃	360×9	520	106	〃
8	〃	335×9	570	108	〃
4	〃	160×9	630	28	〃
6	〃	〃×〃	590	40	〃
				1345	
		鋲頭			
5394	工場鋲	径22		398	
2404	現場鋲	〃		178	
				576	
		沓及附属品			
4	鋳鉄			4×465=186	
2	〃			2×450=90	
4	座金			6	
4	アンカーボルト	径38		25	
				307	
		總重量		17.236瓩	

標準圖道鈑桁橋

支間	14.0m	活荷重	第二種
有效幅員	7.5m	床版,鋪装	<560 kg/m²
主桁間隔	2×3.3m	高欄,地覆	<460 kg/m

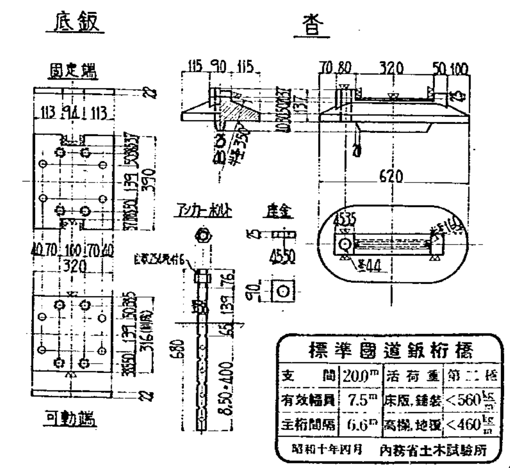
昭和十年四月 內務省土木試験所



鋲符号　鋲径22
工場鋲/　普通鋲
〃　裏側皿鋲削リ均シ
現場鋲/　普通鋲

材料表

数量	種別	寸法 断面	寸法 長サ	重量	摘要
		主桁			
2	鈑	1530×9	5785	1251	腹鈑
1	〃	〃×〃	8890	961	〃
8	山形	150.100.12	5345	958	突縁山形
4	〃	〃×〃×〃	8010	118	〃
2	鈑	340×10	5785	309	〃鈑
2	〃	〃×〃	3420	183	〃
4	〃	〃×〃	2200	235	〃
4	〃	〃×〃	8890	949	〃
2	〃	〃×〃	8010	428	〃
22	山形	125.90.9	1516	486	補剛材
25	〃	〃×〃×〃	1540	563	〃
7	鈑	189×12	1335	167	填材
2	〃	180×12	1335	45	〃
7	〃	280×9	1510	209	取付鈑
8	〃	190×12	880	126	腹鈑添接
4	〃	330×9	1120	104	〃
4	〃	90×3	1120	10	填材
8	山形	150.100.12	1740	312	突縁添接
4	鈑	330×12	880	110	〃
4	〃	340×10	880	94	〃
4	〃	〃×〃	870	93	〃
1	〃	320×22	320	18	可動端底鈑
1	〃	〃×〃	390	22	固定端底鈑
				8351	
			2×8351=	16702	
		横桁			
1	鈑	670×9	5935	281	腹鈑
4	山形	125.90.10	6250	402	突縁山形
8	〃	90.90.10	680	72	補剛材
6	〃	〃×〃×〃	660	53	〃
6	鈑	90×10	495	21	填材
4	〃	315×9	490	44	添接鈑
3	〃	270×9	310	18	縦桁底鈑
				891	
			7×891=	6237	
		縦桁			
6	I型	300.150.8	3565	1033	
12	〃	〃×〃×〃	3320	1925	
				2958	
		横綾構			
24	山形	90.90.10	4230	1351	横綾材
24	〃	〃×〃×〃	230	74	取付山形
24	鈑	300×9	310	158	〃鈑
2	〃	〃×〃	660	28	〃
5	〃	660×9	680	159	〃
12	〃	200×9	200	34	〃
				1804	
		鋲頭			
8240	工場鋲	径22		608	
3336	現場鋲	〃		246	
36	ボルト及座金	〃		20	
				874	
		沓及附属品			
4	鋳鉄	4×840=		336	
4	座金			7	
4	アンカーボルト	径38		26	
				369	
		總重量			
				28944瓩.	



標準圖道鈑桁橋

支間	20.0m	活荷重	第二種
有効幅員	7.5m	床版,舗装	<560 kg/m
主桁間隔	6.6m	高欄,地覆	<460 kg/m

昭和十年四月　内務省土木試験所