

土木試験所報告

第二十一號

昭和六年十二月

背水曲線の一般的解法

單鉸拱の振動に關する理論並に實驗

混凝土鋪裝の繼目に關する試験

河水のボルトランドセメントに及ぼす影響

標準砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響

瀝青乳劑試験成績

内務省土木試験所

建設省沼津支所圖書			
分類	II-K	番号	1-11
購入年月日	年	月	日

正 誤 表

頁	行	誤	正
73	上より 4 行 第 三 表 中	(kg/m ²)	(kg/m ³)
73	下より 11 行	基層 10 ^{cm} 計 16 ^{cm}	基層 12 ^{cm} 計 18 ^{cm}
78	上より 3 行	82,000 瓩	82,000 瓩
90	下より 6 行	5.5 ^{mm}	5.0 ^{mm}
152	27 行	粒度高きに過く	粘度高きに過く

本報告は背水曲線の一般的解法、單鉸拱の振動、混凝土鋪裝繼目、酸性河水のボルトランド・セメントに及ぼす影響、標準砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響、瀝青乳劑等に関する試験研究の結果を輯録せるものである。

背水曲線の一般的解法は、數十年來歐米諸學者に依て考案されたる一般水路の背水計算法が其數 20 種に庶からんとするに拘らず何れも架空的不完全なるものにして實用に適せざる事に着眼し全く新なる考案を以て一般的合理的なる計算法を完成し、更に短小なる水路に依て長區域に亘る背水を測定し得る方法を創案して種々の場合に對し著者の計算結果を實驗に依て證明せるものである。

單鉸拱の振動に関する理論竝に實驗は、拱頂の鉸の動きを完全なりと假定して(1)橋臺不動の場合、(2)橋臺に水平變位ある場合、(3)拱を突桁と考へたる場合の各につき理論的に其の自己振動數を求め、これ等と鐵筋混凝土造單鉸拱橋模型について行へる實測結果とを比較し、單鉸橋の自己振動が荷重小なる間は(3)の場合に近似し、荷重増加につれて(2)(1)の場合に漸次接近するものなることを明にせるものである。

混凝土鋪裝の繼目に關する試験は、鐵輪帶の實際的作用に據つて其の構造の適否を實驗測定し、更に數種の繼目填充材に就き其の性質を明にし、以つて通常混凝土鋪裝の弱點と目せらるゝ繼目につき本邦現時の地方道に適する工法を考察せるものである。

河水のボルトランド・セメントに及ぼす影響に關する試験は、山形縣南村山郡酢川の三個所より採取したる特種酸性にして、有害鹽類を含有する河水のボルトランド・セメントに及ぼす惡影響に就きて其の程度を試験し、併せて有害水と混凝土との一般的關係、有害水の侵蝕作用を防止する方法等について概觀せるものにして、有害水に對する混凝土の耐久性増加に關する研究の一段階とせるものである。

標準砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響に關する試験は、火山灰其の他石粉をセメントの代用材料として混加使用したる場合の強度に及ぼす影響をセメント規格試験に従ひ標準砂 1:3 モルタルを用ゐて試験すれば、石粉の種類を問はず、物理的影響によりて、其の強度を増加する場合あることを指摘し、かかる影響ある石粉の大きさを明にしたものである。

瀝青乳劑試験は、最近に於ける本邦瀝青乳劑及二三の外國瀝青乳劑計十數種に關する鋪裝用材料としての試験成績を輯録し現時の本邦瀝青乳劑の傾向を概觀せるものである。

昭和六年十二月

内務省土木試験所長 内務技師 物部長 穗

内務省土木試験所報告

第二十一號

目 次

一 背水曲線の一般的解法

内務技師 物 部 長 穂

伊 藤 令 二

	頁
第 一 章 在來の背水公式の批判	1
第 一 節 背水曲線の基礎方程式	1
第 二 節 背水公式の種類	3
第 三 節 在來の背水公式	5
第 四 節 在來背水公式の批判	9
第 二 章 著者の一般的解法	12
第 五 節 一般的解法の原理	12
第 六 節 背水曲線の一般式	14
第 七 節 背水函数の計算	15
第 八 節 斷面積、潤邊及び徑深	21
第 三 章 實驗及び計算例	25
第 九 節 實驗用水路	25
第 十 節 堰上背水	26
第十一節 低下背水	34
第十二節 斷面形の變化する水路の堰上背水	43

二 單鉸拱の振動に関する理論並に實驗

内務技師 三 浦 七 郎

緒 論	49
---------------	----

第一章 等布荷重を滿載せし場合の單鉸拱振動數の算定公式	49
1. 橋臺不動の場合の振動數算定公式	49
2. 橋臺の變位せる場合の單鉸拱振動數算定の公式	53
3. 突桁としての振動數算定公式	54
第二章 實 驗	57
1. 實驗用單鉸拱	57
2. 荷 重	57
3. コンクリートの彈性率	58
4. コンクリート單位體積の重量	59
5. 公式に由る振動數の計算	59
6. 振動數の測定	65
第三章 結 論	68

三 混凝土鋪裝の繼目に關する試験

	内務技師 山 田 元	
	内務技手 船 山 晴 雄	
I. 緒 言	69	
II. 繼目構造の鐵輪帶に據る比較試験	71	
III. 繼目填充材の性能試験	86	
IV. 結 論	96	

四 河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響

	内務技師 西 川 榮 三	
	川 畑 健 雄	
緒 言	101	
一 試 料	101	
二 試験成績	103	
I. 純セメントに關する試験	103	
II. モルタル強度	113	
三 試験成績の考察	116	

四 有害水と混凝土との關係概説	119
五 侵蝕性有害水によりて混凝土の受くる作用を防止する方法概説	122
六 結 論	124

五 標準砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響

内務技師 高 田 昭

一 緒 言	129
二 試験方法及種類	129
三 試験の結果	131
1. 荒川産砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響	131
2. 標準砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響	131
3. 標準砂モルタルに於ける強度と比重との關係	134
4. 標準砂 (1:3) モルタルの強度に影響を及ぼす石粉の大きさ	135

六 瀝青乳劑試験成績 143

内務技師 西 川 榮 三

背水曲線の一般的解法

内務技師 物 部 長 穂
伊 藤 令 二

本研究に於て細部の計算及び實驗は 工學士 伊藤令二氏を煩はしたるものである。

第一章 在來の背水公式の批判

第一節 背水曲線の基礎方程式

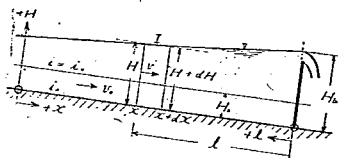
普通の等速定流に於ては流速に影響する總ての水理量が斷面の位置に依て變化せず、水面の縦斷線は水路底と平行なる直線にして、その勾配 i は重力の分力と流動摩擦とが平衡する如きものにして、嚴密に之に適合する場合は極めて稀なるが底勾配一定なる壩面狀水路に於ては實地上等速流と看做して差支ない。

斯の如き水流のある斷面に於て、幅員の増減、河床の昇降又は堰、橋脚、水制等に依り水理量（水深、幅員、勾配、粗度等）を變化せしむれば上流部は減速又は加速の不等速流に變じ、その影響は理論上遠く無限の上流に及び之の現象を一般に背水と稱し、此場合工學上最も重要なるものは水面の昇降であるが、普通背水曲線と稱するは斯の如き場合の水面縦斷曲線にして之を堰上と低下との二場合に分類し得るも、水面縦斷形を表はす所の微分方程式に於ては何等の差なく單に限界條件の異なるのみである。

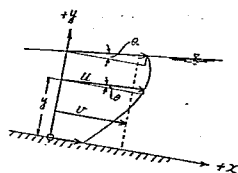
不等速定流を表はす一般的微分方程式は Bernoulli 定理の開水路への擴張として 1828 年佛人 J.B. Belanger 氏に依て創案され次に伊人 G. Coriolis (1836) に依て流速水頭變化の項を補足され、更に de Chézy 氏の平均流速公式に依て摩擦損失を表はすに及んで現時の形式を完成せるものである。

今、背水影響圏内の任意の斷面に坐標の原點を取り、 x 軸を水路床の最低線上に下流向きに、水深 H の軸を之に垂直に上向きに取れば、不等速流の一般微分方程式は（第一圖）

$$I = i_0 - \frac{dH}{dx} = \frac{v^2}{C^2 R} + \alpha \frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (1)$$



第一圖



第二圖

茲に i_0 水路床勾配

$i = i_0$... 等速流水面勾配

I x 断面に於ける不等速流水

面勾配 $= i_0 - \frac{dH}{dx}$

H_0 等速流水深

H x 断面に於ける不等速流水深

H_b 背水 (又は堰上背水) の下流端に於ける水深

R x 断面に於ける径深

C 流速公式係数

$\alpha = 1 + \alpha' = \frac{10}{9}$ 流速水頭補正係数;

α は平均流速 v を以て全断面の流速水頭を表はす爲め

の補正係数にして断面形に依つて異り、種々の断面形に對する α の平均値は Boussinesq 氏の計算に依れば

	極めて廣き矩形	普通の矩形	半圓形
$\alpha =$	1.085	$1.11 = \frac{10}{9}$	1.138

然るに Chézy 流速公式に於ては C は水深に依て著しく變するを以て、水深の變化極めて小なる場合の外之を常數と看做して (1) 式を積分するは頗る不合理なるを以て、茲に一般形の平均流速公式を用ふれば

$$v = CR^m I_f^{\frac{2}{3}} = CR^m I_f^{0.5} \dots \dots \dots (2)$$

茲に I_f v, R に對する摩擦水頭勾配

$$\therefore I = i_0 - \frac{dH}{dx} = \frac{v^2}{C^2 R^{2m}} + \alpha \frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right), \quad \frac{v^2}{C^2 R^{2m}} = I_f \dots \dots \dots (3)$$

$$= \frac{Q^2}{C^2 R^{2m} A^2} + \alpha \frac{Q^2}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{A^2} \right), \quad Q \dots \text{流量}, A \dots \text{断面面積} \quad (4)$$

(3) 又は (4) 式の微分方程式を解きて、 H と x との關係を求むるには i_0 及び C は不變なるを要するを以て、河川の場合には原則として適用し得ざるも i_0 及び C の略一様

なる多くの區間に分ち、その各區域毎に別々に H と x との關係を適用すれば、直接 (1) 式より試算的に背水曲線を求むるに比し遙かに有利である。

第二節 背水公式の種類

水路の流量 Q は一定なるを以て i は使用流速公式に對し、水深 H に相當する徑深 R 、並に粗度係數又は流速係數に依て表はされ、 $\frac{d}{dx}\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ は斷面積 A を以て表はされ、且つ一定の斷面形に於ては A 及び R は水深 H に依て表はし得るを以て結局 (4) 式は H と x との關係を表はす微分方程式にして、その形は使用流速公式及び斷面形に由て異なり、從てその積分より得たる背水曲線も亦流速公式と斷面形とに依て當然異なるべき筈なるに拘らずその影響の程度に就ては從來全く考慮されて居らぬ。

1813 年 Chézy 流速公式の出現以來現今に到る間に諸家に依て研究發表されたる開水路平均流速に關する公式は極めて多數に上り、その式形も亦千態萬様にして夫等の撰擇は要するに適材適所主義に據らざるべからざるは勿論にして、而も應用の便宜上係數 C 不變にして i 及び R の數値のなるべく簡單なるを可とする。從て今日尙、事の如何を問はず Kutter 公式を唯一獨尊と信するが如きは水理工學の専門家としては寧ろ耻づべき事と言ふを彈らぬ。例へば粗度係數 n が 0.018 位以下にして徑深大なる人工水路に於ては Manning 公式 (英、1890), $n=0.025$ 位以下の管水路、開水路及び河川に對しては一般的に Forchheimer 公式 (奧、1923), 自然礫床の廣き河川に對しては Hermanek 公式 (奧、1905) を採用するを合理的とする。

次に定流の流速及び流量に關しては總ての水量中徑深 R を以て最も重要なものとする。然るに R と最大水深 H との關係は斷面形の如何に依て著しく異なり、而も背水曲線に對する徑深の影響は極めて重大にして若し從來の如く、土砂地盤に於ける新式大開鑿水路の如き殆んど三角形斷面に近き場合に對し廣矩形水路の背水公式を使用するに於ては他に如何なる修正を加ふると雖も實際上何等の價值を有せぬ。

從て背水曲線の決定には各水路に對し最も適切なる流速公式を撰定し H と R との關係は出來得るだけ實際に近きものを使用する必要がある。尙、在來の背水公式の多くは流速水頭變化の項を無視せるも平均流速が數倍又は數分の一に變化する場合、その影響は頗る大にして低下背水に於て特に大なる誤差を生ずる。

然るに一の水路に於てその斷面形を考慮し、適當なる流速公式を撰定して、從來の方法

に依て背水曲線を求めんとすれば殆んど無数の背水公式を作成し一々之に對する數表又は曲線を完成するの必要を生じ到底其の煩に堪えぬ。試みに現在の代表的流速公式と普通開渠として多く使用さるる斷面形とに對して必要なる背水公式の數を検するに、

第 一 表

A. 流速公式

著 者	流速公式	C
1. Chézy	$v = CR^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$	R に依て異なる
2. Manning	$CR^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$	$C = \frac{1}{n}$... 一の水路に於ては常數
3. Forchheimer	$CR^{0.7} i^{\frac{1}{2}}$	$C = \frac{1}{n}$... " "
4. Hermanek	$CR^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$	C... 常數 (自然河川)
5. 一般指數公式	$CR^m i^s$	C... 一の水路に於ては常數
6. 其 他		

B. 斷面形

- | | | |
|------------------|-----------|-------|
| a. 廣矩形 | b. 普通矩形 | c. 梯形 |
| d. 廣拋物線形及び廣二次曲線形 | e. 普通拋物線形 | |
| f. 三角形及び三角形に近き梯形 | | |

但し「廣」は水深に比し幅員極めて大にして $R \approx$ 平均水深 (H_m)

C. 流速水頭の變化

- | | |
|-----------|------------|
| i. 考慮せるもの | ii. 無視せるもの |
|-----------|------------|

即ち之等の組合に依り、72 種の背水を生じ而も堰上と低下とに依り、積分、背水公式及數表は異なるを以て結局 144 種の公式を作成して而も尙隧道暗渠等多くの重要な場合を逸する。

而て水深に對し幅の極めて大なる矩形水路に於ては

$$w=B, R=H \text{ 茲に } w \dots \text{水深 } H \text{ に對する潤邊長}$$

にして不等速流一般微分方程式 (1) の積分は著しく簡單になるを以て在來の背水公式の多くは水路斷面の如何に拘らず此假定を用ひ以て數學上の困難を回避したるものである。

次に現存の背水公式に就て、流速公式、斷面形、數表又は曲線の有無等を表示する。

第二表 現存背水公式の種類

著 者	発表年	流速公式 $v =$	断面形	流速水頭	数表 又は 曲線	
					堰上 (H/H_0)	低下 (H/H_0)
1. Grashof-Bresse (佛)	1860	$C\sqrt{H_i}$	廣 矩 形	考慮	$\frac{1}{0.999} \sim \frac{1}{0.07}$	0.999 ~ 0.00
2. Dupuit-Masoni (佛・伊)	1863	$C\sqrt{R_i}$	普通 矩 形	"	無	無
3. Rühlmann (獨)	1880	$C\sqrt{H_i}$	廣 矩 形	無視	1.01 ~ 6.0	0.99 ~ 0.00
4. Tolkmitt (〃)	1881	$C\sqrt{R_i}$	廣拋物線形	考慮	1.005 ~ 5.0	0.995 ~ 0.00
5. Schaffernak (奥)	1913	$CH^{0.75}i^{0.5}$	廣 矩 形	無視	1.013 ~ 5.0	0.2 ~ $\frac{1}{1.04}$
6. Ehrenberger (〃)	1914	$\left(\begin{matrix} 23.78H^{0.776}i^{0.459} \\ 22.11H^{0.65}i^{0.43} \end{matrix} \right)$	" "	"	1.000 ~ 5.0	無
7. Baticle (佛)	1921	$Q^{\infty} i z^{\infty} = i_0 z_0^{\infty}$	類似 梯 形	"	1.001 ~ 10.0	"
8. Kozeny (奥)	1928	$CH^{0.7}i^{0.5}$	廣 矩 形	考慮	無	0.10 ~ 0.95
9. Schoklitsch (チェッコ)	1930	$CH^{0.7}i^{0.5}$	" "	無視	1.01 ~ 5.0	無
10. Flamant (佛)	?	Dupuit-Masoni 公式の近似式				
11. Poirée (〃)	?	水理的根拠なし				

* 第三節 (4), 8 参照

第三節 在來の背水公式

在來背水公式の實用上の價值を論ずるに先立ち、夫等の主要なるものに對し、その根拠を假せる假定と式形とを列挙する。

(1) 廣矩形断面に對する堰上背水公式 (4) 式に於て $A=BH$, $w=B$, $R=H$

但し水深は總て鉛直に計る

1. Grashof-Bresse 公式,

$$v = C\sqrt{H_i}, \quad C \dots \dots \text{常数}, \quad \frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) = 0$$

x 断面の位置を堰よりの距離 l を以て現はす

$$l = \frac{H_b - H}{i} + \frac{H_0}{i} \left(1 - \frac{H_0^3}{H_0^3} \right) \left[B \left(\frac{H_0}{H} \right) - B \left(\frac{H_0}{H_b} \right) \right] \dots \dots (5)$$

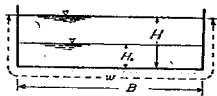
茲に $H_c = H_0 \left(\frac{\alpha C^2 i}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots$ 限界水深

$$B \left(\frac{H_0}{H} \right) = \frac{1}{6} \ln \frac{H^2 + HH_0 + H_0^2}{(H - H_0)^2} - \frac{1}{\sqrt{3}} \arctan \frac{2H + H_0}{\sqrt{3}H_0}$$

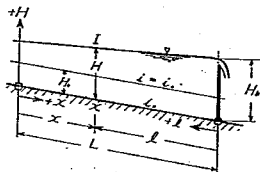
2. Rühlmann 公式, 1. と同一の假定、但し $\frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) = 0$

$$l = \frac{H_0}{i} \left[\varphi_r \left(\frac{H_b - H_0}{H_0} \right) - \varphi_r \left(\frac{H - H_0}{H_0} \right) \right] = \frac{H_0}{i} \left[\varphi_r \left(\frac{z_0}{H_0} \right) - \varphi_r \left(\frac{z}{H_0} \right) \right] \dots \dots (6)$$

(5)



第三圖



第四圖

$$\begin{aligned} \text{茲に } z &= H - H_0, \quad z_0 = H_0 - H_0, \quad \varphi_r \left(\frac{z}{H_0} \right) = \frac{1}{3} \ln \frac{z}{H_0} + \frac{2}{3} \frac{z}{H_0} \\ &+ \frac{1}{9} \frac{z^2}{H_0^2} - \frac{1}{27} \frac{z^3}{H_0^3} + \frac{1}{108} \frac{z^4}{H_0^4} + \dots \end{aligned}$$

此式は Bresse 公式に於て $H_0=0$ と置きたるものと全く同一である。

3. Schaffernak 公式、流速公式 $v = 34 R^{\frac{3}{4}} i^{0.5} = C H^{\frac{3}{4}} i^{0.5}$, $\frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) = 0$

$$l = \frac{H_0}{i} \left[\Phi \left(\frac{H_b}{H_0} \right) - \Phi \left(\frac{H}{H_0} \right) \right] \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{茲に } \Phi \left(\frac{H}{H_0} \right) = \frac{H}{H_0} - \left[\frac{1}{2.5} \left(\frac{H_0}{H} \right) + \frac{1}{6} \left(\frac{H_0}{H} \right)^6 + \frac{1}{9.5} \left(\frac{H_0}{H} \right)^{9.5} + \dots \right]$$

4. Schoklitsch 公式、流速公式 $v = C R^m i^k$, $\frac{1+m}{k} = a$, $\frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) = 0$

$$l = \frac{H_0}{i} \left[\Phi_s \left(\frac{H_b}{H_0} \right) - \Phi_s \left(\frac{H}{H_0} \right) \right] \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{茲に } \Phi_s \left(\frac{H}{H_0} \right) = \frac{H}{H_0} - \frac{1}{a-1} \left(\frac{H_0}{H} \right)^{a-1} - \frac{1}{2a-1} \left(\frac{H_0}{H} \right)^{2a-1} - \dots$$

$m=0.5 \sim 1.0$, $k=0.5$ の場合、 $H/H_0=1.01 \sim 5.0$ に對し圖解法が發表されて居る。

5. Ehrenberger 公式、 $\frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) = 0$

$$\text{流速公式 } H < 2.0 \text{ m, } v = 23.78 H^{0.776} i^{0.458}$$

$$H \geq 2.0 \text{ m, } v = 22.11 H^{0.58} i^{0.43}$$

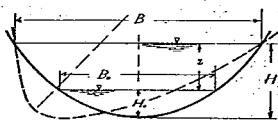
$$l = \frac{H_0}{i} \left[f \left(\frac{H_b}{H_0} \right) - f \left(\frac{H}{H_0} \right) \right] \dots \dots \dots (9)$$

$$\text{茲に } f \left(\frac{H}{H_0} \right) = \frac{H}{H_0} - \left[\frac{1}{r-1} \left(\frac{H_0}{H} \right)^{r-1} + \frac{1}{2r-1} \left(\frac{H_0}{H} \right)^{2r-1} + \frac{1}{3r-1} \left(\frac{H_0}{H} \right)^{3r-1} + \dots \right]$$

$H_0 < 2.0 \text{ m}$ に對しては $r=3.88$, $H_0 \geq 2.0 \text{ m}$ に對しては $r=3.67$

$\frac{H}{H_0}=1.00 \sim 5.00$ に對して數表が發表されて居る。

(2) 廣拋物線断面 $w = B = B_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^{0.5}$, $A = \frac{2}{3} B H$, $R = \frac{2}{3} H$,



第五圖

6. Tolkmitt 公式、 $v = C \sqrt{R i}$, $\frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) = 0$

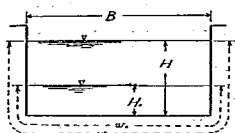
$$\begin{aligned} l &= \frac{H_0}{i} \left\{ \frac{H_0 - H \left(\frac{H_c}{H_0} \right)^4}{H_0} \right. \\ &\quad \left. + \left(1 - \frac{H_c^4}{H_0^4} \right) \left[F \left(\frac{H_b}{H_0} \right) - F \left(\frac{H}{H_0} \right) \right] \right\} \dots (10) \end{aligned}$$

$$\text{茲に } F\left(\frac{H}{H_0}\right) = \frac{H}{H_0} - \left(\frac{1}{4} \ln \frac{H+H_0}{H-H_0} + \frac{1}{2} \arctan \frac{H}{H_0}\right), \quad H_c^4 = \frac{\alpha C^2 i}{g} H_0^4$$

廣拋物線断面に於て水流量は斜軸の場合（第五圖の點線）と鉛直軸の場合と全く同一なるを以て Tolkmitt 式の應用範圍は比較的廣く堰上高小なる橋脚背水等の場合は充分使用に耐ゆる。

$$(3) \text{ 普通矩形断面 } w_0 = B + 2H_0, \quad w = B + 2H, \quad A_0 = H_0(w_0 - 2H_0), \quad A = H(w - 2H)$$

$$R_0 = \frac{H_0(w_0 - 2H_0)}{w_0}, \quad R = \frac{H(w - 2H)}{w}$$



第六圖

$$7. \text{ Dupuit-Masoni 公式, } v = C\sqrt{Ri}, \quad \frac{d}{dx}\left(\frac{v^2}{2g}\right) \approx 0$$

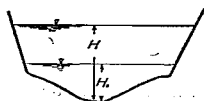
$$l = \frac{1}{i_0} \left(H_0 - H \right) + \frac{H_0}{i_0} \left[f\left(\frac{H_0}{H_0}\right) - f\left(\frac{H}{H_0}\right) \right] \dots (11)$$

$$\begin{aligned} \text{茲に } f\left(\frac{H}{H_0}\right) &= \frac{1}{2} \frac{1 - \beta + 2\beta \frac{H_0}{w_0}}{3 - 2\frac{H_0}{w_0}} \ln \frac{(H - H_0)^2}{H^2 + H_0 H + H_0^2 - 2\frac{H_0^3}{w_0}} \\ &+ \frac{1}{3 - 2\frac{H_0}{w_0}} \cdot \frac{-3\left(1 - \beta - 4\frac{H_0}{w_0} + 2\beta \frac{H_0}{w_0}\right) - 8\left(\frac{H_0}{w_0}\right)^2}{\sqrt{3 - 8\frac{H_0}{w_0}}} \times \\ &\arctan \frac{2H + H_0}{H_0 \sqrt{3 - 8\frac{H_0}{w_0}}}, \quad \beta = \frac{\alpha C^2 i}{g} \end{aligned}$$

此式は廣矩形と假定するものに比し遙かに合理的なるも式形繁雜に過ぎ數表も曲線も發表されて居らぬ。

(4) 特種の断面に對する堰上背水

8. Baticle 公式、



第七圖

$z \dots$ 水深を代表する符數 (Parameter)

$Z_0 \dots$ 堰上點に於ける z , $z_0 \dots$ 等速流に於ける z ,

$$Q^2 = C^2 i A^2 R = C^2 i z^5, \quad \frac{d}{dx}\left(\frac{v^2}{2g}\right) = 0$$

z は背水圈内の二三の断面の平均断面に依て定むる。

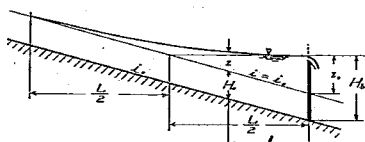
$$\frac{il}{\alpha z_0} = F_0\left(\frac{Z_0}{z_0}\right) - F_0\left(\frac{z}{z_0}\right) \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{茲に } \alpha = \frac{H - H_0}{Z_0 - z_0}, \quad \frac{z}{z_0} < 1.2 \dots F_0\left(\frac{z}{z_0}\right) = 1.244 + \frac{1}{5} \ln\left(\frac{z}{z_0} - 1\right) + \frac{3}{5}\left(\frac{z}{z_0} - 1\right) + \dots$$

$$\frac{z}{z_0} \geq 1.2 \dots F_6\left(\frac{z}{z_0}\right) = \frac{z}{z_0} - \left[\frac{1}{4}\left(\frac{z_0}{z}\right)^4 + \frac{1}{9}\left(\frac{z_0}{z}\right)^9 + \frac{1}{14}\left(\frac{z_0}{z}\right)^{14} + \dots\right]$$

氏は $\frac{z}{z_0} = 1.00 \sim 10.0$ に対し $F_6\left(\frac{z}{z_0}\right)$ の表を發表して居る。流速公式の z の冪数を 5 と取りし爲め三角形に近き水路の外適用困難であると流速水頭を無視せるとの缺點がある。

9. Poirée 公式 氏は全然水理學上の根據を離れて堰頂水面に頂點を有し、上流 $2\frac{z_0}{i}$ の點に於て原水面に切する拋物線を以て背水曲線を表はして居る。堰を原點に取り



第 八 圖

の點に於て原水面に切する拋物線を以て背水曲線を表はして居る。堰を原點に取り

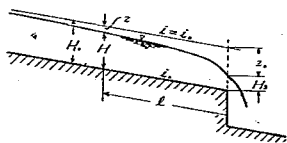
$$\begin{aligned} z &= z_0 - i_0 l + \frac{i_0^2}{4z_0} l^2 \\ &= z_0 - i_0 l \left(1 - \frac{il}{4z_0}\right) \dots \dots \dots (13) \end{aligned}$$

本公式は堰附近及び上流部に於ては過小

の背水を與ふる。而て背水圏内に於て河床勾配、断面形等の變ずる場合には全く應用の途がない。

(5) 廣矩形断面の低下背水 $H_0 \dots$ 原等速流水深、 $H \dots$ 低下せる水深、 $z = H_0 - H$ 、下流端の値は何れも尾字 s を附す。

10. Grashof-Bresse の低下背水曲線、 $v = C\sqrt{Hi}$, $\frac{d}{dx}\left(\frac{v^2}{2g}\right) = 0$



第 九 圖

$$\begin{aligned} l &= \frac{H - H_s}{i_0} - \frac{H_0}{i} \left(1 - \frac{H_s^3}{H_0^3}\right) \times \\ &\quad \left[B_s\left(\frac{H}{H_0}\right) - B_s\left(\frac{H_s}{H_0}\right)\right] \dots \dots \dots (14) \end{aligned}$$

$$B_s\left(\frac{H}{H_0}\right) \text{ の値は } B\left(\frac{H_0}{H}\right) \text{ と異なり } \frac{H}{H_0} =$$

0.999 ~ 0.0 に對して數表が用意されて居る。

11. Rühlmann 低下背水公式、 $v = C\sqrt{Hi}$, $\frac{d}{dx}\left(\frac{v^2}{2g}\right) = 0$

$$\begin{aligned} l &= \frac{H_0}{i} \left[\varphi_s\left(\frac{z_0}{H_0}\right) - \varphi_s\left(\frac{z}{H_0}\right)\right], \\ \varphi_s\left(\frac{z}{H_0}\right) &= \frac{1}{3} \ln \frac{z}{H_0} - \frac{2}{3} \frac{z^3}{H_0^3} + \dots \dots \dots (15) \end{aligned}$$

此式は Grashof-Bresse 公式に於て $H_s = 0$ と置きたるものと同一の結果を與ふる。

12. Schaffernak 低下背水公式、 $v = CR^{0.75} z^{0.5}$, $\frac{d}{dx}\left(\frac{v^2}{2g}\right) = 0$

$$l = \frac{H_0}{i} \left[\psi_s \left(\frac{H}{H_0} \right) - \psi_s \left(\frac{H_s}{H_0} \right) \right],$$

$$\psi_s \left(\frac{H}{H_0} \right) = \frac{1}{4.5} \left(\frac{H}{H_0} \right)^{4.5} + \frac{1}{8} \left(\frac{H}{H_0} \right)^8 + \dots \dots \dots (16)$$

13. Schoklitsch 低下背水公式、 $v = CH^m i^k$, $\frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) = 0$, $\frac{1+m}{k} = a$ と置き

$$l = \frac{H_0}{i} \left[\psi_1 \left(\frac{H}{H_0} \right) - \psi_1 \left(\frac{H_s}{H_0} \right) \right],$$

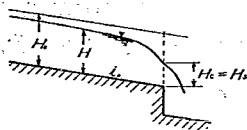
$$\psi_1 \left(\frac{H}{H_0} \right) = \frac{1}{a+1} \left(\frac{H}{H_0} \right)^{a+1} + \frac{1}{2a+1} \left(\frac{H}{H_0} \right)^{2a+1} + \dots (17)$$

14. Kozeny 低下背水公式、 $v = CH^{0.7} i^{0.5}$, $\frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) \approx 0$

$$\frac{dl}{H_0} = \psi_1(z_0) - \psi_1(z) + k \left[\psi_2(z) - \psi_2(z_0) \right] \dots \dots \dots (18)$$

茲に $\psi_1(z) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{3.4n+1} z^{3.4n+1}$, $\psi_2(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{3.4n+1.4} z^{3.4n+1.4}$

$$z = \frac{H}{H_0}, \quad z_0 = \frac{H_s}{H_0} = \sqrt[3]{\frac{C^2 H_0^{6.4} i}{g}} = \left(\frac{k}{\alpha} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad \alpha = \frac{10}{9}, \quad k = \alpha \frac{C^2 H_0^{0.4} i}{g}$$



第 十 圖

此式に於ては下流端に於ける水深即ち背水の最小水深を限界水深 H_0 に等しく取る。之れ瀑に於ては落下の直前に於て必ず射流に變じ其の下流に對しては背水公式を適用し能はざるが爲めにして河口の如き場合は $z_0 = \frac{H_s}{H}$ を取らねばならぬ。

$z = \frac{H}{H_0} = 0.1 \sim 0.95$ に對して簡單なる數表が作成されて居る。

(6) 廣拋物線斷面の低下背水

15. Tolkmitt 低下背水公式、 $v = C\sqrt{R}i$, $\frac{d}{dx} \left(\frac{v^2}{2g} \right) \approx 0$

$$l = \frac{H_0}{i} \left\{ \frac{H - H_s}{H_0} \left(\frac{H_c}{H_0} \right)^4 + \left[1 - \left(\frac{H_c}{H_0} \right)^4 \right] \left[F_s \left(\frac{H_s}{H_0} \right) - F_s \left(\frac{H}{H_0} \right) \right] \right\} \dots \dots (19)$$

茲に $F_s \left(\frac{H}{H_0} \right) = \frac{H}{H_0} - \left[\frac{1}{4} \ln \frac{H_0 + H}{H_0 - H} + \frac{1}{2} \arctan \frac{H}{H_0} \right]$

第 四 節 在來背水公式の批判

既述の如く背水曲線の計算には其の水路に適する流速公式を用ひ、斷面の形狀並に流速

水頭の變化を考慮せざれば實用上充分なる結果を得難きにも拘らず在來の諸公式にありては此等の條件を満足し得るものは存在せぬ。著者は後節に於て提案する普遍的計算法の價值を明かならしむる爲め先づ上記諸條件の不満足に依て生ずる背水の差を比較する。

(1) Chézy 流速公式に因る誤差 廣矩形斷面に於て $i_0 = i = 1:2500$, $R_0 = H_0 = 1\text{ m}$ 及び 5 m の場合 Chézy 公式を用ひたる Rühlmann 公式 (6) と Hermanek 公式を用ひたる Schaffernak 公式 (7) との結果を比較する。

先づ Chézy 公式に於て $R_0 = 1\text{ m}$, 5 m の兩場合の流速係數 C を比較するに

第 三 表 水 深 と C

$n =$	0.013	0.017	0.020	0.025	0.030
$R_0 = 1\text{ m}$	77	58	50	40	33
$R_0 = 5\text{ m}$	90	72	62	52	44
$\Delta C \%$	16.9	24.1	24.0	30.0	33.4

即ち背水圏内に於て C に 30% 以上の差を生ずる場合も少なからぬ。今 $H_0 = 5H_0$ 及び $2H_0$ の二場合に對し一定の水位上昇を生ずる斷面の位置 (l) を比較するに、便宜上 i_0/H_0 を用ふる。

第 四 表 Schaffernak 公式に對する Rühlmann 公式の差

	$H_0 = 5H_0$		$H_0 = 2H_0$	
	$H = 1.1H_0$	$2H_0$	$1.05H_0$	$1.1H_0$
Schaffernak 公式 $\left. \begin{matrix} il \\ H_0 \end{matrix} \right\} =$	4.393	3.066	1.557	1.327
Rühlmann 公式 $\left. \begin{matrix} il \\ H_0 \end{matrix} \right\} =$	4.560	3.112	1.714	1.449
差 %	+3.8	+1.5	+10.0	+9.2

(2) 流速水頭無視に因る誤差 廣矩形斷面に於て Chézy 公式を用ふる場合、水位上昇が原水深の 1% なる斷面の位置 (l) を、流速水頭の變化を考慮せる Grashof-Bresse 公式 (5) と之を無視せる Rühlmann 公式とに依て比較する。 C は Bazin 流速公式に據り粗度係數を V とす。

第五表 Grashof-Bresse 公式に対する Rühlmann 公式の差

$i_0 =$	1:1 000				1:3 000				1:10 000			
$\gamma =$	0.16		1.75		0.16		1.75		0.16		1.75	
$H_0 \text{ } m =$	6	1	6	1	6	1	6	1	6	1	6	1
$\frac{H_0}{H_b} \text{ } l \text{ の差 } \%$												
1.5	+92.0	66.7	25.0	7.3	18.8	17.0	6.5	2.5	3.8	3.8	0.6	0.6
2.0	+63.0	48.0	17.6	6.5	19.6	12.3	5.5	2.2	4.1	3.6	1.3	0.4
5.0	+19.0	17.2	2.5	2.5	5.1	5.1	0.75	0.5	1.3	1.3	0.0	0.0

即ち水深及び勾配大に、粗度小にして流速水頭の大なる場合程、其の變化を無視する爲めの誤差は大にして實際の場合に於ても誤差は 70~80% 位に達し得る。特に低下背水の場合下流端附近に於ては流速水頭の影響極大にして其値が摩擦項を凌ぐ場合少なからざるを以て之を無視せる計算は全く無意義である。

(3) 水路断面形の影響 背水曲線に干渉する水理量中経深 R は最も重要なものにして R は断面の形状に依て著しく異なるを以て、次に矩形水路に於て Chézy 公式を用ひ流速水頭の變化を考慮し側壁の影響を考慮せる Dupuit-Masoni 公式 (11) に對し、廣矩形と假定せる Bresse 公式の誤差を求むるに $i_0 = 1:1000$, $H_0 = 2 \text{ } m$, $\alpha = 1.0$, $H_b = 2H_0 = 4 \text{ } m$ の場合を取り水位上昇が $\frac{H_0}{100}$ なる断面の位置 l に依て比較する。

第六表 Dupuit-Masoni 公式に對する Bresse 公式の誤差

$B_0 \text{ } m$	B_0/H_0	粗度係数 (n)	流速係数 (C)	$\frac{\alpha C^2 i_0}{g}$	Bresse 公式の l の誤差 ($\frac{\Delta l}{l} \%$)
4	2	0.010	100	1.0	-50
		0.014	70.7	0.50	-40
		0.020	50	0.25	-27
36	18	0.011	100	1.0	-15
		0.016	70.7	0.50	-18
		0.024	50	0.25	-12

即ち幅員が原水深 H_0 の二倍の場合誤差は最大 50% に達し、18 倍の場合に於ても尚 15% に達し、大體流速の大なる場合程、堰上の高さ程大なる誤差を生ずる。今水位上昇が原水深の $1/100$ なる點を以て背水影響圏の實地上的限度とすれば、背水區域の長さは實に 2:1 となり背水曲線の計算に於て断面形の如何に重大なるかを示すものである。

上記の比較に依り Chézy 公式の使用竝に流速水頭變化の無視は常に影響圏を過大なら

しめ、廣矩形の假定は反對に常に之を過少ならしめ、理論上最も不完全なる Rühlmann 公式が矩形水路の堰上背水に於て良好なる結果を與ふるは正負相反する大なる誤差の偶然に消し合ひたる結果にして多くの場合に於ては決して信頼し得る公式でない。

第二章 著者の一般的解法

第五節 一般的解法の原理

第一章の各節に於て數字的に示せるが如く現存の背水曲線計算法は實用上充分なる精度を有せざるのみならず、水理學上の根據頗る曖昧であるが、何れも相當煩繁なる計算の上斯の如き不完全の域を脱する事能はざりし理由は

1. 背水曲線を有限項の函數を以て表はさんが爲め C の一定せざる Chézy 流速公式を用ひ、廣斷面の場合のみを考慮せる事。一般に $v = CR^m f^{0.5}$ に於て $\frac{1}{m}$ が整数にして而も廣斷面又は矩形の場合の外、有限項函數を以て表はし得ず、而も後者に於ては單一なる數表又は曲線を以て表はし得ぬ。
2. m が一般的値をとる時背水函數は廣斷面の場合に限り無限級數を以て表はさるゝも數表の計算は 1. の場合に比して著しく煩雜である。Schaffernak, Schoklitsch 等の公式は其の最も簡單なる場合にして Rühlmann 式は 1. に屬すべきものなるに拘らず無限級數を用ひて無用の手数を加へたるに過ぎぬ。

而て Chézy 式を用ひざるものとすれば背水函數は一般に無限級數となり更に流速水頭の變化を考慮すれば、一種の斷面に對して二の級數を生じ、從來の如く個々の斷面形に對して函數表を作成する事は殆んど望みがない。

次に述ぶる著者の方法は斷面積、潤邊及び徑深等を實用上充分なる精度に表はし得る一般式を用ひ、流速水頭の變化を考慮し且つ各水路に對し最も適切なる普遍的流速公式を用ひて漸變する二組の級數群に依てあらゆる場合の背水曲線を表はさんとするものである。

(I) 最も一般的なる場合 今不等速流狀態に於て斷面積 A 、潤邊 w 、徑深 R 、平均流速 v 等を水路底最低線より計りたる水深 H の函數として最も一般的に表はす。但し上記の諸量の記號に尾字 0 を附せるものは等速流の場合を示す。

$$A = a_0 + aH^p, \quad w = b_0 + bH^q, \quad R = \frac{A}{w}, \quad v = CR^m f^{0.5} \dots\dots\dots (20)$$

次に水路の流量は不變なるを以て

$$Q = vA = v_0 A_0,$$

$$\therefore I_f = \frac{1}{C^2} \left(\frac{v_0 A_0}{A} \right)^2 R^{-2m}, \quad \frac{v^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2g} \left(\frac{A_0}{A} \right)^2 \dots (21)$$

上記の関係を不等速流の一般微分方程式 (1) に代入すれば

$$i_0 - \frac{dH}{dx} = \frac{v_0^2}{C^2} \left(\frac{A_0}{A} \right)^2 R^{-2m} + \alpha \frac{v_0^2}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{A_0}{A} \right)^2 \dots (22)$$

更に A, R, w 等に (20) 式を代入し $\frac{a}{a_0} = a_1, \quad \frac{b}{b_0} = c$ と置けば

$$i_0 = \frac{dH}{dx} = i_0 \left(\frac{1+a_1 H_0^s}{1+a_1 H^s} \right)^{2m+2} \left(\frac{1+cH^k}{1+cH_0^k} \right)^{2m} \\ - \frac{\alpha C^2 i_0}{g} \left(\frac{1+a_1 H_0^s}{1+cH_0^k} \right)^{2m} s a_1 \left(\frac{1+a_1 H_0^s}{1+cH_0^k} \right)^2 \frac{H^{s-1}}{1+a_1 H^s} \frac{dH}{dx} \dots (23)$$

(23) 式は背水を表はす最も一般的なる微分方程式なるも、右邊の兩項共 H に関する複級数 (Double series) となり積分並に數表の計算は極度煩雜である。

(2) 斷面積 A を單一項を以て現はす場合 然るに普通の水路又は河川に於ては H を最低線より計れば $a_0 = 0$ と置きてても斷面積を充分精確に表す事を得る、即ち

$$A = aH^s, \quad w = b_0 + bH^k, \quad R = \frac{A}{w} = \frac{aH^s}{b_0(1+cH^k)} \quad \text{茲に} \quad c = \frac{b}{b_0} \quad (24)$$

$$\therefore \left(\frac{A_0}{A} \right)^2 = \left(\frac{H_0}{H} \right)^{2s}, \quad R^{-2m} = \left[\frac{b_0(1+cH^k)}{aH^s} \right]^{-2m},$$

$$I_f = \frac{v_0^2}{C^2} \left(\frac{A_0}{A} \right)^2 R^{-2m} = i_0 \left(\frac{H_0}{H} \right)^{2s(2m+1)} \left(\frac{1+cH^k}{1+cH_0^k} \right)^{2m}$$

$$\frac{v_0^2}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{A_0}{A} \right)^2 = - \frac{i_0 C^2 s}{g} \left(\frac{c_0 + c c_0 H_0^k}{H_0^s} \right)^{-2m} \left(\frac{H_0}{H} \right)^{2s} \frac{1}{H} \frac{dH}{dx}$$

$$\text{茲に} \quad c_0 = \frac{b_0}{a} \dots (25)$$

$$\text{今} \quad \frac{i_0 \alpha C^2 s}{g} \left(\frac{c_0 + c c_0 H_0^k}{H_0^s} \right)^{-2m} = H_k \quad \text{と置けば} \dots (26)$$

$$(22) \text{ 式は} \quad i_0 - \frac{dH}{dx} = i_0 \left(\frac{H_0}{H} \right)^{2s(2m+1)} \left(\frac{1+cH^k}{1+cH_0^k} \right)^{2m} - \frac{H_k}{H_0} \left(\frac{H_0}{H} \right)^{2s+1} \frac{dH}{dx}$$

$$\therefore i_0 dx = \frac{\left\{ 1 - \frac{H_k}{H_0} \left(\frac{H_0}{H} \right)^{2s+1} \right\} dH}{1 - \left(\frac{H_0}{H} \right)^{2s(2m+1)} \left(\frac{1+cH^k}{1+cH_0^k} \right)^{2m}} = F(H) dH \dots (27)$$

(27) 式の分母の第二項は一の収斂無限級数を以て表はさるゝを以て結局、函數 $F(H)$ は H の複級数を以て表はされ、従て $i_0 x / H_0$ は H / H_0 の複級数を以て表はす事を得るも、數表計算の手續は (3) の方法に比して著しく大である。

(3) 断面 A 及び潤邊 w を単一項を以て現はす場合 此場合背水微分方程式は著しく簡単となる。

$$A = aH^s, \quad w = bH^k, \quad R = \frac{A}{w} = \frac{a}{b} H^{s-k} \quad \dots\dots\dots (28)$$

w を単一項を以て現はす事は断面積の場合に比すれば多少無理の點あり従て b を一の断面に對して常數に取れば水深に依て k に多少の變化あるは免れざる所なるも、次節に述ぶる著者の解法に於ては積分法を行ふ際に於てのみ假りに之を常數と看做すも數計算に於ては各水深に相當する k の値を使用し得るのみならず、多くの場合 w/w_0 の形を以て式中に入るを以て之に基づく誤差は決して著しき程度に達せず、勿論從來の如く廣断面として $w = w_0 = B$ と假定すものに比し理論上より見て誤差の大きさに於て確かに雲泥の差があるが、後節に於て述ぶる種々の場合の實驗に照して尙一層明かである。

第六節 背水曲線の一般式

前節 (3) の場合を取り

$$A = aH^s, \quad w = bH^k, \quad R = \frac{A}{w} = \frac{a}{b} H^{s-k}, \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$\therefore \frac{A}{A_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^s, \quad \frac{w}{w_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^k, \quad \frac{R}{R_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^{s-k}, \quad v_0 = CR_0^{m/3} i_0^{0.5}$$

$$\therefore \frac{v_0^2}{C^2} \left(\frac{A_0}{A}\right)^2 R^{-2m} = i_0 \left(\frac{H}{H_0}\right)^{-2s} \left(\frac{R_0}{R}\right)^{2m} = i_0 \left(\frac{H}{H_0}\right)^{-2s-2m(s-k)}$$

$$\text{及び} \quad \alpha \frac{v_0^2}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{A_0}{A}\right)^2 = -\alpha \frac{v_0^2}{g} s \left(\frac{H}{H_0}\right)^{-2s-1} \frac{d}{dx} \left(\frac{H}{H_0}\right) \\ = -KH_0 \left(\frac{H}{H_0}\right)^{-2s-1} \frac{d}{dx} \left(\frac{H}{H_0}\right), \quad \text{茲に} \quad K = \alpha s \frac{v_0^2}{gH_0}$$

(1) 堰上背水の場合 上記の値を背水曲線の一般微分方程式 (1) に代入すれば

$$i_0 - \frac{dH}{dx} = i_0 \left(\frac{H}{H_0}\right)^{-2s-2m(s-k)} - KH_0 \left(\frac{H}{H_0}\right)^{-2s-1} \frac{d}{dx} \left(\frac{H}{H_0}\right)$$

$$\text{依て} \quad \frac{H}{H_0} = y \quad \text{と置けば} \quad d\left(\frac{H}{H_0}\right) = dy = \frac{dH}{H_0}$$

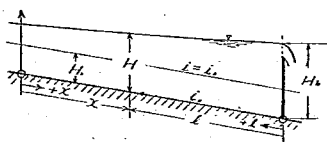
$$\therefore \frac{i_0}{H_0} dx = \frac{dy}{1-y^{-2s-2m(s-k)}} - K \frac{y^{-(2s+1)}}{1-y^{-2s-2m(s-k)}} \quad \dots\dots\dots (29)$$

然るに m は使用流速公式に依り、 s 及び k は與へられたる斷面形に依て定まるを以て、 $2s+2m(s-k)=r$ と置けば

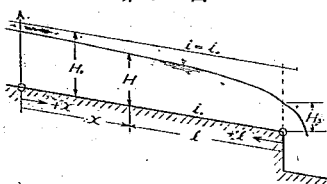
$$\frac{i_0 dx}{H_0} = \frac{dy}{1-y^{-r}} - K \frac{y^{-(2s+1)}}{1-y^{-r}} = \frac{y^r}{y^r-1} dy - K \frac{y^{(r-2s)-1}}{y^r-1} dy \quad \dots\dots\dots (30)$$

上式を x より $x+l$ 迄即ち H より H_0 迄積分すれば

$$\frac{i_0 l}{H_0} = \Phi_1\left(\frac{H_0}{H_s}\right) - \Phi_1\left(\frac{H}{H_0}\right) - K\left[\Phi_2\left(\frac{H_0}{H_s}\right) - \Phi_2\left(\frac{H}{H_0}\right)\right] \dots\dots\dots(31)$$



第十一圖



第十二圖

茲に $H_0 = H_{s+l}$, $H = H_s$

$$K = \alpha s \frac{v_0^2}{g H_0}, \quad \alpha = \frac{10}{9}$$

$$\Phi_1 = \int \frac{y^r}{y^r - 1} dy, \quad \Phi_2 = \int \frac{y^{r(r-2s)-1}}{y^r - 1} dy$$

$$r = 2s + 2m(s-k), \quad y = \frac{H}{H_0} > 1$$

背水の影響する範囲は理論上無限大にして

$l = \infty$ に於て $H = H_0$ 或は $y = 1$

此點に於ては Φ_1, Φ_2 共に無限大となるを以て、 $y = y_1 = 1.001$ 即ち $\frac{H}{H_0} = 1.001$ を以て Φ_1 及び Φ_2 の數値計算上の極限とする。

(2) 低下背水の場合 此場合は $H/H_0 < 1$ なるを以て積分の都合上

$$z = \frac{1}{y} = \frac{H_0}{H} > 1 \quad \text{と置けば (30) 式は}$$

$$\frac{i_0 dx}{H_0} = -\frac{z^{-2} dz}{1-z^2} + K \frac{z^{2s-1} dz}{1-z^2} = \frac{z^{-2} dz}{z^2-1} - K \frac{z^{2s-1} dz}{z^2-1} \dots\dots\dots(32)$$

$r > 1, z > 1$ にして右邊の z の函數は共に收斂級數に展開し得るを以て x より $x+l$ 迄即ち H より H_0 迄積分すれば

$$\frac{i_0 l}{H_0} = \Psi_1\left(\frac{H_0}{H_s}\right) - \Psi_1\left(\frac{H_0}{H}\right) - K\left[\Psi_2\left(\frac{H_0}{H_s}\right) - \Psi_2\left(\frac{H_0}{H}\right)\right] \dots\dots\dots(33)$$

$$\text{茲に } \Psi_1(z) = \Psi_1\left(\frac{H_0}{H}\right) = \int \frac{z^{-2}}{z^2-1} dz, \quad \Psi_2(z) = \Psi_2\left(\frac{H_0}{H}\right) = \int \frac{z^{2s-1}}{z^2-1} dz$$

此場合に於ても Ψ_1 及び Ψ_2 は $z=1$ に於て無限大となるを以て積分の上流端を $z = \frac{H_0}{H} = 1.001$ 或は $y = \frac{H}{H_0} = 0.999$ に取る。

第七節 背水函數の計算

(1) 堰上背水の場合 $r = 2s + 2m(s-k)$ 中 s ...断面函數の器數、 m ...流速公式の徑深の器數、 k ...潤滑函數の器數にして總ての開水路、暗渠管路等を通じて、

$$1 < r < 6, \quad 0.5 < s \leq 2.0$$

にして (30) 式の右邊兩項の $\frac{1}{y^r-1}$ は收斂級数に展開され夫等の積分 Φ_1 及び Φ_2 は

$$\Phi_1 = y - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{y^{-(nr-1)}}{nr-1}, \quad \Phi_2 = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{y^{-(nr+2s)}}{nr+2s} \dots\dots\dots (34)$$

を以て表はさる。

然るに實際の数計算に於て y が 1 に近き場合は級数の收斂頗る徐々にして意想外の手数を要する。而て r 及び s が共に整数なるか又はある特種の値を有する時は普通の積分法に依て有限項を以て表はし得るを以て、實際の数表の作成には、此等の場合に對して Φ_1 及び Φ_2 を直接計算し r 及び s の中間の値に對して挿入法に依て求むる。

斯くして求めたる積分値に依り Φ_1 及び Φ_2 の曲線群を作成すれば、殆んど如何なる場合の堰上背水と雖も極めて確實に計算し得る。從來發表されたる背水曲線の圖表は r 及び s の僅かに一つの場合に過ぎず、例へば Grashof-Bresse 公式に於ては、廣矩形断面なるを以て

$$A=BH, \quad w=B, \quad \therefore s=1, \quad k=0; \quad \text{且つ } v=CR^{0.5}y^{0.5} \text{ なるを以て}$$

$$m=0.5 \quad \therefore s=1, \quad r=3$$

Tolkmitt 公式は廣拋物線断面に Chézy 流速公式を用ひたるを以て $m=0.5$ にして

$$A=\frac{2}{3}BH, \quad w=B, \quad R=\frac{2}{3}H \quad \therefore s=\frac{3}{2}, \quad k=0.5 \quad \therefore r=4$$

而て Rühlmann 公式の如きは $s=1, r=3$ の場合に於て更に Φ_2 を棄てたるものである。

次に Φ_1 及び Φ_2 の積分式を列記するが複雑なる場合は伊藤工學士の計算に成れるものにして相當多数に上り、同一 r に對する Φ_1 又は Φ_1 及び Φ_2 の一組の式は實に從來發表されたる一の背水公式に相當するものである。

Φ_1 の積分式 但し總て積分常数を有するも背水計算に無關係なるを以て之を省略し、

$$\text{且 } \frac{1}{2}(\sqrt{5}+1)=N_1, \quad -\frac{1}{2}(\sqrt{5}-1)=N_2 \text{ と置く。}$$

$$r=1, \quad \Phi_1 = \int \frac{y}{y-1} dy = y + \ln(y-1),$$

$$r=2, \quad \Phi_1 = \int \frac{y^2}{y^2-1} dy = y + \frac{1}{2} \ln \frac{y-1}{y+1},$$

$$r=3, \quad \Phi_1 = \int \frac{y^3}{y^3-1} dy = y + \frac{1}{6} \ln \frac{(y-1)^2}{y^2+y+1} - \frac{1}{\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{2y+1}{\sqrt{3}}$$

..... (Grashof-Bresse 公式)
..... (Rühlmann 公式)

($r=3.5$) (Schaffernak 公式)

$$r=4, \quad \Phi_1 = \int \frac{y^4}{y^4-1} dy = y + \frac{1}{4} \ln \frac{y-1}{y+1} - \frac{1}{2} \tan^{-1} y \quad \text{..... (Tolkmitt 公式)}$$

$$r=5, \quad \Phi_1 = \int \frac{y^5}{y^5-1} dy = y + \frac{1}{5} \ln (y-1) - \frac{N_1}{10} \ln (y^2 + N_1 y + 1) \\ - \frac{N_2}{10} \ln (y^2 + N_2 y + 1) - \frac{\sqrt{4-N_1^2}}{5} \tan^{-1} \frac{2y+N_1}{\sqrt{4-N_1^2}} \\ - \frac{\sqrt{4-N_2^2}}{5} \tan^{-1} \frac{2y+N_2}{\sqrt{4-N_2^2}}$$

..... (Batiele 公式) 但、氏は級数形を以て表はす

$$r=6, \quad \Phi_1 = \int \frac{y^6}{y^6-1} dy = y - \frac{1}{6} \ln \frac{y+1}{y-1} - \frac{1}{12} \ln \frac{y^2+y+1}{y^2-y+1} \\ - \frac{1}{2\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{2y+1}{\sqrt{3}} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{2y-1}{\sqrt{3}}$$

Φ_2 の積分式 積分常数を省略し、 $\frac{1}{2}(\sqrt{5}+1)=N_1$, $-\frac{1}{2}(\sqrt{5}-1)=N_2$ と置く

$$r=1, \quad s=0.25, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{\sqrt{y(y-1)}} = \ln \frac{\sqrt{y}-1}{\sqrt{y}+1}$$

$$,, \quad s=0.5, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y\sqrt{y-1}} = \ln \frac{y-1}{y}$$

$$,, \quad s=0.75, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y^{1.5}(y-1)} = \frac{2}{\sqrt{y}} + \ln \frac{\sqrt{y}-1}{\sqrt{y}+1}$$

$$r=1.5, \quad s=0.25, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y^{1.5}-1} = \frac{1}{3} \ln \frac{(\sqrt{y}-1)^2}{y+\sqrt{y}+1} + \frac{2}{\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{2\sqrt{y}+1}{\sqrt{3}}$$

$$,, \quad s=0.5, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{\sqrt{y}(y^{1.5}-1)} = \frac{1}{3} \ln \frac{(\sqrt{y}-1)^2}{y+\sqrt{y}+1} - \frac{2}{\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{2\sqrt{y}+1}{\sqrt{3}}$$

$$,, \quad s=0.75, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y(y^{1.5}-1)} = \frac{2}{3} \ln \frac{y^{1.5}-1}{y^{1.5}}$$

$$r=2.0, \quad s=0.5, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y^2-1} = \frac{1}{2} \ln \frac{y-1}{y+1}$$

$$,, \quad s=0.75, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y^{2.5}(y^2-1)} = \frac{1}{2} \ln \frac{\sqrt{y}-1}{\sqrt{y}+1} - \tan^{-1} \sqrt{y}$$

$$,, \quad s=1.0, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y(y^2-1)} = \frac{1}{2} \ln \frac{y^2-1}{y^2}$$

$$r=2.5, \quad s=0.75, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y^{2.5}-1} = \frac{2}{5} \ln (\sqrt{y}-1) - \frac{N_2}{5} \ln (y+N_1\sqrt{y}+1) \\ - \frac{N_1}{5} \ln (y+N_2\sqrt{y}+1) + \frac{2}{5} \frac{2N_1+N_1N_2}{\sqrt{4-N_1^2}} \tan^{-1} \frac{2\sqrt{y}+N_1}{\sqrt{4-N_1^2}} \\ + \frac{2}{5} \frac{2N_1+N_1N_2}{\sqrt{4-N_2^2}} \tan^{-1} \frac{2\sqrt{y}+N_2}{\sqrt{4-N_2^2}}$$

$$\begin{aligned} \text{,, } s=1.0, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{\sqrt{y(y^{2.5}-1)}} &= \frac{2}{5} \ln(\sqrt{y}-1) - \frac{N_1}{5} \ln(y+N_1\sqrt{y}+1) \\ &- \frac{N_2}{5} \ln(y+N_2y+1) - \frac{2}{5} \sqrt{4-N_1^2} \tan^{-1} \frac{2\sqrt{y}+N_1}{\sqrt{4-N_1^2}} \\ &- \frac{2}{5} \sqrt{4-N_2^2} \tan^{-1} \frac{2\sqrt{y}+N_2}{\sqrt{4-N_2^2}} \end{aligned}$$

$$\text{,, } s=1.25, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y(y^{2.5}-1)} = \frac{2}{5} \ln \frac{y^{2.5}-1}{y^{2.5}}$$

$$r=3, \quad s=0.75, \quad \Phi_2 = \int \frac{y^{0.5}}{y^3-1} dy = \frac{1}{3} \ln \frac{y^{1.5}-1}{y^{1.5}+1}$$

$$\text{,, } s=1.0, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y^3-1} = \frac{1}{6} \ln \frac{(y-1)^2}{y^2+y+1} - \frac{1}{\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{2y+1}{\sqrt{3}}$$

..... (Grashof-Bresse 公式)

$$\begin{aligned} \text{,, } s=1.25, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{\sqrt{y}(y^3-1)} &= \frac{1}{3} \ln \frac{\sqrt{y}-1}{\sqrt{y}+1} + \frac{1}{6} \ln \frac{y-\sqrt{y}+1}{y+\sqrt{y}+1} \\ &- \frac{1}{\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{2\sqrt{y}+1}{\sqrt{3}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{2\sqrt{y}-1}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

$$\text{,, } s=1.5, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y(y^3-1)} = \frac{1}{3} \ln \frac{y^3-1}{y^3}$$

$$r=4, \quad s=1.0, \quad \Phi_2 = \int \frac{y}{y^4-1} dy = \frac{1}{4} \ln \frac{y^2-1}{y^2+1}$$

$$\text{,, } s=1.5, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y^4-1} = \frac{1}{4} \ln \frac{y-1}{y+1} - \tan^{-1} y$$

..... (Tolkmitt 公式)

$$\text{,, } s=2.0, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y(y^4-1)} = \frac{1}{4} \ln \frac{y^4-1}{y^4}$$

$$\begin{aligned} r=5, \quad s=1.5, \quad \Phi_2 = \int \frac{y}{y^5-1} dy &= \frac{1}{5} \ln(y-1) - \frac{N_2}{10} \ln(y^2+N_1y+1) \\ &- \frac{\frac{5}{2}N_1}{10} \ln(y^2+N_2y+1) + \frac{2N_1+N_1N_2}{5\sqrt{4-N_1^2}} \tan^{-1} \frac{2y+N_1}{\sqrt{4-N_1^2}} \\ &+ \frac{2N_2+N_1N_2}{5\sqrt{4-N_2^2}} \tan^{-1} \frac{2y+N_2}{\sqrt{4-N_2^2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{,, } s=2.0, \quad \Phi_2 = \int \frac{dy}{y^5-1} &= \frac{1}{5} \ln(y-1) - \frac{N_1}{10} \ln(y^2+N_1y+1) \\ &- \frac{N_2}{10} \ln(y^2+N_2y+1) - \frac{\sqrt{4-N_1^2}}{5} \tan^{-1} \frac{2y+N_1}{\sqrt{4-N_1^2}} \\ &- \frac{\sqrt{4-N_2^2}}{5} \tan^{-1} \frac{2y+N_2}{\sqrt{4-N_2^2}} \end{aligned}$$

$$r=6, \quad s=2.0, \quad \Phi_2 = \int \frac{y}{y^6-1} dy = \frac{1}{12} \ln \frac{(y^2-1)^3}{y^4+y^2+1} \\ + \frac{1}{2\sqrt{3}} \left[\tan^{-1} \frac{2y+1}{\sqrt{3}} - \tan^{-1} \frac{2y-1}{\sqrt{3}} \right]$$

$\frac{z_0'}{H_0} = \Phi_1\left(\frac{H_b}{H_0}\right) - \Phi_1\left(\frac{H}{H_0}\right) - K\left[\Phi_2\left(\frac{H_b}{H_0}\right) - \Phi_2\left(\frac{H}{H_0}\right)\right], \dots$ 茲に $K = \frac{10}{9} \frac{sz_0^2}{gH_0}$; の Φ_1 及び Φ_2 に各水路に相當する r 及び s に對する上掲の Φ_1 及び Φ_2 を入るれば直ちに堰上背水を求め得る。

(2) 低下背水の場合 此場合背水函数は $\Psi_1(z) = \int \frac{z^{-2} dz}{z^r-1}$, $\Psi_2(z) = \int \frac{z^{2s-1}}{z^r-1} dz$ にして何れも z の無限級数として表はされ

$$\Psi_1(z) = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z^{-(nr+1)}}{nr+1}, \quad \Psi_2(z) = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z^{-nr+2s}}{nr-2s} \dots \dots \dots (35)$$

而て r 及び s の整数値又は特別の値に對しては、次に示す如く積分式は有限項を以て表はさるゝを以て夫等の數値を計算すれば、中間の r 及び s に對して挿入法に依て容易に積分値を求め得る。

Ψ_1 の積分式 但し積分常数を省略し、 $\frac{1}{2}(\sqrt{5}+1)=N_1$, $-\frac{1}{2}(\sqrt{5}-1)=N_2$ と置く

$$r=1, \quad \Psi_1 = \int \frac{dz}{z^2(z-1)} = \frac{1}{z} + \ln \frac{z-1}{z}$$

$$r=2, \quad \Psi_1 = \int \frac{dz}{z^3(z^2-1)} = \frac{1}{z} + \frac{1}{2} \ln \frac{z-1}{z+1}$$

$$r=3, \quad \Psi_1 = \int \frac{dz}{z^4(z^3-1)} = \frac{1}{z} + \frac{1}{6} \ln \frac{(z-1)^3}{z^2+z+1} + \frac{1}{\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{2z+1}{\sqrt{3}}$$

..... (Grashof-Bresse 低下背水)
..... (Rühlmann ,,)

$$(r=3.4) \quad \dots \dots \dots (Kozeny \quad ,, \quad)$$

$$(r=3.5) \quad \dots \dots \dots (Schaffernak \quad ,, \quad)$$

$$r=4, \quad \Psi_1 = \int \frac{dz}{z^5(z^4-1)} = \frac{1}{z} + \frac{1}{4} \ln \frac{z-1}{z+1} + \frac{1}{2} \tan^{-1} z \\ \dots \dots \dots (Tolkmitt \quad ,, \quad)$$

$$r=5, \quad \Psi_1 = \int \frac{dz}{z^6(z^5-1)} = \frac{1}{z} + \frac{1}{5} \ln(z-1) - \frac{N_1}{10} \ln(z^2+N_1z+1) \\ - \frac{N_2}{10} \ln(z^2+N_2z+1) + \frac{1}{5} \frac{N_1^2+2N_2}{\sqrt{4-N_1^2}} \tan^{-1} \frac{2z+N_1}{\sqrt{4-N_1^2}} \\ + \frac{1}{5} \frac{N_2^2+2N_1}{\sqrt{4-N_2^2}} \tan^{-1} \frac{2z+N_2}{\sqrt{4-N_2^2}}$$

$$r=6, \quad \Psi_1 = \int \frac{dz}{z^2(z^3-1)} = \frac{1}{z} + \frac{1}{12} \ln \frac{(z-1)^2(z^2-z+1)}{(z+1)^2(z^2+z+1)} - \frac{\sqrt{3}}{6} \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}z}{z^2-1}$$

Ψ_2 の積分式 但し積分常数を省略し、 $\frac{1}{2}(\sqrt{5}+1)=N_1$, $-\frac{1}{2}(\sqrt{5}-1)=N_2$ と置く

$$r=1, \quad s=0.5, \quad \Psi_2 = \int \frac{dz}{z-1} = \ln(z-1)$$

$$,, \quad s=0.75, \quad \Psi_2 = \int \frac{\sqrt{z}}{z-1} dz = 2\sqrt{z} + \ln \frac{\sqrt{z}-1}{\sqrt{z}+1}$$

$$,, \quad s=1.0, \quad \Psi_2 = \int \frac{z}{z-1} dz = z + \ln(z-1)$$

$$r=2, \quad s=0.5, \quad \Psi_2 = \int \frac{dz}{z^2-1} = \frac{1}{2} \ln \frac{z-1}{z+1}$$

$$,, \quad s=0.75, \quad \Psi_2 = \int \frac{\sqrt{z}}{z^2-1} dz = \frac{1}{2} \ln \frac{\sqrt{z}-1}{\sqrt{z}+1} + \tan^{-1} \sqrt{z}$$

$$,, \quad s=1.0, \quad \Psi_2 = \int \frac{z}{z^2-1} dz = \frac{1}{2} \ln(z^2-1)$$

$$r=3, \quad s=0.75, \quad \Psi_2 = \int \frac{\sqrt{z}}{z^3-1} dz = \frac{1}{3} \ln \frac{z^{1.5}-1}{z^{1.5}+1}$$

$$,, \quad s=1.0, \quad \Psi_2 = \int \frac{z}{z^3-1} dz = \frac{1}{6} \ln \frac{(z-1)^2}{z^2+z+1} + \frac{1}{\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{2z+1}{\sqrt{3}}$$

.....(Grashof-Bresse 低下背水)

$$,, \quad s=1.25, \quad \Psi_2 = \int \frac{z^{1.5}}{z^3-1} dz = \frac{1}{6} \ln \frac{(\sqrt{z}-1)^2(z-\sqrt{z}+1)}{(\sqrt{z}+1)^2(z+\sqrt{z}+1)} - \frac{1}{\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}z}{z-1}$$

$$,, \quad s=1.5, \quad \Psi_2 = \int \frac{z^2}{z^3-1} dz = \frac{1}{3} \ln(z^3-1)$$

$$r=4, \quad s=1.0, \quad \Psi_2 = \int \frac{z}{z^4-1} dz = \frac{1}{4} \ln \frac{z^2-1}{z^2+1}$$

$$,, \quad s=1.5, \quad \Psi_2 = \int \frac{z^2}{z^4-1} dz = \frac{1}{4} \ln \frac{z-1}{z+1} + \frac{1}{2} \tan^{-1} z$$

.....(Tolkmitt 低下背水)

$$,, \quad s=2.0, \quad \Psi_2 = \int \frac{z^3}{z^4-1} dz = \frac{1}{4} \ln(z^4-1)$$

$$r=5, \quad s=1.5, \quad \Psi_2 = \int \frac{z^2}{z^5-1} dz = \frac{1}{5} \ln(z-1) - \frac{N_2}{10} \ln(z^2+N_1z+1) \\ - \frac{N_1}{10} \ln(z^2+N_2z+1) + \frac{1}{5} \frac{N_2(N_1+2)}{\sqrt{4-N_1^2}} \tan^{-1} \frac{2z+N_1}{\sqrt{4-N_1^2}} \\ + \frac{1}{5} \frac{N_1(N_2+2)}{\sqrt{4-N_2^2}} \tan^{-1} \frac{2z+N_2}{\sqrt{4-N_2^2}}$$

$$,, \quad s=2.0, \quad \Psi_2 = \int \frac{z^2}{z^5-1} dz = \frac{1}{5} \ln(z-1) - \frac{N_1}{10} \ln(z^2+N_1z+1) \\ - \frac{N_2}{10} \ln(z^2+N_2z+1) + \frac{1}{5} \frac{N_1^2+2N_2}{\sqrt{4-N_1^2}} \tan^{-1} \frac{2z+N_1}{\sqrt{4-N_1^2}} \\ + \frac{1}{5} \frac{N_2^2+2N_1}{\sqrt{4-N_2^2}} \tan^{-1} \frac{2z+N_2}{\sqrt{4-N_2^2}}$$

$$r=6, \quad s=1.5, \quad \Psi_2 = \int \frac{z^2}{z^6-1} dz = \frac{1}{6} \ln \frac{z^2-1}{z^2+1}$$

$$,, \quad s=2.0, \quad \Psi_2 = \int \frac{z^3}{z^6-1} dz = \frac{1}{12} \ln \frac{(z^2-1)^2}{z^4+z^2+1} - \frac{1}{2\sqrt{3}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}}{2z^2+1}$$

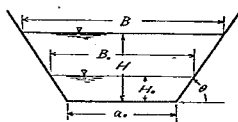
$\frac{z_0 l}{H_0} = \Psi_1 \left(\frac{H_0}{H_s} \right) - \Psi_1 \left(\frac{H_0}{H} \right) - K \left[\Psi_2 \left(\frac{H_0}{H_s} \right) - \Psi_2 \left(\frac{H_0}{H} \right) \right], \dots, K = \frac{10}{9} \frac{sz_0^2}{gH_0}$; 中の Ψ_1 及び Ψ_2 に各水路に相當する r 及び s に對する上掲の Ψ_1 及び Ψ_2 を入るれば直ちに低下背水を求め得る。

而て Φ_1 及び Φ_2 、 Ψ_1 及び Ψ_2 に於て r 及び s の實在し得る組合を取るも堰上の場合 28, 低下の場合 23 種の背水公式を得る事となり、以て在來公式の如何に不充分なるものなりしやを推察するに足る。

第 八 節 斷面積、潤邊及び徑深

普通用ふる水路に於ては斷面形の如何に複雑なる場合と雖も直線形、拋物線及び圓弧の組合に依て充分精確に表はし得るを以て此等三種の場合に對し水深と A , w , R 又は s 及び k の關係を計算して曲線を以て表はし置けば、任意の斷面形に於て所要の水深に對する s 及び r を容易に求め得る。

(1) 直線形斷面 此場合一般的に斷面積 (A) を表はせば



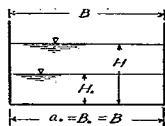
第 十 三 圖

$A = a_0 H + a H^2$ 茲に $a = \cot \theta$, θ ...岸線の底線の延長に對する傾角

梯形(十三圖) 矩形(十四圖) 三角形(十五圖) 倒三角形(十六圖)

$$a_0 = \quad a_0 \quad a_0 = B = B_0 \quad 0 \quad a_0$$

$$\cot \theta \quad + \quad 0 \quad - \quad +$$



第十四圖

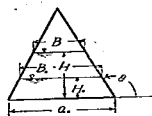
$$\therefore \frac{A}{A_0} = \frac{a_0 H + a H^2}{a_0 H_0 + a H_0^2} = \frac{y + \frac{a}{\mu} y^2}{1 + \frac{a}{\mu}} = y^s \text{ と置く } \dots (36)$$

$$\text{茲に } y = \frac{H}{H_0}, \quad \mu = \frac{a_0}{H_0}, \quad \frac{a}{\mu} = \frac{H_0}{a_0} \cot \theta$$

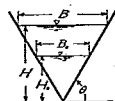
次に潤邊 (w) に対しては

$$w = a_0 + 2H\sqrt{1+a^2}$$

$$\therefore \frac{w}{w_0} = \frac{a_0 + 2H\sqrt{1+a^2}}{a_0 + 2H_0\sqrt{1+a^2}} = \frac{1+2y\sqrt{\frac{1+a^2}{\mu^2}}}{1+2\sqrt{\frac{1+a^2}{\mu^2}}} = y^k \text{ と置く } (37)$$



第十五圖

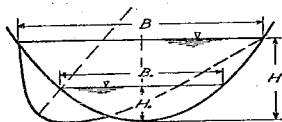


第十六圖

然る時は y の冪数 s 及び k は $y = H/H_0$ に依て變ずるを以て $y = 0.1$ より 20 迄に對し $\frac{a}{\mu}$ 及び $\frac{1+a^2}{\mu^2}$ の種々の値に對して s 及び k を計算し曲線群を以て表はせば附圖第五の如し。

$$(2) \text{ 拋物線断面 } A = \frac{2}{3}BH, \quad A_0 = \frac{2}{3}B_0H_0, \quad B = B_0\sqrt{\frac{H}{H_0}}$$

$$\therefore \frac{A}{A_0} = y^{\frac{3}{2}} = y^s \quad \therefore s = 1.5 = \text{const.}$$



第十七圖

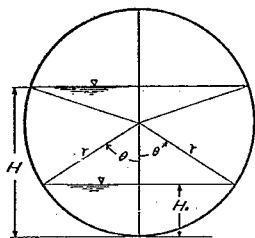
$$w = 2H_0 \left[\sqrt{y \left(y + \frac{B_0^2}{16H_0^3} \right)} + \frac{B_0^2}{16H_0^3} \ln \frac{\sqrt{y} + \sqrt{y + \frac{B_0^2}{16H_0^3}}}{\frac{B_0}{4H_0}} \right]$$

$$\frac{w}{w_0} = \frac{\sqrt{y \left(y + \frac{1}{16} \frac{B_0^2}{H_0^3} \right)} + \frac{1}{16} \frac{B_0^2}{H_0^3} \ln \frac{\sqrt{y} + \sqrt{y + \frac{B_0^2}{16H_0^3}}}{\frac{B_0}{4H_0}}}{\sqrt{1 + \frac{1}{16} \frac{B_0^2}{H_0^3}} + \frac{1}{16} \frac{B_0^2}{H_0^3} \ln \frac{4H_0}{B_0} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{B_0^2}{16H_0^3}} \right)} = y^k$$

と置く (38)

$y = 0.1 \sim 20$ に對し B_0/H_0 の種々の値に就き k の値を算出し附圖第六に曲線群を以て示す。

(3) 圓形断面 半径を r とし潤邊の中心角の $\frac{1}{2}$ を θ とする。



第十八圖

$$A = r^2 \cos^{-1} \left(\frac{r-H}{r} \right) + (H-r) \sqrt{2Hr-H^2}$$

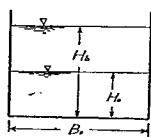
$$\frac{A}{A_0} = \frac{\cos^{-1}(1-x) + (x-1)\sqrt{2x-x^2}}{\cos^{-1}(1-x_0) + (x_0-1)\sqrt{2x_0-x_0^2}} = y^s \text{ と置く} \dots\dots\dots(39)$$

$$\text{茲に} \quad x = \frac{H}{r}, \quad x_0 = \frac{H_0}{r}, \quad y = \frac{H}{H_0} = \frac{x}{x_0}$$

$$w = 2\theta r = 2r \cos^{-1}\left(\frac{r-H}{r}\right) \quad \therefore \quad \frac{w}{w_0} = \frac{\cos^{-1}(1-x)}{\cos^{-1}(1-x_0)} = y^k \dots\dots(40)$$

$y=0.1 \sim 20$ に對し $x_0 = \frac{H_0}{r}$ の種々の値に就き s 及び k の値を算出して、附圖第七に示す。

(4) 断面指數 s 及び k を常數と假定する爲めの誤差 任意の一断面形に於て $A=aH^s$, $w=bH^k$ の s 及び k は一般的には水深 H に依て多少の變化あるも本節に於ては積分を容易ならしむる爲め H の變化する範圍内の平均値を用ひたるが、之に因る誤差の程度を明かならしむる爲め矩形断面に付き次の二場合の堰上背水に對し Dupuit-Masoni 公式 (11) の結果と比較する。



第十九圖

$$1. \quad B_0/H_0 = 2.5, \quad Y = \frac{H_0}{H_0} = 2.0, \quad y = \frac{H}{H_0} = 1.01$$

$$2. \quad B_0/H_0 = 3.0, \quad Y = \frac{H_0}{H_0} = 5.0, \quad y = \frac{H}{H_0} = 1.01$$

1. の場合 $k=0.54 \sim 0.46$, 2. の場合 $k=0.60 \sim 0.40$ にして平均値は何れも $k=0.5$ である。而て Dupuit-Masoni 式との

比較の都合上、 $v=CR^m x^{0.5}$ に於て $m=0.5$ と置けば

$$r = 2s + 2m(s-k) = 2.5,$$

$$K = \alpha s \frac{v_0^2}{gH_0} = \beta \frac{R_0}{H_0} = \beta \frac{B_0}{B_0 + 2H_0},$$

$$\beta = \alpha \frac{C^2 i_0}{g} = \alpha \frac{v_0^2}{gR_0},$$

k を變數とすれば Dupuit-Masoni 公式 (11) 式となる。而て β と K との関係は

$$1. \quad \text{の場合} \quad \beta = 0.3, \quad K = 1/6; \quad \beta = 0.9, \quad K = 0.5; \quad H_0/H_0 = 2.0$$

$$2. \quad \text{,,} \quad \beta = 0.3, \quad K = 0.18; \quad \beta = 0.9, \quad K = 0.54; \quad H_0/H_0 = 5.0$$

今 H/H_0 の値が種々なる點の堰よりの距離 l に比例する數、 il/H_0 の數値に依て比較すれば (11) 式に對する (31) 式の誤差は次表の如し。

第七表 $\frac{i_0 l}{H_0}$ の比較 ($Y=H_0/H_0=2.0$)

(i) $\beta=0.3 \quad K=1/6$							
$y=H/H_0$	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1	1.05	1.01
a) 實際の k を用ふる場合	0.3742	0.6526	0.9849	1.1990	1.5049	1.7710	2.3274
b) 平均の k " "	0.3732	0.6517	0.9853	1.2016	1.5123	1.7828	2.3496
a)に對する b)の誤差%	-0.27	-0.14	+0.04	+0.22	+0.49	+0.67	+0.95

(ii) $\beta=0.9 \quad K=0.5$							
a) 實際の k を用ふる場合	0.3539	0.6086	0.8972	1.0710	1.3005	1.4835	1.8361
b) 平均の k " "	0.3527	0.6074	0.8968	1.0723	1.3052	1.4911	1.8498
a)に對する b)の誤差%	-0.34	-0.20	-0.04	+0.12	+0.36	+0.51	+0.75

第八表 $\frac{i_0 l}{H_0}$ の比較 ($Y=H_0/H_0=5.0$)

(i) $\beta=0.30 \quad K=0.18$					
$y=H/H_0$	2.0	1.5	1.1	1.05	1.01
a) 實際の k を用ふる場合	3.1800	3.8261	4.6624	4.9211	5.4608
b) 平均の k " "	3.1724	3.8224	4.6764	4.9435	5.5020
a)に對する b)の誤差%	-0.24	-0.097	+0.30	+0.46	+0.75

(ii) $\beta=0.90 \quad K=0.54$					
a) 實際の k を用ふる場合	3.1381	3.7365	4.4009	4.5710	4.8939
b) 平均の k " "	3.1306	3.7327	4.4110	4.5867	4.9205
a)に對する b)の誤差%	-0.24	-0.102	+0.23	+0.34	+0.54

即ち k に平均値を用ひ之を常數と看做して積分する爲めに生ずる誤差は極て微小にして普通 1% 以内に止まり、一般に水深變化の微小なる上流部に増大する傾向を有する。

而て背水曲線の形を理論上一層精確に求めんとすれば、積分を行ふ場合にのみ k の平均値を用ひて ϕ_1 及び ϕ_2 の曲線群 (附圖第一、第二) を作成すれば、與へられた水路の任意の水深に對する實際の k を用ひて r を定め、この r と s とに相當する曲線上に於て ϕ_1 及び ϕ_2 の値を求むれば可なるも、堰上高極て大なる場合を除き、終始 k の平均値を用ふれば計算著しく簡單となり而も之に因る誤差は第七及び第八表に示す如く實地上問題とするに足らざる程度なるを以て以下に於て著者公式の計算値は總て k の平均値を用ふる事とする。

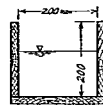
第三章 実験及び計算例

第九節 実験用水路

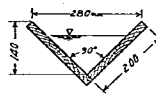
一般に背水曲線の形状に影響する主なるものは、水路の断面形及粗度なるが就中断面形最も重大にして在來の諸公式の不完全は主として此影響を輕視せるに因る。而て床勾配の緩急は i/H_0 に依て比較する場合、理論上の影響なきのみならず、本實驗に於ては水路の有効長過小なる爲め、背水區域の全長に亘りて水面高を一回の實驗に於て測定する事は勿論不可能なるも、理論上 $Y=H_0/H_0=2$ の場合の背水は $H_0/H_0=2$ より $H_0/H_0=1.6$ 迄、同 1.6 より 1.2 迄、1.2 より 1.05 迄等の如き多くの背水曲線を接続せしめたるものに等しきを以て、以下に述ぶる實驗は一背水曲線に對し、3 回以上 9 回の實驗値を連續せしめて全體の背水曲線を求めたるを以て i_0 の小なる水路に於ては極めて多くの測定を必要とし、且 i_0 急に過ぐる時は流速大に水面の平靜を缺き極端なる場合は射流狀態を生ずるを以て已むなく床勾配を堰上の場合には 1:500 に一定し、低下の場合に於て 1:500~1:2000 と定めた。使用水路の種類は下記の如く同一断面に於ても粗度の影響を究むる爲め、内面を入念に鉋仕上げせる滑面水路と、之に 20 番亞鉛引鐵線 3/8 目の金網を張りたる粗面水路との兩種を使用した。

I. 矩形水路 (寫眞第一、第二十圖)

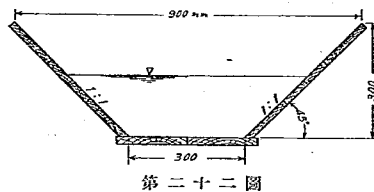
木樋、幅 200 mm 深 200 mm 全長 13 m



第二十圖



第二十一圖



第二十二圖

a) 入念に鉋仕上げせる滑面水路

b) 内面に金網を張りたる粗面水路

II. 三角形水路 (寫眞第二、第二十一圖)

二邊共に 200 mm の直角三角形木樋にして、最大水深約 140 mm を有し

I. の片側壁を除きたるもの、

a) 滑面 b) 粗面

III. 梯形水路 (寫眞第三、第二十二圖)

梯形粗面木樋、底幅 300 mm 兩側壁勾配一割、最大水深 300 mm 全長 12 m

流量の測定は總て真鍮製直角三角形銳緣堰に依り、水面高の測定には測量用水準儀及び 0.1 mm 讀みの水面測定針 (Needle gage) を用ひ、矩形及び三角形水路に於ては 0.5 m

間隔、梯形水路に對しては 1 m 間隔に測定したるも、低下背水の下流端の如く水深の變化極て急なる部分に於ては 0.2 m 間隔に水面高を測定した。

第十節 堰上背水

(1) 矩形水路 (滑面)

水路幅 $B_0 = 200$ mm, $i_0 = 1:500$, 等速流水深 $H_0 = 50$ mm

堰上最大水深 $H_b = 100$ mm, 等速流平均流速 $v_0 = 0.49$ m-sec., $Y = H_b/H_0 = 2.0$

種々の勾配に於ける等速流の實測に依り、平均流速 $v = CR^m i^{0.5}$ に於て C を一定とすれば m の値も略一定し $m = 0.65$ である。

(i) 實驗 水路有効長 11 m なるを以て先づ下流端に於て $H_b = 2H_0 = 100$ mm に堰上け 0.5 m 毎に水面高を測定し、次に $H_b = 80$ mm に堰上け同様に水面高を測定し順次に H_b を減じて四組の測定を爲し、之等を連結して堰上水深 100 mm より 53 mm に到る迄の背水曲線を測定し、其結果を附圖第八に黒點を以て示し、且つ $\frac{i_0 l}{H_0}$ の値を第九表に示す。

(ii) 著者の方法に依る $\frac{i_0 l}{H_0}$ の計算値 矩形水路なるを以て $s = 1.0$, $Y = H_b/H_0 = 2.0$ より $y = H/H_0 = 1.01$ 間の k の平均値は、 $(1+a^2)/\mu^2 = (1+0)/4^2 = 1/16$ にして附圖第五に依り $k = 0.38$

$$\therefore r = 2s + 2m(s - k) = 2 \cdot 1.0 + 2 \cdot 0.65(1 - 0.38) = 2.81, \quad r - 2s = 0.81$$

$$K = \alpha s \frac{v_0^2}{g H_0} = \frac{10}{9} \cdot 1 \cdot \frac{0.49^2}{9.8 \cdot 0.05} = 0.55$$

依て附圖第一及び第二の堰上背水 Φ_1 , Φ_2 曲線圖より $y = \frac{H}{H_0}$ の種々の値に對し $r = 2.81$, $r - 2s = 0.81$ に於ける Φ_1 及び Φ_2 の値を求め (31) 式

$$\frac{i_0 l}{H_0} = \Phi_1\left(\frac{H_b}{H_0}\right) - \Phi_1\left(\frac{H}{H_0}\right) - K\left[\Phi_2\left(\frac{H_b}{H_0}\right) - \Phi_2\left(\frac{H}{H_0}\right)\right]$$

に依り $i_0 l/H_0$ の値を算出すれば第九表に示すが如く、之に依て背水曲線を畫けば附圖第八に太實線を以て示すが如き曲線を得る。

尙第一章に掲けたる在來の背水諸公式の誤差の程度を明かならしむる爲め諸公式に依る $i_0 l/H_0$ の値を第九表に示し更に夫等の計算値より得たる背水曲線を附圖第八に細實線を以て示す。

第九表 $\frac{i_0}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$y=H/H_0$ H mm	1.9 95	1.8 90	1.7 85	1.6 80	1.5 75	1.4 70	1.3 65	1.2 60	1.1 55	1.05 52.5	1.01 50.5
實測値	0.111	.222	.344	.461	.581	.714	.853	1.020	1.200	—	—
Mononobe	0.110	.224	.340	.459	.584	.707	.844	.992	1.194	1.333	1.655
Dupuit-Masoni	0.113	.227	.345	.465	.591	.724	.867	1.030	1.242	1.409	1.724
Bresse	0.107	.215	.326	.439	.555	.675	.808	.956	1.147	1.299	1.569
Rühlmann	0.116	.234	.359	.486	.623	.772	.941	1.148	1.449	1.714	2.277
Schaffernak	0.112	.228	.344	.465	.590	.727	.855	1.070	1.328	1.558	—
Ehrenberger	0.110	.216	.330	.446	.570	.701	.849	1.021	1.270	1.466	1.766
Baticle	0.102	.210	.329	.458	.600	.757	.954	1.198	1.576	1.943	2.690
Poirée	0.103	.211	.327	.451	.586	.735	.905	1.106	1.368	1.553	1.800
Tolkmitt	0.101	.203	.306	.409	.512	.618	.726	.840	.966	1.047	1.158

註、一記號は數表なき爲め計算し得ざるもの 以下同斷

次に諸公式の誤差を求むるには實測値に對する計算値の差に據らざるべからざるも、實際の水流に於ては微小なる表面波及び定狀波等の爲め數分の一耗以下の測定困難にして、附圖に示す如く實測値は多少の不規則を示し之等觀測誤差の絕對値は微小なるも、本場合の如き小水路の背水曲線の誤差に對しては稍著しき影響を及ぼす。而て、矩形水路の背水は初期の實驗にして水路の流入及び流出部に於ける複雑なる影響竝に樋材の吸水及び堰上げの爲めの水の重量増大に因る桁支間の撓みの變化等に對する用意の不十分なりし爲め實測値の整齊を缺く事稍著しきも、以後に於ては之等の缺點を避くるに努めたる結果殆んど理想的なる測定を爲し得、其結果は著者の計算値と極て良く一致するを以て、微小不規則を生ぜざる計算値を以て假りに正しき背水曲線と看做し、之に對し在來諸公式に據る計算値の差を以て各式の誤差と看做し之を百分率を以て現はし、滑面矩形水路に對するものは第十表に示す如くである。

第十表 在來公式に據る $\frac{i_0}{H_0}$ の誤差 %

$y=H/H_0$ $\frac{i_0}{H_0}$ Mononobe	1.5 0.584	1.1 1.194	1.05 1.333	1.01 1.655
$\frac{i_0}{H_0}$ の誤差 % Dupuit-Masoni	+1.2	+4.0	+5.8	+4.2
Bresse	-4.9	-3.9	-2.6	-5.1
Rühlmann	+6.7	+21.6	+28.6	+37.7
Schaffernak	+1.0	+11.6	+16.9	—
Ehrenberger	-2.4	+6.4	+10.0	+6.7
Baticle	+2.7	+32.0	+40.3	+62.5
Poirée	+0.3	+14.5	+17.3	+8.8
Tolkmitt	-12.3	-19.1	-21.4	-30.0

上表の結果より矩形水路の背水計算に對する諸公式の優劣を検するに、

Dupuit-Masoni 公式 矩形水路に對しては最も合理的なる公式なるも唯 Chézy 流速公式を用ひ C を常數と看做し即ち $v = CR^m I^{0.5}$ に於て $m=0.5$ と做せる爲め稍過大の $\frac{i_0 d}{H_0}$ を與ふるも他の諸式に比すれば實際と最も良く合致する。

Bresse 公式 前者に於て廣斷面の假定を採用したるものにして之に由る誤差は負にして其量は C を常數とする爲めの正誤差の二乃至數倍に達するを以て誤差は凡て負にして其の絶對値は前式より遙かに大に従つて稍過小の $\frac{i_0 d}{H_0}$ を與ふる。

Rühlmann 公式 Bresse 式に於て更に流速水頭の變化を無視したるものなるが本實驗の如く滑面にして勾配急に流速水頭の比較的大なる場合は著しく過大の結果を生じ、特に水面上昇の小なる上流に及ぶに従て甚しく、實地上背水限と看做す點の位置を求むる場合には到底適用し得ない。

Schaffernak 公式 Rühlmann 式と大體同一の假定に基づくも C を常數とする爲め $m=0.75$ に採りしを以て其の計算値は前者に比して多少優れるも廣矩形の假定と流速水頭無視とに由り、著しく過大の $\frac{i_0 d}{H_0}$ を與ふる。

Ehrenberger 公式 廣斷面の假定は負の誤差を生ずるも流速水頭無視に由る正誤差が著しく大なるを以て大體正誤差を與ふるも前二式に比すれば誤差は割合に少ない。

Baticle 公式 流速水頭を無視せると、 $A^2 R = s^5$ なる假定が矩形水路に對しては頗る不合理なる爲め、誤差甚しく大にして到底使用に耐えぬ。

Poirée 公式 全然水理的根據なきも矩形水路に於ては、計算により 以上の手数を要する二三の公式より誤差は却て少である。

Tolkmitt 公式 拋物線斷面に對する公式なるを以て之を矩形水路に適用するは不合理にして斷面形の影響大に、著しき負の誤差を生ずる。

(2) 矩形水路(粗面) (1) の水路の内面に金網を張りて粗度を大ならしめたるものにして、

$B=B_0=200$ mm, $i_0=1:500$, 等速流水深 $H_0=50$ mm, 同平均流速 $v_0=0.27$ m-sec.

堰上最大水深 $H_b=100$ mm, 流速公式 $v=CR^{0.70} I^{0.5}$ 即ち $m=0.70$, $s=1.0$,

$k=0.38$, $r=2.87$, $K=0.16$

實驗の結果及び諸公式より計算せる背水曲線を附圖第九に、 $i_0 d/H_0$ の値を第十一表に、著者の計算値に對する誤差を第十二表に示す。

第十一表 $\frac{i_0'}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$y=H/H_0$ H mm	1.9 95	1.8 90	1.7 85	1.6 80	1.5 75	1.4 70	1.3 65	1.2 60	1.1 55	1.05 52.5	1.01 50.5
實測値	.113	.231	.355	.485	.619	.764	.922	1.106	1.388	—	—
Mononobe	.115	.233	.355	.482	.615	.759	.919	1.110	1.384	1.627	2.134
Dupuit-Masoni	.119	.241	.368	.500	.640	.792	.963	1.166	1.464	1.722	2.256
Bresse	.113	.229	.348	.472	.603	.740	.903	1.092	1.361	1.595	2.065
Rühlmann	.116	.234	.359	.486	.623	.772	.941	1.148	1.449	1.714	2.277
Schaffernak	.112	.228	.344	.465	.590	.727	.855	1.070	1.328	1.558	—
Ehrenberger	.110	.216	.330	.446	.570	.701	.849	1.021	1.270	1.466	1.766
Baticle	.102	.210	.329	.458	.600	.757	.954	1.198	1.576	1.943	2.690
Poirée	.103	.211	.327	.451	.586	.735	.905	1.106	1.368	1.553	1.800
Tolkmitt	.105	.213	.322	.434	.550	.670	.805	.959	1.166	1.333	1.669

第十二表 在來公式に據る $\frac{i_0'}{H_0}$ の誤差 %

$y=H/H_0$ $\frac{i_0'}{H_0}$ Mononobe	1.5 0.615	1.1 1.384	1.05 1.627	1.01 2.134
$\frac{i_0'}{H_0}$ の誤差 %				
Dupuit-Masoni	+ 4.1	+ 5.9	+ 5.8	+ 5.7
Bresse	- 1.9	- 1.6	- 2.0	- 3.2
Rühlmann	+ 1.3	+ 4.7	+ 5.3	+ 6.7
Schaffernak	- 4.0	- 4.0	- 4.3	—
Ehrenberger	- 7.3	- 8.2	- 9.3	-17.2
Baticle	- 2.4	+13.9	+19.3	+26.1
Poirée	- 4.7	- 1.2	- 4.6	-15.7
Tolkmitt	-10.5	-15.7	-18.1	-21.8

Dupuit-Masoni 公式 滑面の場合流速公式は $v=CK^{0.65}I^{0.5}$ 即ち $m=0.65$ なるを $m=0.5$ と假定せし爲めに若干の正誤差を生ぜしが、粗面の場合は實際 $m=0.70$ なるに Chézy 式に於ては 0.5 なるを以て誤差は滑面の場合より大にして常に過大なる $\frac{i_0'}{H_0}$ を與ふる。

Bresse 公式 m の誤差と廣矩形の假定に因る誤差とが正負消し合ふて $\frac{i_0'}{H_0}$ の誤差は前式より却て小である。

Rühlmann 公式 粗度大にして流速小に従て流速水頭無視の影響は滑面に比して著しく小に、而も流速公式形の不適當に因る誤差は廣矩形假定の誤差と消し合ふ爲め、滑面水路に比して誤差小に特に流速の小なる下流部に於ては實驗と殆んど一致するが、斯

の如き各種誤差の互正作用は特殊の偶然にして一般的には期待し得ぬ。

Schaffernak 公式 流速水頭無視に因る正の誤差小なる爲め廣断面假定の負誤差大にして合成誤差は負となり滑面の場合と反対である。

Ehrenberger 公式 Schaffernak 公式の場合に近似し、滑面の場合と反対に誤差は負となる。

Baticle 公式 流速水頭無視の影響は滑面の場合より小なるも合成誤差は他式に比して著しく大である。

Poirée 公式 誤差割合に小なるも上流部に於ては急増する。

Tolkmitt 公式 断面の相違に因る誤差著大にして結局負の大なる誤差を生ずる。

(3) 直角三角形水路 (滑面)

$i_0 = 1:500$, 等速流水深 $H_0 = 50$ mm, 堰上最大水深 $H_b = 100$ mm,

等速流平均流速 $v_0 = 0.264$ m-sec., $Y = H_b/H_0 = 2.0$

三角形断面の場合は $s = 2.0$, $k = 1.0$ にして共に一定, $m = 0.70$

$$\therefore r = 2.2 + 1.4(2-1) = 5.4 \quad r - 2s = 1.4,$$

$$K' = \frac{10}{9} \cdot 2 \cdot \frac{0.264^2}{9.8 \cdot 0.05} = 0.32$$

實測の結果及び著者其他在來の諸公式より計算せる背水曲線を附圖第十に示し、 $\frac{i_0}{H_0}$ の値を第十三表に、著者の計算値に對する在來公式の誤差 % を第十四表に示す。

第十三表 $\frac{i_0}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$y = H/H_0$ H mm	1.9 95	1.8 90	1.7 85	1.6 80	1.5 75	1.4 70	1.3 65	1.2 60	1.1 55	1.05 52.5	1.01 50.5
實 測 値	0.100	.201	.302	.404	.510	.615	.725	.848	.986	1.102	—
Mononobe	0.100	.201	.303	.405	.512	.622	.736	.854	1.007	1.118	1.396
Baticle	0.104	.209	.315	.424	.537	.655	.784	.934	1.139	1.309	1.655
Tolkmitt	0.105	.213	.322	.434	.550	.672	.805	.960	1.166	1.335	1.673
Bresse	0.113	.229	.348	.473	.604	.740	.903	1.093	1.362	1.547	2.073
Rühlmann	0.116	.234	.359	.486	.623	.772	.941	1.148	1.449	1.714	2.277
Schaffernak	0.112	.228	.344	.465	.590	.727	.885	1.070	1.328	1.558	—
Ehrenberger	0.111	.216	.330	.446	.570	.701	.849	1.021	1.270	1.466	1.766
Poirée	0.103	.211	.327	.451	.586	.735	.905	1.106	1.368	1.553	1.800

第十四表 在來公式に據る $\frac{i_0}{H_0}$ の誤差 %

$y=H/H_0$	1.5	1.1	1.05	1.01
$\frac{i_0}{H_0}$... Mononobe	0.512	1.007	1.118	1.396
$\frac{i_0}{H_0}$ の誤差 %				
Baticle	+ 4.9	+13.1	+17.1	+18.6
Tolkmitt	+ 7.3	+15.8	+19.4	+19.9
Ehrenberger	+11.3	+26.1	+31.1	+26.5
Bresse	+17.4	+35.3	+38.4	+48.5
Rühlmann	+21.7	+43.9	+53.4	+63.2
Schaffernak	+15.2	+31.9	+45.7	—
Poirée	+14.5	+35.8	+38.9	+29.0

附圖第十に依て明かなる如く著者公式の計算値が極めて良く實驗に一致し、他の諸式殊に廣矩形断面と假定し且つ流速水頭を無視せる Rühlmann, Schaffernak 式又は流速水頭を考慮するも廣矩形と假定せる Bresse 公式等は極めて大なる正の誤差を示し以て背水曲線に對する断面形の影響の如何に大なるかを知るに足る。

Baticle 公式 元來本式の基く $A^2R=z^2$ なる假定は三角形又は類似梯形断面に適當するを以て、流速水頭を無視せるに係らず、在來諸公式中最も良く實驗に接近せるは矢張り断面形の重要さを示すものである。

Tolkmitt 公式 廣拋物線断面に對する公式なるを以て廣断面と假定せる他の諸式に比し、三角形水路に對して有利なるは明かなるも尙断面形の影響及び $m=0.5$ に取りし爲めの正誤差の和は流速水頭の無視に由る正誤差より大なる爲め其の計算値は Baticle の夫れに劣る。

Bresse 公式 廣断面の假定に由る正の誤差は極めて大にして Chézy 公式の採用に由る誤差も亦正なるを以て合成誤差は正にして著しく大である。

Rühlmann, Schaffernak, Ehrenberger 諸公式は何れも廣断面の假定を用ひ流速水頭を無視せるものなるを以て其の誤差は正にして極めて大である。而し Ehrenberger 公式に於て誤差の稍小なるは採用せる流速公式が i_0/H_0 の値を小ならしむる結果、断面形及び流速水頭無視に因る正の誤差と幾分相殺する爲めである。此場合特に注意すべきは最も粗雑なる Rühlmann 公式が普通矩形水路に於て意外の良結果を與ふるは大なる正負誤差の偶然の相殺に由るものにして三角形、深き梯形又は普通拋物線断面等に對しては極めて大なる誤差を生じ、其の一般的使用の如何に盲目的なるかを示して

居る。

Poirée 公式 此場合は相當大なる正の誤差を生ずる。

(4) 直角三角形水路(粗面) (3) の水路の内面に金網を張り付けて粗度を大ならしめたるものである。

$$i_0=1:500, \quad H_0=50 \text{ mm}, \quad H_b=100 \text{ mm}, \quad v_0=0.16 \text{ m-sec.} \quad Y=H_b/H_0=2.0,$$

$$s=2.0, \quad k=1.0, \quad m=0.7, \quad r=5.4, \quad K=\frac{10}{9} \cdot 2 \cdot \frac{0.16^2}{9.8 \cdot 0.05}=0.16$$

背水曲線の實測値竝に 著者 及び 其他の 在來公式に據る 計算背水曲線は 附圖第十一に、 i_0/H_0 の値は第十五表に示し、著者の式に對する諸式の誤差は第十六表に示す。

第十五表 $\frac{i_0}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$y=H/H_0$ $H \text{ mm}$	1.9 95	1.8 90	1.7 85	1.6 80	1.5 75	1.4 70	1.3 65	1.2 60	1.1 55	1.05 52.5	1.01 50.5
實 測 値	0.108	.226	.315	.418	.525	.636	.757	.885	1.095	1.236	—
Mononobe	0.101	.203	.306	.410	.519	.634	.755	.885	1.065	1.205	1.527
Batiele	0.104	.209	.315	.424	.537	.655	.784	.934	1.139	1.309	1.655
Tolkmitt	0.107	.215	.326	.440	.559	.686	.825	.990	1.217	1.409	1.802
Bresse	0.115	.232	.355	.481	.616	.757	.927	1.127	1.416	1.672	2.220
Rühlmann	0.116	.234	.359	.486	.623	.772	.941	1.148	1.449	1.714	2.277
Schaffernak	0.112	.228	.344	.465	.590	.727	.885	1.070	1.328	1.558	—
Ehrenberger	0.111	.216	.330	.446	.570	.701	.849	1.021	1.270	1.466	1.766
Poirée	0.103	.211	.327	.451	.586	.735	.905	1.106	1.368	1.553	1.800

第十六表 在來公式に據る $\frac{i_0}{H_0}$ の誤差 %

$y=H/H_0$ $\frac{i_0}{H_0}$...Mononobe	1.5 0.519	1.1 1.065	1.05 1.205	1.01 1.527
Batiele	+ 3.5	+ 6.9	+ 8.6	+ 8.4
Tolkmitt	+ 7.7	+14.3	+16.9	+18.0
Ehrenberger	+ 9.8	+19.3	+21.7	+15.7
Bresse	+18.7	+33.0	+38.8	+44.1
Rühlmann	+20.1	+36.0	+42.2	+49.1
Schaffernak	+13.7	+24.7	+35.1	—
Poirée	+12.9	+28.4	+28.9	+17.9

一般に (3) の場合と同様なるも只粗度大に流速小なる爲め流速水頭無視に因る正の誤差は前場合に比して小となり従て合成誤差も亦 (3) の場合より稍小である。

(5) 梯形水路(粗面) 第二十二圖

底幅 $a_0 = 300$ mm, 側壁勾配 $a = \cot \theta = \cot 45^\circ = 1$, $i_0 = 1:500$,

$H_0 = 100$ mm, $H_1 = 200$ mm, $Y = H_1/H_0 = 2.0$, $Q = 17.7$ l-sec. $v_0 = 0.443$ m-sec.

水路全長は 12 m なるも水路長に對して断面比較的大にして上流端に於ける流入水及び下流端に於ける格子状態の影響は稍遠方に及びて等速流部の長を縮少し有効長は 7~9 m に過ぎず、而も同一の $\frac{i_0 l}{H_0}$ を得る爲めには水深小なる水路に比して一層長き水路を要するを以て、實驗の回数を 9 回に増加し夫等の結果を連結したるが、實驗者の熟練に依り附圖第十二に示すが如く豫期以上整齊なる結果を得た。

著者の計算法に於ては、

$$a = 1, \quad \mu = \frac{a_0}{H_0} = \frac{0.30}{0.10} = 3, \quad \therefore \frac{a}{\mu} = \frac{1}{3}, \quad \frac{1+a^2}{\mu^2} = \frac{2}{9}$$

依て附圖第五の直線形断面に對する曲線より s 及び k の値を求むるに $y = 1.01$ より $y = 2.0$ の範圍に於ける平均値は $s = 1.28$, $k = 0.535$ にして流速公式の m は 0.7 なるを以て

$$r = 3.60, \quad r - 2s = 1.04 \quad \text{故つて} \quad K = \frac{10}{9} \cdot 1.28 \cdot \frac{0.443^2}{9.8 \cdot 0.1} = 0.286$$

依て附圖第一及び第二の曲線群に於て之等の s 及び r に對する Φ_1 及び Φ_2 曲線上に於て任意の H/H_0 の値に對する Φ_1 及び Φ_2 の値を求め (31) 式に依て容易に i_0/H_0 の値を知り附圖第十二に示すが如き背水曲線を得る。

尙在來の諸公式に據る背水曲線を計算して同圖に細線を以て示す。

第十七表 $\frac{i_0 l}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$y = H/H_0$ H mm	1.9 190	1.8 180	1.7 170	1.6 160	1.5 150	1.4 140	1.3 130	1.2 120	1.1 110	1.05 105	1.01 101
實 測 値	0.105	.212	.322	.436	.552	.678	.814	.992	1.194	1.370	—
Mononobe	.110	.217	.327	.436	.554	.681	.818	.979	1.204	1.373	1.723
Tolkmitt	.107	.211	.320	.429	.544	.663	.792	.939	1.132	1.285	1.578
Bresse	.112	.226	.345	.467	.595	.729	.887	1.070	1.326	1.499	1.991
Ehrenberger	.111	.216	.330	.446	.570	.701	.849	1.021	1.270	1.466	1.766
Rühlmann	.116	.234	.359	.486	.623	.772	.941	1.148	1.449	1.714	2.277
Schaffernak	.112	.227	.344	.465	.589	.728	.885	1.070	1.328	1.558	—
Baticle	.106	.217	.332	.452	.577	.712	.872	1.078	1.374	1.640	2.203
Poirée	.103	.211	.323	.451	.586	.735	.905	1.106	1.368	1.553	1.800

第十八表 在來公式による $\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差 %

$y=H/H_0$	1.5	1.1	1.05	1.01
$\frac{i_0 l}{H_0}$ Mononobe	0.554	1.204	1.373	1.723
$\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差 %				
Tolkmitt	- 1.9	- 6.0	- 7.3	- 8.4
Bresse	+ 7.4	+10.1	+ 9.2	+15.5
Ehrenberger	+ 2.9	+ 5.5	+ 6.8	+ 2.6
Rühlmann	+12.5	+20.4	+28.4	+34.1
Schaffernak	+ 6.3	+10.3	+13.5	—
Baticle	+ 4.2	+14.1	+19.5	+29.6
Poirée	+ 5.8	+13.6	+13.1	+ 4.5

Tolkmitt 公式 拋物線斷面に對する本式が廣矩形に對する 他式より實値に近き結果を與ふるは斷面の類似より見て當然である。流速公式に於て $m=0.5$ に取りし爲め正の誤差を生ずるも、斷面形の差に依る誤差は負にして比較的大なる爲め結局の誤差は負にして著しく大ならず。

Bresse 公式 斷面形及び Chézy 流速公式に因る誤差は共に正なる爲め誤差は稍大である。

Rühlmann 公式 斷面形、流速公式及び流速水頭の無視は何れも正の誤差を生じ、合成の誤差は正にして諸式中最大である。

Schaffernak, Ehrenberger 兩式は Rühlmann 式に比すれば流速公式が實際に近く誤差も著しく小である。

Baticle 公式 Rühlmann 式に比し斷面形の假定稍實際に近きも誤差は Rühlmann 式に次で大である。

第十一節 低下背水

低下背水の場合に於ても堰上背水の場合と同一の水路を用ひたるも、唯堰上の場合と異なり等速流の場合に比し水深减小、流速及び水面勾配増大するを以て、等速流水深を 100 mm 又は 150 mm とし、水路床の勾配を 1:500, 1:1000 及び 1:2000 の三種に取る。

(1) 矩形水路(滑面) 第十節の(1)と同一斷面の水路である。

$$B=200 \text{ mm}, \quad H_0=100 \text{ mm}, \quad H_* = 62.5 \text{ mm}, \quad i_0 = 1:1000,$$

$$v_0 = 0.422 \text{ m-sec.}, \quad Q = 8.44 \text{ l-sec.}, \quad Z = H_0/H_* = 1.60$$

(i) 実験 50 cm 間隔に水面高を測定するも、下流端に近き水面勾配の著しく大なる部分は 20 cm 毎に測定し H_0/H_s の異なる四回の實測を連結して $H_s=62.5$ mm より $H=97.5$ mm に亘る背水曲線を求めたるものである。限界水深 (H_c) (射流と常流との限界) は

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.00844^2}{9.8 \cdot 0.2^2}} = 0.0567 \text{ m} = 56.7 \text{ mm}$$

なるを以て背水の途中に於て射流に變ずる事を避くる爲め下流端の水深 H_s を 62.5 mm に撰定した。

(ii) 著者の方法に依る計算値

$$\begin{aligned} m=0.70, \quad s=1.0, \quad Z=1.60 \quad \text{より} \quad z=1.01 \quad \text{迄の範囲の } k \text{ の平均値は,} \\ a=0, \quad \mu = \frac{B_0}{H_0} = 2 \quad \therefore \quad \frac{1+a^2}{\mu^2} = \frac{1}{2} \quad \text{なるを以て附圖第五の曲線群に依り} \\ k=0.47 \quad \therefore \quad r=2.74 \quad \text{且つ} \quad K = \frac{10}{9} \cdot 1 \cdot \frac{0.422^2}{9.8 \cdot 0.1} = 0.202 \end{aligned}$$

依て附圖第三及び第四の低下背水 Ψ_1, Ψ_2 曲線圖に於て $r=2.74, s=1.0$ に相當する Ψ_1 及び Ψ_2 の曲線上に於て z の種々の値に對する Ψ_1 及び Ψ_2 の値を求め (33) 式即ち

$$\frac{i_0 l}{H_0} = \Psi_1\left(\frac{H_0}{H_s}\right) - \Psi_1\left(\frac{H_0}{H}\right) - K\left[\Psi_2\left(\frac{H_0}{H_s}\right) - \Psi_2\left(\frac{H_0}{H}\right)\right]$$

に依り $\frac{i_0 l}{H_0}$ を計算すれば H なる水深の斷面の位置 l を知る。但し r 及び s に相當する曲線が圖上の二隣接曲線の中間に位する場合は挿入法に依て Ψ_1 及び Ψ_2 を求める。

尙附圖第三及び第四に依て明かなるが如く堰上背水の場合に比し流速水頭變化の影響を表はす Ψ_2 の値は著しく有力にして、之に 1 より小なる係數 K を乗じて漸く摩擦損失を表はす Ψ_1 より小となる程度なるを以て流速水頭を無視したる在來の低下背水公式は全然無意味のものと看做して差支ない。

而て Ψ_1 曲線を見るに $z=H_0/H$ のある値以上に於ては z の増加に對する Ψ_1 の増加は極めて微少にして、例へば $z=3.0$ と $z=2.0$ との二斷面に於ける Ψ_1 の差は殆んど零にして、從て二斷面間の實際の距離は極めて微少にして水面は瀑 (Water fall) を做す事を意味し、流速公式適用の範圍外なるを以て、總ての背水計算法は適用し得ぬ。而已ならず本計算法の適用範圍は常流の部分に限られ限界水深以下には適用せぬを以て低下背水曲線

の下端に於て z の値が 2 以上となる場合は殆んど實在せぬ。

滑面矩形水路に於ける低下背水曲線の實驗値、著者及び其他の公式に據る計算値は附圖第十三に一括して示し $\frac{i_0 l}{H_0}$ の實驗値及び諸公式の計算値を第十九表に、著者の式に對する在來公式の誤差 % を第二十表に示す。

第十九表 $\frac{i_0 l}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$z = H_0/H$ H mm	1.5 66.7	1.4 71.4	1.3 76.9	1.25 80.0	1.20 83.3	1.15 87.0	1.10 90.9	1.05 95.2	1.01 99.0
實 測 値	.0053	.0132	.0376	.0628	.0916	.140	.201	.307	—
Mononobe	.0046	.0130	.0390	.0635	.095	.138	.196	.344	.765
Bresse	.0039	.0131	.0324	.0494	.074	.114	.182	.323	.714
Kozeny	.0030	.0102	.0257	.0392	.059	.0924	.151	.275	—
Schaffernak	.0113	.029	.057	.082	.117	.165	.248	.423	—
Rühlmann	.0154	.0390	.0771	.1059	.146	.204	.299	.488	.969

第二十表 在來公式による $\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差 %

$z = H_0/H$ $\frac{i_0 l}{H_0}$ Mononobe	1.3 0.390	1.1 0.196	1.05 0.344	1.01 0.765
$\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差 %				
Kozeny	-34.1	-23.0	-20.0	—
Bresse	-16.9	-7.1	-6.1	-6.6
Schaffernak	+46.2	+26.5	+23.0	—
Rühlmann	+97.7	+52.3	+41.8	+26.7

一般に廣矩形の假定は $\frac{i_0 l}{H_0}$ の値を過小ならしめ即ち負の誤差を生じ、流速水頭の無視及び流速公式の m を 0.5 に取れば $\frac{i_0 l}{H_0}$ を過大ならしめ即ち誤差は共に正にして堰上背水の場合と同様である。

Kozeny 公式 流速水頭を考慮し、流速公式に於て $m=0.70$ を採用せるも唯斷面を廣矩形と假定せる爲めに $\frac{i_0 l}{H_0}$ は過小となり即ち負の誤差を生じ下流端に近づく程甚しい。

Bresse 公式 廣矩形の假定に依る負の誤差と $m=0.5$ に取る爲めの正の誤差とが相殺する爲め合成誤差は負なるも Kozeny 式より却て小である。

Rühlmann 公式 流速水頭の無視と $m=0.5$ の假定とは共に $\frac{i_0 l}{H_0}$ を著しく過大ならしめ、廣斷面の假定に依り多少之を緩和するも結局の誤差は極て大にして、下流部に

於ては 100% 以上に達する。

Schaffernak 公式 $m=0.75$ は本水路の如き粗度小なる場合に對し過大にして $\frac{iq}{H_0}$ に負の誤差を生ずるを以て Rühlmann 公式に比すれば誤差は著しく小である。

(2) 矩形水路(粗面) (1) の水路の内面に金網を張付けたるもの

$$B=200 \text{ mm}, H_0=100 \text{ mm}, i_0=1:1000, Q=5.27 \text{ l-sec.}, v_0=0.263 \text{ m-sec.}$$

$$H_s=50 \text{ mm}, Z=\frac{H_0}{H_s}=2.0, \text{ 限界水深 } H_c=\sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}}=\sqrt[3]{\frac{0.00527^2}{9.8 \cdot 0.2^2}}=0.0414 \text{ m}$$

水路下端に於ける實際の水深は 41.8 mm にして略計算上の限界水深に等しい。而て背水曲線計算には便宜上、水深 $H_s=50 \text{ mm}$ の断面を起點とする。

著者公式の計算、 $s=1.0, m=0.70; a=0, \mu=\frac{B_0}{H_0}=2, \frac{1+a^2}{\mu^2}=\frac{1}{2}$ 故に $z=2$ より $z=1.01$ 迄の k の平均値は $k=0.46 \therefore r=2.75$

$$K=\frac{10}{9} \cdot 1 \cdot \frac{0.263^2}{9.8 \cdot 0.1}=0.078$$

依て附圖第三及び第四の低下背水 Ψ_1, Ψ_2 曲線群に於て $r=2.75, s=1.0$ に相當する曲線 Ψ_1 及び Ψ_2 上に於て $z=\frac{H_0}{H}$ の種々の値に對する Ψ_1 及び Ψ_2 の値を求むれば (33) 式に依て $\frac{iq}{H_0}$ の値を計算し得る。

實測値及び各種公式による計算背水曲線を附圖第十四に、 $\frac{iq}{H_0}$ の値を第二十一表に、著者の式に對する他の各式の誤差を第二十二表に示す。

第二十一表 $\frac{iq}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$z = \frac{H_0}{H}$ H mm	1.9 52.6	1.8 55.6	1.7 58.8	1.6 62.5	1.5 66.7	1.4 71.4	1.3 76.9	1.2 83.3	1.1 90.9	1.05 95.2	1.01 99.0
實 測 値	.0026	.0064	.0118	.0195	.0350	.0613	.0956	.152	.292	.449	—
Mononobe	.0033	.0069	.0122	.0205	.0346	.0578	.0952	.164	.321	.507	1.005
Bresse	.0018	.0045	.0092	.0158	.0268	.0448	.0757	.134	.270	.439	.896
Kozeny	.0013	.0036	.0073	.0128	.0214	.0354	.0602	.107	.219	.370	—
Schaffernak	.0032	.0072	.0127	.0209	.0323	.0500	.0780	.138	.269	.440	—
Rühlmann	.0040	.0096	.0171	.0277	.0431	.0667	.1048	.174	.326	.516	.997

第二十二表 在來公式による $\frac{i_0}{H_0}$ の誤差 %

$z = H_0/H$	1.5	1.1	1.05	1.01
$\frac{i_0}{H_0}$... Mononobe	0.0346	0.321	0.507	1.005
$\frac{i_0}{H_0}$ の誤差 %				
Kozeny	-38.1	-31.7	-27.0	—
Bresse	-22.6	-15.9	-13.2	-10.8
Rühlmann	+24.6	+1.6	+1.8	-0.8
Schaffernak	-6.7	-16.2	-12.4	—

Kozeny 公式 (1) の場合に比し流速小なる爲め $\frac{i_0}{H_0}$ の實測置は前場合より大にして
廣矩形の假定に因る負誤差の割合は (1) の場合より一層大となる。

Bresse 公式 廣断面假定による負誤差が $m=0.50$ の假定による正の誤差に比し著し
く大なる爲め結局大なる負の誤差を生ずる。

Rühlmann 公式 廣断面假定に因る負誤差と、流速水頭の無視及び $m=0.5$ の假定に
よる正の誤差とが相殺して下流部を除けば誤差は極めて小なるも特に此場合に限る偶
然である。

Schaffernak 公式 流速水頭無視による正の誤差と、 $m=0.75$ の假定による負の誤差
との代数和が偶然 $m=0.5$ と假定する場合の正の誤差と略等しき爲め本式の結果は
Bresse 公式と殆んど一致する。

(3) 三角形水路 (滑面)

$$a) i_0=1:1000, \quad H_0=100 \text{ mm}, \quad H_s=76.9 \text{ mm}, \quad Z=\frac{H_0}{H_s}=1.30$$

$$v_0=0.33 \text{ m-sec.}, \quad Q=3.30 \text{ l-sec.}, \quad H_c=\sqrt{\frac{5}{g} \frac{2Q^2}{s}}=\sqrt{\frac{5}{9.8} \frac{2 \cdot 0.0033^2}{s}}=0.0742 \text{ m}$$

H_0 の實測値は 74.3 mm なるも便宜上背水計算の起點を $H_s=76.9 \text{ mm}$ の断面に
置く。

著者の計算値 $s=2.0, \quad k=1.0$ 共に一定, $m=0.70$

$$\therefore r=5.4, \quad K=\frac{10}{9} \cdot 2 \cdot \frac{0.33^2}{9.8 \cdot 0.1}=0.247$$

依て附圖第三及び第四の低下背水 Ψ_1, Ψ_2 曲線より Ψ_1, Ψ_2 を求め $\frac{i_0}{H_0}$ を計算す
る。

測定背水及び諸公式による計算背水曲線を附圖第十五に、諸公式による $\frac{i_0}{H_0}$ の計算値
を第二十三表に、著者の公式に對する各式の誤差を第二十四表に示す。

第二十三表 $\frac{i_0'}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$z = H_0/H$ H mm	1.25 80.0	1.20 83.3	1.15 87.0	1.10 90.9	1.05 95.2	1.01 99.0
實 測 値	.0052	.0137	.0258	.053	.117	.285
Mononobe	.0063	.0132	.0245	.051	.115	.307
Tolkmitt	.0100	.0248	.0528	.0988	.202	.494
Kozeny	.0146	.0413	.0816	.151	.283	—
Bresse	.0214	.0515	.0996	.178	.337	.769
Schaffernak	.0250	.060	.108	.191	.367	—
Rühlmann	.0285	.0686	.128	.223	.410	.892

第二十四表 在來公式による $\frac{i_0'}{H_0}$ の誤差 %

$z = H_0/H$	1.2	1.1	1.05	1.01
$\frac{i_0'}{H_0}$...Mononobe	0.0132	0.051	0.115	0.307
$\frac{i_0'}{H_0}$ の誤差 %				
Tolkmitt	+ 87.8	+ 93.8	+ 75.6	+ 60.9
Kozeny	+ 213	+ 196	+ 146	—
Bresse	+ 290	+ 248	+ 193	+150.5
Schaffernak	+ 355	+ 274	+ 219	—
Rühlmann	+ 420	+ 336	+ 257	+ 191

一般に三角形断面に對して、廣矩形又は拋物線形の假定は何れも正の誤差を生じ、流速水頭の無視及び $m=0.5$ の假定による誤差も亦正なるを以て之等の重複に依り各式共結局の誤差は極大となる。

Tolkmitt 公式 三角形断面の場合拋物線形と考ふる方、廣矩形と假定するに比し著しく實際に近きのみならず、流速水頭を考慮せるを以て誤差は他式に比して著しく小なるが而も猶最大 60% に達する。

Kozeny 公式 流速水頭を考慮し $m=0.70$ に採るも廣断面の假定が甚しく無理なる爲め誤差は 150~200% 以上に達し、低下背水の計算に於て断面形の如何に重大なるかを示す。

Bresse 公式 Kozeny 公式に比し $m=0.5$ と做せる爲め誤差を一層大ならしむる。

Rühlmann 公式 種々の原因による誤差は總て正にして而も著しく大なるを以て結局の誤差は極大にして $H_0/H=1.01$ 即ち背水上流端に近く約 200%、下流端附近に於ては 400% 以上に達する。

Schaffernak 公式 Rühlmann 公式に比すれば $m=0.75$ と採りし爲め多少誤差を小ならしめて居る。

b) $i_0=1:2000$ の場合 a) と同一の水路にして單に床勾配を異にす。

$$H_0=100 \text{ mm}, H_s=66.7 \text{ mm}, v_0=0.236 \text{ m-sec.}, Q=2.36 \text{ l-sec.}, Z=\frac{H_s}{H_0}=1.50$$

$$\text{限界水深 } H_c=\sqrt{\frac{5/2 \cdot 0.00236^2}{9.8}}=0.0648 \text{ m}$$

H_c の實測値は 64.9 mm なるが背水計算の起點には便宜上 $H_s=66.7 \text{ mm}$ を取る。

$$m=0.70, \quad s=2.0, \quad k=1.0, \quad r=5.4, \quad K=0.125$$

測定背水及び諸公式による計算背水曲線を附圖第十六に、諸公式による $\frac{i_0 l}{H_0}$ の計算値を第二十五表に、著者の計算値に對する各式の誤差を第二十六表に示す。

第二十五表 $\frac{i_0 l}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$z = \frac{H_0}{H}$ H mm	1.40 71.4	1.30 76.9	1.25 80.0	1.20 83.3	1.15 87.0	1.10 90.9	1.05 95.2	1.01 99.0
實 測 値	.0022	.0082	.0148	.0238	.0451	.0775	.149	—
Mononobe	.0018	.0069	.0132	.0248	.0452	.0795	.161	.395
Tolkmitt	.0079	.0243	.0390	.0568	.0937	.1500	.269	.599
Kozeny	.0150	.0420	.0622	.0935	.136	.211	.362	—
Schaffernak	.0177	.0457	.0707	.106	.154	.237	.414	—
Bresse	.0190	.0513	.0761	.111	.165	.251	.423	.888
Rühlmann	.0236	.0617	.0905	.131	.189	.283	.472	.954

第二十六表 在來公式による $\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差 %

$z = \frac{H_0}{H}$	1.2	1.1	1.05	1.01
$\frac{i_0 l}{H_0}$ Mononobe	0.0248	0.0795	0.161	0.395
$\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差 %				
Tolkmitt	+129	+ 88.7	+ 66.9	+ 51.5
Kozeny	+277	+165	+125	—
Bresse	+348	+216	+163	+125
Rühlmann	+426	+256	+193	+141
Schaffernak	+327	+198	+157	—

各式の誤差の程度は a) の場合と同様にして何れも極めて大である。

(4) 三角形水路 (粗面)

a) $i_0=1:1000$ (3) の a) の水路に金網を張り付け粗度を大ならしめたるもの、

$$H_0 = 100 \text{ mm}, \quad H_s = 66.7 \text{ mm}, \quad v_0 = 0.205 \text{ m-sec.}, \quad Q = 2.05 \text{ l-sec.} \quad Z = \frac{H_0}{H_s} = 1.50$$

$$H_c = \sqrt[5]{\frac{2 \cdot 0.00205^3}{9.8}} = 0.0612 \text{ m} = 61.2 \text{ mm}, \quad H_s = 66.7 \text{ mm} \text{ に取る。}$$

$$m = 0.7, \quad s = 2.0, \quad r = 5.4, \quad K = 0.095$$

測定背水及び諸公式による計算背水曲線を附圖第十七に、諸公式による $\frac{i_d}{H_0}$ の計算値を第二十七表に、著者の計算値に対する各式の誤差を第二十八表に示す。

第二十七表 $\frac{i_d}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$z = H_0/H$ $H \text{ mm}$	1.40 71.4	1.30 76.9	1.25 80.0	1.20 83.3	1.15 87.0	1.10 90.9	1.05 95.2	1.01 99.0
實 測 値	.0034	.0112	.0171	.0300	.0474	.085	.165	—
Mononobe	.0026	.0093	.0170	.0309	.0526	.0885	.175	.410
Tolkmitt	.0092	.0276	.0433	.0650	.1016	.1598	.283	.621
Kozeny	.0161	.0435	.0650	.0965	.142	.216	.365	—
Schaffernak	.0171	.0457	.0707	.1057	.154	.237	.414	—
Bresse	.0201	.0538	.0797	.1153	.171	.259	.435	.909
Rühlmann	.0236	.0617	.0905	.1306	.189	.283	.472	.954

第二十八表 在來公式による $\frac{i_d}{H_0}$ の誤差 %

$z = H_0/H =$ $\frac{i_d}{H_0} \dots \text{Mononobe}$	1.2 0.0309	1.1 0.0885	1.05 0.175	1.01 0.410
$\frac{i_d}{H_0}$ の誤差 %				
Tolkmitt	+110	+ 80.6	+ 61.7	+ 51.4
Kozeny	+212	+144	+108.5	—
Bresse	+273	+193	+149	+122
Schaffernak	+242	+168	+137	—
Rühlmann	+323	+220	+170	+132.5

各公式の誤差の程度は前掲諸場合と同様である。

b) $i_0 = 1:2000, \quad H_0 = 100 \text{ mm}, \quad v_0 = 0.143 \text{ m-sec.}, \quad Q = 1.43 \text{ l-sec.}$

$$H_s = 62.5 \text{ mm}, \quad Z = \frac{H_0}{H_s} = 1.60, \quad H_c = \sqrt[5]{\frac{2 \cdot 0.00143^3}{9.8}} = 0.053 \text{ m}$$

H_c の實測値 55.4 mm, $H_s = 62.5 \text{ mm}$ に取る。

$$m = 0.7, \quad s = 2.0, \quad k = 1.0, \quad r = 5.4, \quad K = 0.046$$

測定背水及び各式計算背水曲線を附圖第十八に、各式による $\frac{i_d}{H_0}$ の値を第二十九表に、著者の公式に対する各式の誤差を第三十表に示す。

第二十九表 $\frac{i_0 l}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$z = H_0/H$ H mm	1.50 66.7	1.40 71.4	1.30 76.9	1.25 80.0	1.20 83.3	1.15 87.0	1.10 90.9	1.05 95.2	1.01 99.0
實測値	.0023	.0067	.0170	.0264	.0410	.0635	.104	—	—
Mononobe	.0022	.0073	.0165	.0270	.0424	.0669	.107	.201	.450
Tolkmitt	.0072	.0188	.0400	.0576	.0815	.1203	.183	.313	.665
Kozeny	.0114	.0295	.0590	.0811	.114	.161	.276	.400	—
Schaffernak	.0113	.0290	.0570	.0820	.117	.165	.248	.423	—
Bresse	.0142	.0358	.0718	.0992	.137	.194	.286	.468	.955
Rühlmann	.0154	.0390	.0771	.1059	.146	.204	.299	.488	.969

第三十表 在來公式による $\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差 %

$z = H_0/H$ $\frac{i_0 l}{H_0}$ Mononobe	1.3 0.0165	1.1 .107	1.05 .2005	1.01 .450
$\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差 %				
Tolkmitt	+142.5	+ 80.5	+ 56.0	+ 47.8
Kozeny	+258	+158	+ 99.5	—
Bresse	+336	+167	+133	+112
Schaffernak	+245	+132	+111	—
Rühlmann	+368	+178	+143	+115

(5) 梯形水路 (粗面)

底幅 $a_0 = 300$ mm, 側壁勾配 $a = \cot \theta = 1$, $i_0 = 1:500$ $H_0 = 150$ mm, $v_0 = 0.56$ m-sec., $Q = 37.9$ l-sec., $H_s = 100$ mm, $Z = \frac{H_0}{H_s} = 1.50$ 限界水深 $H_c = 0.102$ m, 實測値は 0.100 m

著者の計算法によれば $a = 1$, $\mu = \frac{a_0}{H_0} = \frac{0.30}{0.15} = 2.0$, $\therefore \frac{a}{\mu} = \frac{1}{2}$, $\frac{1+a^2}{\mu^2} = \frac{1}{2}$
 依て附圖第五により $z = 1.5 \sim 1.01$ 間の s 及び k の平均値を求むるに

$$s = 1.31, \quad k = 0.57, \quad m = 0.65$$

$$\therefore r = 3.58, \quad K = 0.30$$

測定背水及び各式計算背水曲線を附圖第十九に、各式による $\frac{i_0 l}{H_0}$ の計算値を第三十一表に、著者の方法に對する各式の $\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差を第三十二表に示す。

第三十一表 $\frac{i_0 l}{H_0}$ の實測値と各公式の計算値との比較

$z=H_0/H$ H mm	1.40 107.1	1.30 115.4	1.25 120.0	1.20 125.0	1.15 130.5	1.10 136.4	1.05 142.9	1.01 148.5
實 測 値	.0030	.0121	.0269	.0458	.0713	.097	.220	—
Mononobe	.0019	.0098	.0175	.0310	.0532	.096	.191	.490
Kozeny	.0049	.0177	.0291	.0478	.0772	.131	.255	—
Bresse	.0054	.0224	.0368	.0584	.0953	.158	.290	.660
Schaffernak	.0177	.0457	.0707	.1057	.154	.237	.414	—
Rühlmann	.0236	.0617	.0905	.1306	.189	.283	.472	.954

第三十二表 在來公式による $\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差 %

$z=H_0/H$ $\frac{i_0 l}{H_0}$ Mononobe	1.2 0.031	1.1 .096	1.05 .191	1.01 .490
$\frac{i_0 l}{H_0}$ の誤差 %				
Kozeny	+ 54.2	+ 36.4	+ 33.5	—
Bresse	+ 88.4	+ 64.6	+ 51.8	+ 34.7
Schaffernak	+ 241	+ 147	+ 117	—
Rühlmann	+ 321	+ 195	+ 147	+ 95.0

Kozeny 式 廣斷面の假定は正の誤差を生じ、 $m=0.70$ と假定せる爲めに小なる負の誤差を生ずるも、流速水頭を考慮せる爲めに誤差は他式より小である。

Bresse 式 流速水頭を考慮せるも $m=0.5$ と假定せる爲め誤差は前式より大である。

Schaffernak 式 $m=0.75$ とせるは 此場合過大にして僅小の負の誤差を生ずるも、流速水頭無視の爲めの正の誤差は矢張り極大である。

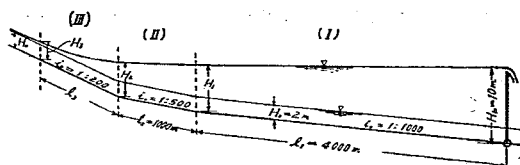
Rühlmann 式 最も不利なる條件が重複するを以て誤差は最大である。

第十二節 斷面形の変化する水路の堰上背水

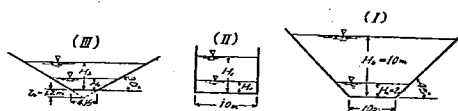
第二十三圖及び第二十四圖に示すが如き床勾配及び斷面形の異なる三種の堰面水路 (Prismatic channels) I, II 及び III の連結せる水路に於て等速流狀態の水深が總て一樣とし、水路の流量 $30 \text{ m}^3\text{-sec}$ 、等速流水深 $H_0=2 \text{ m}$ なる場合に水路の下流端に於て $H_0=10 \text{ m}$ に堰上ぐる時の各接續點に於ける水深を求むる。

I. 梯形斷面 $a_0=10 \text{ m}$, 法勾配 $1:1$, $i_0=1:1000$

$$H_0=2 \text{ m}, \quad H_6=10 \text{ m}, \quad A_0=2 \cdot 10 + 2 \cdot 2 = 24 \text{ m}^2$$



第 二 十 三 圖



第 二 十 四 圖

$$v_0 = \frac{Q}{A_0} = \frac{30}{24} = 1.25 \text{ m-sec.}, \quad R_0 = \frac{24}{10 + 2 \cdot 2\sqrt{2}} = 1.532 \text{ m}$$

Forchheimer 流速公式を用ひ $v_0 = CR^{0.7}i_0^{0.5}$

$$\therefore C = \frac{v_0}{R^{0.7}i_0^{0.5}} = \frac{1.25}{1.35 \sqrt{1000}} = 29.3 \quad \therefore \text{粗度係数 } n_1 = \frac{1}{C} = 0.034$$

II. 矩形断面 $B_0 = 10 \text{ m}, \quad i_0 = 1:500$

$$H_0 = 2 \text{ m}, \quad v_0 = \frac{30}{20} = 1.5 \text{ m-sec.}$$

$$\therefore C = \frac{1.5}{1.43^{0.7} \sqrt{500}} = 26.2 \quad \therefore n_1 = \frac{1}{C} = 0.038$$

III. 梯形断面 $a_0 = 2 \cdot \sqrt{3}z_0 = 4.16 \text{ m}, \quad \text{法勾配 } 1:\sqrt{3}, \quad i_0 = 1:200$

$$H_0 = 2 \text{ m}, \quad A_0 = \cot 30^\circ [(H_0 + z_0)^2 - z_0^2] = 15.23 \text{ m}^2, \quad R_0 = \frac{15.23}{4.16 + 2 \cdot 4} = 1.252 \text{ m}$$

$$v_0 = \frac{Q}{A_0} = \frac{30}{15.23} = 1.97 \text{ m-sec.}, \quad C = \frac{1.97}{1.253^{0.7} \sqrt{200}} = 23.8 \quad \therefore n_1 = \frac{1}{C} = 0.042$$

(I) 著者の計算法

$$\text{I. } H_0 = 2.0 \text{ m}, \quad H_b = 10 \text{ m}, \quad Y = \frac{H_b}{H_0} = 5.0,$$

$$a = \cot \theta = 1, \quad \mu = \frac{a_0}{H_0} = \frac{10}{2} = 5, \quad \frac{a}{\mu} = 0.2, \quad \frac{1+a^2}{\mu^2} = 0.08$$

今 I. の上流端に於て水深 $H_1 = 6 \text{ m}$ 即ち $y_1 = \frac{H}{H_0} = 3.0$ と假定すれば

附圖第五より $s = 1.26 \sim 1.32$ 平均 $s = 1.29,$

$$k = 0.50 \sim 0.56 \quad \therefore k = 0.53$$

$$m = 0.7 \text{ に取れば } r = 2s + 2m(s - k) = 3.64, \quad r - 2s = 1.06$$

$$K_1 = \alpha s \frac{v_0^2}{gH_0} = \frac{10}{9} \cdot 1.29 \cdot \frac{1.25^2}{9.8 \cdot 2} = 0.114$$

$$(31) \text{ 式により } \frac{i_0 l_1}{H_0} = \Phi_1\left(\frac{H_b}{H_0}\right) - \Phi_1\left(\frac{H_1}{H_0}\right) - K_1 \left[\Phi_2\left(\frac{H_b}{H_0}\right) - \Phi_2\left(\frac{H_1}{H_0}\right) \right]$$

$$\text{然るに } l_1 = 4000 \text{ m} \quad \therefore \frac{i_0 l_1}{H_0} = \frac{4000}{2 \cdot 1000} = 2.0$$

附圖第一及び第二の Φ_1 及び Φ_2 の曲線圖より

$$\Phi_1\left(\frac{H_b}{H_0}\right) = \Phi_1(5) = 5.70, \quad \Phi_2\left(\frac{H_b}{H_0}\right) = 1.72$$

故に此場合 (31) 式の第二項即ち流速水頭の變化に因る項は第一項即ち摩擦勾配の項に比して微小なるを以て試算的に $\frac{H_1}{H_0} = 3.0$ として $\Phi_2\left(\frac{H_1}{H_0}\right)$ を求むれば $\Phi_2(3) = 1.71$

$$\therefore \frac{i_0 l_1}{H_0} = \frac{4000}{1000 \cdot 2} = 2.0 = 5.70 - \Phi_2\left(\frac{H_1}{H_0}\right) - 0.114(1.72 - 1.71)$$

$$\therefore \Phi_2\left(\frac{H_1}{H_0}\right) = 3.70$$

然るに附圖第一より 3.70 に對する $\frac{H_1}{H_0}$ を求むれば 3.02 にして殆んど 3 に等しい。
故に $H_1 = 3.02 H_0 = 6.04 \text{ m}$

$$\text{II. } \frac{H_1}{H_0} = 3.02, \quad H_1 = 6.04 \text{ m}$$

$$a = 0, \quad \mu = \frac{B_0}{H_0} = \frac{10}{2} = 5; \quad \frac{a}{\mu} = 0, \quad \frac{1+a^2}{\mu^2} = 0.04 \quad \therefore s = 1.0$$

依て $H_2 = 4 \text{ m}$ と假定すれば $\frac{H_2}{H_0} = 2.0 \quad \therefore k = 0.36 \sim 0.41$, 平均 $k = 0.385$

$$\therefore r = 2s + 2m(s - k) = 2.86, \quad r - 2s = 0.86; \quad K_2 = \frac{10}{9} \cdot 1 \cdot \frac{1.5^2}{9.8 \cdot 2} = 0.128$$

$$\frac{i_0 l_2}{H_0} = \frac{1000}{500 \cdot 2} = 1.0, \quad \Phi_1\left(\frac{H_1}{H_0}\right) = 4.24, \quad \Phi_2\left(\frac{H_1}{H_0}\right) = 2.23$$

$$\frac{H_2}{H_0} = 2.05 \text{ と假定すれば } \Phi_2\left(\frac{H_2}{H_0}\right) = 2.13$$

$$\therefore \frac{i_0 l_2}{H_0} = 1.0 = 4.24 - \Phi_1\left(\frac{H_2}{H_0}\right) - 0.128(2.23 - 2.13) \quad \therefore \Phi_1\left(\frac{H_2}{H_0}\right) = 3.24 - 0.01 = 3.23$$

$$\therefore \frac{H_2}{H_0} = 2.07$$

$$\text{III. } \frac{H_2}{H_0} = 2.07, \quad H_2 = 4.14 \text{ m}, \quad a_0 = 4.16 \text{ m}, \quad a = \cot \theta = \sqrt{3}$$

$$\mu = \frac{4.16}{2} = 2.08, \quad \frac{a}{\mu} = \frac{1.732}{2.08} = 0.833, \quad \frac{1+a^2}{\mu^2} = 0.391$$

附圖第五より $s = 1.45 \sim 1.53$ 平均 $s = 1.50$, $k = 0.56 \sim 0.64$, 平均 $k = 0.60$

$$\therefore r=2s+2m(s-k)=4.54, \quad r-2s=1.54; \quad K_3=\frac{10}{9} \cdot 1.5 \cdot \frac{1.97^2}{9.8 \cdot 2}=0.33$$

(i) $\frac{H_3}{H_0}=1.1$ なる断面の H_2 断面よりの距離を l_3 とすれば

$$\begin{aligned} \frac{i\phi l_3}{H_0} &= \Phi_1\left(\frac{H_2}{H_0}\right) - \Phi_1\left(\frac{H_3}{H_0}\right) - K\left[\Phi_2\left(\frac{H_2}{H_0}\right) - \Phi_2\left(\frac{H_3}{H_0}\right)\right] \\ &= 2.33 - 1.09 - 0.33(1.33 - 0.99) = 1.128 \quad \therefore l_3 = 1.128 \cdot 2 \cdot 200 = 450 \text{ m} \\ l &= l_1 + l_2 + l_3 = 5450 \text{ m} \end{aligned}$$

(ii) $\frac{H_3}{H_0}=1.01$ 迄の距離を l_3 とすれば

$$\begin{aligned} \frac{i\phi l_3}{H_0} &= 2.33 - 0.51 - 0.33(1.33 - 0.50) = 1.82 - 0.27 = 1.55 \\ \therefore l_3 &= 1.55 \cdot 400 = 620 \text{ m} \quad \therefore l = l_1 + l_2 + l_3 = 5620 \text{ m} \end{aligned}$$

(iii) $l_3=600 \text{ m}$ に於ける水深 H_3 を求むるに、 $\frac{H_3}{H_0}=1.014$ と假定すれば

$$\begin{aligned} \Phi_2\left(\frac{H_3}{H_0}\right) &= 0.57 \\ \frac{i\phi l_3}{H_0} &= \frac{600}{2 \cdot 200} = 1.5 = 2.33 - \Phi_1\left(\frac{H_3}{H_0}\right) - 0.33(1.33 - 0.57) = 0.58 \\ \therefore \frac{H_3}{H_0} &= 1.0137 \approx 1.014 \quad H_3 = 2.028 \text{ m} \approx 2.03 \text{ m} \end{aligned}$$

(2) Rühlmann 公式 (6) 式..... $\frac{i\phi l}{H_0} = \varphi_r\left(\frac{H_2}{H_0}\right) - \varphi_r\left(\frac{H_1}{H_0}\right)$ 氏の数表より

$$\text{I. } \frac{i\phi l_1}{H_0} = 2.0 = 5.3958 - \varphi_r\left(\frac{H_1}{H_0}\right) \quad \therefore \varphi_r\left(\frac{H_1}{H_0}\right) = 3.3958 \quad \therefore \frac{H_1}{H_0} = 3.036$$

$$H_1 = 6.07 \text{ m}$$

$$\text{II. } \frac{H_1}{H_0} = 3.036, \quad \varphi_r\left(\frac{H_2}{H_0}\right) = 3.3958 - 1.0 = 2.3958 \quad \therefore \frac{H_2}{H_0} = 2.099, \quad H_2 = 410 \text{ m}$$

III.

$$(i) \frac{H_3}{H_0} = 1.1 \text{ に於ては } \frac{i\phi l_3}{H_0} = 2.3958 - 0.8353 = 1.5605 \quad \therefore l_3 = 1.5605 \cdot 400 = 624 \text{ m}$$

$$(ii) \frac{H_3}{H_0} = 1.01 \quad ,, \quad \frac{i\phi l_3}{H_0} = 2.3958 - 0.0067 = 2.3891 \quad \therefore l_3 = 2.3891 \cdot 400 = 956 \text{ m}$$

$$(iii) l_3 = 600 \text{ m} \quad ,, \quad \varphi_r\left(\frac{H_3}{H_0}\right) = 2.3958 - 1.5 = 0.8958 \quad \therefore H_3 = 1.115 \cdot 2 = 2.23 \text{ m}$$

(3) Bresse 公式 (5) 式 前同様に試算を用ひ

$$\text{I. } \frac{H_1}{H_0} = 3.03, \quad H_1 = 6.06 \text{ m} \quad \text{II. } \frac{H_2}{H_0} = 2.088, \quad H_2 = 4.18 \text{ m}$$

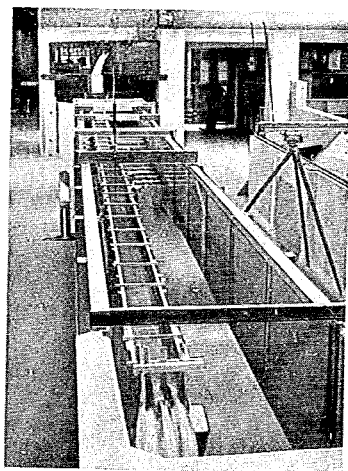
- III. $\frac{H_3}{H_0} = 1.1$ に對し $l_3 = 570$ m, $\frac{H_3}{H_0} = 1.01$ に對し $l_3 = 836$ m
 $l_3 = 600$ m に對し $H_3 = 2.16$ m

(4) Tolkmitt 公式.....(10) 式

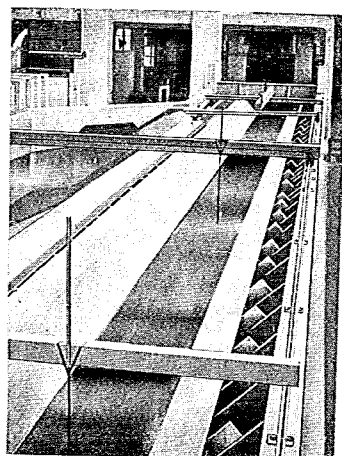
- I. $\frac{H_1}{H_0} = 3.01$, $H_1 = 6.02$ m II. $\frac{H_2}{H_0} = 2.033$, $H_2 = 4.07$ m
 III. $\frac{H_3}{H_0} = 1.1$ に對し $l_3 = 467$ m, $\frac{H_3}{H_0} = 1.01$ に對し $l_3 = 649$ m
 $l_3 = 600$ m に對し $H_3 = 2.04$ m

第三十三表 各公式の比較

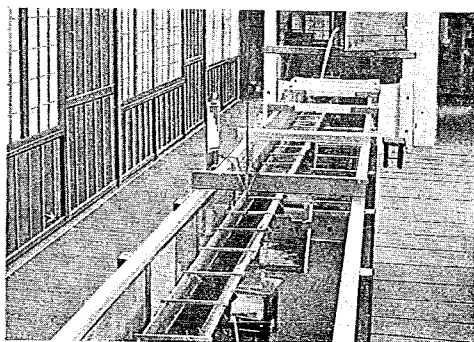
	H_1	H_2	H_3 $l_3 = 600$ m	l_3 $H_3/H_0 = 1.1$	l_3 $H_3/H_0 = 1.01$
Mononobe	6.04 m	4.17 m	2.03 m	450 m	620 m
Rühlmann	6.07	4.10	2.23	624	956
Bresse	6.06	4.18	2.16	570	836
Tolkmitt	6.02	4.07	2.04	467	649



寫真第一

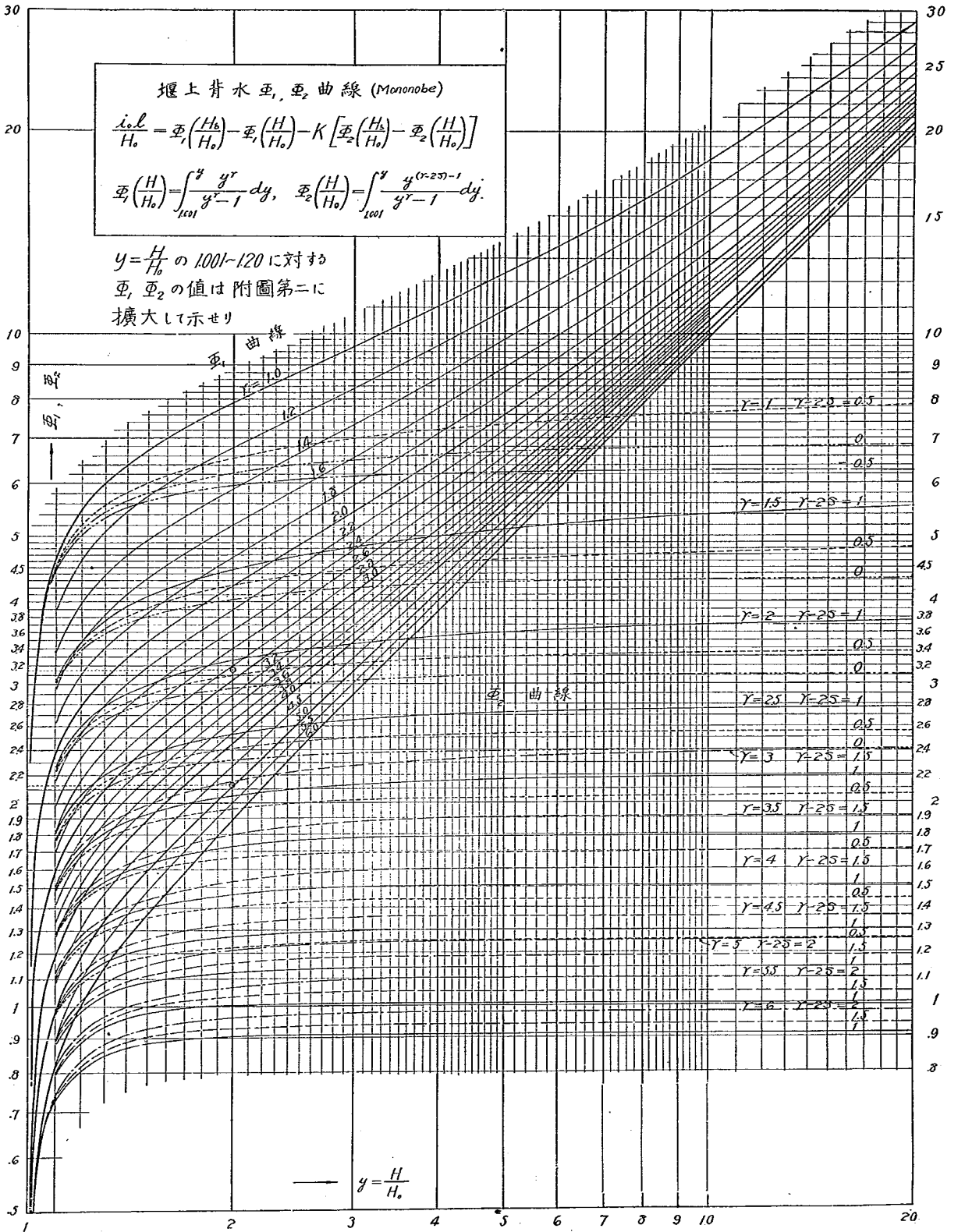


寫真第三

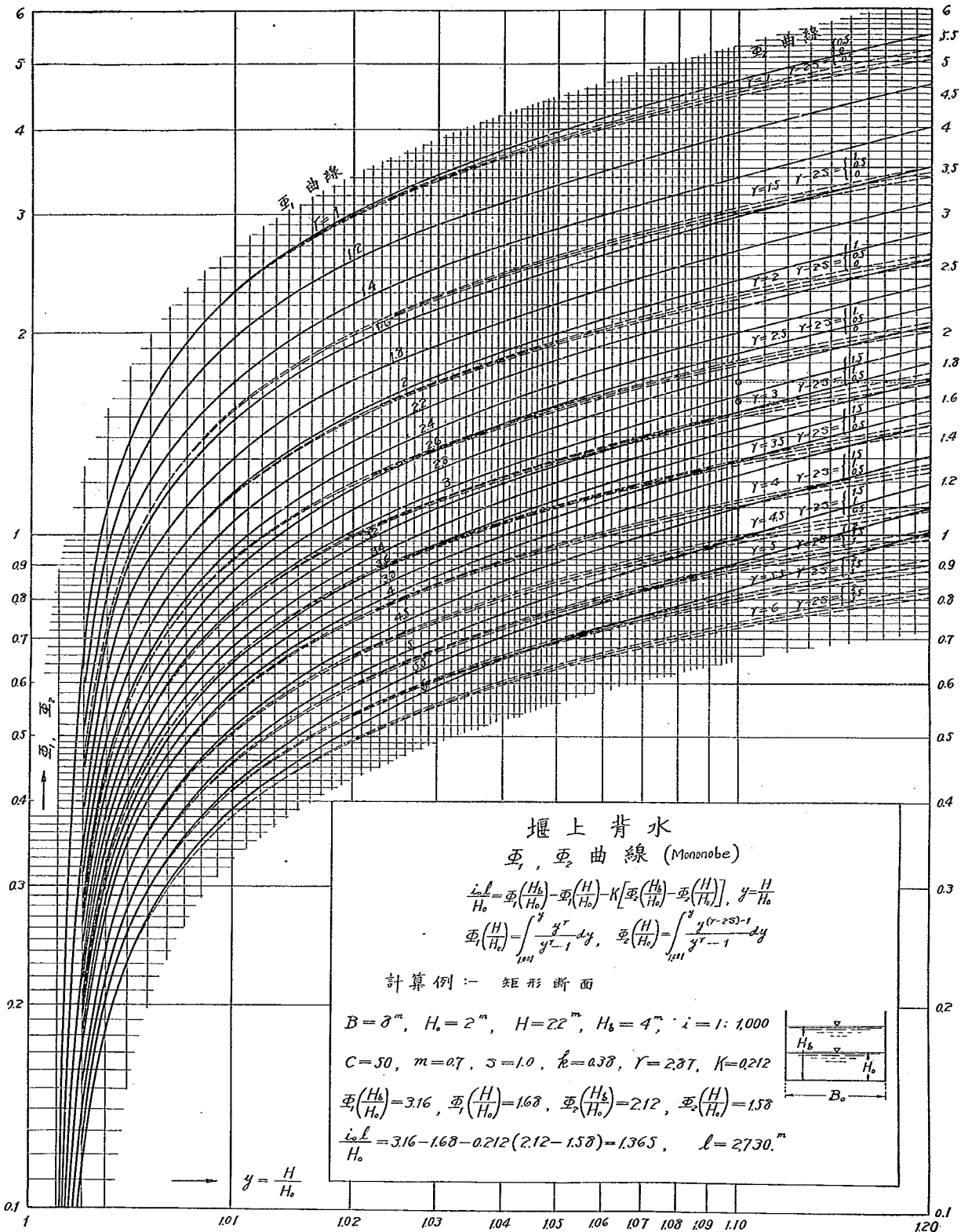


寫真第二

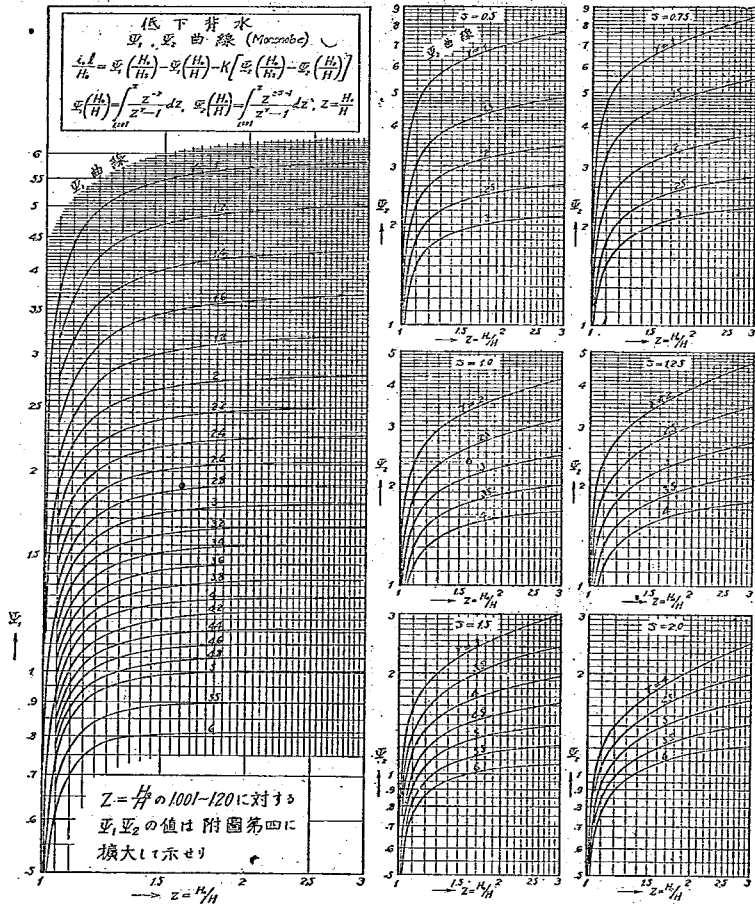
附 圖 第 一



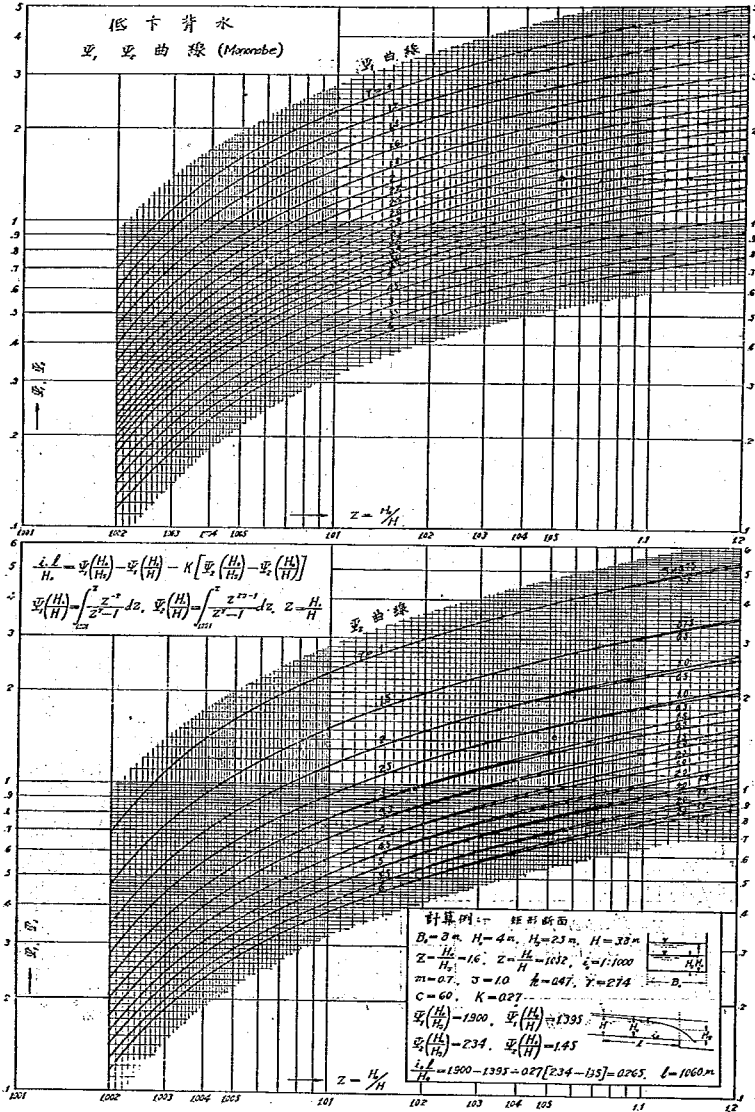
附圖第二



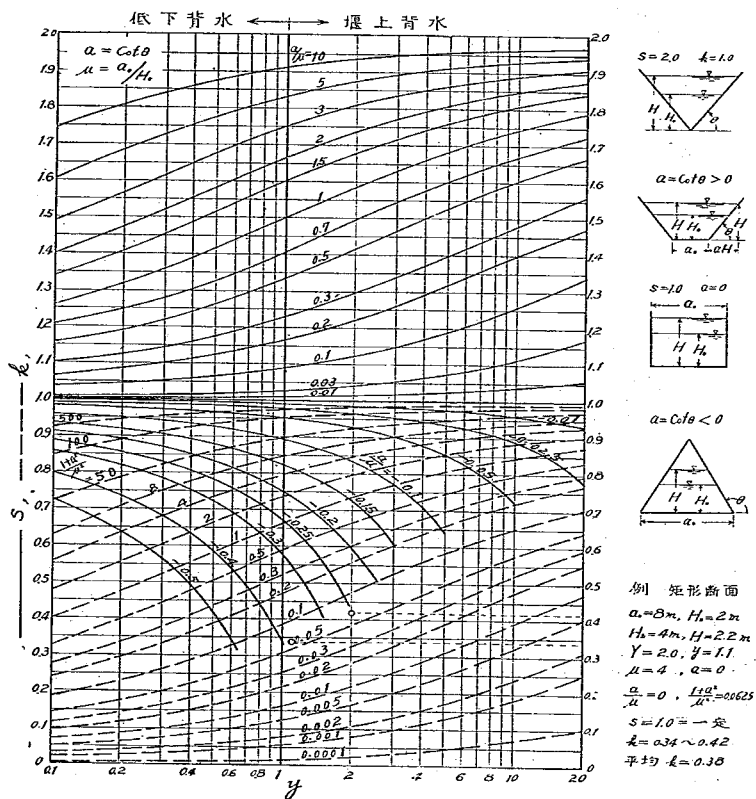
附圖第三



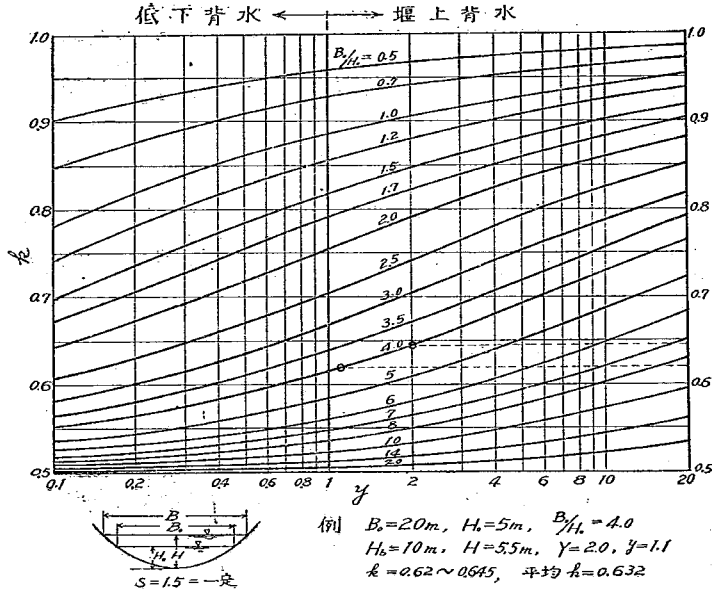
附圖第四



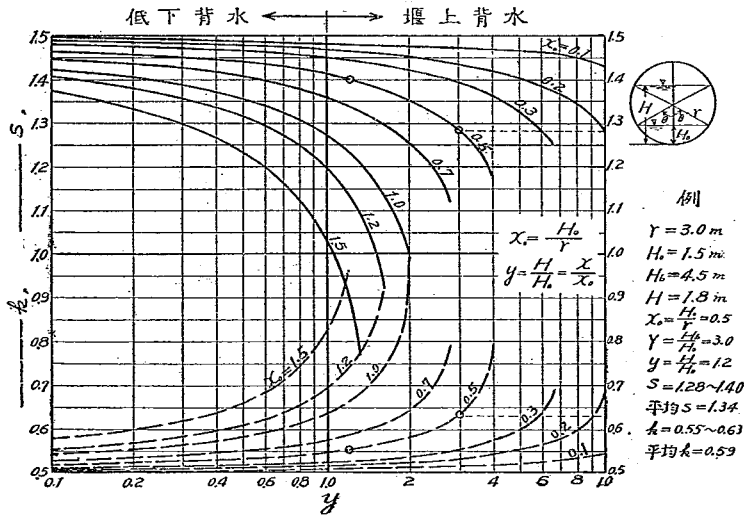
附圖第五 直線形斷面



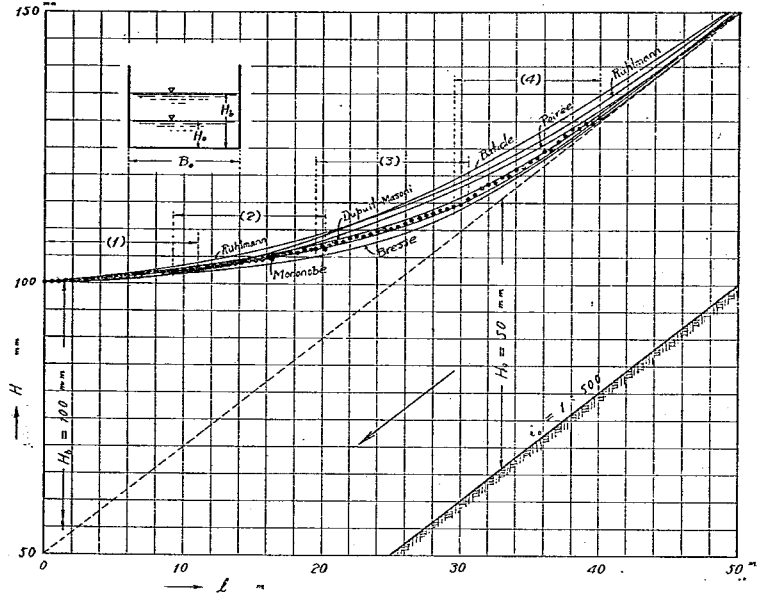
附圖第六 拋物線斷面



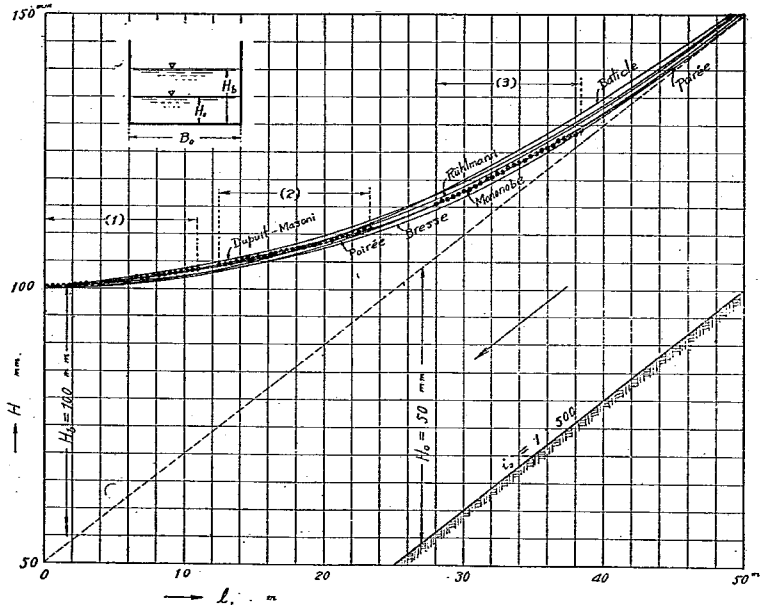
附圖第七 圓形斷面



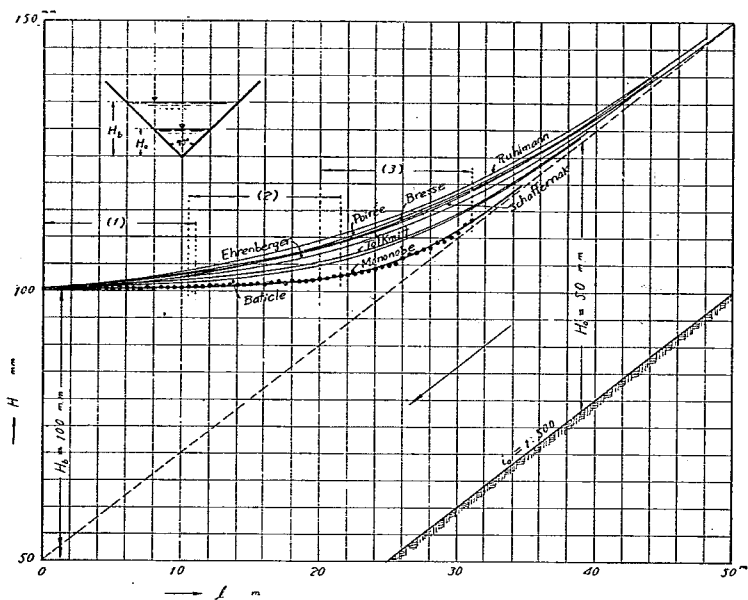
附圖第八 矩形水路(滑面)



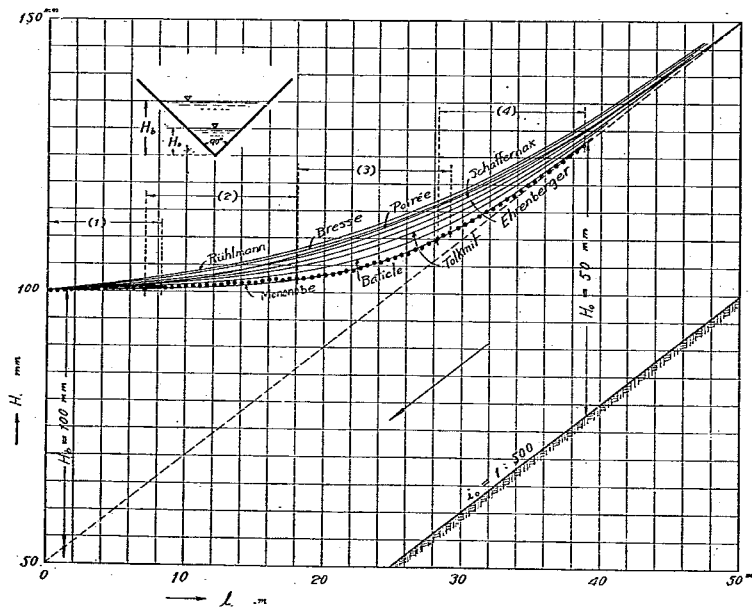
附圖第九 矩形水路(粗面)



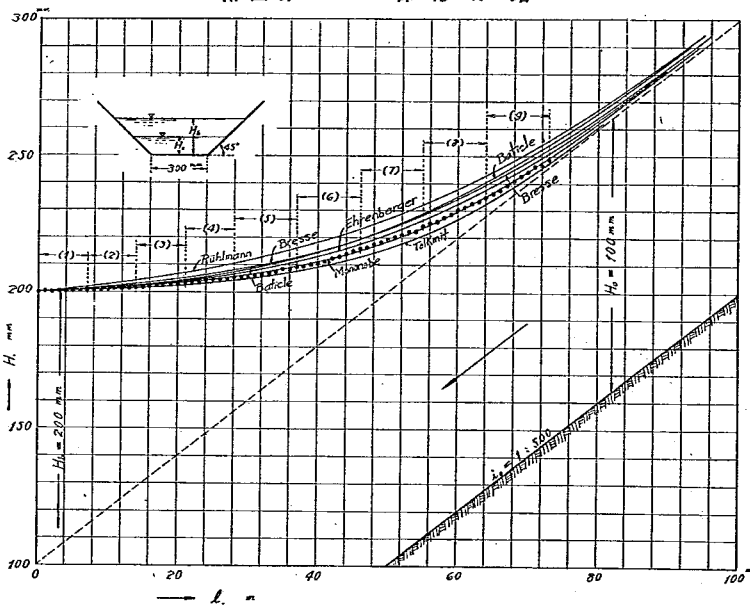
附圖第十一 直角三角形水路(滑面)



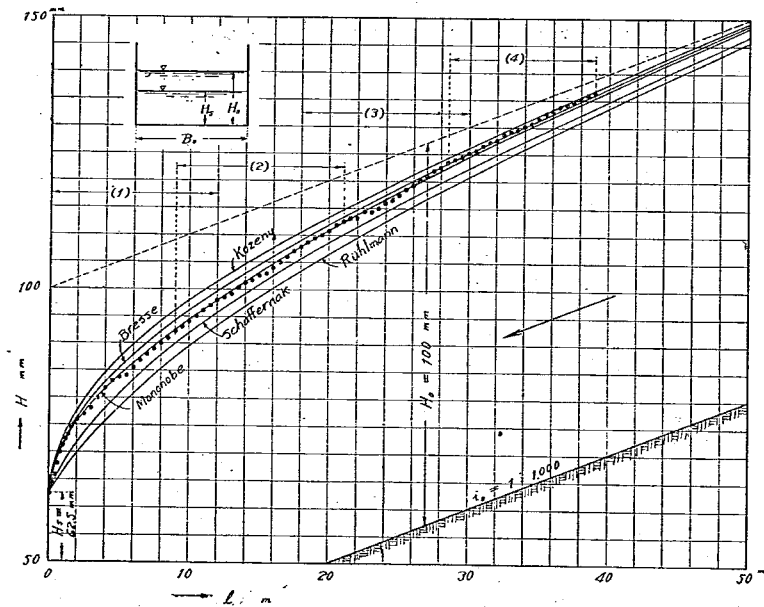
附圖第十一 直角三角形水路(粗面)



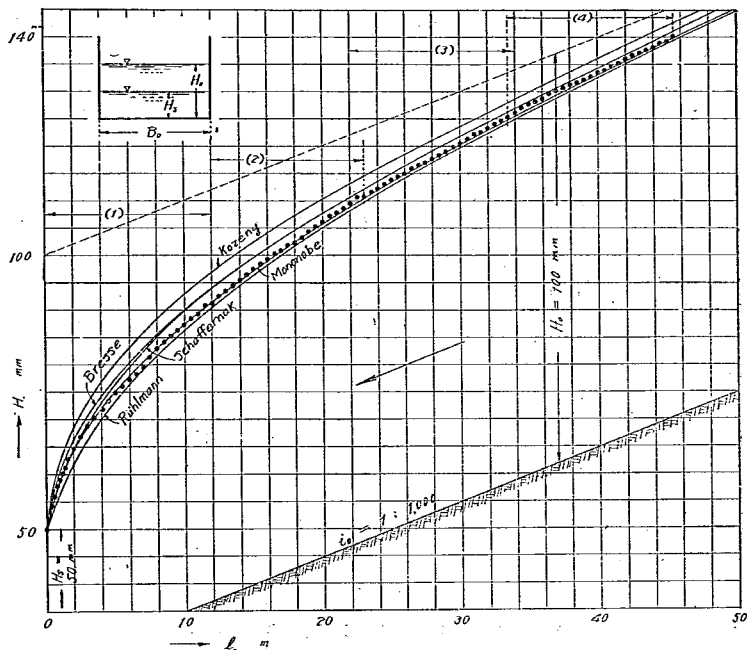
附圖第十二 梯形水路



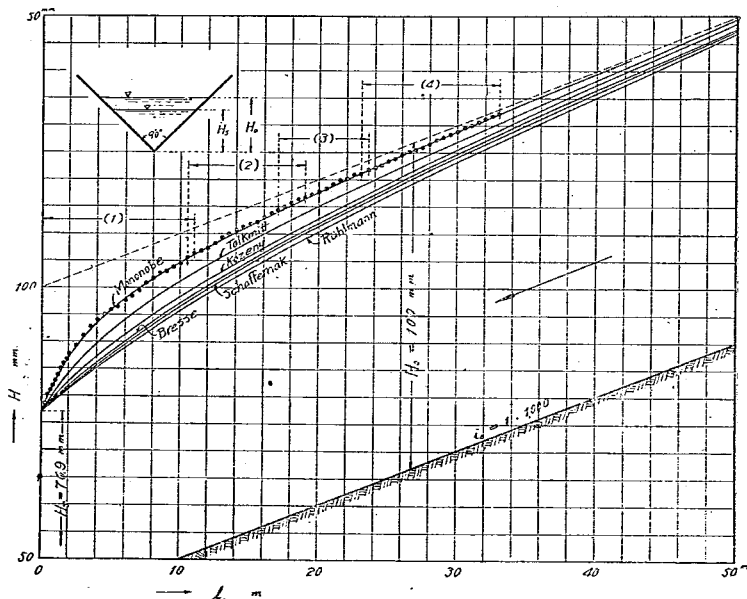
附圖第十三 矩形水路(滑面)



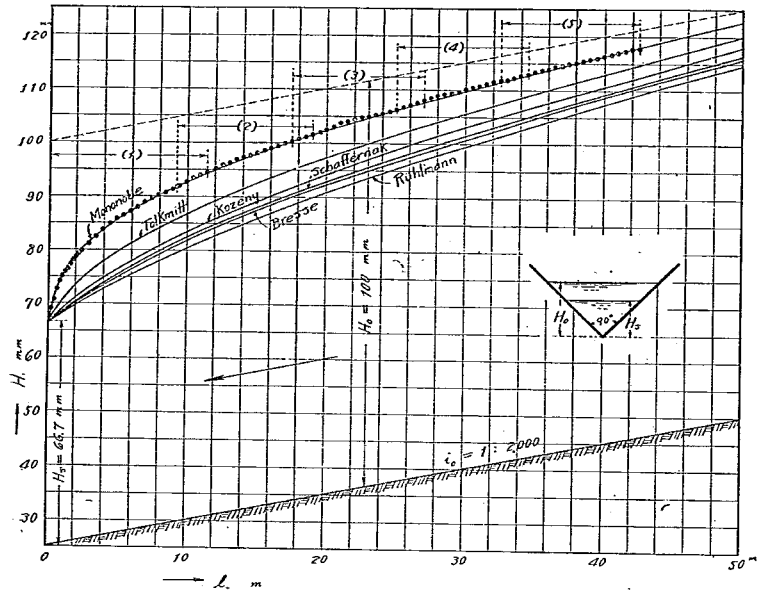
附圖第十四 矩形水路 (粗面)



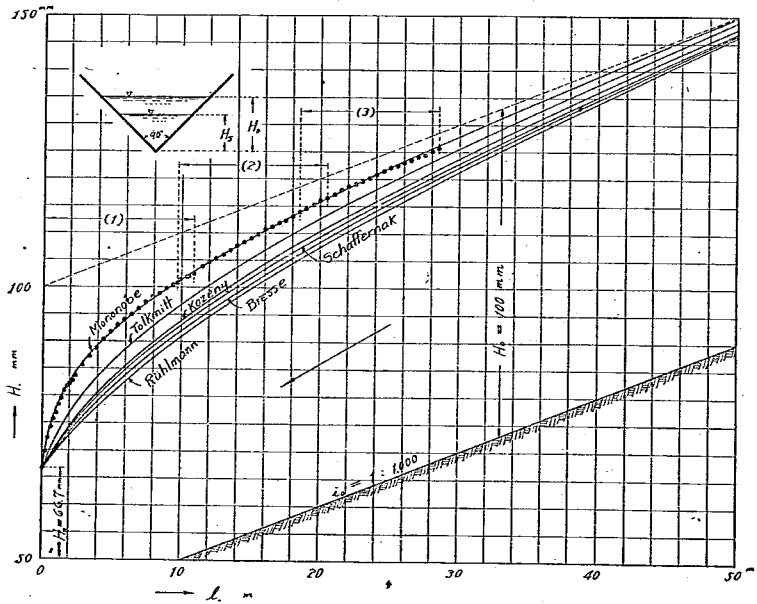
附圖第十五 直角三角形水路 (滑面) $i_0=1:1000$



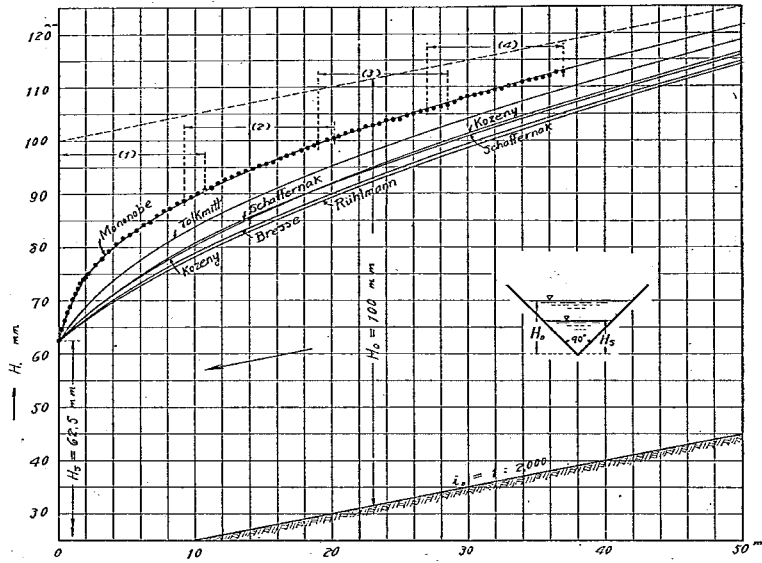
附圖第十六 直角三角形水路(滑面) $i_0=1:2000$



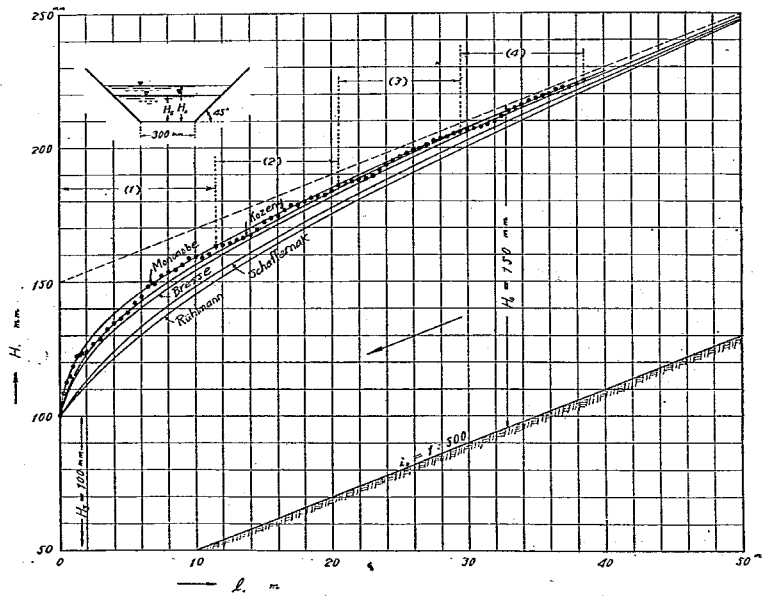
附圖第十七 直角三角形水路(粗面) $i_0=1:1000$



附圖第十八 直角三角形水路 (粗面) $i_0=1:2000$



附圖第十九 梯形水路



單鉸拱の振動に關する理論並に實驗

内務技師 三 浦 七 郎

緒 論

近代文明の進展と共に賴に車輛重量の増加交通速度の増大を來し、之が爲構造物に與へらざる動的影響を與ふるに至れり。故に昔時は靜的荷重狀態のみにて安全に設計せられし構造物も夫れのみにては不安を感じるに至れり。之が爲各國にては荷重の動的影響を考慮に入るゝと雖も、其の性質複雑にして僅かに荷重に衝擊係数を乗じて設計荷重を大にするか、或は安全率を大にして許容強度を低下せしむるかの方法に依り構造物の安全を圖れり。而して此の衝擊係數及び安全率増大の決定を理論的に證明するには、構造物の振動性態を明かにする事肝要にして近時構造物振動の研究の盛なる所以茲に存す。且つ構造物の振動週期振動の形態振動衰弱の緩和等よりして其の構造物の種々の性質を知悉し得べく、猶又構造物に週期的荷重例へば足並を揃へし群集荷重の加はりし場合に、其の週期が構造物の自己振動週期と一致せる時共振作用を起し、構造物は破壊さるゝに至るべし。斯る理由より見ても構造物振動性態の研究は必要缺くべからざるものにして振動性態の根幹を爲すものは構造物の自己振動なりとす。

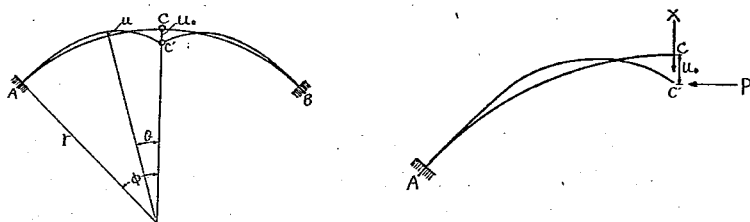
著者は曩に單鉸拱の種々の性質に就き研究實驗を爲せしが（土木試験所報告第廿號）本編に於ては單鉸拱の自己振動に就き研究せむとす。荷重狀態は等布滿載荷重とす。

第一章 等布荷重を滿載せし場合の 單鉸拱振動數の算定公式

1. 橋臺不動の場合の振動數算定公式

A. 振動曲線 彈性體の振動週期乃至振動數を近似的に算定するには、Lord Rayleigh に由つて示されたる勢力の方法（Energy method）を用ふる事便利なり（Lord Rayleigh; Theory of Sound Vol. I § 89）。本法に由る時は最初振動曲線を假定する必要あるも、振動曲線を合理的に假定せば假令其の曲線が正確ならざる場合にも振動

数には殆んど誤差なきの利あり。單鉸拱は一般に任意の拱軸を有すると雖も近似的には之を圓弧と考ふるを得べく、且つ EJ は一般に定數ならざるも振動曲線を考ふる際には定數と考ふるを得べし。



第一圖

今第一圖の如き剛性率 EJ 定數なる圓弧形單鉸拱が、 P 、 X の力を受けて平衡状態 ACB より $AC'B$ の如く變位せしものとすれば、 AC 間の (r, θ) 點の放射變位 u の微分方程式は

$$\frac{d^2 u}{d\theta^2} + u = -\frac{Mr^2}{EJ} \quad (1)$$

にて與へらる。但し

M =彎曲力率, E =彈性體の彈性率, J =慣性率, r =拱軸の半径

$$\text{而して} \quad M = Pr(1 - \cos \theta) - Xr \sin \theta \quad (2)$$

故に (2) 式を (1) 式に代入して

$$\frac{d^2 u}{d\theta^2} + u = -\frac{Pr^3}{EJ} - \frac{Pr^3}{EJ} \cos \theta + \frac{Xr^3}{EJ} \sin \theta \quad (3)$$

なる微分方程式を得。微分方程式 (3) の一般解は

$$\begin{aligned} u &= A \cos \theta + B \sin \theta - \frac{Pr^3}{EJ} + \frac{Pr^3}{2EJ} \theta \sin \theta - \frac{Xr^3}{2EJ} \theta \cos \theta \\ &= A \cos \theta + B \sin \theta - 2C + C\theta \sin \theta - D\theta \cos \theta \quad (4) \end{aligned}$$

にて與へられ (4) 式中の定數は次の環境條件より決定せらる。

I. 起拱點 (r, ϕ) に於ては放射變位は 0 なり。即ち

$$\theta = \phi, \quad u = 0 \quad (5)$$

II. 起拱點 (r, ϕ) に於ては角變化なし。即ち

$$\theta = \phi, \quad \frac{du}{d\theta} = 0 \quad (6)$$

III. 鉸點 $(r, 0)$ に於ては放射變位を u_0 とす。即ち

$$\theta=0, \quad u=u_0 \dots \dots \dots (7)$$

IV. 起拱點と鉸點との間の軸線方向の変位は 0 なり。即ち

$$\int_0^\phi u d\theta = 0 \dots \dots \dots (8)$$

(5) 式より

$$A \cos \phi + B \sin \phi - 2C + C\phi \sin \phi - D\phi \cos \phi = 0 \dots \dots \dots (9)$$

(6) 式より

$$-A \sin \phi + B \cos \phi + C \sin \phi + C\phi \cos \phi - D \cos \phi + D\phi \sin \phi = 0 \dots (10)$$

(7) 式より

$$u_0 = A - 2C \dots \dots \dots (11)$$

(8) 式より

$$\int_0^\phi u d\theta = 0$$

$$[A \sin \phi - B \cos \phi - 2C\phi + C(\sin \phi - \phi \cos \phi)$$

$$- D(\cos \phi + \phi \sin \phi)] + [B + D] = 0 \dots \dots \dots (12)$$

(9), (10), (11), (12) 式より A, B, C, D を求めむれば

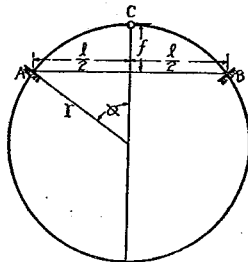
$$A = u_0 + 2C$$

$$B = \frac{-u_0[6 \cos^4 \phi - 2 \cos^5 \phi - 2 \cos^3 \phi - 6 \cos^2 \phi + 3\phi \sin \phi \cos^3 \phi + 2\phi \sin \phi \cos^2 \phi]}{\sin \phi[6 \cos^3 \phi - 2 \cos^4 \phi - 6 \cos^2 \phi + 2 \cos \phi + 2\phi \sin \phi \cos^2 \phi]} \\ - \frac{2 \sin^2 \phi \cos^3 \phi + \sin^2 \phi \cos^2 \phi + 4 \cos \phi - 2 \sin^2 \phi \cos \phi - 2\phi \sin \phi \cos \phi + \phi \sin^3 \phi \cos \phi}{+ 4\phi \sin \phi \cos \phi - 2 \sin^2 \phi \cos^3 \phi - 3\phi^2 \cos \phi - \sin^2 \phi \cos \phi}]$$

$$C = \frac{-u_0[2 \cos \phi - 2 \cos^2 \phi]}{[6 \cos^3 \phi - 2 \cos^4 \phi - 6 \cos^2 \phi + 2 \cos \phi + 2\phi \sin \phi \cos^2 \phi + 4\phi \sin \phi \cos \phi]} \\ - \frac{\sin^2 \phi \cos \phi}{- 2 \sin^2 \phi \cos^3 \phi - 3\phi^2 \cos \phi - \sin^2 \phi \cos \phi}]$$

$$D = \frac{u_0[-3\phi \cos \phi + 4 \sin \phi \cos \phi]}{[6 \cos^3 \phi - 2 \cos^4 \phi - 6 \cos^2 \phi + 2 \cos \phi + 2\phi \sin \phi \cos^2 \phi + 4\phi \sin \phi \cos \phi]} \\ - \frac{\sin \phi \cos^2 \phi}{- 2 \sin^2 \phi \cos^3 \phi - 3\phi^2 \cos \phi - \sin^2 \phi \cos \phi}]$$

... (13)



第 二 圖

然るに第二圖より

$$\frac{f}{l} = k \quad \text{と置けば}$$

$$(2r - f)f = \frac{l^2}{4}, \quad r = \frac{1 + 4k^2}{8k} l$$

$$\text{故に} \quad \left. \begin{aligned} \sin \phi &= \frac{4k}{1 + 4k^2} \\ \cos \phi &= \frac{1 - 4k^2}{1 + 4k^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

又
$$\phi = \sin^{-1} \frac{4k}{1+4k^2} \dots\dots\dots (15)$$

(14) 式及び (15) 式の値を (13) 式中に代入すれば A, B, C, D は鉸點に於ける放射變位 u 及び拱矢比 k の函數として表はされ一定なり。斯くして圓弧形單鉸拱の或る瞬間に於ける振動曲線決定さる。

B. 振動數算定公式 今或る瞬間に於ける (r, θ) 點の放射變位を η とすれば

$$\eta = u \sin ct$$

にて表はさる。茲に

$$C = \frac{2\pi}{T} \quad (T \text{ は振動週期})$$

u = 第 (4) 式に示す如く (r, θ) のみの函數なり

然らば、等布滿載荷重を受けたる圓弧形單鉸拱を、一つの振動系とすれば、或る瞬間に於ける振動系の有する位置の勢力は

$$\begin{aligned} V &= 2 \times \frac{1}{2} \int_0^\phi \frac{M^2 r}{EJ} d\theta \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \int_0^\phi \frac{\left(\frac{EJ}{r^3} \frac{d^2 \eta}{d\theta^2} \right)^2}{EJ} r d\theta = \frac{E \sin^2 ct}{r^3} \int_0^\phi \left(\frac{d^2 u}{d\theta^2} \right)^2 d\theta \end{aligned}$$

又或る瞬間に於ける振動系の有する運動の勢力は

$$T = 2 \times \frac{1}{2} \int_0^\phi \left(\frac{F\rho}{g} + \frac{p}{g} \right) \left(\frac{d\eta}{dt} \right)^2 r d\theta = \frac{c^2 \cos^2 ct}{g} \int_0^\phi (F\rho + p) u^2 r d\theta$$

但し F = 斷面積、 ρ = 拱物質單位體積の重量、 p = 等布荷重/拱單位長

斯くして兩者の和は各瞬間を通じて一定ならざるべからず。故に

$$\frac{E \sin^2 ct}{r^3} \int_0^\phi \left(\frac{d^2 u}{d\theta^2} \right)^2 d\theta + \frac{c^2 \cos^2 ct}{g} \int_0^\phi (F\rho + p) u^2 r d\theta = \text{定数}$$

時間 t にて微分すれば

$$\frac{E}{r^3} \int_0^\phi \left(\frac{d^2 u}{d\theta^2} \right)^2 d\theta - \frac{c^2}{g} \int_0^\phi (F\rho + p) u^2 r d\theta = 0 \dots\dots\dots (16)$$

$$\therefore c = \frac{\sqrt{E \int_0^\phi \left(\frac{d^2 u}{d\theta^2} \right)^2 d\theta}}{r^2 \sqrt{\frac{1}{g} \int_0^\phi (F\rho + p) u^2 r d\theta}} \dots\dots\dots (17)$$

一秒間の振動數を n とすれば

$$n = \frac{1}{T} = \frac{c}{2\pi} = \frac{\sqrt{E \int_0^\phi J \left(\frac{d^2 u}{d\theta^2} \right)^2 d\theta}}{2\pi r^2 \sqrt{\frac{1}{g} \int_0^\phi (F\rho + p) u^2 d\theta}} \quad \dots\dots\dots (18)$$

拱の厚さ一定ならざる場合は、惰性率及斷面積も從て變化す。

今 J_s = 鉸點に於ける惰性率、 J_k = 起拱點に於ける惰性率
 F_s = 鉸點に於ける斷面積、 F_k = 起拱點に於ける斷面積

$$\alpha = \frac{J_k - J_s}{J_s}, \quad \beta = \frac{F_k - F_s}{F_s}$$

とし、各點 (r, θ) に於ける惰性率及び斷面積が

$$J = J_s \left[1 + \alpha \left(\frac{\theta}{\phi} \right)^2 \right], \quad F = F_s \left[1 + \beta \left(\frac{\theta}{\phi} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (19)$$

の如く變化するものとせば (19) 式を (18) 式中に代入すれば、振動数は

$$n = \frac{32f^2}{\pi(p^2 + 4f^2)^2} \sqrt{g E J_s} \frac{\sqrt{\int_0^\phi \left[1 + \alpha \left(\frac{\theta}{\phi} \right)^2 \right] \left(\frac{d^2 u}{d\theta^2} \right)^2 d\theta}}{\sqrt{\int_0^\phi \left\{ F_s \left[1 + \beta \left(\frac{\theta}{\phi} \right)^2 \right] \rho + p \right\} u^2 d\theta}} \quad \dots\dots\dots (20)$$

2. 橋臺の變位せる場合の單鉸拱振動數算定の公式

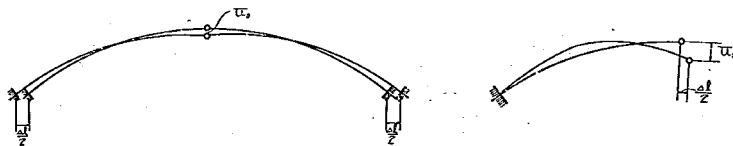
地盤軟弱なる個所に於ては、橋臺は荷重に因る水平推力のために 動からざる 變位をなし、之が爲め頂點鉸部に垂直撓度を起す。斯かる垂直撓度の量は拱の彈性的撓度に比して決して侮るべからざるものにして、曩に行へる單鉸拱撓度實驗に於ては彈性的撓度の一倍半に及べり。斯かる場合には振動數の算定に (20) 式を用ふる事は最早不可能にして、新に橋臺の變位を考慮に入れし振動數算定の公式を求めざるべからず。

橋臺の變位としては次の二つが挙げらる。即ち

1. 橋臺の水平變位
2. 橋臺の回轉

にして、此の内橋臺の回轉は曩に行へる單鉸拱撓度試驗に於ては、殆んど表はれざりき。故に今回橋臺の變位せる場合の單鉸拱振動數算定公式を求むる場合にも橋臺の水平變位のみを考ふ。

今單鉸拱の振動曲線を考ふるに、第三圖の如く鉸點に於て u_0 なる垂直變位をなせる時、兩橋臺間の相互水平變位を Δl とすれば



第三圖

振動曲線を求める微分方程式及び其の一般解は各々 (3) 式及び (4) 式に等し。唯定数 A , B , C , D は次の環境條件を満足せざるべからず。

I. 起拱點 (r, ϕ) に於ては放射變位 0 なり。即ち

$$\theta = \phi, \quad u = 0 \quad \dots\dots\dots (21)$$

II. 起拱點 (r, ϕ) に於ては角變化なし。即ち

$$\theta = \phi, \quad \frac{du}{d\theta} = 0 \quad \dots\dots\dots (22)$$

III. 鉸點 $(r, 0)$ に於ては放射變位を u_0 とす。即ち

$$\theta = 0, \quad u = u_0 \quad \dots\dots\dots (23)$$

IV. 起拱點と鉸點との間の軸線方向の變位は $\frac{\Delta l}{2}$ なり。即ち

$$\frac{1}{r} \int_0^\phi u d\theta = \frac{\Delta l}{2} \quad \dots\dots\dots (24)$$

此の四條件により決定せらるゝ定数を A' , B' , C' , D' とし、其の際の振動曲線の放射變位を u' とすれば、(4) 式より

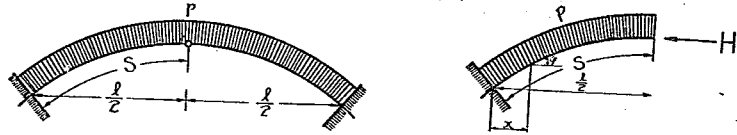
$$u' = A' \cos \theta + B' \sin \theta - 2C' + C' \theta \sin \theta - D' \theta \cos \theta \quad \dots\dots\dots (25)$$

なる振動曲線の方程式を得。故に橋臺の水平變位を考慮せる場合の振動數 n' は (25) 式の u' の値を (20) 式に代入すれば直ちに求めらる。即ち

$$n' = \frac{32f^2}{\pi(l^2 + 4f^2)^2} \sqrt{gEJ_s} \frac{\sqrt{\int_0^\phi \left(1 + \alpha \left(\frac{\theta}{\phi}\right)^2\right) \left(\frac{d^2 u'}{d\theta^2}\right)^2 d\theta}}{\sqrt{\int_0^\phi \left\{F_s \left[1 + \beta \left(\frac{\theta}{\phi}\right)^2\right] \rho + p\right\} u'^2 d\theta}} \quad \dots\dots (26)$$

3. 突桁としての振動數算定公式

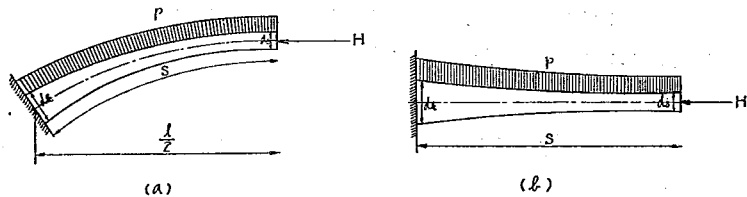
今第四圖の如き單鉸拱上に p なる等布荷重が滿載する場合には、兩拱半は鉸點に於て H なる水平推力を受けて靜的釣合を保つ。



第 四 圖

而して等布荷重なるを以て、各断面の軸壓力は拱軸に一致すると考へ得るが故に、各断面に於ては断面の中軸に $N_x = \frac{H}{\cos \varphi}$ なる垂直荷重を受く。拱矢比の小なる場合には $\cos \varphi \approx 1$ にして $N_x \approx H$ と置くことを得。

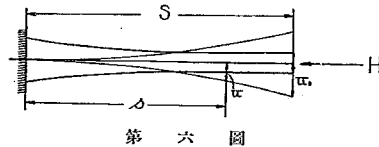
今斯る釣合より何等かの原因にて自由振動を始むる場合には、兩拱半の振動に對する性態全然等しきを以て、拱の振動数を求むるには一つの振動系として左右何れかの拱半を考ふれば可なり。然して第五圖 (a) の如き拱半の振動は結局同圖 (b) の如き直線狀突桁の



第 五 圖

振動と考へ得。

横力 p は時間に無關係なるを以て振動数には全然影響なし。故に單鉸拱の振動は結局第六圖の如き突桁の振動を考究すれば可なり。



第 六 圖

振動数の算定には勢力の法を用ふ。振動曲線は合理的に

$$y = u \sin ct = u_0 \left(1 - \cos \frac{\pi s}{2S} \right) \sin ct \quad \dots \dots \dots (27)$$

と假定し得。但し振動の始源状態は静止状態とし $C = \frac{2\pi}{T}$ とす。

然らば或瞬間に於て

a) 突桁の彎曲に由て有する位置の勢力は

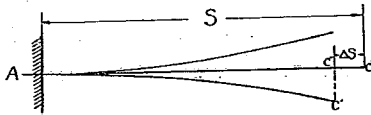
$$V = \frac{1}{2} \int_0^S \frac{M^2}{EJ} ds = \frac{E}{2} \int_0^S J \left(\frac{d^2 y}{ds^2} \right)^2 ds$$

b) 突桁及び荷重の質量の有する運動の勢力は

$$T = \frac{1}{2} \int_0^S \left(\frac{\rho F}{g} + \frac{p}{g} \right) \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 ds$$

c) 外力 H の有する位置の勢力は

突桁の頭部の振動の或瞬間に於ける軸の方向の變位を ΔS とすれば (第七圖)



第七圖

$$\begin{aligned} \Delta S &= AC - AC'' = AC' - AC'' \\ &= \int_0^{S-\Delta S} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{ds} \right)^2} ds - (S - \Delta S) \\ &= \frac{1}{2} \int_0^S \left(\frac{dy}{ds} \right)^2 ds \end{aligned}$$

斯くの如く、 H なる垂直壓力が或變位をなす爲めの位置の勢力は

$$T' = -\frac{H}{2} \int_0^S \left(\frac{dy}{ds} \right)^2 ds$$

此の外突桁の回転に起因する勢力、外力の慣性に起因する勢力等を考へ得るも振幅小なる間は他の勢力に比して小なれば無視す。

斯くして振動系の或瞬間に於ける勢力の和一定ならば

$$\frac{E}{2} \int_0^S \left(\frac{d^2 y}{ds^2} \right)^2 ds + \frac{1}{2} \int_0^S \left(\frac{\rho F}{g} + \frac{p}{g} \right) \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 ds - \frac{H}{2} \int_0^S \left(\frac{dy}{ds} \right)^2 ds = \text{定数}$$

にして之を時間 t に付きて微分すれば

$$\begin{aligned} \frac{E}{2} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^S \left(\frac{d^2 y}{ds^2} \right)^2 ds + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^S \left(\frac{\rho F}{g} + \frac{p}{g} \right) \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 ds \\ - \frac{H}{2} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^S \left(\frac{dy}{ds} \right)^2 ds = 0 \dots\dots\dots (28) \end{aligned}$$

(28) 式は突桁として振動数を決定する條件式なり。(28) 式中に於て

$$\text{第一項} = \frac{Eu_0^2 \pi^4 c \sin ct \cos ct}{16S^4} \int_0^S \cos^2 \frac{\pi s}{2S} s ds$$

$$\text{第二項} = -u_0^2 c^3 \sin ct \cos ct \int_0^S \left(\frac{\rho F}{g} + \frac{p}{g} \right) \left(1 - \cos \frac{\pi s}{2S} \right)^2 ds$$

$$\text{第三項} = -\frac{Hu_0^2 \pi^2 c \sin ct \cos ct}{8S}$$

にして此等の結果を (28) 式中に代入すれば

$$\frac{E\pi^4}{16S^4} \int_0^S \cos^2 \frac{\pi s}{2S} s ds - \frac{c^2}{g} \int_0^S (\rho F + p) \left(1 - \cos \frac{\pi s}{2S} \right)^2 ds - \frac{H\pi^2}{8S} = 0$$

本式より c を求め更に一秒間の振動数 n を求めれば

$$n = \frac{1}{T} = \frac{c}{2\pi} = \frac{\sqrt{g} \sqrt{\frac{E\pi^2}{4S^2} \int_0^s \cos \frac{\pi s}{2S} ds - \frac{HS}{2}}}{4S \sqrt{\int_0^s (\rho F + p) \left(1 - \cos \frac{\pi s}{2S}\right)^2 ds}} \quad (29)$$

拱の厚さ一定ならざる場合には

J_s = 鉸點に於ける慣性率、 J_k = 起拱點に於ける慣性率

F_s = 鉸點に於ける斷面積、 F_k = 起拱點に於ける斷面積

$$\alpha = \frac{J_k - J_s}{J_s}, \quad \beta = \frac{F_k - F_s}{F_s}$$

とし、 s 點に於ける慣性率、斷面積が

$$J = J_s \left[1 + \alpha \left(\frac{s}{S} \right)^2 \right], \quad F = F_s \left[1 + \beta \left(\frac{s}{S} \right)^2 \right] \quad (30)$$

の如く變化するものとすれば、(30) 式を (29) 式中に代入して振動數 n の式を求め更に之を計算に便なる様改むれば

$$n = \frac{\sqrt{g} \sqrt{\frac{E\pi^2 J_s}{4} \left(1 + \frac{\alpha}{3} \right) - \frac{HS^2}{2}}}{4S^2 \sqrt{(0.22676 + 0.15748\beta) \rho F_s + 0.22676p}} \quad (31)$$

本式中 H は死荷重、活荷重に由る、鉸點に於ける水平推力なり。

第二章 實 驗

1. 實驗用單鉸拱

振動實驗に使用せる單鉸拱は撓度實驗に使用せるものと同一なり。(附圖第一參照)

2. 荷 重

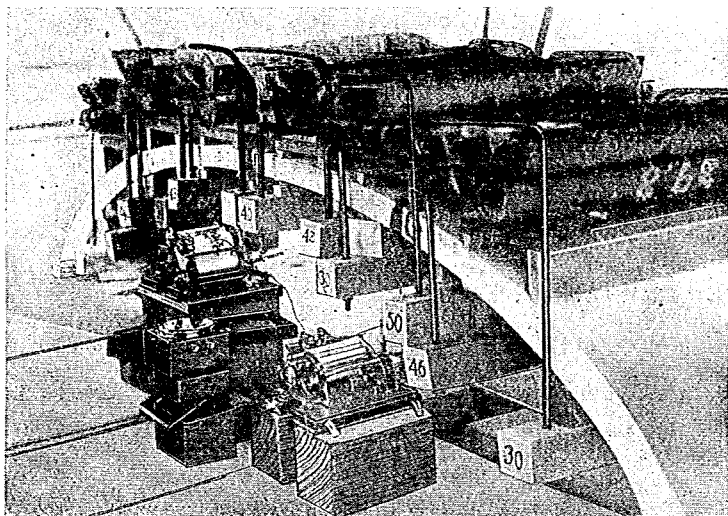
荷重には鉄鐵を用ふ。荷重個所、荷重用支臺は撓度實驗の場合と同様なり。唯振動中荷重と拱肋とが共に振動する様、直徑八分の五吋の鐵筋にて鉄鐵を拱肋にボルトにて締付けたり。(第八圖參照)

又一支臺上の荷重を W 砵とすれば、(支臺は全徑間に涉りて 6 個) 之を全拱肋に等布せるものと見做し、計算に際し、等布荷重

$$p = \frac{6W}{bS}$$

なる値を使用せり。但し

b = 單鉸拱の幅、 S = 拱軸の延長



第 八 圖

とす。

本実験に於ては

- I: 無荷重
- II: $W=149 \text{ kg}$
- III: $W=279 \text{ kg}$

なる荷重の場合に就きて、振動試験をなせり。

$$b=65 \text{ cm} \quad S=362.36 \text{ cm}$$

とすれば I, II, III に匹敵する等布滿載荷重は

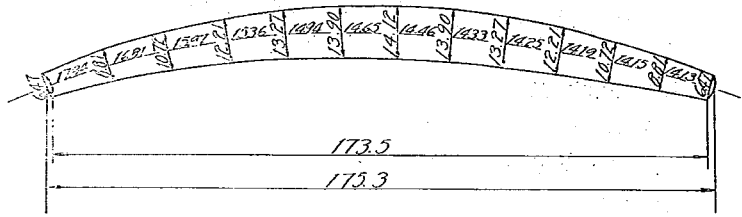
- I: $p=0$
- II: $p=0.0380 \text{ kg/cm}^2$
- III: $p=0.0711 \text{ kg/cm}^2$

3. コンクリートの弾性率

コンクリートの弾性率は、撓度試験に際し、桁の撓曲に由りて決定したる $E=225,000 \text{ kg/cm}^2$ を使用する。

4. コンクリート單位體積の重量

本實驗に使用せし單鉸拱單位體積の重量は單鉸拱と同様なる鐵網を挿入せる、第九圖の如き曲桁の單位重量を測定決定せり。



第 九 圖

今

$V = Fb$ = 曲桁の體積

b = 曲桁の幅

F = 曲桁の縦斷面積

G = 曲桁の重量

ρ = 單位體積の重量

とすれば

$$\rho = \frac{G}{V} = \frac{G}{Fb}$$

第九圖より

$$\begin{aligned} F &= (17.94 + 14.13) \frac{6.47 + 8.81}{2} + (16.81 + 14.15) \frac{8.81 + 10.72}{2} \\ &\quad + (15.97 + 14.19) \frac{10.72 + 12.21}{2} + (15.36 + 14.25) \frac{12.21 + 13.27}{2} \\ &\quad + (14.94 + 14.33) \frac{13.27 + 13.90}{2} + (14.65 + 14.46) \frac{13.90 + 14.12}{2} \\ &= 2075.528 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

且つ

$$b = 65 \text{ cm} \quad G = 318.2 \text{ kg}$$

故に單位體積の重量 ρ は

$$\rho = \frac{318.2}{2075.528 + 65} = 0.00236 \text{ kg/cm}^3$$

5. 公式に曲る振動數の計算

A. 橋臺不動の場合の振動數

拱軸圓形なる單鉸拱の一秒間に於ける振動數は、前

章 (20) 式に由りて求めらる。本實驗に用ひたる單鉸拱の拱軸は圓形ならざるも大體圓形に一致すると認め得るが故に、振動數の算定には (20) 式を用ふるも殆んど誤差なし。

(20) 式より振動數 n は

$$n = \frac{32f^2}{\pi(l^2 + 4f^2)^2} \sqrt{gEJ_s} \frac{\sqrt{\int_0^{\phi} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{\theta}{\phi} \right)^2 \right\} \left(\frac{d^2 u}{d\theta^2} \right)^2 d\theta}}{\sqrt{\int_0^{\phi} \left\{ F_s \left[1 + \beta \left(\frac{\theta}{\phi} \right)^2 \right] \rho + p \right\} u^2 d\theta}}$$

に由り算定さる。本式に於て

$$\begin{aligned} f &= 47.06 \text{ cm} & l &= 338.8 \text{ cm} & E &= 225,000 \text{ kg/cm}^2 \\ g &= 980 \text{ cm/sec/sec} & \phi &= 0.54194 & J_s &= 22.57 \text{ cm}^4 \\ J_k &= 234.60 \text{ cm}^4 & F_s &= 6.47 \text{ cm}^2 & F_k &= 14.12 \text{ cm}^2 \\ \alpha &= \frac{J_k - J_s}{J_s} = 9.3942 & \beta &= \frac{F_k - F_s}{F_s} = 1.18238 & \rho &= 0.00236 \text{ kg/cm}^3 \end{aligned}$$

なれば振動數

$$n = 0.10409 \frac{\sqrt{\int_0^{0.54194} \{ 1 + 31.9856\theta^2 \} \left(\frac{d^2 u}{d\theta^2} \right)^2 d\theta}}{\sqrt{\int_0^{0.54194} \{ 0.01526 + 0.06147\theta^2 + p \} u^2 d\theta}} \dots\dots\dots (32)$$

(32) 式中に於て $\left(\frac{d^2 u}{d\theta^2} \right)^2$ 及び u^2 を (4) 式によつて θ の函數として表はし分母子の二積分を算出し、振動數 n の値を求むれば

$$n = \frac{3.6048}{\sqrt{0.009401 + 0.0533p}} \dots\dots\dots (33)$$

(33) 式に由れば、振動數は等布荷重 p に由て變化す。之を計算すれば次表の如し。(附圖第二参照)

p	0	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
n	37.3	36.2	35.3	33.6	32.1	30.9	29.8

B. 橋臺變位せる場合の單鉸拱振動數計算

橋臺の變位を考慮せる場合の振動數は

(26) 式

$$n' = \frac{32f^2}{\pi(l^2 + 4f^2)^2} \sqrt{gEJ_s} \frac{\sqrt{\int_0^{\phi} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{\theta}{\phi} \right)^2 \right\} \left(\frac{d^2 u'}{d\theta^2} \right)^2 d\theta}}{\sqrt{\int_0^{\phi} \left\{ F_s \left[1 + \beta \left(\frac{\theta}{\phi} \right)^2 \right] \rho + p \right\} u'^2 d\theta}}$$

に由り算定さる。本式に於て

$$\begin{aligned} f &= 47.06 \text{ cm} & l &= 338.8 \text{ cm} & E &= 225,000 \text{ kg/cm}^2 & g &= 980 \text{ cm/sec/sec} \\ \phi &= 2.54194 & J_s &= 22.570 \text{ cm}^4 & J_k &= 234.60 \text{ cm}^4 \\ F_s &= 6.47 \text{ cm} & F_k &= 14.12 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{J_k - J_s}{J_s} = 9.3942 \quad \beta = \frac{F_k - F_s}{F_s} = 1.1824 \quad \rho = 0.000236 \text{ kg/cm}^3$$

にして、振動数は

$$n' = 0.10409 \frac{\sqrt{\int_0^{0.54194} \{1 + 31.986\theta^2\} \left(\frac{d^2 n'}{d\theta^2}\right)^2 d\theta}}{\sqrt{\int_0^{0.54194} \{0.01526 + 0.06147\theta^2 + \rho\} n'^2 d\theta}} \dots\dots\dots (34)$$

にて與へらるべし。

然るに振動曲線 n' は (25) 式に由りて

$$n' = A' \cos \theta + B' \sin \theta - 2C' + C' \theta \sin \theta - D' \theta \cos \theta$$

但し n' は點 (r, θ) の放射變位にして、 A', B', C', D' は (21), (22), (23), (24) 式より決定せらるべき定数なり。(21), (22), (23), (24) を書直せば次の如し。

$$(21) \text{ 式より} \quad A' \cos \phi + B' \sin \phi - 2C' + C' \phi \sin \phi - D' \phi \cos \phi = 0 \dots\dots\dots (35)$$

(22) 式より

$$-A' \sin \phi + B' \cos \phi + C' \sin \phi + C' \phi \cos \phi - D' \cos \phi + D' \phi \sin \phi = 0 \dots\dots\dots (36)$$

$$(23) \text{ 式より} \quad n_0 = A' - 2C' \dots\dots\dots (37)$$

$$(24) \text{ 式より} \quad [A' \sin \phi - B' \cos \phi - 2C' \phi - C'(\sin \phi - \phi \cos \phi)$$

$$- D'(\cos \phi + \phi \sin \phi)] + [B' + D'] = r \frac{\Delta l}{2} \dots\dots\dots (38)$$

(35), (36), (37), (38) 式より A', B', C', D' を求めれば

$$A' = n_0 + 2C'$$

$$\begin{aligned} B' &= \frac{r \frac{\Delta l}{2} \{ [\phi \cos \phi - \sin \phi \cos^2 \phi] [2 \cos \phi - 2 + \phi \sin \phi] [\phi - \sin \phi \cos \phi] \\ &\quad - [\phi \cos \phi - \sin \phi \cos^2 \phi] [\cos \phi - 1] \phi \cos \phi + n_0 [6 \cos^4 \phi - 2 \cos^3 \phi - 2 \cos^2 \phi \\ &\quad - 6 \cos^2 \phi + 3 \phi \sin \phi \cos^2 \phi + 2 \phi \sin \phi \cos^2 \phi - 2 \sin^2 \phi \cos^3 \phi + \sin^2 \phi \cos^2 \phi \\ &\quad + 4 \cos \phi - 2 \sin^2 \phi \cos \phi - 2 \phi \sin \phi \cos \phi + \phi \sin^2 \phi \cos \phi \\ &\quad - \sin \phi [6 \cos^3 \phi - 2 \cos^4 \phi - 6 \cos^2 \phi + 2 \cos \phi + 2 \phi \sin \phi \cos^2 \phi + 4 \phi \sin \phi \cos \phi] \\ &\quad - 2 \sin^2 \phi \cos^2 \phi - 3 \phi^2 \cos \phi - \sin^2 \phi \cos \phi] [\phi - \sin \phi \cos \phi] \}}{r \frac{\Delta l}{2} [\phi \cos \phi - \sin \phi \cos^2 \phi] - n_0 [2 \cos \phi - 2 \cos^2 \phi - \sin^2 \phi \cos \phi] \\ C' &= \frac{r \frac{\Delta l}{2} \{ 6 \cos^3 \phi - 2 \cos^4 \phi - 6 \cos^2 \phi + 2 \cos \phi + 2 \phi \sin \phi \cos^2 \phi + 4 \phi \sin \phi \cos \phi \\ &\quad - 2 \sin^2 \phi \cos^2 \phi - 3 \phi^2 \cos \phi - \sin^2 \phi \cos \phi \}}{r \frac{\Delta l}{2} [\phi \cos \phi - \sin \phi \cos^2 \phi] - n_0 [2 \cos \phi - 2 \cos^2 \phi - \sin^2 \phi \cos \phi]} \end{aligned}$$

$$D' = \frac{\left[r \frac{\Delta I}{2} [\phi \cos \phi - \sin \phi \cos^2 \phi] [\cos^2 \phi - 2 \cos \phi + 1] + n_0 [-3 \phi \cos \phi] \right. \\ \left. + 4 \sin \phi \cos \phi - \sin \phi \cos^2 \phi \right] \\ \left[\phi - \sin \phi \cos \phi \right] [6 \cos^3 \phi - 2 \cos^4 \phi - 6 \cos^2 \phi + 2 \cos \phi + 2 \phi \sin \phi \cos^2 \phi] \\ \left. + 4 \phi \sin \phi \cos \phi - 2 \sin^2 \phi \cos^2 \phi - 3 \phi^2 \cos \phi - \sin^2 \phi \cos \phi \right]}{\dots\dots\dots(39)}$$

上記の諸式へ巽に單鉸拱の撓度實驗に於て等布荷重を滿載せし場合に得たる下表の結果より、

載荷種別	等布荷重 (瓩/橋長米)	拱頂の全撓度 n_0 (瓩)	橋臺の相互變位 ΔI (瓩)	$\frac{1}{2}$ (橋臺相互變位) 拱頂の全撓度
I	309.92	0.30	0.173	0.288
II	566.71	0.55	0.342	0.311
III	796.93	0.77	0.499	0.324
				平均 0.308

單鉸拱の振動に對しても

$$\frac{\Delta I}{2} : n_0 = 0.308$$

なる關係を代入して其値を求め (34) 式分母子の積分値を算出すれば振動數 n' は

$$n' = \frac{1945.32}{\sqrt{5306.7 + 22386\rho}} \dots\dots\dots(40)$$

なる式を得。之を計算すれば次の如し。(附圖第二参照)

ρ	0	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
n'	26.8	26.2	25.7	24.8	23.9	23.2	22.4

C. 突桁として計算せる振動數 突桁として計算せる振動は (31) 式

$$n'' = \frac{\sqrt{g} \sqrt{\frac{E\pi^2 J_s}{4} \left(1 + \frac{\alpha}{3}\right) - \frac{HS^2}{2}}}{4S^2 \sqrt{(0.22676 + 0.15748\rho)\rho F_s + 0.22676\rho}}$$

に由て求められる、本式中水平推力 H は死荷重、活荷重に由るものにして

$$H = X_d + X_p$$

X_d = 死荷重に由る水平推力 X_p = 活荷重に由る水平推力

a) 死荷重に由る水平推力 X_d は

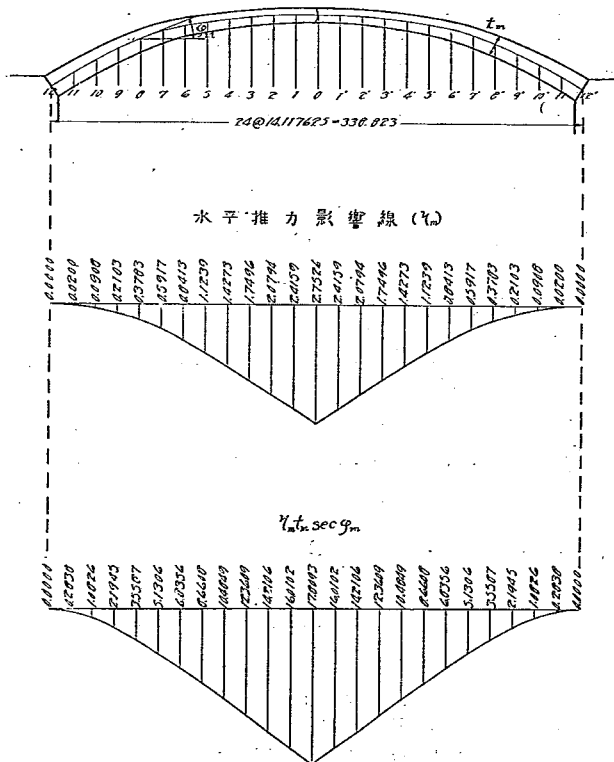
$$X_d = \sum \rho l \sec \phi \eta \lambda$$

にて與へらる。本式中

ρ =拱單位體積の重量, t =拱の厚さ

η =水平推力影響線の縱距, λ =格點距離

實驗用單鉸拱に就き、(附圖第一參照) 水平推力 H の影響線を計算し (第十圖) 之より X_d を計算すれば



第 十 圖

格 点	水平推力影響線 η	拱厚 t (cm)	$\cos \varphi$	$t \sec \varphi$	$\eta t \sec \varphi$
12	0.0000	14.12	0.787	17.941	0.0000
11	0.0200	11.92	0.840	14.190	0.2838
10	0.0908	10.54	0.884	11.923	1.0826
9	0.2103	9.59	0.919	10.435	2.1945
8	0.3783	8.89	0.945	9.407	3.5587
7	0.5917	8.35	0.963	8.671	5.1306
6	0.8413	7.93	0.976	8.125	6.8355
5	1.1239	7.59	0.985	7.706	8.6608
4	1.4273	7.28	0.991	7.346	10.4849
3	1.7496	7.03	0.995	7.065	12.3609
2	2.0794	6.82	0.998	6.834	14.2106
1	2.4159	6.62	0.999	6.627	16.0102
0	2.7526	6.47	1.000	6.47	17.8093

$$2(12+11+\dots\dots\dots+2+1)+0=179.4357$$

且 $\rho=0.00236 \text{ kg/cm}^3$ $\lambda=14.117 \text{ cm}$

$$X_d = \sum \rho t \sec \varphi \eta \lambda = 179.44 \times 0.00236 \times 14.117 = 5.9519 \text{ kg}$$

b) 活荷重に由る水平推力 X_p は

$$X_p = \frac{\rho l^2}{8f} \frac{1}{1+\mu}$$

にて與へらる。(土木學會誌第十五卷第十一號八〇七頁参照)

本式中 $\mu = \frac{5}{2(1+5n)} \left(\frac{ds}{f} \right)^2 = 0.0286$

$$n = \frac{f_s}{f_k \cos \varphi_k} = 0.13, \quad ds = 6.47 \text{ cm}, \quad f = 47.06 \text{ cm} \quad l = 3.388 \text{ m}$$

なれば $X_p = 296.4p$ $p = (\text{kg/cm}^2)$

故に $H = 5.9519 + 296.4p \text{ kg}$

尙 $E = 225,000 \text{ kg/cm}^2$ $J_s = 22.57 \text{ cm}^4$ $F_s = 6.47 \text{ cm}^2$
 $\alpha = 9.39420$ $\beta = 1.18238$ $S = 177.3586 \text{ cm}$

を振動数算定公式 (31) に代入すれば

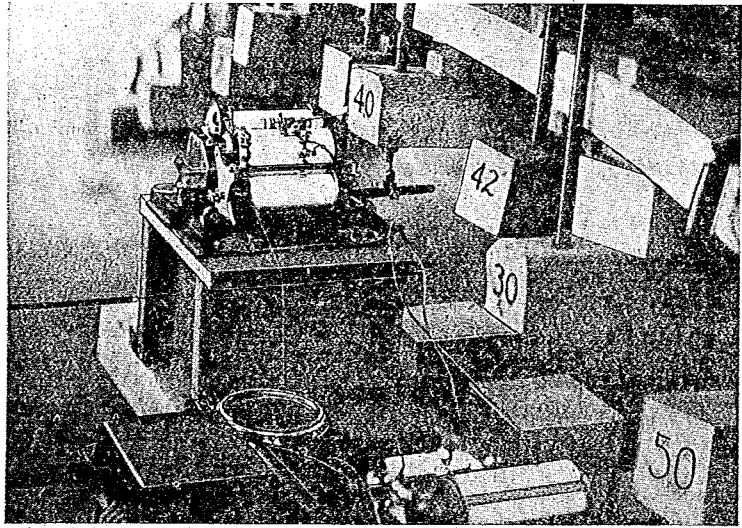
$$n'' = 0.2489 \frac{\sqrt{51.673 - 4.6618p}}{\sqrt{0.0063059 + 0.22676p}}$$

なる式を得。 n'' と p との関係は次の如し。(附圖第二参照)

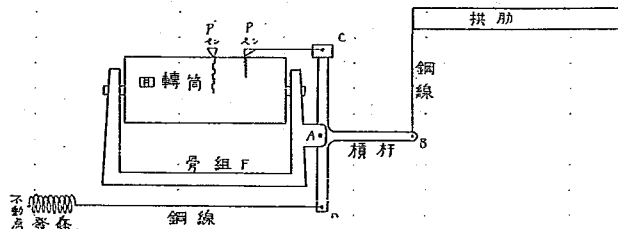
p	0	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
n''	22.5	19.3	17.13	14.4	12.65	11.4	10.45

6. 振動數の測定

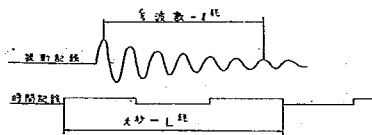
振動數の測定には田邊式撓度振動計を用ひたり。田邊式撓度振動計の構造、取付は第十一圖及び第十二圖に示すが如し。第十二圖に於て骨組は完全に固定せられ、回轉筒は骨組上に在りスプリング仕掛けにて回轉す。ペン P' は時間を記録す。横杆は A 點にて骨組に取付けらる。横杆は T 形をなし、B 點よりは鋼線によりて拱肋に取付く。D 點よりは鋼線、スプリングを以て不動點に取付く、C 點よりペン P を出す。今拱肋が上下に振動するとせば、D 點はスプリングにて不動點に引張らるゝを以て B 點は拱肋と共に上下に



第十一圖



第十二圖



第 十 三 圖

振動す。A 點は固定せらるゝを以て、C 點は拱肋の上下に振動するにつれ左右に振動し、ペン P は此の振動を回轉筒上に記録す。

回轉筒上の記録より振動數を決定するには第十三圖に於て

L = 記録紙上 x 秒時の長, l = 記録紙上 ξ 波數の長

とすれば、振動數 n は
$$n = \frac{\xi L}{l l}$$

より求めらる。

式中 ξ, x, L, l は記録紙上より、コンパレーター又は蠅眼鏡にて讀むものとす。

實驗の結果より無載荷の場合、 $p=0.0380 \text{ kg/cm}^2$ の場合、及 $p=0.0711 \text{ kg/cm}^2$ の場合に対する振動數を計算すれば、次の如し。

I 無載荷の場合

記録 番號	ξ	$l(\text{mm})$	t	$L(\text{mm})$	$n = \frac{\xi L}{l t}$	記録 番號	ξ	$l(\text{mm})$	t	$L(\text{mm})$	$n = \frac{\xi L}{l t}$
1	6	13.5	1.5	6.15	18.2	6	3	4.4	1.0	35.97	24.4
2	6	13.2	1.0	4.05	18.4	7	3	3.97	1.0	30.24	22.9
3	6	10.9	1.5	5.20	19.1	8	3	4.52	1.0	34.27	22.6
4	6	10.0	1.0	3.08	18.5	9	4	7.18	1.0	41.23	22.9
5	6	9.8	1.0	2.95	18.1	10	4	7.07	1.0	42.78	24.2
平 均											20.9

II の場合 ($p=0.0380 \text{ kg/cm}^2$)

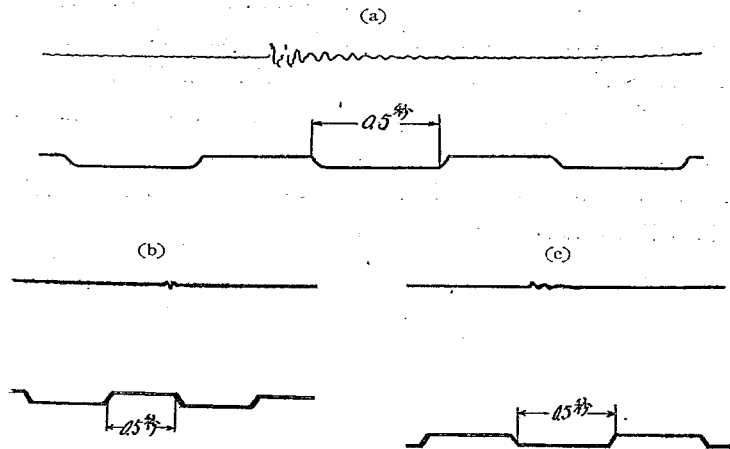
記録 番號	ξ	$l(\text{mm})$	t	$L(\text{mm})$	$n = \frac{\xi L}{l t}$	記録 番號	ξ	$l(\text{mm})$	t	$L(\text{mm})$	$n = \frac{\xi L}{l t}$
11	3	2.80	1	23.2	16.6	21	1	2.15	1	35.8	16.7
12	3	2.90	1	24.3	16.8	22	3	6.40	1	38.5	18.0
13	3	3.15	1	26.0	16.5	23	1	2.20	1	38.0	17.3
14	3	3.20	1	26.5	16.6	24	1	2.10	1	36.5	17.4
15	3	3.30	1	26.5	16.1	25	2	4.20	1	37.0	17.6
16	3	3.05	1	25.0	16.4	26	1	2.20	1	38.0	17.3
17	2	2.00	1	22.4	22.4	27	1	2.00	1	37.2	18.6
18	2	2.40	1	27.0	22.5	28	2	4.60	1	38.0	16.5
19	2	2.40	1	26.6	22.2	29	1	2.40	1	37.5	15.6
20	2	2.35	1	26.6	18.7	30	1	2.30	1	36.5	15.9
平 均											17.8

III の場合 ($\rho=0.0711 \text{ kg/cm}^2$)

記録 番號	ξ	$l \text{ (mm)}$	t	$L \text{ (mm)}$	$n = \frac{\xi L}{l x}$	記録 番號	ξ	$l \text{ (mm)}$	t	$L \text{ (mm)}$	$n = \frac{\xi L}{l x}$
31	4	8.18	1	32.2	15.8	41	4	8.00	1	32.0	16.0
32	4	8.05	1	30.4	15.1	42	4	8.10	1	32.7	16.2
33	4	7.60	1	31.5	16.6	43	4	8.00	1	33.0	16.5
34	4	8.00	1	31.0	15.5	44	4	7.85	1	32.5	16.6
35	4	7.90	1	30.5	15.5	45	4	8.00	1	33.0	16.5
36	4	7.80	1	31.0	15.9	46	4	7.80	1	32.0	16.4
37	4	8.00	1	31.0	15.5	47	4	7.85	1	32.0	16.3
38	4	8.00	1	31.5	15.8	48	4	7.90	1	31.5	16.0
39	4	8.00	1	32.5	16.3	49	3	5.60	1	30.8	16.5
40	4	8.80	1	33.5	15.3	50	4	8.00	1	32.5	16.3
平 均											16.0

之等の結果より見る時は、單鉸拱の振動は荷重と共に減ず。(圖表参照)

又 I, II, III の場合に對する記録を參考として揚ぐれば第十四圖の如し。同圖 a は I の場合、b は II の場合、c は III の場合の記録を示す。



第 十 四 圖

第 三 章 結 論

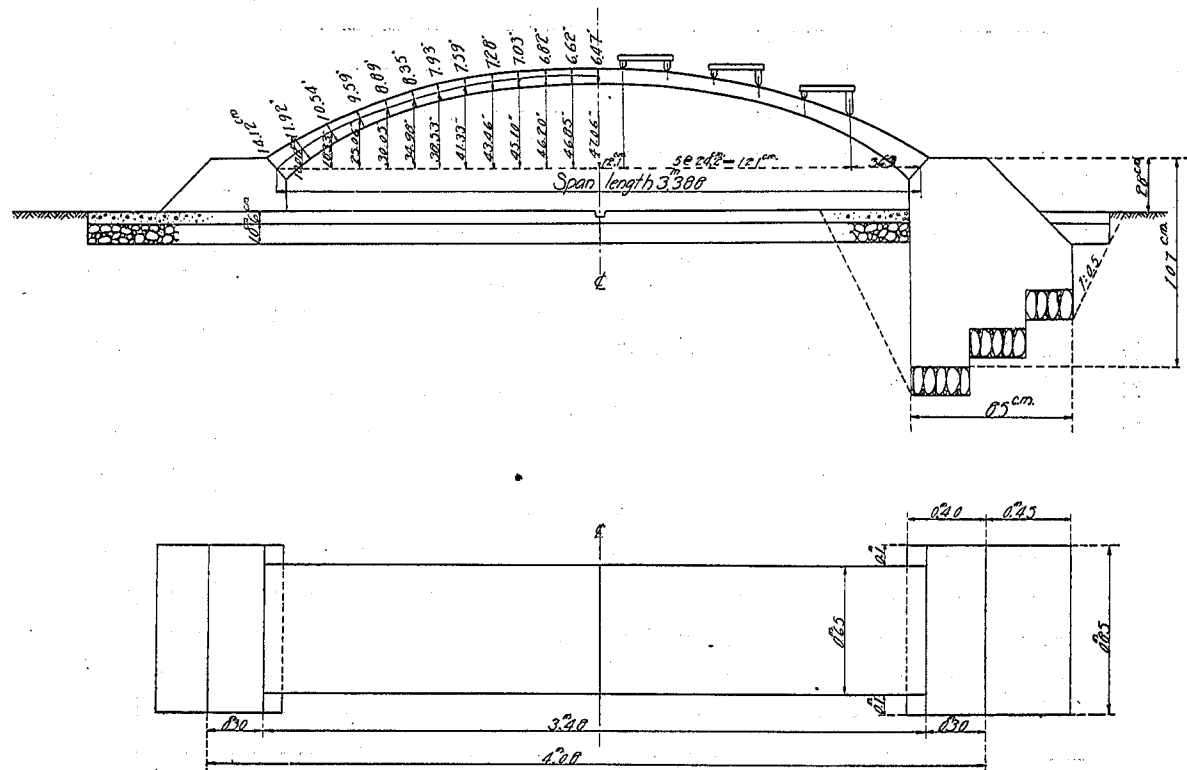
第一章第 1 節に於ては橋臺不動、2 節に於ては橋臺が水平變位をなすものとして振動數算定公式を導きしが、共に鉸を完全なる理想的蝶交（彎曲力率は完全に傳へず、剪力は完全に傳へ、常に接觸を保つ）と假定したり。然れども實際の單鉸拱にあつては鉸は完全なる蝶交に非ざるを以て、斯かる假定の元に導かれたる公式に由りて計算せる振動數が、果して實際の場合に適合するや否やは、一に實驗に俟たざるべからず、本實驗の目的も茲に存す。

單鉸拱を完全なる理想的蝶交を有するものとし、(26) 式に由りて計算せる振動數と實驗に由りて求められし振動數とを比較する時は荷重の加はるに從て振動數の減する傾向は一致するも、振動數は計算に由る方幾分大なるを見る。之、實際の單鉸拱にあつては鉸は理想的蝶交に非ざる事、又振動中橋臺が幾分の回轉をなす事等に基因するものにして、敢て (20) 式及び (26) 式の合理性を否定する程度のものに非ず。

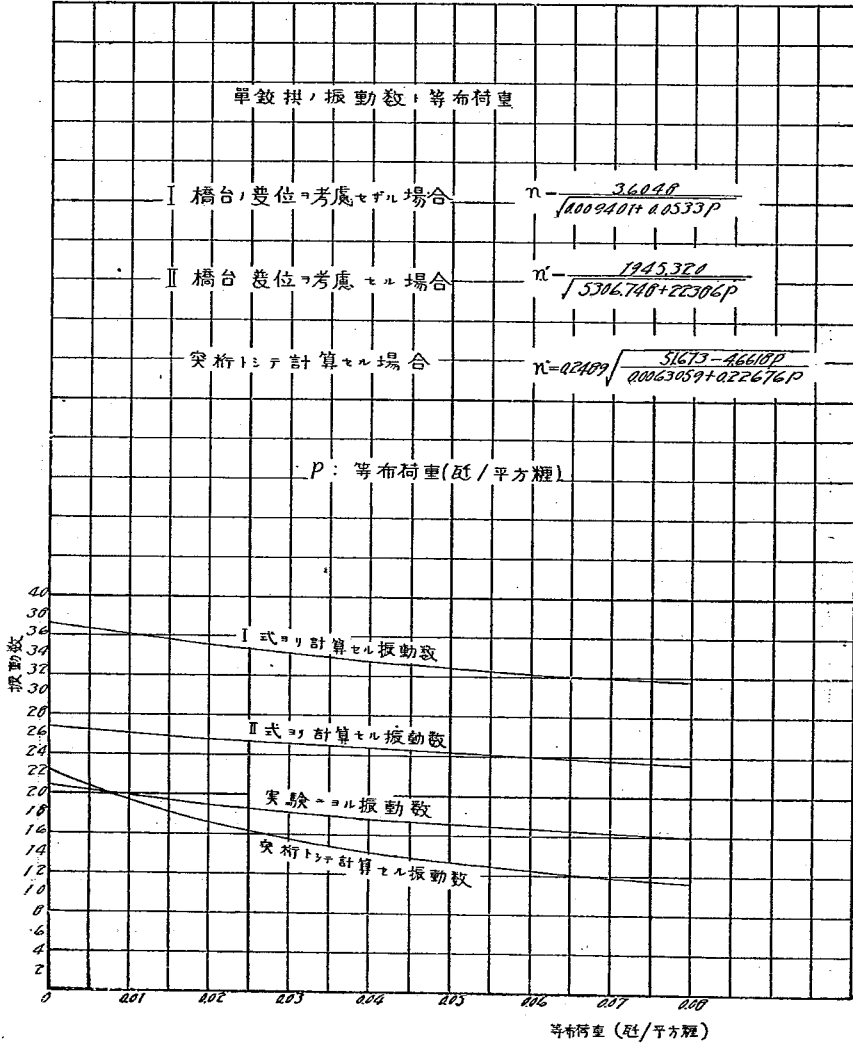
又第一章 3 節に於ては突桁として振動數を算定する公式を導きしが、同式に由りて計算せる振動數と實驗に由りて求めし振動數とを比較する時は、荷重の小なる間は實に良く一致せるを見る。之、荷重の小なる間の單鉸拱の振動は鉸點の密接せざるために寧ろ突桁の振動に近似するを知る。荷重の加はるに從て突桁として計算せる振動數が實驗の結果より求めし振動數に比し次第に減小せるは水平推力のために鉸點に於ける非密接が除かれ、次第に單鉸拱としての振動に近づくがためなり。

單鉸拱に關する斯る研究、實驗は未だ何人も爲さざるところにして、本實驗は單鉸拱振動に關する性態の一部を明かにせるものなり。

附圖第一 模型單鉸拱橋



附圖 第二



混凝土鋪装の繼目に關する試験

内務技師 山 田 元

内務技手 船 山 晴 雄

I. 緒 言

混凝土鋪装の繼目は、車輛及路面に種々の悪影響を與ふるが故に、嘗ては其無用論さへ稱へられたのであるが、現今に於ては其必要缺く可からざるものなることは一般に容認さるゝ所であり、多數の工法が案出されて居る。併し其何れの工法に據るも依然として混凝土鋪装の一大弱點たることは否むべからざる事實である。而して此の缺點は、鐵輪帶の交通繁劇なる状態に於てはゴム輪帶のみの場合に比し、一層擴大されるのである。故に本邦現時の地方道の混凝土鋪装に對し、其繼目の構造及配置を的確ならしむることは、其路面の效用を全からしめ且築造及維持の費用を低減する上に於て極めて重要である。而して之等構造及配置は互に相連關せる問題であり、併も之が適否を判定せむが爲には、繼目設置の本來の目的に對する機能と、鋪装の一部分としての性能との二方面より考察しなければならない。故に實際的解決としては、先第一に設置の目的に適するが如き構造を有するもの、内より鋪装の一部分として最も適當なるものを選び、然る後其機能及環境に應ずる配置距離を合理的に算定するを便とする。然るに混凝土鋪装に繼目を設置する目的は、既に周知の如く、混凝土が凝結、硬化及溫度、含水量の變化等の爲に其體積を變化せむとする性質を有すること、鋪装と路床との間に摩擦力の生ずること、及新舊混凝土の繼目は他部に比して抗張力弱きこと等の事實に基づき、鋪装の變形、變位に因る損傷を防止せむとするにある。従つて繼目の種類は、其設置の方向に據つて縱斷及横斷に二大別され、更に通常膨脹、收縮及作業の三種に分たれる。併し其目的とする機能は、縱斷繼目に於て特に上下の歪曲に備ふる外、膨脹繼目に對しては、膨脹及收縮の兩者を、收縮及作業の兩繼目に對しては收縮のみを許容すれば足りるのである。故に繼目の構造が其目的たる機能を満たし得るや否やは比較的容易に判定し得る問題にして實驗的資料に俟たざる可からざるものは唯膨脹繼目に使用する填充材の性能のみである。

第二に繼目に鋪装の一部として適當なる構造を有する爲には、次の諸條件を具備する必要がある。

- (1) 正規の路面に比し磨損著しく大ならざること
- (2) 交通に對し他の部分に比し著しき異調を起さざること
- (3) 防水的なること
- (4) 荷重の分布を妨げざること
- (5) 荷重に由り其兩側が各單獨に變形せざること
- (6) 正規の部分に比し強度低下せざること
- (7) 鋪装全部を縁端と同強度とする場合に比し工費低廉なること
- (8) 施工簡易にして且鋪装施工に支障を與へざること
- (9) 維持修繕容易にして且其費用低廉なること

上記諸點中(1)はゴム輪帶のみの交通に對しては敢て問題とするに足りないが、鐵輪帶の交通頻繁なる道路に於ては(2)以下の諸點に影響し、構造の適否に對し至大の影響がある。然るに(4)、(5)等に関しては從來の資料に據つて大様を察知し得るも、本問題に對しては、問題の性質上簡易なる室内的實驗に據り得ない爲に資料に乏しく、併も鐵輪帶に對して特に深く考慮されて居るとは認め難い。従つて本邦地方道に於ける混凝土鋪装の繼目の構造に關しては先づ其鐵輪帶に因る磨損を試験し、之に(2)以下の點に對する考慮を加へて其適否を決すべきである。

第三は、一定構造を有する繼目の配置距離を合理的に算出せむが爲には施行時季及地況等の特定條件の外(一)混凝土の強度、(二)混凝土の容積と温度及含水量との關係、(三)鋪装と路床との間の摩擦係數等を知る必要があり、更に膨脹繼目に對しては特に(四)繼目填充材の性能を知る必要がある。然るに(一)、(二)及(三)等に関しては從來相當の實驗的資料があり實用上支障ないが繼目填充材の性能に關しては信頼するに足る資料尠く、特に最近續出せる本邦製品に對して然りである。

本報告は上記の點に鑑み、鐵輪帶を用ひて、形狀及構造を異にせる各種の繼目に對し、磨損其他の影響を實驗測定し、且數種の繼目填充材に對して、彈性其他の性質を明にし、之等の結果に基き、本邦地方道に於ける混凝土鋪装の繼目に對し、適當なる構造の選擇及配置距離の合理的算定に要する基礎的資料を供せむとするものである。

II. 継目構造の鐵輪帶に據る比較試験

1. 試験概要

混凝土鋪装の継目附近に於ける鐵輪帶の作用は極めて複雑にして、小規模の模型的設備に據つては到底其真相を穿ち難く、之を實際的經驗に徴せむとすれば長年月を俟たなければならぬ。然るに本所に常設せる甲種道路試験機は、其作用實際の車輪に酷似し、且短期間に其結果を知り得るを以て、本試験に於ては該機に鐵輪帶を附して使用した。試験せる継目は機械の構造上横斷繼目のみとし、膨脹及收縮の二種に分ち、現今實際に使用されるもの又は使用の見込あるものにつき、各其形状、鋪装混凝土の配合及骨材の種別、填充材其他の材料を異ならしめ總計 16 種を採つた。試験結果は、通過荷重を幅員 61.8 cm に對し 53,745 吨、即ち二車線道路換算平均 217,500 吨に達せしめ、継目及其影響を受けたる部分の試験前後に於ける形状の變化等を測定して定めた。

2. 試験機械

試験に使用せる甲種道路試験機は、其構造土木試験所報告第十三號に詳述せるが如く、環狀試験路面上に直徑約 1 m、荷重 1.3 吨内外の鐵車輪 8 個を電力に依り平均徑 10 m を以て廻轉走行せしむるものである。本試験に於ては、速度は本機の許容速度中通常の鐵

第一表 試験用車輪の性状

車輪 番號	車輪 作用	車輪寸法 (cm)		輪荷重 (kg)	1 廻轉 輪壓 (kg/cm)	輪帶 間隔 (cm)	路面との接觸概況	摘 要
		外側徑	輪帶幅					
1	動	102.24	7.70	1,416	184	8.00 ¹⁾	内側約 5.0 cm 接觸	輪帶間隔欄中の一符號は車輪の重複を示す 1) は路面外縁より No. 1 車輪の外側迄の距離 2) は No. 8 車輪の内側より路面内縁迄の距離とす
2	〃	102.08	7.78	1,426	183	0.02	〃 4.5 cm 〃	
3	從	98.98	7.62	1,344	176	0.18	〃 4.5 cm 〃	
4	〃	98.58	7.70	1,348	175	2.10	殆んど全幅にて接觸	
5	動	95.73	7.62	1,357	178	-1.92	内側約 4.5 cm 接觸	
6	〃	95.57	7.70	1,258	163	0.40	〃 4.0 cm 〃	
7	從	91.12	7.70	1,244	162	-1.10	〃 4.0 cm 〃	
8	〃	91.12	7.70	1,303	169	0.60	〃 4.5 cm 〃	
						6.40 ²⁾		

輪帯の速度に最も近き 3 哩/時 とし、8 個の車輪中 No. 1, No. 2, No. 5 及 No. 6 (番號数字は外側よりの車輪の順序を示す) の 4 個を働輪とし、残る No. 3, No. 4, No. 7 及 No. 8 の 4 個を従輪たらしめた。車輪の主要寸法及重量等は第一表に示すが如くである。

一種幅輪壓は、假りに荷重が全輪幅に均等に分布すると看做し得る場合に於ても 170kg 乃至 188 kg にして、尙道路構造令の標準 120 kg/cm 又は現在に於ける通常の鐵輪帯の一種幅輪壓の最大値 115 kg に比して遙に大であり、且實際に於ては荷重は多く輪帯内側の一部分に分布するのみなるを以て、其路面に及ぼす破壊力は實際の道路に於けるより遙に擴大さるゝ筈である。

3. 材 料 の 性 質

本試験に作用せる材料中試験結果に直接の影響あるものゝ性質は次の如くである。此の内骨材は土木試験所報告第十八號に記載せるものと同種なるを以て詳細は茲に反復せず、又填充材の性質に關しては III の填充材性能試験中に詳述して居る。

セメント は其物理的竝に化學的性質は充分標準規格に合格せるものにして強度は第二表に示すが如くである。

第 二 表 セメント強度試験成績表

潛壓強度 (1:3 モルタル)				抗張強度 (1:3 モルタル)				發 生 温 度 °C				
水量 %	強度 (kg/cm ²)			水量 %	強度 (kg/cm ²)			成型日	濕氣箱	浸 水 池		
	3 日	7 日	28日		3 日	7 日	28日			3 日	7 日	28日
7.0	257	384	513	6.6	25.26	29.47	34.25	24.0	24.0 ~ 23.5	21.0 ~ 20.5	21.0 ~ 20.5	25.5 ~ 20.5

砂 は東京府下岩淵町地先荒川産のもの、暗灰色を帯び主として 30 番乃至 100 番のもの多く、一般に稜角に富み、其性状大要第三表に示すが如し。

砂利 は東京府下北多摩郡福生村地先多摩川産にして 1 吋乃至 4 番のもの多く、其性状大要第三表に示すが如し。

碎石 は山梨縣東山梨郡岡部村石和産復輝石安山岩をジョー式碎石機を以て破碎せるものにして、其實一般に新鮮にして略立方形に近く、3/4" 乃至 3/8" のもの多く、其性状大要第三表に示すが如し。

第三表 骨材試験成績表

名 稱	砂	砂 利	安山岩碎石	摘 要
比 重	2.67	2.65	2.73	
單 位 重 量 (kg/m ³)	1515	1754	1580	標準方法に 依る
空 隙 率 (%)	43.2	33.7	42.1	
磨 損 率 (%)			3.9	
修正法による磨損率 (%)		4.8	6.7	
靱 性			14	
粒 度 率	1.71	6.83	7.09	
主 要 粒 度 (%)	30番～50番 50.18	1"～3/4" 18.9	14.3	
		3/4"～3/8" 49.0	81.3	
	50番～100番 38.49	3/8"～4番 28.3	4.3	

填充材に使用せるアスファルト は公稱針度 90° のものにして第十表中の 90° のもの。

エラストイト は第十二表中 No. 1 にして、其他の填充材料は III に記載せるものである。

4. 試 験 路 面

試験路面は、内外二列の鉄筋混凝土側壁内に 1½" 以下の砂利を厚約 1 m 填充搗き固めて路床とし、幅員 76.2 cm, 中心線直徑 10.58 m の環狀に鋪設せられ、中心線周長 31.6m, 面積 24.08 m² である。而して全幅員中兩側及輪帶間隙を控除すれば、車輪の通過する純幅員は約 61.8 cm である。舗装は、表層 6 cm, 基層 10 cm 計 16 cm の厚とし、撒水湿润ならしめたる路床上に配合 1:7 の砂利混凝土の基層を施行せる後成る可く速に、遅くも 1 時間以内に表層を施工した。表層は配合 1:4 の砂利混凝土を原則とし、配合及粗骨材に據る比較を行はむが爲に配合 1:2 の砂利或は碎石を粗骨材とせる膠石二種及碎石を粗骨材とせる 1:4 混凝土を一部に使用した。1:4 混凝土はランサム 4S 型混合機 (回轉數毎分 20 回) を用ひ諸材料填入後 1.5 分間混合し、機械に故障を生じたる時及 1:2 膠石は手練として一回容積約 0.1 m³ を鐵板上に於て約 240 回切返へ混合し、凝結開始前の基層上に敷均し、重量約 11 kg, 方形底面積 110 cm² の手動撞固器を以て充分撞き固め、徑 30.5 cm 長 30.5 cm 重量約 73 kg の鑄鐵製手動ローラーを以て反復輾壓し、鐵鍬を以て仕上げ均したる後濕砂厚約 5 cm を以て掩ひ、約二週間日々二回撒水養生せしめた。使用混凝土の性質を一括すれば第四表の如し。

第四表 混凝土及膠石耐壓試驗成績表

1. 供試體 徑 10.2 cm 高 20.3 cm 面積 81.7 cm² 體積 1,659 cm³
2. 養生 濕砂中に放置
3. 採取箇所欄数字は縦目番號にして第二圖に示す。

種 別	配 合	骨 材 粒度率	練方	採取 箇所	スランプ (cm)	水	材 齢 7 日		材 齢 28 日		摘 要
						セメント (%)	密度	耐圧強度 (kg/cm ²)	密度	耐圧強度 (kg/cm ²)	
砂 利 混凝土	1:4 (1:1.7:3.3)	5.24	手練	2	0	45	2.36	166	2.35	286	1) 製作 不良
			機械練	5	2.0	45	2.40	196	2.36	379	
				6, 7	4.2	45	2.37	193	2.30	267 ¹⁾	
砂 膠 石	1:2	6.83	手練	12	0.6	30	2.45	346	2.41	395	1) 製作 不良
				,,	,,	2.45	330	2.45	421		
						339			408		
碎 石 膠	1:2	7.09	手練	13	0.2	30	2.44	306	2.39	364	1) 製作 不良
				,,	,,	2.39	242 ¹⁾	2.39	422		
						274			393		
碎 石 混凝土	1:4 (1:1.7:3.4)	5.30	機械練	14	0	45	2.40	206	2.38	334	
				,,	,,	2.40	202	2.39	389		
						204			362		

1) 製作不良

1) 製作不良

第五表 縦目附近の鋪裝材の強度

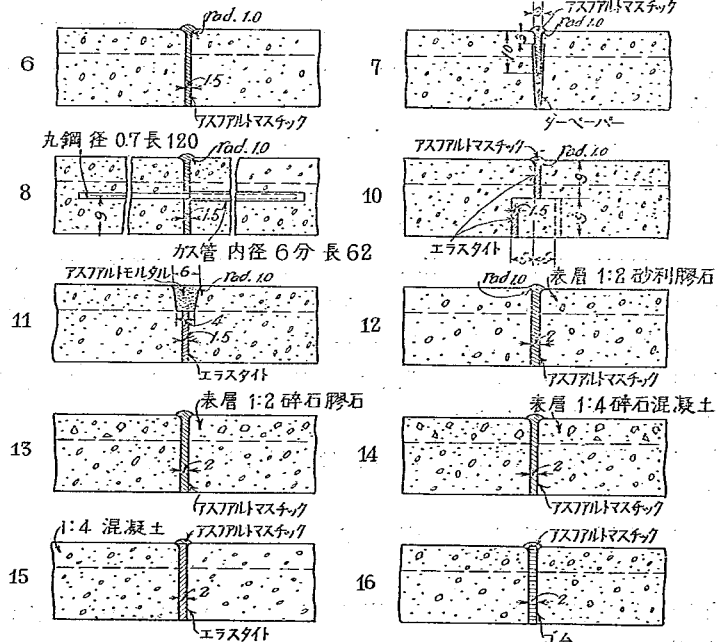
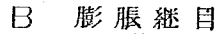
表に明なるが如く

16 種の縦目全部に亘つて混凝土の性質を明にするを得なかつたが、縦目を構成する混凝土の性質殊に其強度は、縦目構造の適否の比較に至大の影響があるから上表に據つて縦目全部に亘る耐壓強度を推定すれば第五表の如くである。

縦目番號	耐 壓 強 度 28 日 (kg/cm ²)	縦目 2 の手練 混凝土に對する %	摘 要
1	286	100	推 定
2	286	100	實 測
3	379	138	推 定
4	379	133	"
5	379	133	實 測
6	379	133	推 定
7	379	133	"
8	379	133	"
9	379	133	"
10	286	100	"
11	286	100	"
12	408	143	實 測
13	393	138	"
14	362	126	"
15	379	133	推 定
16	286	100	"

表層1:4 混凝土

軟鋼板厚 0.15



第一圖 繼日構造圖

(7)

5. 継目の構造及配置

現今に於て混凝土舗装に使用せらるゝ継目の構造は極めて多種多様であるが、本試験に於ては、路面の延長僅に 31.6 m に過ぎざるを以て、一區畫の床板の過少となるを惧れ、收縮継目 6 種膨脹継目 10 種計 16 種に止めた。其構造は第一圖の如く配置は第二圖の如くである。

継目 1 は軟鋼板の片面にグリースを塗布し兩側を同時に施工したが運轉開始前既に鋼板上部所期の所に略直線に毛細龜裂を生じた。

継目 2 は 1 同様に施工したが運轉開始後始めて毛細龜裂を生じた。

継目 3 は所謂交互施工法、(Alternate Bay System) に據れるものにして継目 3 と継目 4 との間は其前後の部分より一日遅れて施工した。下半部の他床版中に突入せる長さは試験路面全幅の $\frac{1}{2}$ である。継目兩側は特に丸みを附せず圖の如く平面に仕上げた。

継目 4 は其兩側床版間に特に連繫を設けず單に表面に付した圓弧の影響を明にせむとするものである。

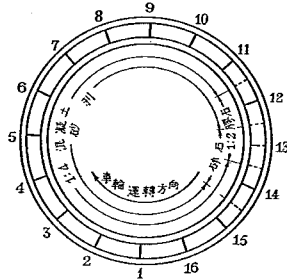
継目 5 は所謂 Dummy Joint の一種であつて丁字形の本型の下面にグリースを塗布したるものを埋め込み仕上げ翌日之を除去し其後約二週間を経て表面乾燥せる時 アスハルト・モルタルを填充した。アスハルト・モルタルは公稱針度 90° のアスハルト 10%, 石粉 20%, 砂 70% とし前述の撞固器及ローラーによつて填充した。

継目 6 はアスハルト・マシチックを填充せる膨脹継目の最も一般的のものであり既成填充材を使用する膨脹継目と比較せむとするものである。

継目 7 は現場注入の膨脹継目の通弊たる填充材の漏逸を防止する爲に考案せられたる一例である。

継目 8 は膨脹継目の連繫用として一般に使用さるゝ連繫鐵筋の効果を明にせしむるものである。

継目 9 は中央凹所の幅を擴大すれば膨脹継目に用ひ得るものにして、鋼板と混凝土との境界に於ける磨損状況を明にせむとするものである。



第二圖 継目配置圖

継目 10 は交互施工法に據る膨脹継目にして継目 3 と同様の工法にして唯間隙にエラストイトを填充して舗装体の膨脹収縮に備へたものである。

継目 11 は膨脹継目上部間隙の幅員の大きさの影響を知らむとするものにして上部に填充せるアスハルト・モルタルは継目 5 と同種である。

継目 12 は継目 6 の間隙を 5 mm 拡大し、上層材料に砂利礫石を使用し、継目 6, 7, 13, 14 及 15 等と比較對照せむとするものである。

継目 13, 14 は上層材料を第一圖記載の如くして舗装材の影響を知らむとするもの、継目 15 及 16 は間隙填充材を異ならしめて其舗装面に及ぼす影響を比較せんとするものである。エラストイトを填充するには頭部約 1 cm を舗装面上に突出せしめ之を輪帯にて壓縮せしめて車輪の衝撃作用を緩和せしむるのが一般の工法であるが茲には継目の影響を擴大せむが爲に殊更に突出せしめなかつた。

6. 試験の結果

試験機運轉は路面完工後 42 日を経たる六月十三日より開始し、日々 2 至乃 5 時間行ひ中途支障の爲休止せる後七月二十日再開合計 30 時間に達して八月三日終了した。速度は 3 哩/時 (8 個の車輪の略平均値) とし、車輪 No. 1, No. 2 及之と直交軸を有する車輪 No. 5, No. 6 とを働輪、残る No. 3, No. 4, No. 7 及 No. 8 を従輪とし、運轉中は毎日二回清掃して試験中に生じた磨耗材の影響を除去するに努め且乾燥状態を保たしめた。

第 六 表 通過荷重表

1. 一周所要時間 21.5 秒、總回轉數 5,023 回トス。

車輪番號	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	計
一輪 荷重 (kg)	1,416	1,426	1,344	1,348	1,357	1,258	1,244	1,303	10,696
通過 荷重 (噸)	7,110	7,170	6,750	6,775	6,820	6,320	6,250	6,550	53,745
相當交通量 (噸)	231,000	230,500	221,500	220,000	224,000	205,000	203,000	212,500	217,500

本機は上述 3 哩/時 の速度に於ては約 21.5 秒を以て路面を一周するから各車輪の一継目通過する度数は約 5,023 回であり従つて通過荷重は第六表の如くである。而して路幅中交通最密なる部分 30 cm の荷重は全通過荷重の 12% にして且該 30 cm 間は密度均等

と假定して全荷重を算定すれば此の値は略々通常の二車線地方道の全交通量に近い。本試験に於ては之を相當交通量と假稱し、夫々の車輪對する値を第六表に示した。

運轉開始後 11 時間 20 分即ち平均相當交通量 82,000 延に達せる頃繼目 11, 12, 13 及 16 等に於て第四圖其二に示すが如く約 1.2 乃至 2.7 cm の路面の沈下を生じ又 14 に於ては 13 に生じたる段階を落下する鐵輪の鉋撃力に因る振動の影響を受け暑熱に因つて溶融せるアスハルト・マスチック漏出せし爲豫期に反し次の事項に關しては充分なる結果を得なかつた。

1. 11 の程度に繼目表面幅を擴大する影響
2. 配合 1:2 の膠石と配合 1:4 の混凝土との比較
3. 配合 1:2 の膠石に於ける砂利と碎石との比較
4. 配合 1:4 の混凝土に於ける砂利と碎石との比較
5. ゴムとエラストイトとの比較

又繼目 1 は 16 の段階に因る鉋撃力の反動を受け路面の動搖著しき爲に破損の度大にして之を他の諸繼目と比較するは妥當でない。

以上實驗上不備の點あるものを除きたる諸繼目に對し第六表の荷重に由る繼目附近の磨損狀況を示せば卷末第三圖に示すが如くである。但し之等は同一種類の混凝土よりなるものも其強度を異にするを以て其比較に當つては第五表に示した混凝土の強度を考慮する必要がある。又繼目附近に於て其磨損最大と目せられる、部分の車輪の軌道に沿ふ縦斷面を測定し之を試験前の路面と對稱すれば第四圖の如くである。更に繼目附近に於ける磨損狀況を明にせむが爲に該部分に於ける填充材の被覆を除去して横斷面を測定し之を試験前と比較すれば第五圖の如くである。

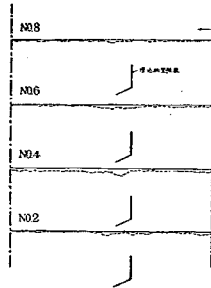
之等兩圖より磨損の程度を測定すれば第七表及第八表の如くである。

本試験に於ては繼目を形成せる鋪裝床版の大きさは實際の道路に比し甚しく小なるに對し一輪の荷重は却て 2 倍以上に達し且其密度も亦遙に大なるを以て、試験の結果は實際の結果に比し其影響を擴大誇示せる傾向あるは免れず、従つて本試験の數値を直ちに實用に供するは不可なるも、繼目構造の適否優劣は却て明確に看取し得られる。今各繼目の呈せる狀況及之等を比較して試験結果を總括すれば大要下の如くである。

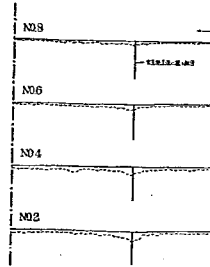
1. 繼目 1 は試験前は微細なる毛細龜裂を示すのみなりしも前後床版の連繫不充分なる爲運轉 11 時間 20 分平均相當交通量 82,000 延にして既に第四圖其二に示すが如き磨損を受け、其最大磨耗厚は第八表に示すが如く繼目影響なき部分の約八倍に達した。

第四圖 試験前後に於ける縦目附近縦断面圖 (其一)

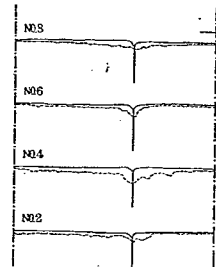
1. 縦断面は車輪軌道に平行し其内縁より 1.5 乃至 2 cm 距てたる
磨損最大と目せらるゝ部分を示す。
2. 運転時間 30 時間、二車線道路換算通行荷重約 217,500 吨。
3. No. は車輪番號を示す。



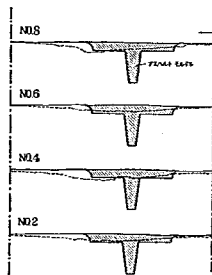
縦目 2



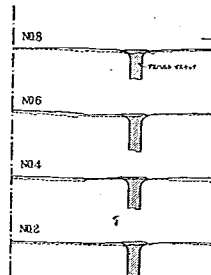
縦目 3



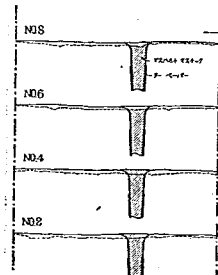
縦目 4



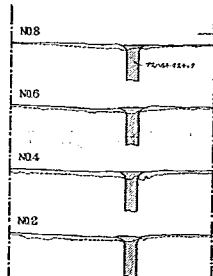
縦目 5



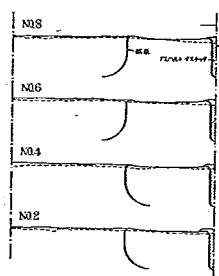
縦目 6



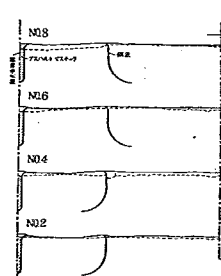
縦目 7



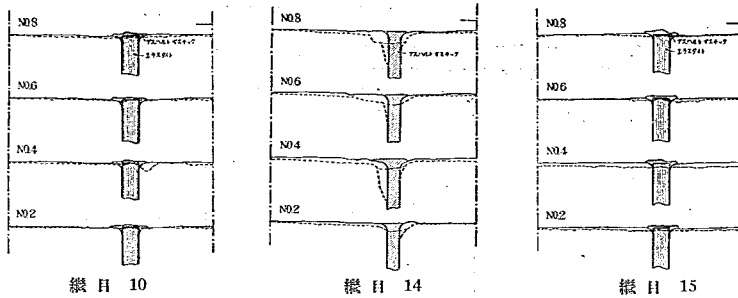
縦目 8



縦目 9 (後)

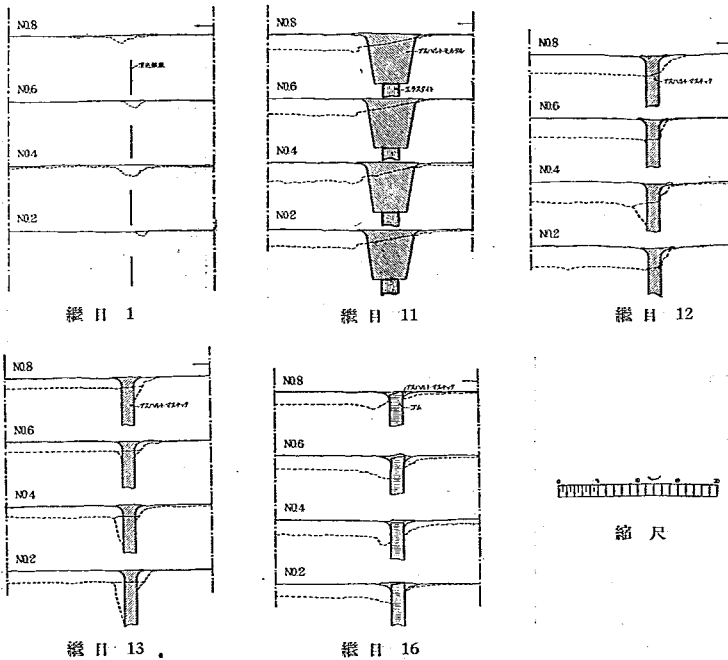


縦目 9 (前)



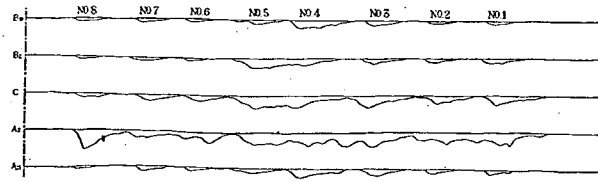
第四圖 試験前後に於ける縦目附近縦断面圖（其二）

1. 縦断面は車輪軌道に平行し其内縁より 1.5 乃至 2 cm 距てたる
磨損最大と目せらるゝ部分を示す。
2. 運轉時間 11 時間 20 分、二車線道路換算通行荷重約 82,000 吨。
3. No. は車輪番號を示す。

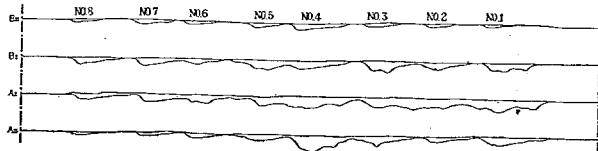


第五圖 試験前後に於ける継目附近横断面圖 (其一)

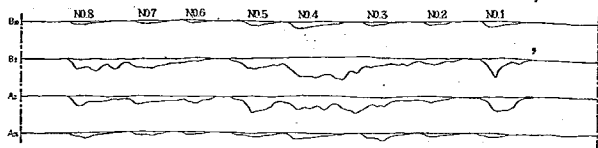
1. No. は車輪の位置を示す。
2. B は車輪の継目到達前の、C は継目の中心、A は通過後の夫々横断面を示し、右下数字は継目縁邊よりの距離 (cm) を示す。



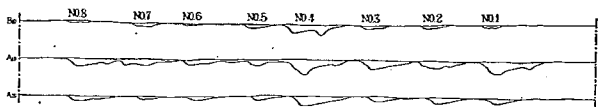
継目 2



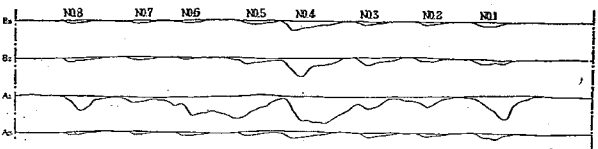
継目 3



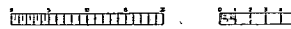
継目 4



継目 5



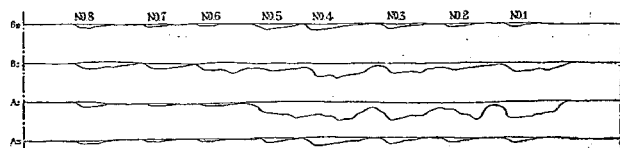
継目 6



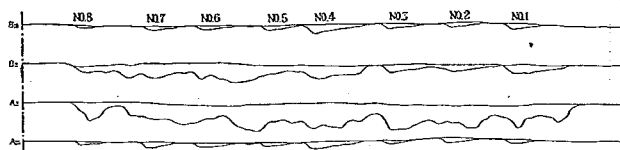
横縮尺

縦縮尺

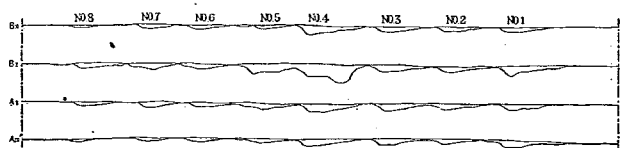
第五圖 試験前後に於ける繼目附近横断面圖 (其二)



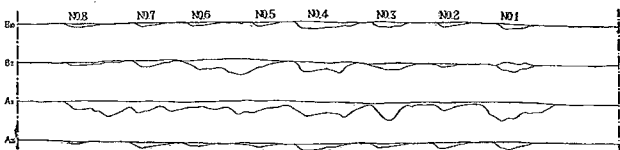
繼目 7



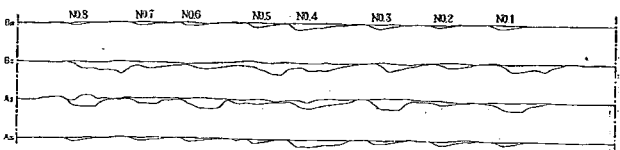
繼目 8



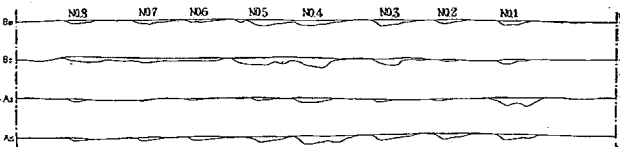
繼目 9



繼目 10



繼目 14



繼目 15

第七表 継目附近に於ける磨損の縦断的比較

1. 車輪軌道に平行し其内縁より 1.5 cm 乃至 2 cm 距てたる磨損最大と目せらるゝ部分を探る。
2. 最大磨耗厚は車輪 No. 4 の路線を探る。

継目 番 號	継 目 種 別	平 均 磨 耗 厚 (mm)			最 大 磨 耗 厚 (mm)		
		継目影響 なき部分 O	継目影響最 大なる部分 J	$\frac{J}{O}$	継目影響 なき部分 O_{max}	継目影響最 大なる部分 J_{max}	$\frac{J_{max}}{O_{max}}$
1	収 縮	1.70	9.48	5.58	1.7	14.3	8.12
2	"	1.80	5.65	3.14	3.4	9.5	2.79
3	"	2.03	8.82	4.35	2.5	10.2	4.08
4	"	1.78	11.75	6.92	2.5	17.5	7.00
5	"	1.78	9.48	5.33	3.0	11.2	3.74
6	膨 脹	1.95	4.05	2.08	4.0	4.2	1.05
7	"	2.23	5.67	2.54	3.5	6.0	1.72
8	"	1.88	6.55	3.48	3.0	9.4	3.13
9	収 縮	2.48	4.73	1.91	3.8	9.3	2.45
10	膨 脹	2.13	4.65	2.18	4.0	6.5	1.62
11	"	1.13	—	—	2.8	—	—
12	"	2.00	—	—	2.0	—	—
13	"	2.00	—	—	2.0	—	—
14	"	2.15	30.00	13.95	3.4	44.0	12.94
15	"	1.78	4.32	2.43	2.2	10.0	4.55
16	"	2.13	—	—	5.6	—	—

第八表 継目附近に於ける磨損の横断的比較

1. 継目影響なき部分は継目前縁より 10 cm 前の個所を示し、
継目影響最大なる部分は特記せざるものゝ他は継目後縁より 2 cm 後の個所を示す。

継目 番 號	継 目 種 別	平 均 磨 耗 厚 (mm)			最 大 磨 耗 厚 (mm)			摘 要
		継目影響 なき部分 O	継目影響 最大なる 部分 J	比率 $\frac{J}{O}$	継目影響 なき部分 O_{max}	継目影響 最大なる 部分 J_{max}	比率 $\frac{J_{max}}{O_{max}}$	
1	収縮	—	—	—	—	—	—	1) は継目前縁より 2 cm 前の個所とす 2) は継目後縁より 10 cm 後の個所とす
2	"	1.21	5.18	4.28	5.0	13.0	2.60	
3	"	1.16	4.44	3.83	4.2	7.5	1.79	
4	"	1.05	4.95 ¹⁾	5.22	5.0	14.8 ¹⁾	2.95	
5	"	1.00	3.05 ²⁾	3.05	6.3	9.8 ²⁾	1.56	
6	膨脹	1.05	6.54	6.27	6.3	17.5	2.80	
7	"	1.00	5.16	5.16	3.5	12.5	3.57	
8	"	1.17	10.91	9.32	5.3	17.3	3.29	
9	収縮	1.47	3.27 ¹⁾	2.22	6.5	12.0 ¹⁾	1.85	
10	膨脹	1.22	5.41	4.44	4.5	11.8	2.61	
11	"	—	—	—	—	—	—	
12	"	—	—	—	—	—	—	
13	"	—	—	—	—	—	—	
14	"	0.91	3.12 ¹⁾	3.43	4.3	8.3 ¹⁾	1.94	
15	"	1.14	1.79 ¹⁾	1.57	3.8	6.0 ¹⁾	1.60	
16	"	—	—	—	—	—	—	

2. 縦目 2 は運轉當初は殆んど認知し難き程度の毛細龜裂なりしも最大磨損深さ 13 mm に及び、其儘交通に委するは不安の感を懷かしめる、併し縦目 1、縦目 4 等に比較すれば其核刳接合の効果は充分認知し得る。

3. 縦目 3 は填充材なき收縮縦目中成績最も良好にして唯縦断面測定に於て縦目 2 に比して稍劣るのみである。此の好結果は交互施工法に基く兩側床版の連繋の充分なるが爲であらう。

4. 縦目 4 は磨損の度他の收縮縦目に比し大であるが、之は縦目前後の連繋の不充分に歸すべく、縦目角に半径 5 mm の丸みを附したる効果も之を補ふに足りない。

5. 縦目 5 は鋪装體の磨損は填充材の緩和作用に因り比較的輕微であり且概して均等である、填充材は甚しく破壊されたが之は設備の關係上輾壓の不充分な爲であらう。故に填充材の施工完全ならば其表面幅の大なることは特に憂ふるに足りない。試験終了後に於ける状態に於ては水密不完全である。

6. 縦目 6 に於ては填充材は試験完了後まで床版下に漏逸することなく常に表面磨損部を被覆せる爲表面は比較的平坦にして縦断面測定による最大磨耗厚比率第一位であり、車輪の動搖は縦目 1、2、4 等の收縮縦目等に比し却て尠い。併し磨損の度は之等に比し必しも輕微でない。水密は完全である。

7. 縦目 7 は縦目 6 と略同様にして最大磨損比率に於て稍劣るも磨耗厚及平均比率に於て勝り縦目 2 及 4 と殆んど逕庭なく車輪の動搖に對しては寧ろ優つて居る。之も水密完全である。

8. 縦目 8 の填充材は運轉中大部分は略注入當初と異らざりしが試験の終了間近に於て漏逸し始めし爲に前二者に比し稍劣り本試験の程度に於ては特に挿入鐵筋の威力を示さざるも、填充材漏洩後も甚しき變化を示さざるは鐵筋の賜であらう。マスチック漏洩後も完全に水密である。

9. 縦目 9 は成績良好にして其平均磨耗厚比率は第二位にあり、鐵板直前後も磨損大ならず、唯施工不完全なりし爲鐵板と混凝土との密着充分ならず鐵板表面に轆轤を生じ車輪に動搖を與へた。

10. 縦目 10 は成績最も良好にして速度 3 哩/時の鐵輪帶に對しても殆んど影響を與へず車輪直上の人體に其存在を感知せしめない。縦断面測定による磨耗厚比率は縦目 6 に稍劣れるが如きも本縦目の混凝土は第五表に示すが如く其強度縦目 6 の夫に比し小なる故であらう。

11. 継目 11 に於て第四圖其二に示すが如き段階を生じたるは継目頭部に填充せるアスハルト・モルタルが鋪裝體と絶縁されし爲か、兩側床版の連繫不充分なりしが爲か、或は基礎支持力の不足等に基く爲か其理由明でない。

12. 継目 12, 13 等に於て第四圖其二に示すが如く継目 11 同様の段階を生じたるは、運轉と共に填充マスチックの漏逸せる爲か基礎不充分なりし爲か明かならず、填充材の漏逸も果して注入當時に於て配合不適當となりし爲か或は間隙継目 6 等に比して 5 mm 擴大されし爲かは更に試験を重ねなければ明でない。

13. 継目 14 は運轉開始後間もなく填充材漏逸した爲継目後角は著しく磨損した、併し継目を距る 2 cm 以上の點に於て磨損比較的少いのは恐らく粗骨材に碎石を用ひた影響であらう。

14. 継目 12, 13 及 14 等は填充せるマスチックが殆んど漏逸し去つたにも拘はらず運轉の終了時に於ても尙完全に水密を保持した。

15. 継目 15 は成績極めて良好にして平均磨耗厚比率に於ては第一位を占め、最大磨耗厚比率に於ても收縮継目の最良のものと殆んど匹敵して居るが車輪に對する作用に於ては継目 10 に稍劣る。

16. 継目 16 に於て段階を生じたるは混凝土の凝結後に於ける收縮の爲填充ゴム材と床版との間に間隙を生じ、兩側床版間の連繫不充分となれる爲であらう。填充ゴム材には些も破損の徴候を見ない。

17. 継目構造の優秀なるものは速度 3 哩/時の鐵輪帶に於てさへ其存在を人體に感ぜざるを得るに對し構造不適當なるものは継目縁邊の磨削さるゝは勿論継目後約 25 cm の點に於ても尙其影響を受けるものがある。

18. 膨脹継目は收縮継目に比して間隙大であるが其惡影響は常に必しも継目間隙の廣狹に伴はず、適當なる構造の膨脹継目は不適當なる收縮継目より良結果を示す。

19. 床版が上下方向の變位に對して鞏固ならざる限り、継目兩側の連繫如何は、継目の間隙の大小、角縁の形狀、填充材の性質及鋪裝材の配合、骨材の別等に比してより大なる影響を與ふるものである。

20. 継目上部にマスチックを填充することは継目の水密を保つに必要なもののみならず車輪に與ふる衝動を緩和する上に於て極めて有利であり、ある程度まで磨損の惡影響を補ひ得る。

21. アスハルト・マスチックの配合は極めて重大なる影響を有して居る。而して一定の

配合に據つて作られたるものも注入の際周到な注意を拂はなければ其實際の配合の正確、均一を期し難い。

22. 上記 16 種中試験終了當時に於て車輪に對して與ふる衝動の最小なるは繼目 10 であつて繼目 3 も亦略之に近い。兩者共に交互施工法に據るものである。

23. 磨損の最小なるは繼目 9 にして繼目 5 之に次ぐ。併し車輪の動搖は兩者共繼目 10 に比し遙に大である。

III. 繼目填充材の性能試験

1. 試 験 概 要

混凝土鋪裝の膨脹繼目用填充材は、鋪裝の膨脹に當り其全部若くは一部を許容して鋪裝の破起 (Blow up) 又は壓挫 (Spalling) 等を防止し、其收縮に際しては擴大せる床版間隙を充分充填して將來の禍根となる他物の混入を防止する必要がある。即ち鋪裝の膨脹に對し大なる抵抗なく壓縮し、收縮に應じて原形に復する弾性を有しなくてはならない。而して繼目の配置距離を算定せむが爲には、填充材の弾性限度及變形率等を明にする必要がある。本試験は、之等の點に關し、從來填充材として一般に使用されて居る現場注入用瀝青質填充材八種、既成瀝青質填充材四種及斯種の目的に適當なりと思はるゝ瀝青質硫化護膜一種等に就き試験せるものである。

實際の道路に於ては兩端の一部を除きては左右及下方の三方向は變形自由ならざる狀況なるも、室内試験に於て之と同様の環境を得難きを以て、本試験に於ては厚約 1 cm 乃至 2 cm、面積 50 cm² を有する試験片を採り、摩擦抵抗力の外四方の變形を自由ならしめ、Amsler 型 30 噸試験機を用ひて壓縮し、其加壓中及加壓後に於ける變形量及其變化を Olsen 改良型變形測定器及 1/20 mm Vernier 測尺に據つて測定した。斯種材料の強度、變形、弾性率及弾性限度其他の性能は、測定時の溫度、載荷及経過時間等に依つて異なるを以て、一般的に其性能を知るには各種の溫度、時間に涉つて實測するを要し、殊に其變形の回復を鋪裝體に對する附着力に俟つものにあつては低溫度に於ける實驗をも要するのであるが、本試験に於ては膨脹に應ずる變形を主とし比較的高溫度の場合をとり、載荷又は経過時間に關しては實驗の影響を主とし特に必要な限り 5 分間を採つた。而して現場注入用瀝青質填充材は其變形の回復は其鋪裝體に對する附着力に俟つを以て特にモルタルに對する附着力と延性とを測定した。

2. 試験體の性狀

i. 現場注入用瀝青質填充材 は大體現今實用さるゝ範圍内の材料及配合に止め、アスハルトに石粉を混じたるアスハルト・マスチック及アスハルトに砂を混じたるアスハルト・グラウトの兩種とし、其種別、配合は第九表の如く、厚は略實用のものと等しからしむる爲に約 1 cm 乃至 2 cm とした。

第九表 注入用填充材種別

填充材 種別	使用アスハルト		填充材重量比 (%)	
	針度	重量比 (%)	石粉	砂
No. 1	90°	50	50	
No. 2	„	30	70	
No. 3	„	50		50
No. 4	„	40		60
No. 5	45°	70	30	
No. 6	„	50	50	
No. 7	„	70		30
No. 8	„	50		50

本填充材に使用せる材料の性質は次の如くである。

アスハルト 公稱針度 90 度及 45 度の二種とし其性質は第十表の如くである。

第十表 アスハルト試験成績表

試験項目	條件	試験成績	
		45°	90°
比重	25°/25°C	1.030	1.028
針度	25°C, 100g, 5sec	43	91
延性	15°C, 5 cm/min	100+a	100+a
引火點 °C	開放式	295	214
軟化點 °C		48	42.5
蒸發減 %	163°C, 50 g, 5 h	0.04	0.15
殘留物針度	25°C, 100g, 5sec	30.6	65
瀝青 %	CCl ₄	99.47	99.36

石粉及砂の性狀大要は第十一表に示すが如くである。

第 十 一 表 瀝青質填充材用砂及石粉試験成績表

名 稱	砂	石 粉
比 重	2.68	2.70
單 位 重 量 (kg/m ³)	1,574	1,308
篩 分 (%)		
通 過 殘 留		
10 番 30 番	21.6	
30 50	56.3	
50 100	20.2	
100 200	1.9	16.2
200		83.8
計	100.0	100.0

ii. 既成瀝青質填充材 は現今本邦に於てエラストイトの名を以て市販せらるゝものゝ内、米國製及本邦製各二種計四種を採る。試験片厚は約 1 cm 乃至 2 cm にして其性狀大要第十二表の如くである。表中 No. 1, No. 2 は米國品にして同一製造家の手に成り、No. 3 及 No. 4 は國產品にして製造者を異にする。

第 十 二 表 既成瀝青質填充材性質

名 稱	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
主 要 非 瀝 青 質 材 料	植物纖維 57% 鋁 屑 43%	獸毛石棉 鋁 屑 等		
瀝青混合材中の瀝青全量 (%)	86.6	77.8	81.6	69.9
瀝青混合材の軟化點 °C (環球法)	125+α	122.5	113	125+α
同 瀝 青 針 度	27	27	28	17
同 軟 化 點 °C (環球法)	110	110	115	115
吸 水 率 { 1 日	3.22	1.08	1.85	1.26
{ 7 日	5.96	3.06	5.53	1.95

iii. 既成護設填充材 は現在實用されては居ないが斯種の目的に適合せしむる爲に本邦製造家の試作せる和硫化護膜の一種にして、其成分は第十三表に示すが如し。

第十三表 既成護謨質填充材成分

成 分	含有量 (%)	成 分	含有量 (%)
生「ゴム」原料	50.0	「ラムアブラック」	5.0
亜鉛華	10.0	「パラフィンワックス」	1.0
「ポリイテング」	17.0	有機促進剤	0.75
「グアルカニズトピチューメン」	12.25	酸化防止剤	1.0
硫黄	3.0		

3. 試験結果

i. 現場注入瀝青質填充材 は通常使用されるが如き組成に於ては、其變形を回復する弾力に乏しく、其變形回復率は一に注入の際の兩側面に對する附着力に係るから、其填充材としての性質を明にするには壓縮試験の外、伸張試験を必要とする。

現場注入瀝青質填充材は通常示方の範囲内に於ても其種別頗る多いが、其性質の大要、配合の範囲等を知らむが爲に試に第九表に示す混合材八種を取つて1に概説せるが如き方法に據つて壓縮試験せる結果を示せば第十四表の如くである。

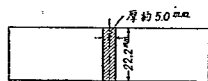
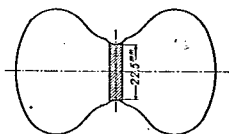
第十四表 現場注入瀝青質填充材壓縮試験成績表

- 試験片原形は面積 50 cm²、厚 0.98 乃至 1.82 cm とす。
- 荷重と直角の方向に於ける變形は摩擦抵抗力の外四方面とも自由とす。

種 別	材 料		原 厚 (cm)	單位荷重 (kg/cm ²)	變 形 率			摘 要
	アスハルト針度 重量 %	鑛 材 重量 %			注 入 順 序			
					I	II	III	
No. 1	90°	石粉	1.34	1	0.475	0.380	0.334	
			~	2	0.647	0.614	0.595	
	50	50	1.55	4.6			0.717	
No. 2	90°	石粉	1.64	1	0.214	0.146	0.121	1) 最大單位荷重 3.4 kg/cm ² 2) 最大單位荷重 6.4 kg/cm ²
			~	2	0.301	0.244	0.218	
				4	0.505 ¹⁾	0.384	0.420	
	30	70	1.74	6		0.518	0.510	
				7		0.591	0.580 ²⁾	
No. 3	90°	砂	0.98	1	0.470	0.360	0.143	
			~	2	0.520	0.480	0.246	
				4		0.620	0.390	
	50	60	1.26	6			0.460	
				8			0.550	

No. 4	90° 40	砂 60	1.30 ~ 1.68	1	0.369	0.210	0.196	1) 最大単位荷重 5 kg/cm ²
				2	0.385	0.302	0.226	
				4	0.461	0.408	0.256	
				6	0.523 ¹⁾	0.585	0.286	
				8		0.645	0.322	
				10		0.704	0.357	
				12		0.756	0.387	
				16		0.856	0.506	
				20		0.882	0.554	
No. 5	45° 70	石粉 30	1.08 ~ 1.24	1	0.463	0.377	0.435	
				2	0.648	0.438	0.483	
				4		0.623	0.580	
				6		0.702	0.653	
				8			0.741	
No. 6	45° 50	石粉 50	1.33 ~ 1.34	1	0.326	0.308	0.135	
				2	0.368	0.361	0.201	
				4	0.541	0.421	0.344	
				6	0.781	0.511	0.396	
				8		0.571	0.462	
No. 7	45° 70	砂 30	1.01 ~ 1.74	1	0.326	0.252	0.144	
				2	0.406	0.339	0.184	
				4	0.594	0.470	0.253	
				6	0.742	0.540	0.316	
				8	0.821	0.582	0.357	
No. 8	45° 50	砂 50	1.40 ~ 1.82	1	0.172	0.146	0.077	
				2	0.200	0.193	0.121	
				4	0.271	0.246	0.149	
				6	0.329	0.310	0.198	
				8	0.386	0.374	0.237	
				10	0.429	0.404	0.281	
				12	0.471	0.434	0.335	
				14	0.529	0.462	0.368	
				16	0.557	—	0.423	

伸張試験は第六圖に示すが如く、配合 1:2 (重量水比 30%) のセメント・モルタルを以てセメント抗張試験用供試體を作り、中央最小横断面積の部分に厚約 5.5 mm の空隙を設け、通常の如く約 7 日間養生せしめたる後空隙兩側面を乾燥せしめ、之に上述諸種の瀝青質材料を注入填充せしめ常溫に復せる後之を二重槓杆式抗張試験機に依つて伸張せしめ、其抗張力と變形量とを測定し第十五表の結果を得た。



第六圖 注入瀝青質填充材伸張試験片

第十五表 注入用瀝青質填充材伸張試験結果

 1. 横断面積 5 cm² 室内温度 21°C

填充材 種別	材 料		原 長 (cm)	許容荷重 (kg/cm ²)	切斷時長 (cm)	原長に對する 倍 數
	アスハルト 針度 %	鐵 材 %				
No. 1	90°	石粉	0.550	0.6	18.0	32.7
			0.570	„	18.0	31.6
	50	50	0.567	„	15.5	27.7
						30.7
No. 2	90°	石粉	0.567	2.5	0.8	1.4
			0.595	„	0.6	1.1
	30	70	0.527	„	0.8	1.5
						1.3
No. 3	90°	砂	0.550	0.6	7.0	12.7
			0.587	„	9.3	15.9
	50	50	0.580	„	8.7	15.0
						14.5
No. 4	90°	砂	0.680	0.6	13.0	19.1
			0.537	„	5.3	9.9
	40	60	0.595	„	6.0	10.1
						13.0
No. 5	45°	石粉	0.575	0.6	27.0	47.0
			0.547	1.0	26.4	48.3
	70	30	0.547	„	15.0	27.4
						40.9
No. 6	45°	石粉	0.622	1.0	29.9	48.1
			0.555	„	26.7	48.1
	50	50	0.535	„	39.1	73.1
						56.4
No. 7	45°	砂	0.545	1.0	15.0	27.5
			0.500	„	15.4	30.8
	70	30	0.535	„	20.5	38.3
						32.2
No. 8	45°	砂	0.510	1.0	0.8	1.6
			0.547	„	1.4	2.6
	50	50	0.525	„	18.2	34.7
						13.0

上記兩試験の結果に對し鋪装の實際を見るに、壓縮に際しては填充材は左右及下方に於て其變形も拘束せられ居り、又變形回復に重大の影響ある側面の附着力は表面の乾燥不充

分の爲に遙かに少なるべきを以て、試験結果に據る數字を直に採用するは輕率であるが、之等に據つて現今一般に使用さるゝ現場注入用填充材の性質の概要を次の如く看做すも大過なからう。

1. アスハルト針度、配合及鑲材の種別、分量等の如何に關せず、鑲材は迅速に沈澱せむとする傾向あり従つて注入中最善の注意を拂ふも、前後均質の填入材を得難く、アスハルトの割合は次第に減じ終に流動性を失ふに至らむとする。而して此傾向は特に砂を混入する場合に於て一層甚しい。

2. 填充材の耐壓及抗張兩強度、附着力及延性等は其注入の際に於ける組成に因つて著しき相違がある。従つて許容變形率及變形回復率は配合及注入の前後に因つて異なる。

3. 一般に耐壓強度極めて小にして變形率極めて大である。故に通常の變形の範圍内に於ては其抵抗力は鋪裝體を形成する混凝土の耐壓強度に比し無視し得る。

4. 針度 90 度のアスハルト 30%、石粉 70% のマスチックは其變形率は相當大なるも附着力激減し其變形を回復し得ざる虞れがある。

5. 針度 90 度のアスハルト 40%、砂 60% のグラウトは許容變形量を 55% とするも過大ではないが配合を低下してアスハルト 30%、砂 70% とする時は流動性不十分となり注入に不適當と認められる。

6. 針度 45° のアスハルトに於ては、石粉を使用するときはアスハルトを 50% まで低下するも支障なきも、砂を使用する場合はアスハルトを 50% に低下するときは附着力の不足を來たす場合がある。

ii. 既成瀝青質填充材 壓縮試験の結果の概要は第十六表及第七圖に示すが如くである。

斯種の填充材は其性能製造者に依つて異なるのみならず、同一製造者に於ても製造の時期又は形狀依つて異なるから一様に律し難いが、試験結果を約說すれば大要下の如くである。

(1) 壓縮に對する抵抗力極めて小であるから鋪裝の膨脹に對しては適當して居る。

(2) 變形量は略壓力に正比例するものと看做し得る。従つて一定の彈性率（嚴密な意味に於てなく單に應力の變形率に對する比の意味）を算定し得る。

(3) 個々の變形量と應力とより算出せる彈性率は相當の差違があるが、其平均値は比較的近似し 31 乃至 54 kg/cm² の間にある。

(4) 何れも彈性體とは認め難く僅に 1.23 kg/cm² の低單位壓力に於て荷重撤去後 5 分を経過せる後も變形を完全に回復し得ざるもの多し。

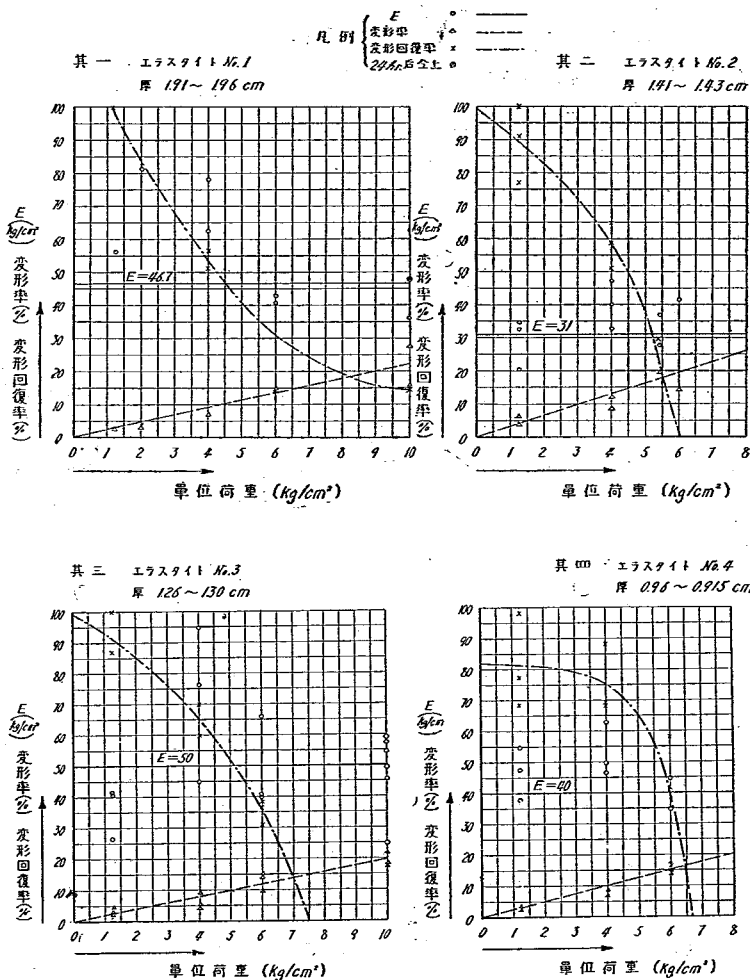
第十六表 膨脹機目用既製材料壓縮試験成績表

1. 試験片は面積 50 cm², 厚 0.96 乃至 1.95 cm とす。
2. 變形及其回復は時間に由つて異なるも特に記載せざるものその他 5 分經過後の測定に據る。
3. 結果は特記せるもの外總て 3 個の平均とす。

種別	厚 (cm)	番 號	單位荷重 (kg/cm ²)	變形率	變形 回復率 (%)	回復可能 變形率 (%)	彈性率 (kg/cm ²)		備 考
							E_1	E 圖面より計算 せる値	
No. 1 エラスト イト	1.91	1	1.23	0.0214	100	2.1	56.1	46.7	米國品 () 内は 24 時後を示す
	乃	2		0.0250			81.2		
	至	3	4	0.0506	53.8	2.7	70.0		
		4	6	0.1440	31.0 (66.5)	4.5 (9.6)	41.7		
	1.96	5	10	0.2145	14.15	3.0	36.0		
		6	平均				57.0		
No. 2 エラスト イト	1.41	7	1.23	0.0445	89.4	4.0	27.6	31.0	米國品 No. 1 と同一製造者 2 ケの平均 1) 更に増加 の趨勢を示す
	乃	8	4	0.1026	58.1	6.0	40.2		
	至	9	5.4	0.1710	21.9	3.7	32.3		
	1.43	10	6	0.1448 ¹⁾	1.5	0.2			
		11	平均				33.4		
No. 3 エラスト イト	1.26	12	1.23	0.0354	91.3	3.2	34.8	50.0	國産品 1) 5分後には 少しも回復せ ず24時後の値
	乃	13	4	0.0615	65.0	4.0	65.0		
	至	14	6	0.1283	35.4	4.5	46.8		
	1.30	15	10	0.1930	44.5 ¹⁾	8.6 ¹⁾			
		16	平均				48.9		
No. 4 エラスト イト	0.96	17	1.23	0.0270	81.4	2.2	45.6	40.0	國産品
	乃	18	4	0.0763	75.1	5.7	52.4		
	至	19	6	0.1523	38.1	5.8	39.4		
	0.975	20	平均				45.8		
機 目 用 ゴ ム	1.625	21	4	0.0400	100	4.0	100	139	2 ケの平均 以下同斷 國産品
		22	6	0.0513	100	5.1	117		
	乃	23	10	0.0863	100	8.6	116		
		24	20	0.1567	100	15.7	128		
	至	25	30	0.2220	100	22.2	135		
		26	40	0.2970	100	29.7	135		
	1.645	27	50	0.3500	100	35.0	143		
		28	平均				125		

第七圖 エラストイト壓縮試験成績

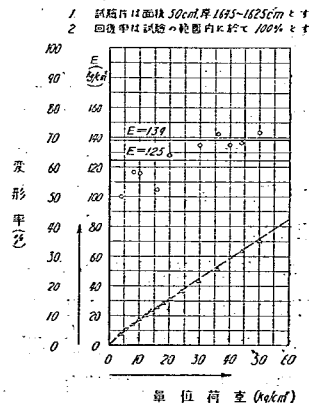
1. 試験片は面積 50 cm^2 , 厚 0.96 乃至 1.95 cm とす。
2. 變形及其回復量は特に記載せるものと外總て5分經過後の測定に據る。



- (5) 變形回復率は變形の増大に伴ひ減少し變形一定限度を超過するときは特に其回復率低下する。
- (6) 變形量は載荷時間の増加と共に増大するが一定時間經過後は其増率殆んど停止する。
- (7) 變形回復率は其材質、載荷時間、變形量及荷重撤去後の經過時間に依つて著しく異なる。
- (8) 變形回復率は一定限度内の荷重に在りては荷重撤去後の經過時間と共に増加するが、一定時間經過後は其増率激減する。
- (9) 回復可能變形百分率は各種を通じて 10% に達するものなし。故に斯種填充材のみを以てしては鋪裝の一旦膨脹せる後收縮せる場合に對し其水密を保し難い。
- (10) 變形率は各種を通じ 30% を超過すると看做し得るものなし。
- (11) 壓縮後モルタル面に對する附着力は極めて微弱にして測定を認めず、從つて附着力に依る變形の回復は期待し得ず。
- (12) No. 1, No. 2 は米國產、No. 3, No. 4 は國產品なるも兩者著しき相違を示さない。

iii. 既成繼目用ゴム 試験結果は第十六表及第八圖に示すが如くにして、瀝青質材料に比し彈性率大なるを以て同一變形量に對し鋪裝材料に與ふる應力稍大なるも、其許容變形量、變形回復率共に遙かに大にして原形の 50% の變形を許容せしむるも、鋪裝混凝土の許容應力に比し遙かに小にして且充分原形に回復し得るものと認め得る。

iv. 試験結果の比較 以上の結果より見るに、其所要變形量に對する抵抗力は何れも極めて微弱にして殆んど顧慮するに足りない。而して一面鋪裝の膨脹に對する路床摩擦力に因る應壓力も亦通常採用さるゝが如き範圍に於ては極めて僅少である。故に許容間隔の算定は一に填充材の性能に據ることとなる。而して填充間隙には自ら一定の制限があるが今通常許容され得る填充材の間隙に對して許容間隔を算定すれば第十七表の如くである。



第八圖 繼目用ゴム壓縮試験成績

第十七表 填充材變形量に基く膨脹繼目許容間隔

1. 温度の變動 50°C, 膨脹係數 0.00001 とす。

填充材種別	許容變形率 (%)	許 容 間 隔 (m)				
		填 充 材 厚 (cm)				
		1	1.5	2	2.5	3
アスハルト	70	14	21	28	35	42
マスチック	50	10	15	20	25	30
アスハルト	55	11	16.5	22	27.5	33
グラウト	40	8	12	16	20	24
エラスダイト	30	6	9	12	15	18
ゴ ム	50	10	15	20	25	30

IV. 結 論

上述鐵輪帶の作用及填充材の性能の兩方面に亘り試験せる結果に據つて、混凝土鋪装の繼目の構造及配置に關し參考に資し得べき點を要約すれば次の如くである。

1. 混凝土鋪装に於ては、一般に繼目は車輪に對して衝動を與へるものと認められて居るが、其の構造を適當にすれば、速度 3 哩/時 の鐵輪帶に對しても殆んど其存在を無視し得る。

2. 第一圖の繼目 10 は上述の程度の適當なる構造と看做し得る。所謂交互施工法 (Alternate Bay System) に據る繼目の實際路面上に於ても好結果を示すことは從來も報告されて居るから事情の許す限り本工法に據るべきである。而して等しく交互施工法を用ふる場合に於ても、間隙なき收縮繼目とせず間隙を設け之を填充して膨脹繼目となす方得策である。

3. 交互施工法に據り難い場合は之に代るべき方法として柄鐵筋 (Dowel Steel Bars) を利用すべきである。但し此場合片側床版内の丸鋼の遊びは出來得る限り小なるを可とする。

✓ 4. 充分の輓壓を行ひ得ざる場合にアスハルト・モルタルを以て廣幅の繼目を造るは鐵輪帶の重交通の路線には適當でない。

5. 多くの構造に對して其上部にアスハルト・マスチックを填充するは極めて有効であり、收縮繼目に對しても間隙を生ずると共に之をマスチックにて填充すべきである。

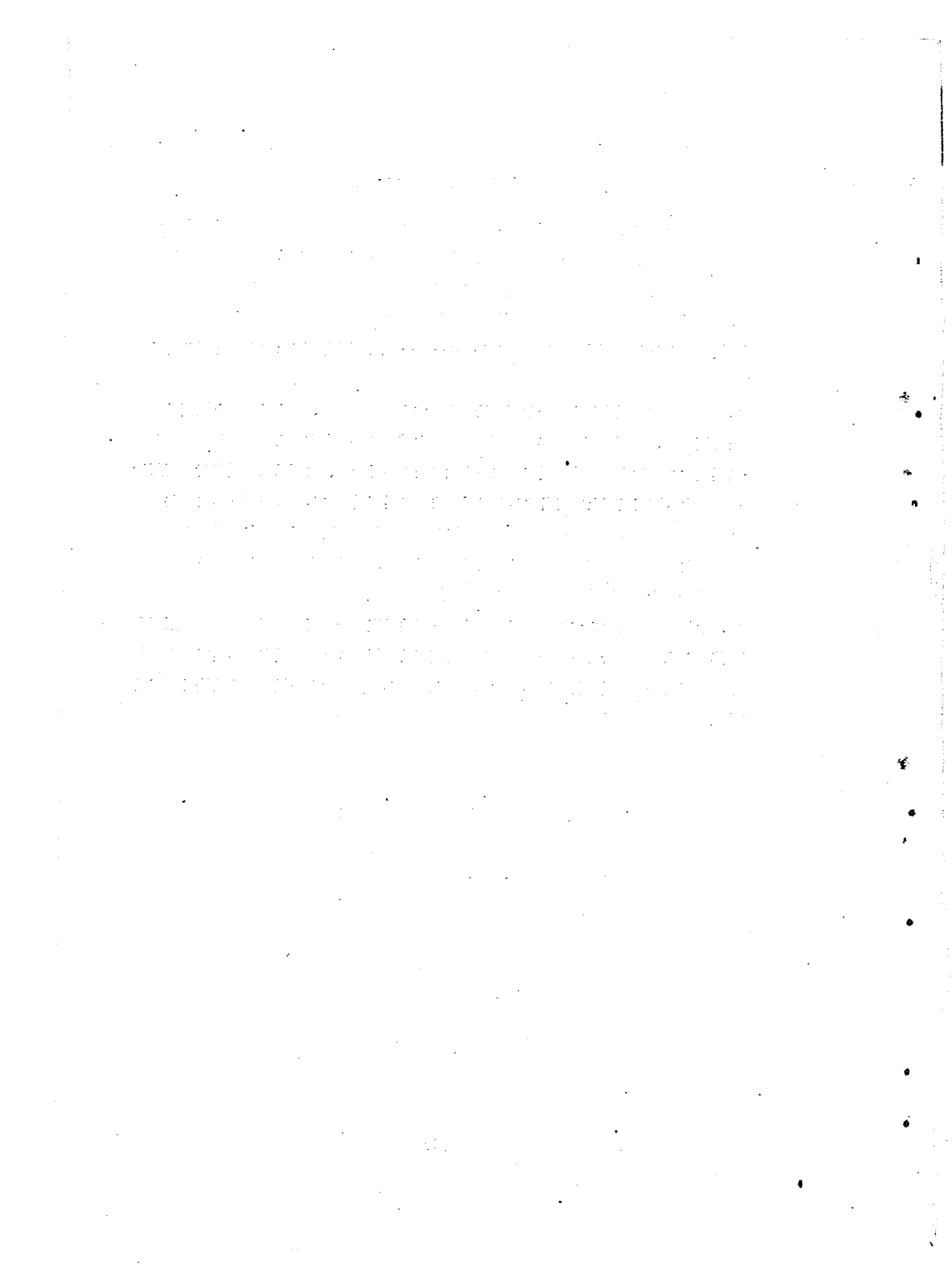
6. 現場注入用填充材としてはアスハルトの分量を針度 45° のものは 50%, 針度 90° のものは 40% より減するは不可である。注入後の配合を均一ならしむることは極めて重要であるが一般に不均一になり易く特に砂を混和材とすると此の弊が大きい。

7. 現場注入用填充材は、配合及注入に最善の注意を拂つても部分的漏洩は免れないのが一般であるから第一圖縦目 7 の如くターペーパーを以て漏洩を防止することが必要である。

8. 既成瀝青質填充材中現今本邦に於て市販せらるゝものは、輸入品たると國産品たることを問はず、其回復可能變形率に關する限り大差なく共に考慮に入るゝに足らないから一旦壓縮せる後生ずる空隙の填充は他の方法に依るの外無く、之が爲には填充材の頭部約 1 cm を豫め舗装表面上に突出せしめ交通に依つて壓搾填充せしむるを可とし之と共に純アスハルト又はアスハルト・マスチックを注入する現今の工法は極めて有効である。

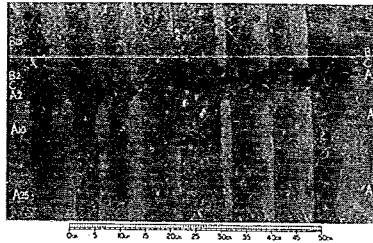
9. 現在市販の既成瀝青質填充材を使用する場合は、一般に其間隔を大にし得ないから特別の場合を除き收縮縦目の特設する必要を見ない。

10. 本試験に使用せるゴムは其磨損抵抗力と彈性限度に於て極めて優秀であるが兩側床版の連繋と水密とに於て不充分であるから朽鐵筋及頭部マスチック填充は必要である。配置間隔は既成瀝青質填充材に比して約 60% 大ならしめ得るから一般には收縮縦目と交互に施工するを可とする。

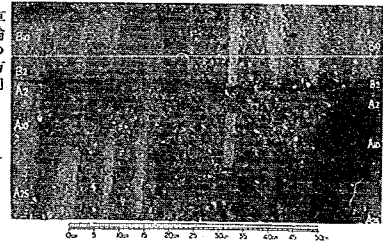


第三圖 試験後に於ける継目附近の状態

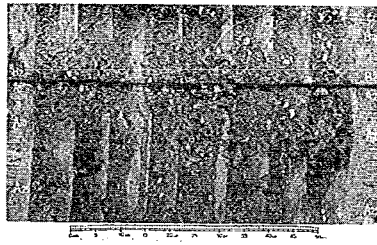
1. 二車線道路換算通行荷重約 217,500 吨。
2. A, B, C 等は第五圖の横断面測定個所を示す。



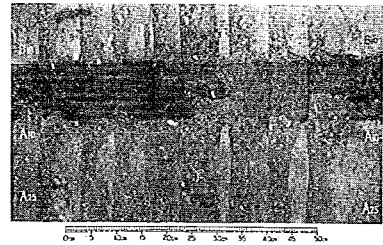
継目 2



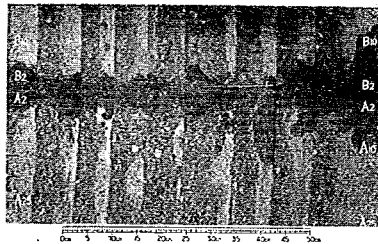
継目 3



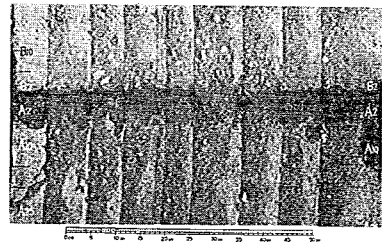
継目 4



継目 5



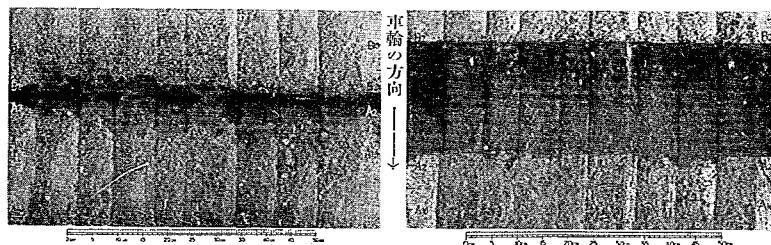
継目 6



継目 7

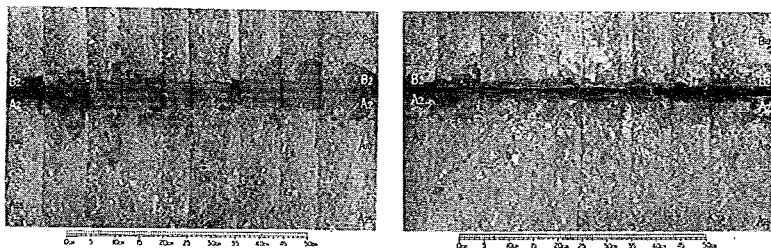
第三圖 試験後に於ける縦目附近の状態

1. 二車線道路換算通行荷重約 217,500 瓩。
2. A, B, C 等は第五圖の横断面測定個所を示す。



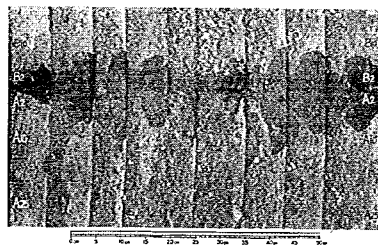
縦目 8

縦目 9



縦目 10

縦目 14



縦目 15

河水のポルトランド・セメントに及ぼす 影響に就て (一)

内務技師 西 川 榮 三
川 畑 健 雄

緒 言

河水と混凝土との関係を知るに當つては、該混凝土に使用したる材料（セメント、砂、砂利、混合水）配合、施工の状況等のすべてに亘りて調査研究すべきは勿論なるも、本報告は主として河水と混凝土中のセメントの關係に就いて、特種酸性の河水と特定のセメントとを試料として行ひたる試験につき記載せるものである。セメントを異にする場合は、試験の結果に差異あるべき事は豫想しうる所（後述記事参照）なるも、この點に關しては試験を行はなかつた。

一、試 料

試料セメントは淺野ポルトランド・セメントにして、其の組成及び物理的性質は第一表及び第二表の如し。

第 一 表 ポルトランド・セメントの分析

項 目	百 分 率
灼熱減量	2.16%
不溶解殘渣	0.15
SiO ₂	20.79
Al ₂ O ₃	6.06
Fe ₂ O ₃	2.56
CaO	64.65
MgO	1.26
SO ₃	1.51
計	99.19 (測定外 0.81%)

第 二 表 ポルトランド・セメントの性質

1. 比重		3.13		
2. 粉末の程度	4900 孔/cm ²	3.19%		
3. 膨脹性龜裂		煮沸、浸水 (28 日) 試験共に完全		
4. 凝結時間	標準稠度水量	27.0%		
	始發	2 h	10 min	(温度 21.0~22.0°C)
	終結	4	40	
5. 強度	1:3 標準モルタル	水量 6.8%	温度 18~21°C.	
	村 齡	抗張力	耐壓力	
	3 日	32.4	348.5	
	7 日	31.7	459.5	
	28 日	35.6	506.2	

試料水は

1. 山形縣南村山郡酢川三度川合流點河水 (No. 629)
2. 同 酢川橋上流河水 (No. 628)
3. 同 常磐橋下流河水 (No. 627)

(昭和四年八月十五日)

の 3 種にして、其の組成は第三表の如く、3 種共、大體無色清澄なるも、其の中に少量の固形浮游物を交へ、其の量は上流より下流に下るに従ひ減少して居る。3 種共酸味あり、リトマス試験紙に對して酸性を示し、其の酸性度は上流より下流に下るに従つて弱く、可溶性全固形物の量も下流に至る程減少して居る。其の含有成分中、硝酸、亞硝酸、磷酸 (P_2O_5) アンモニア (NH_3) 等は微量にして考ふるに足らず。炭酸は全く存在せず、硫酸 (SO_4) 及び鹽酸 (Cl) を主たる陰イオンとする。金屬性物質としては、鐵、アルミニウム、カルシウム、マグネシウム、硅素及びアルカリ類を含む。セメントに對しては、遊離酸及び其の他の諸物質による複雑なる反應により、凝結、硬化等に影響を及ぼすものと考へらるゝも、遊離酸を除く他の物質は、主として硫酸鹽、鹽化物或は其等の複鹽等としてセメントに作用するものなるべし。

第三表 河水の性質及び組成 mg/liter

項 目	No. 627 常 磐 橋 下	No. 628 酢 川 橋 上 流	No. 629 酢川三度川合流點
色及び透明度	無色清澄なるも少許の黒色油狀様及び褐色の沈澱あり。加熱する時は赤褐色を呈し、沈澱の量を增加す。	No. 627 と同様。	稍褐色を帯びたる白濁を呈す。静置する時は白濁物は沈澱して清澄となる。加熱により赤褐色を呈し沈澱を生ず。
臭及び味	稍快臭あり、澁味を帯びたる酸味を呈す。	No. 627 と同様。	No. 627 と同様。
反 應	酸性、リトマス試験紙を赤變す。	No. 627 と同様にして、酸性稍強し。	No. 628 と同様にして酸性尙強し。
全浮游物	3.9	8.1	68.0
全固形物 (浮游物を含む)	979.6	2068.4	3346.0
全酸性度 (SO ₃ に換算)	224.0	352.0	1392.0
SO ₃ (遊離及び化合)	596.6	633.7	1551.9
Cl	194.5	403.3	700.1
N ₂ O ₅	1.4	0.4	0.4
P ₂ O ₅	0.8	1.8	1.6
CO ₂	0.0	0.0	0.0
SiO ₂ 及び珪酸質 物質	63.4	128.3	143.2
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	128.0	276.2	489.0
CaO	80.8	181.4	154.0
MgO	42.1	100.3	122.7

二、試 験 成 績

I. 純セメントに関する試験

(1) 標準稠度水量

標準稠度の水量は、第四表に示す如く、水の質によりて殆ど差異を認めず。

第四表 標準稠度の水量

水	標 準 稠 度 の 水 量
水 道	27.0 %
No. 629	27.0
No. 628	26.5
No. 627	27.0

(2) 凝結時間

上記標準稠度の水量を用ゐて測定したる凝結時間は、第五表の如く河水を使用したる場

第 五 表 凝 結 時 間 (二回試験結果の平均)

水 の 種 類	凝 結 時 間		温 度 (試 料 中)		
	始 發	終 結	混 合 時	始 發 時	終 結 時
	h min	h min			
水 道	2. 08	4. 29	22.5°C	23.5°C	25.0°C
No. 627	2. 21	4. 56	22.5	23.5	25.0
No. 628	2. 12	4. 56	22.5	23.0	25.5
No. 629	2. 32	4. 58	22.5	23.0	25.5

合は、水道の水を使用したる場合に比し、其の始發は 3~24 min 遅れ、終結は約 28 min 遅る。之れ河水中に存在する SO_4 , Ca, Mg 等に依るものと推測せらるゝも、この程度の差異は、河水使用に差支なきものと考へらる。

(3) 膨脹性龜裂

セメントを (1) 水道水にて混捏し、水道水に浸漬せるもの、(2) 水道水にて混捏し、河水に浸漬せるもの、(3) 河水にて混捏し水道水に浸漬せるもの、(4) 河水にて混捏し河水に浸漬せるものゝ四種共、煮沸法並に浸水法に於て膨脹性龜裂の徴候を認めず。この中 (2) 及び (4) の如く河水を浸漬水とする場合、浸水法に依るものは、浸漬水少量の場合には、水中の遊離酸は、セメント中のアルカリを以て中和せられ、遊離酸以外の成分も、何等かの作用により、消費し盡さるゝを以て、流水中に浸漬したる場合と、趣を異にするものあるべく、尙 28 日以後永く多量の河水中に浸漬する時は、河水中の諸成分の影響を受けることなきを保し難し。尙この關係につきては後述することゝする。

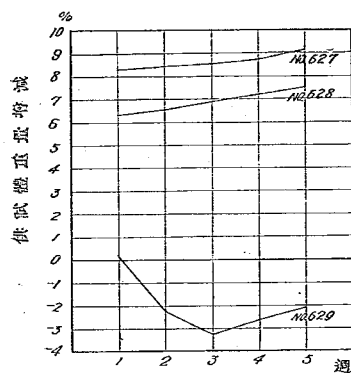
(4) 純セメントを水と混捏し凝固したる後、水道水及び河水に浸漬せる場合に起る、凝固セメント供試體 沈澱物、及び液の變化に關する試験。

試験方法

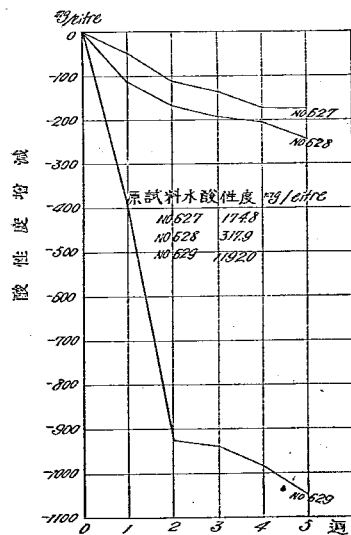
A. 純セメントを 30% の蒸留水を以て混捏し、 $20 \times 20 \times 4$ mm の型内に流し込み、24 時間凝固せしめ、試料水 500 cc 中に投じ、1 週間後、之を取り出し、軽く附着せる沈澱物は之を洗ひ落し、其の色及び重量を検し、溶液は全部濾過し沈澱物と濾液とを分ち、濾液中より 100 cc を採りて、固形物、酸性度等を定量し、殘液 400 cc 中に再び供試體を投じ、更に 1 週間を経たる後同様の試験を行ひ、漸次同様な操作を繰り返して 5 週間後試験を了ふ。

B. 上記の如き試験に於て 1 週間毎に試料水を取り更へ試験し、5 週間に及ぶ。

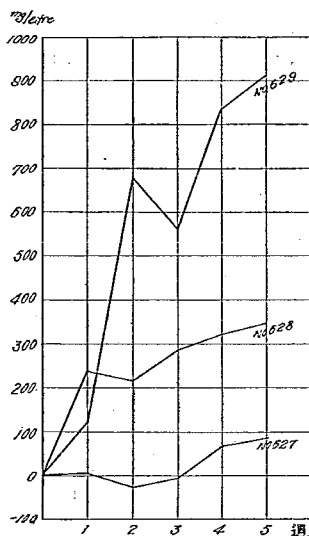
C. 1 週間毎に試料水を取り更へたることは、B の場合と同様なるも、供試體成形後、24 時間濕氣中にて養生し、更に 24 時間蒸溜水中に浸漬し吸水せしめたる上、之を試料水に投じ、10 週間に亘り試験す。



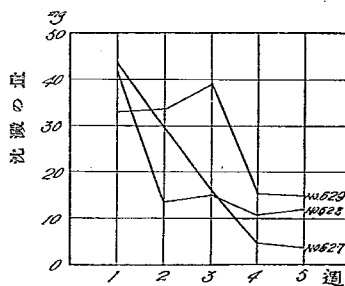
第一圖
供試體重量増減 %



第三圖
供試水酸性度増減 mg/litre



第二圖
供試水中全固形物の量増減 mg/litre

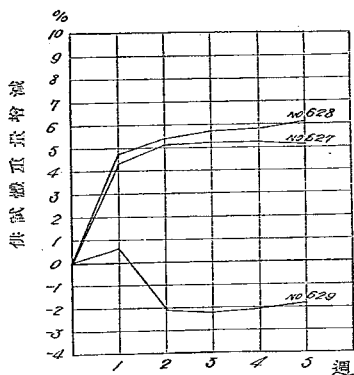


第四圖
試料水中に生ずる沈澱の量 mg

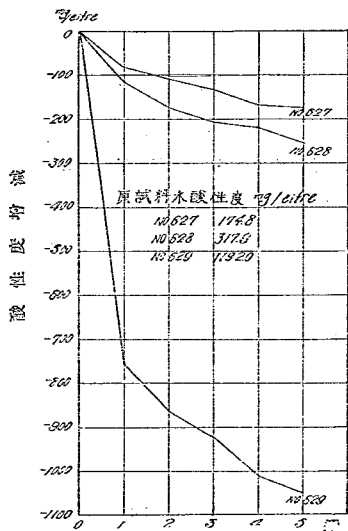
試験結果

上記 A 試験に於ける、供試體重量増減百分率、試料水中の全固形物増減、酸性度増減、試料水中に生ずる沈澱の量等と浸漬期間との關係を圖示せるものは、第一圖及び第五圖、第二圖及び第六圖、第三圖及び第七圖、第四圖及び第八圖の如くである。

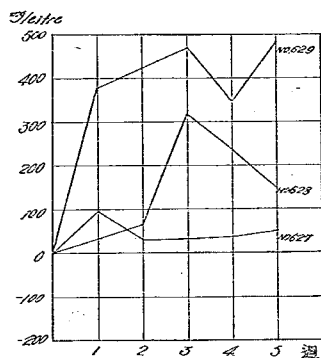
之に依つて見るに試料水の酸性度は、最初の 1 週間に著しく減退し、以後 5 週間



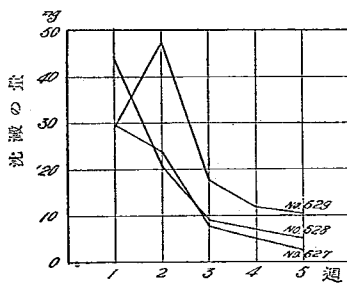
第五圖
供試體重量増減 %



第七圖
試料水酸性度増減 mg/litre



第六圖
試料水中可溶性全固形物増減 mg/litre

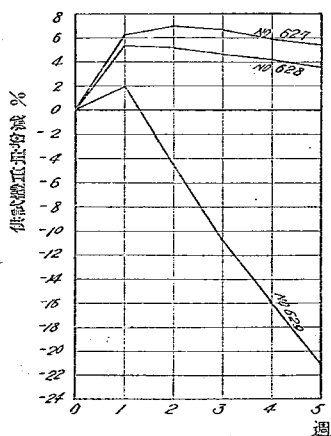


第八圖
試料水中に生ずる沈澱の量 mg

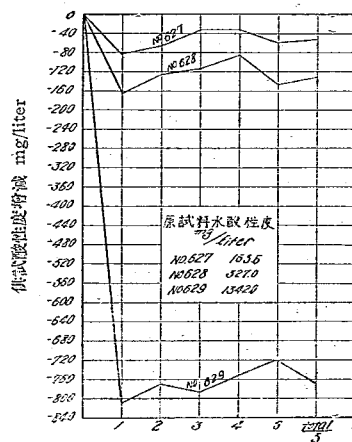
に、原水の酸の大部分は消費せられて居る。(第三圖及び第七圖) 即ち水中の遊離酸は、セメント中の諸成分を中和、分解、或は溶解したるものにして、従つて試料水中には漸次全固形物の量を増加することは當然である。(第二圖及び第六圖) この結果としてセメントは、其の成分中の或る部分を侵蝕せられ、重量は減少しゆくものと考えらる。(第一圖及び第五圖) 酸性度最も強き河水 No. 629 に就ては明かにこの傾向を認め得べし。(1 週迄の重量増加は、主として供試體中に水分の吸収せられたる爲にして、セメント本體の重量が増加せるものではない) No. 627, No. 628 に於ては、最初の 1 週乃至 2 週間に酸性度の大部が失はるゝを以つて、吸水の影響のみ多く表れ、一見重量減少を來さざるが如きもセメントの本體は、猶幾分の侵蝕を受け居るものと解せらる。この關係は、B, C の試験に於て明かに表れて居る。

試料水中の遊離酸が消費せられたる後は、其の中の酸根 (主として SO_4^{2-} , Cl^-) 及び Ca, Mg, Fe, Al 等とセメント中の成分とより、一部分は不溶性物質を形成して液中に沈澱し、一部はセメント中に加はる。沈澱物の生成は最初の一週間に於て概して多く、徐々に其量を減するも (第四圖及び第八圖) 生成諸成分の大部分は水中に残る。

之を概括するに、河水に浸漬せるセメント凝固体は、一方に吸水すると共に、他方に於ては、河水中の遊離酸其他の成分の影響により其の一部は溶解し去らるゝものにして、



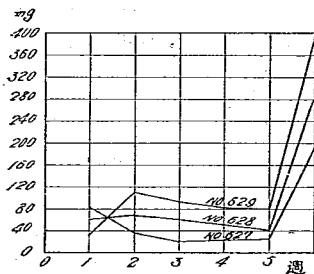
第九圖
供試體重量増減 %



第十圖
試料水酸性度増減 mg/liter

其の溶解滲出の度は、上流より下流に至るに従つて次第に減少す。

上記の A 試験は、一定量の河水中にセメント供試體を浸漬し、該水を取り代ふることなしに試験したるを以て、實際河川の流水中に浸漬せる場合に比すれば、其の作用遙かに弱く、又其の作用の性質上に於ても異なる點あるべし。



第十一圖

供試水中に生ずる沈澱の量 mg/liter

B 試験は、A 試験の上記の如き缺點を補はんが爲に行ひたるものにして、其の結果は、第九圖乃至第十一圖に示すが如く、河水のセメントに及ぼす影響一層明瞭となる。即ち、供試體の重量は、浸漬後 1 週迄の間は吸水の爲増加し居るも、2 週以後は、吸水の率が衰ふると共に、河水による分解及び溶解作用は明かに現れ、略直線に近き率を以て重量の減少する傾向を示して居る。

C 試験に於ては、セメント供試體には豫め 24 時間吸水せしめたる後之を蒸溜水及び河水中に投じ、且つ試験期間は 10 週間に倍加したもので、其の結果は、第六表乃至第九表並に第十二圖乃至第十五圖に示す如く、供試體の重量は、蒸溜水に浸漬せる場合は、最初の 1 週間は稍増加し、其の後は幾分の減少を示す程度に過ぎず、大體に於て重量の變化は餘り認められない。之に反し河水に浸漬せる場合は、No. 627 河水に於ては、3~4 週間は蒸溜水の場合と大差なきも、其の後重量の減少著しく現れ、河水中の成分によりセメントの溶出せらるゝことを示して居る。この影響は No. 628 に於ては尙一層明かとなり、更に No. 629 に於ては最初の 1 週間より既に激しき變化を見、浸漬期間の進むと共に其の重量甚しく減じゆくことが明瞭である。

(第十二圖)

全固形物の量を見るに、蒸溜水の場合は、其の増加少く、河水の場合は其の性質により、漸次多く、セメント成分が河水に絶えず溶出することを示して居る。

セメント供試體を浸漬せる水中の酸性度を見るに、第十四圖の如くにして、蒸溜水を使用せる場合は弱アルカリ性を示し、河水を使用せる場合は、各週毎に其の中の酸はセメント中のアルカリ性物質（主として CaO ）に依りて中和せられ、其の大部分が消費せらるゝを見る。即ちセメントは河水によりて侵蝕せられて行くことは明かである。

水中に生ずる沈澱物の量は第十五圖の如く、蒸溜水の場合は其の量微少、河水の場合は、

第六表 蒸溜水の場合

浸漬水量 500 gr

期 間	供 試 體 重量 gr	全固形物 mg/liter	酸性度	混濁の状況	沈 澱 物の色	沈 澱 物 mg/liter	供試體の状況	供試體色
浸漬前	3.4075	0.00	中 性	清 澄	—	0.0	—	灰 色
1 週後	3.4610	55.0	弱アルカリ性	清 澄	乳白色	27.6	僅かに滲出物あり	乳 灰 色
2 "	3.4620	46.0	同 上	同 上	同 上	13.2	同 上	乳 灰 色
3 "	3.4605	45.0	同 上	同 上	同 上	24.4	同 上	同 上
4 "	3.4540	39.0	同 上	同 上	同 上	9.2	同 上	同 上
5 "	3.4522	36.0	同 上	同 上	同 上	5.2	同 上	同 上
6 "	3.4510	38.0	同 上	同 上	同 上	4.4	同 上	同 上
7 "	3.4485	40.0	同 上	同 上	同 上	4.0	同 上	同 上
8 "	3.4437	40.0	同 上	同 上	同 上	2.0	同 上	同 上
9 "	3.4410	32.0	同 上	同 上	同 上	4.8	同 上	同 上
10 "	3.4385	37.5	同 上	同 上	同 上	3.2	同 上	同 上

第七表 河水 No. 627 の場合 (原水を濾過せるもの)

浸漬水量 500 gr

期 間	供 試 體 重量 gr	全固形物 mg/liter	酸性度 mg/liter	混濁の状況	沈 澱 物の色	沈 澱 物 mg/liter	供試體の状況	供 試 體 の 色
浸漬前	3.6430	1110	224	清 澄	—	0.0	灰 色	灰 色
1 週後	3.7122	1220	39.7	僅かに乳褐色に混濁	乳褐色	58.0	滲出物柔かに供試體表面に附着す	灰 緑 色
2 "	3.7124	1227	79.5	僅かに褐色に混濁	褐 色	29.6	滲出物沈澱物や、固く附着す	淡 褐 色
3 "	3.7025	1211	99.3	同 上	淡褐色	26.0	同 上	淡 褐 色
4 "	3.6856	1273	99.3	同 上	同 上	30.8	沈澱物固く附着す	淡 褐 色
5 "	3.6495	1317	109.3	同 上	同 上	62.0	沈澱物固く附着す、僅かに龜裂を生ず	所々褐色となる
6 "	3.6182	1278	99.3	同 上	同 上	32.0	同上附着物龜裂し剥離する傾向あり	同 上
7 "	3.5700	1352	79.5	同 上	同 上	66.0	同 上	同 上
8 "	3.5320	1408	59.6	同 上	同 上	52.0	同 上	同 上
9 "	3.4830	1353	119.2	同 上	同 上	86.0	同 上	同 上
10 "	3.4335	1357	99.3	同 上	同 上	88.0	同 上	同 上
平 均	—	1301	88.4	—	—	53.0	—	—

第 八 表 河水 No. 628 の場合 (原水を濾過したるもの)

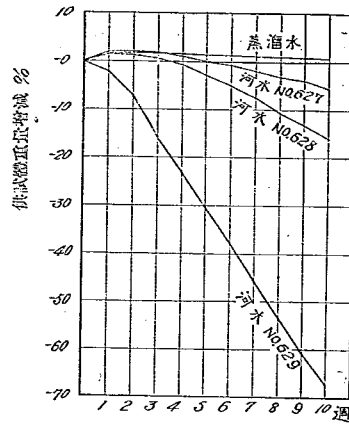
浸漬水量 500 gr

期 間	供 試 體 重量 gr	全固形物 mg/liter	酸 性 度 mg/liter	混濁の状況	沈澱物 の 色	沈 澱 物 mg/liter	供試體の状況	供 試 體 の 色
浸漬前	3.9462	2588	352	清 澄	—	0.0	—	灰 色
1 週後	4.0095	2629	159	僅かに褐色 に混濁す	褐 色	63.2	滲出物、沈澱物や 、固く附着す	表面所々 褐色
2 "	3.9980	2744	179	褐色に混濁	褐 色	75.2	同 上	同 上
3 "	3.9755	2757	189	同 上	同 上	79.2	同 上	同 上
4 "	3.9315	2850	219	乳褐色に混 濁す	同 上	104.0	同 上 滲出沈澱物固く附 着し、僅かに膨脹 性龜裂を生じ表面 剝離する傾向あり	同 上
5 "	3.8310	2832	219	同 上	同 上	130.0	同 上	同 上
6 "	3.7585	2953	199	同 上	同 上	134.0	同 上	同 上
7 "	3.6557	2960	199	同 上	同 上	205.6	同 上	同 上
8 "	3.5345	2949	139	同 上	同 上	228.0	同 上	同 上
9 "	3.4330	2964	189	同 上	同 上	203.2	同 上	同 上
10 "	3.3290	2973	223	同 上	同 上	204.0	同 上	同 上

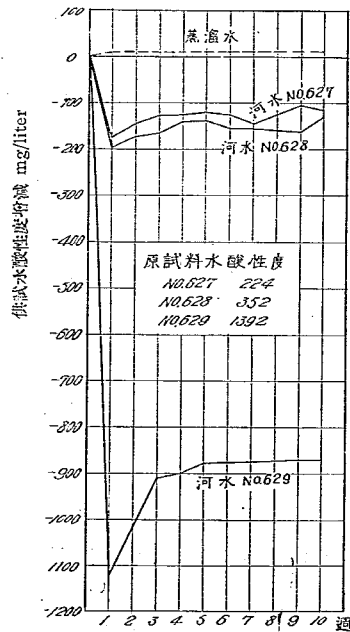
第 九 表 河水 No. 629 の場合 (原水を濾過したるもの)

浸漬水量 500 gr

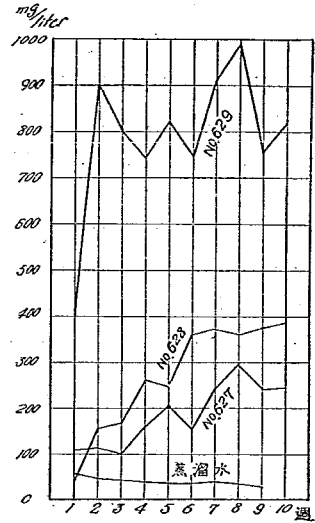
期 間	供 試 體 重量 gr	全固形物 mg/liter	酸 性 度 mg/liter	混濁の状況	沈澱物 の 色	沈 澱 物 mg/liter	供試體の状況	供 試 體 の 色
浸漬前	3.6855	3563	1392	清 澄	—	0.0	灰 色	灰 色
1 週後	3.6195	3965	258	混濁せず	乳褐色	102.0	表面に滲出物沈澱 物固く附着す	褐 色
2 "	3.4350	4460	318	殆ど混濁せ ず	同 上	172.0	同 上	同 上
3 "	3.0960	4364	457	同 上	同 上	379.6	同 上、尙膨脹性龜 裂を生じ、容易に 剝離す	乳 褐 色
4 "	2.8385	4310	477	同 上	同 上	284.0	同 上、滲出物、沈澱物柔 かに附着し膨脹性 龜裂を生じ容易に 剝離す	同 上
5 "	2.5675	4386	517	同 上	同 上	338.8	同 上	同 上
6 "	2.3065	4306	517	同 上	同 上	298.0	同 上	同 上
7 "	1.9930	4475	517	同 上	同 上	371.2	同 上	同 上
8 "	1.7160	4553	517	同 上	同 上	342.0	同 上	同 上
9 "	1.4480	4338	576	同 上	同 上	300.0	同 上	同 上
10 "	1.1935	4380	596	同 上	同 上	324.0	同 上	同 上



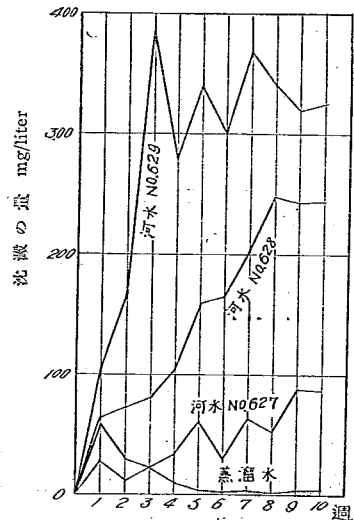
第十二圖
供試体重量増減 %



第十四圖
供試体酸性度増減



第十三圖
試料水中可溶性全固形物増減 mg/liter



第十五圖
供試体水中に生ずる沈澱の量 mg/liter

含有成分多き水程沈澱物多く、河水の成分中の一部と、セメント成分の或る部分とによりて、不溶性物質を生じ、河水に洗ひ流さるゝ事を示して居る。

尙河水使用の場合は、No. 627 河水にては、5 週間目に供試體に龜裂を生じ、No. 628 河水にては、4 週間目に、No. 629 河水にては 3 週間目に龜裂を生じて居る。之は河水中の Na_2SO_4 , MgSO_4 其の他の SO_4 含有成分の作用に基くものと解せらる。

尙 No. 629 の河水を試料とし、セメント供試體 ($20 \times 20 \times 4$ mm) 10 個を 2,500 cc の河水中に 1 週間浸漬し、液中の沈澱を濾過したる後、其の濾液に就いて分析したるに次の如し。但しセメント供試體は 30% の蒸留水を以つて混捏し、1 晝夜濕氣中、1 週間蒸留水中にて養生したる後、河水中に浸漬したるものにして、其の重量の變化下の如し。

1. 初 重	37.5059 g		
2. 1 晝夜濕氣中放置後	36.8417	(-0.6642 g)	幾分乾燥す
3. 1 週間蒸留水中放置後	38.3523	(+1.5106)	吸水
4. 河水浸漬後	37.6959	(-0.6564)	セメント溶出

即ち河水浸漬に依りて、0.6564 g を減少して居る。供試體の總面積は $(2.0 \times 2.0 \times 2 + 2.0 \times 4.0 \times 4) \times 10 = 112 \text{ cm}^2$ なるを以て、 1 cm^2 當り約 0.006 g の重量減を示して居る。

第 十 表 分 析 結 果

	使 用 前 mg/liter	供試體浸漬後 mg/liter	差 異 mg/liter
全固形物 (浮遊物を含まず)	3344	3734	+390
浮遊物	0	148	+148
Cl	568	568	± 0
SO_3	1787	1795	+ 8
SiO_2	127	137	+ 10
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	492	553	+ 61
CaO	168	474	+309
MgO	136	148	+ 12
酸性度 (SO_3 に換算)	985	413	-572

全固形物の増加、酸性度の減少に依りて、セメント供試體の成分が、河水中に溶出したことは、明にして、溶出成分中、主たるものは CaO にして、之に次ぎ Al_2O_3 及び Fe_2O_3 も多く溶出する。即ちセメントの最主要成分たる CaO が絶えず河水に依りて、洗ひ去らるゝことは明白である。

II. モルタル強度

(1) 抗張力

配合 1:3, 水量 $C:W=1:0.6$, 標準砂モルタルの流込供試體により、第十一表の如き混合水、浸漬水を以て抗張力試験を行つた。其の結果は同表及び第十六圖及び第十八圖の如し。

(2) 耐壓力

耐壓力に關しても同様の條件の下に試験を行ひ、其の結果は第十二表及び第十七圖及び第十九圖に示した如くである。

モルタル強度試験の成績を見るに、大體浸漬水として水道の水を使用したる場合及び河水を使用したる場合に分ちて考ふることが出来る。

浸漬水として水道の水を使用したるもの、中、混合水に河水を使用せる場合 (B, C, D) は、材齡 1 週間位迄は、混合水に水道の水を用ゐたる場合 (A) に比して、抗張力、耐壓力共に高き數値を與へて居る。4 週以後は、耐壓力 4 週を除きては、其の數値區々なるも、稍低き値を示し居る程度にして、其の差は餘り大でない。この關係よりして、本試験に使用したる程度の河水は混合水として使用することは、可能である。

浸漬水として河水を使用したるもの、中、No. 627 の場合を除きては、混合水として河水を使用せる場合は、水道の水を使用せる場合に比して、概して、抗張力及び耐壓力共に稍低し。而して No. 627 の河水、即ち最も下流部に位し、酸性度、含有固形物等最も低きものを用ゐたる場合は、材齡 3 ヶ月迄は、水道水を用ゐたる場合より、抗張力、耐壓力稍高き傾向を有するも、河水 No. 628, No. 629 (この中 No. 629 は、酸性度、含有固形物共に最も高し) を用ゐたる場合は、其の趣を全く異にし、7 日位迄は、水道の水を使用したるものに比して、抗張力、耐壓力共に概して僅かに高き程度に過ぎずして、4 週、3 ヶ月に至れば、この傾向は逆轉し、之等と等しきか稍低き値を示し、6 ヶ月に到れば、河水に浸漬せるものは、明かに強度低下を示して居る。

之を概括するに、河水にありては、其の含有成分の性質及び量によりて其の作用を異にするも、材齡 1 週位迄は稍好影響あるが如きも、4 週以後は必ずしも然らず。3 ヶ月に至れば、其の程度は微弱なるも、概して強度低下し、6 ヶ月に到れば、其の關係は一層明瞭となる。即ち河水に浸漬せる場合は、抗張力、耐壓力共に、水道の水に浸漬せる場合に比し、3 ヶ月以後概して低き數値を與へ、而も河水中の酸性度強く、固形物多き程、其の影響甚し。

之を耐壓力供試體の外観より見るに、白色滲出物、及び褐色沈澱物を生じ、供試體自身は膨脹龜裂の形跡あり、浸漬期間長きに到れば、この現象は益明となる。(第二十圖寫真)これ等の關係は上記純セメント供試體の試験によりても推察し得る所にして、河水に浸さるゝ混凝土が長年月の間に其の表面より、次第に溶解侵蝕及び崩壊せられゆくことを示すものである。

第十一表 モルタル抗張力 kg/cm^2 4 箇平均

符 號	水		材						齡
	混 合 水	浸 漬 水	1 日	2 日	3 日	7 日	4 週	3 ヶ月	6 ヶ月
A	水 道	水 道	2.8	8.9	14.2	19.0	31.5	31.0	26.3
B	No. 627		3.4	8.2	16.9	21.1	30.7	30.1	
C	No. 628		3.0	8.0	16.8	22.9	27.2	30.2	
D	No. 629		4.1	10.5	16.5	19.6	28.8	28.7	
E	No. 627	No. 627	—	9.5	13.9	22.1	31.9	37.0	
F	水 道		—	9.6	17.2	20.8	33.0	35.1	29.2
G	No. 628	No. 628	—	10.1	16.7	23.3	28.7	30.4	
H	水 道		—	11.6	17.4	23.1	25.7	27.9	24.3
I	No. 629	No. 629	—	11.1	15.8	23.5	30.4	29.6	
J	水 道		—	13.7	18.5	28.0	26.7	28.4	14.2

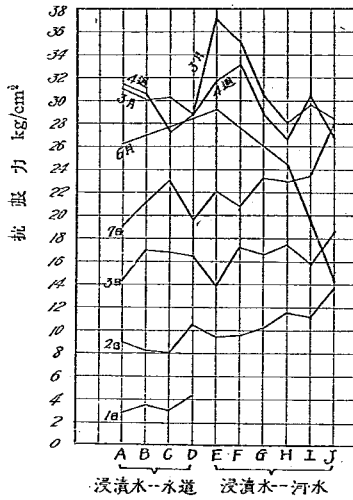
備考 温度 18.0~22.0°C

(2) 耐壓力

供試體の製作及び水量等に関しては、全く抗張力試験の場合と同様にして試験したる結果は第十二表の如し。

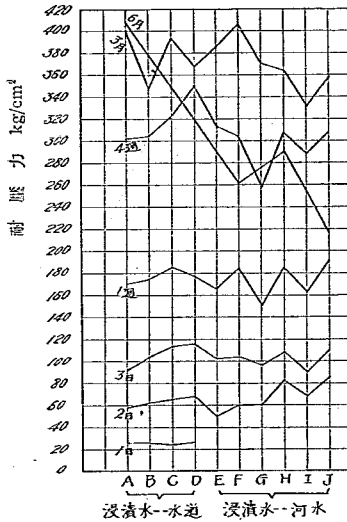
第十二表 モルタル耐壓力 kg/cm^2 4 箇平均

符 號	水		材						齡
	混 合 水	浸 漬 水	1 日	2 日	3 日	7 日	4 週	3 ヶ月	6 ヶ月
A	水 道	水 道	25	58	92.5	170.8	300.8	399.8	406
B	No. 627	水 道	25	61.5	104.0	172.8	303.0	344.0	
C	No. 628	水 道	24.3	64.8	113.3	185.0	323.0	394.8	
D	No. 629	水 道	25.3	69.0	114.3	177.5	350.0	368.8	
E	No. 627	No. 627	—	50.5	101.5	164.5	315.5	384.0	
F	水 道	No. 627	—	60.8	104.5	183.5	304.0	406.0	262.7
G	No. 628	No. 628	—	60.0	96.5	150.3	258.5	370.3	
H	水 道	No. 628	—	81.5	108.8	185.0	307.5	363.5	291.3
I	No. 629	No. 629	—	68.5	90.3	162.5	288.5	332.5	
J	水 道	No. 629	—	86.5	110.8	193.0	307.5	358.5	217.0



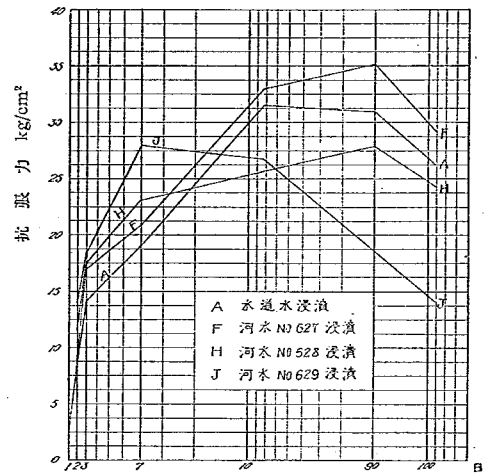
第十六圖

抗張力 kg/cm^2



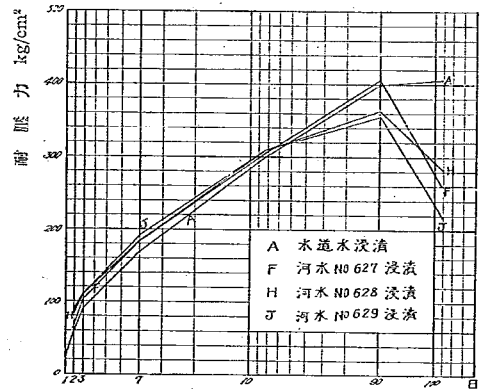
第十七圖

耐圧力 kg/cm^2



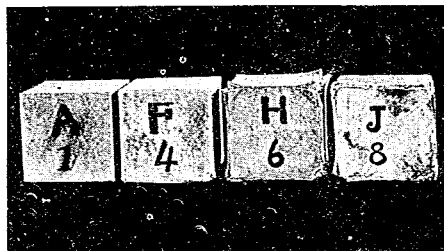
第十八圖

モルタル抗張力 kg/cm^2



第十九圖

モルタル耐圧力 kg/cm^2



第二十圖

三、試験成績の考察

河水と混凝土との関係については、既に緒論中に述べたるが如く、諸種の方面より研究すべきものにして、本試験は其の中の一部分たる「セメントと河水との関係」につき特定のセメントを試料として研究を行つたものにして、試料水を隨時得るに不便なりしと、比較的短期間に試験の終了を要せし爲とより、不充分なる點なきにあらざるも、上記試験の結果の範圍に於ては、次の如き結論に達し得る。

1. 河水の性質、三種の河水（上流...No. 629, 中流... No. 628, 下流...No. 627）は、いずれも同種の成分を含み、上流より下流に至るに従つて其の含有量を減少して居る。而して三種とも酸性にして、陰イオンとしては硫酸根及び鹽素を主とし、其の他の成分としては、珪酸質物質、鐵、アルミニウム、カルシウム、マグネシウム等を含む。これ等個々の成分も上流より下流に到るに従つて含有量を減少して居る。従つてもセメントに對して影響ありとすれば、上流の水よりも下流の水の方其の影響小なるべきは豫想するに困難でない。

2. 純セメントに就ての標準調度水量は、水道の水を使用したる場合も河水を使用したる場合も略變化がない。

3. セメントの凝結時間は、河水を混捏水とせる場合は、水道の水を混捏水とせる場合に比し稍遅るゝ傾きあるも、甚しき差異を示さない。

4. 膨脹性龜裂に關しては、煮沸法に於ては、河水を使用したる爲めの影響を認めない。又浸水法に於ても、試験の結果は別段の變化を示して居ないが、之は使用水の少量なりし爲、其の内の諸成分が使用し盡されしに歸因するものと思はれる、流水中に供試體を浸漬

せる場合に之と同様の結果を示すものとは速断し難い。少量のセメント凝固供試體を河水中に浸漬し、時々河水を取り換へゆく場合には 3 週乃至 5 週にして膨脹性龜裂の現象を認める。又強度試験の供試體に於ても長期間河水中に浸漬せるものは明かに（前掲寫眞参照）膨脹性龜裂を現して居る。之等の事實より推察するに、流水中に浸漬せる混凝土の表面は膨脹龜裂を起し易きものと豫測せらる。

5. 尙セメント凝固供試體の水中浸漬試験の結果によれば、凝固セメントは河水に依りて、激しく侵蝕せられ、長き期間中には、甚しく其の重量及び大きさを減少する。而してこの現象は上流の水に浸漬せるもの程激し。これによりて流水中に浸漬せる混凝土築造物は其の表面より、其の中に含まるゝ凝固セメントを侵蝕せられゆくのにして、前記膨脹性龜裂の現象と共に、混凝土の表面に崩壊を起すものと豫想せらる。

上記 3 種の河水に就て考ふるに表面積 11.2 cm^2 に對し、平均 1 週間に減少する重量、厚減少次の如し。

第十三表 凝固セメントの減少

	No. 629	No. 628	No. 627	蒸溜水
表面積	11.2 cm^2	11.2 cm^2	11.2 cm^2	11.2 cm^2
1 週間重量減	0.2802	0.0756	0.0421	0.0025
セメント供試體比重	2.3	2.3	2.3	2.3
1 週間中の厚減少	0.0109 cm	0.0029 cm	0.0016 cm	0.0001 cm
1 年間の厚減少	0.524 cm	0.151 cm	0.083 cm	0.005 cm
河水酸性度 (SO_2)	1392 mg/l	352 mg/l	224 mg/l	0
河水硫酸鹽 (SO_4)	1551.9	633.7	596.6	0

結局流水によりて一年間に洗ひ去らるゝ量は、最上流 No. 629 河水にては約 5.2 mm; No. 628 河水にては 1.5 mm; No. 627 河水にては 0.8 mm にして蒸溜水の 0.05 mm に比し甚しき相違である。この際河水とセメントの作用に依りて混凝土表面に滲出物或は沈澱物の推積あるを以つて侵蝕の作用は幾分影響せらるゝことあるべきも、又一方膨脹龜裂により、表面の破壊を來し、且つ混凝土の空隙中に河水の浸透する等により侵蝕の度は強めらるべし。而してこの侵蝕崩壊の主原因は河水中の遊離酸及び硫酸鹽によるものにして、1 年平均 1.5 mm の侵蝕を受けるは、永久性を目的とする混凝土築造物に於ては、重大なる損傷を受けるものと思はざるを得ない、この程度の侵蝕を起すは酸性度約 350 mg/l; 硫酸鹽 (SO_4) 約 650 mg/l を含有する水にして、これ以上の酸性度、硫酸鹽を含

有する場合には、混凝土に對して悪影響あるものとして、何等かの防禦方法を構する必要があるべし。

第十四表

	集水區域面積 km ²	全固形物 mg/l	酸性度 mg/l	硫酸鹽 mg/l
1. 酢川三度川合流點	9.8	3346	1392	1551.9
2. 酢川橋	18.2	2068	352	633.7
3. 常盤橋	268.8	979	224	596.6
4. 向新田附近	461.2	(684)	(131)	(460.)
5. 津寺	681.2	(610)	(89)	(386.)

(括弧内の數字は推定による)

備考 推定の數字は、集水區域面積及び推定の濃度より推定したるものにして、酸性度は 1, より 2 に至る間に於て既に、集水區域面積より來る水によりて稀釋せらるゝ程度以上に減少し居り、其の中途に於て中和作用が行はれ居るものと認むべく、3 に至りて集水面積廣き割合に酸性度の減少僅かであつて、この間に酸性の水の流加せることが想像せられ、單に集水面積のみを以つて、其の後の豫測を許されないが、推定の數字は、酸の増加及び中和作用共になきものと假定して算出したものである。

これによりて見るに酢川橋より下流、即酸性度、約 250 mg/l, (0.025%) 硫酸鹽 600 mg/l (0.06%) 以下の水にては混凝土は大なる影響なしと見て可なるべく、之以上の場合には特に注意を要すべし。

6. モルタルによるセメント強度を見るに、泥捏水として河水使用したるものは、水道水を使用したものに比し、4 週間以後強度稍低き傾向あるも其の差大ならず、この程度の河水を混合水として使用することは、周囲の事狀止むを得ざる場合、之を行ふも甚しき悪影響あるものと考へられぬ。

7. 之に反し河水に浸漬せる供試體は、4 週以後、河水によるセメントの侵蝕、膨脹性龜裂等の爲、強度低下し、6 ヶ月に到れば明かに強度は激減する。この傾向は、浸漬期間長き程激しかるべき事は想像に難からず、混凝土建築物が、上記の流水中に浸漬せらるゝ場合、其の裏面より、上記の如き割合を以つてセメントが溶出せらるゝと共に、其の表面より混凝土體内に流水の滲透するに従つて、其の部分は強度を損はれゆくと共に膨脹龜裂により漸次剝落しゆくものと推定せらる。

四、有害水と混凝土との關係概説

混凝土 (凝固セメント、モルタルをも含む、以下同様) の有害水に對する抵抗性は、其の材料の種類 (セメント、混凝土材、添加剤の種類); 其の配合 (セメントの量、混凝土材の量、添加剤の量); 混合水の質及び量; 混合及び施工の良否; 養生方法; 有害水の性質 (其の成分; 濃度; 温度 流速、壓力等); 防水方法の良否等種々の因子によつて異なる。従つて一概に之を論じ去ることは不可能である。

1. セメントの種類の影響

現今通常用らるべきセメント即ち

- 1) ポルトランド・セメント
- 2) 高爐セメント
- 3) 鐵ポルトランド・セメント
- 4) 鐵セメント
- 5) 高礬土セメント

等につきて考ふるに、次の如き事が言ひ得る。

(1) **ポルトランド・セメント** は CaO 65% 前後、 Al_2O_3 5~9% SiO_2 20% 前後、 Fe_2O_3 2~3% 其の他 MgO 、 CaSO_4 等を含み、主成分は $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 、 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 、 $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 等にして、其の硬化に際しては $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生ずる。こゝに生ずる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は無機、有機の酸に依りて、一般に溶解、破壊せられる。⁽⁴⁾⁽⁷⁾ 例外として修酸、磷酸の如きは、全く不溶性の石灰鹽を形成するを以つて惡影響を受けない。⁽⁴⁾

ポルトランド・セメントは多くの鹽類溶液に依りて、惡影響を受くるものにして、アンモニウム鹽類、硫酸鹽類、醋酸鹽類、ある種の鹽化物等には多大の影響を受ける。殊に天然に存在する 海水、地下水、温泉、河水等中には硫酸鹽、鹽化物等を含む 場合多きを以て、この二者に對しては多くの考慮を費す必要がある。就中硫酸鹽は其の害顯著なものにして、この中硫酸アルカリ、硫酸苦土、硫酸石灰、硫酸鐵、硫酸礬土等は最も普通に存在する。而して齊しく硫酸鹽と雖も、其の種類を異にするに従て其の作用の性質及び程度を異にする。⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ 又ハロゲン屬 (鹽素、臭素、弗素等)、硫化水素等によりても、空氣、水等の存在の下にては影響を受ける。⁽⁴⁾ 脂肪油脂は、硬化セメント中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の作用に依りて、脂肪酸を生じ、セメントを侵蝕し、糖類フェノール類も亦石灰と化合して、之を溶出し、いづれも有害作用を及ぼす。⁽⁴⁾

(2) 高爐セメント; 鐵ボルトランド・セメント この二者はいづれも、ボルトランド・セメント・クリンカーに熔鑄爐渣滓を混和し粉碎したるものにして、其の成分は CaO 50~60%, Al_2O_3 10~15%, SiO_2 25~30%, 其の他 Fe_2O_3 , MgO , CaSO_4 等を含み、結局ボルトランド・セメントに比し、 SiO_2 多く、 CaO 少きものにして、遊離の Ca(OH)_2 生成量を減少し、有害水の悪作用を緩和せるものである。但し酸に対しては溶解作用を受くることは、ボルトランド・セメントと同様である。(7)

(3) 鐵セメント 鐵セメントはボルトランド系のセメントに属するも、其の中の Al_2O_3 量少く Fe_2O_3 の量多く、ボルトランド・セメント中の礬土酸石灰が硫酸鹽に依つてスルフォアルミ酸石灰を生じて、其の崩壊を惹起する原因たる Al_2O_3 を減じ、以つて硫酸鹽含有水に対する抵抗性を増加したものである。(11)(12)(13)

(4) 高礬土セメント 高礬土セメントは、ボルトランド・セメントとは全く其の原料を

第十五表 D.G. Miller 氏實驗の抄録

セメント	水セメント比 其の他	養生方法	21日 吸水率	應 耐 強 度 lbs/in ²							
				水 中 硬 化			Medicine Lale 中			強 度 比	
				28 日	1 年	5 年	1 年	2 年 3 年	5 年	1 年	5 年
ボルトランド A 及び B 等量混合	水セメント比	水中 27 日 空氣中 28 日 水蒸氣	% 6.7	4540	5690	5400	3780	0	0	66	0
同	0.59 乃	48 h 38°C	6.8	3810	5640	5910	2020	0	0	36	0
同	至 0.62	48 h 68°C	6.1	4390	4330	5650	3910	未決	2740	90	48
同	濕氣中	48 h 100°C	6.5	3660	5020	5760	4390	5840	5930	88	105
同	時間	6 h 100°C	6.6	2900	5520	未決	5320	未決	未決	96	未決
同	24 h	6 h 127°C	7.0	2890	5380	〃	4940	〃	〃	92	〃
同		6 h 141°C	6.8	3370	5860	〃	5600	〃	〃	96	〃
同		6 h 157°C	6.5	3030	5620	〃	5220	〃	〃	93	〃
同		6 h 176°C	6.8	3540	4300	〃	4130	〃	〃	96	〃
ボルトランド セメント 120 回 試験平均	水セメント比 0.60 乃 至 0.66 濕氣中 24 h 水 中 20 日 空氣中 35 日		—	—	—	—	—	—	—	66.4	1.1
ボルトランド セメント C			6.1	4540	5980	6850	5090	4390	4290	85	63
ボルトランド セメント CC			6.3	3940	6000	5260	5590	5580	3550	93	67
特種 セメント 32 回 試験平均			...	...	...	...	...	...	...	79.2	2
高礬土セメント A	水セメント比 0.62 濕 氣中 24 h 水中 20 日 空 氣中 14~344 水セメ ント比 0.44~0.99 濕 氣中 24 h 水中 20 日 空氣中 35 日		6.5	4900	4600	3600	5700	...	6050	121	171
同 B			4.9~ 11.8	...	...	...	...	...	...	99.4	135
同 C			4.4~ 9.3	...	...	...	...	...	...	131	185

異にし、其の製造方法を異にし、其の成分を異にしたるものにして、 CaO 28~47%
 Al_2O_3 30~70%, SiO_2 5~15%, Fe_2O_3 5~20% にして、特に CaSO_4 を加へざるもので
ある。其の主成分は $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $3\text{CaO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$ 等にして⁽¹⁴⁾ 其の硬化の際 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を
生ぜず、⁽¹⁵⁾ Al_2O_3 及び礬土酸石灰の含水結晶を生ずる従つて一般には硫酸鹽に對して其
の抵抗性強き理である。殊に MgSO_4 溶液に對しては、抵抗性大であり、 Na_2SO_4 に對
しても或る程度の抵抗性を示して居る。⁽²⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ 然し FeSO_4 溶液には侵蝕せられる。
又 Na_2CO_3 及び Na_2PO_4 溶液によりて破壊せらるゝ缺點を有する。乳酸、醋酸等により
ては短期間に侵蝕せられ、 FeCl_3 、蔗糖溶液に依りては 2 年後に至りて其の強度を減す
るも、 MgCl_2 、稀薄鹽酸、臭素水、稀薄硫酸等には抵抗性あり。⁽⁴⁾

上記の如く、セメントの種類を異にするに従つて、其の有害水に對する抵抗性を異にし
るが、⁽¹⁾⁽²⁾ 同種セメント間に於ても其の製造工場を異にする場合は、有害水に對する抵抗
性を著しく異にする。⁽¹⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾ この點はポルトランド・セメントに於ても又高礬土セメントに
於ても然るものにして、其の使用に際しては、深き注意を要するものである。

即各セメントは、各其の特性を有し、甲液に對して抵抗性大なるもの必ずしも乙液に對
して抵抗性大なるものではない。従つて、築造物の浸漬せらるべき周囲の状況、水の成分
等を調査せる後適當なる種類のセメントを選択することを要する。

2. 混凝材の種類の影響

砂利、碎石、砂等の如き混凝材の質が、其れ自身有害水の作用を受けて侵蝕せらるべき
ものたる時は、之等を用ゐて造りたる混凝土は、其の水により侵蝕せらるべき事は自明の
理なるも、然らざる場合は、其の種類及び質は直接に混凝土中のセメントの衰頹の原因と
はならない。

3. 添加剤

混凝土に防水性を附與する爲に、添加剤を使用することに關しては種々の試験が行はれ
て居るが、カナダに於てアルカリ土壤中に混凝土供試體を埋めて行ひたる試験⁽¹⁾及び D.G.
Miller 氏が Medicine Lake 中に供試體を浸漬して行ひたる試験⁽²⁾等に依れば、これ等の
試験に用ゐられたる範圍内の添加剤の多くは、効果餘りなく、其中少數のものは多少の効
果あり、而して添加剤としては種々雜多の成分のものが存在するを以つて、一概に添加剤
使用の良否を云爲する譯には行かない。之を要するにこの方面に於ては、今猶多くの研究
の餘地を存するものと思はる。

4. 混凝土の配合、混攪水の量、混合施工の良否の影響

混凝土の配合、即ちセメントの量、混凝土材の粒度及び量、並に混捏水の量、混合及び施工の良否等は、混凝土の空隙率及び其の均等性等に關係するを以て、結局其の水に對する滲透性に大なる影響を及ぼすものである。混凝土が滲透性を異にする場合は、其の材質が同程度のものにありても、有害水の作用に對する抵抗性には、大なる差異を生ずべく、從つて如何なる防水方法を講じ、如何なる材料を用ゐる場合と雖も、この點につきては常に考慮を費すべき事は論を俟たざる所である。

5. 養生方法の影響

混凝土養生方法の差異は、其の性質に影響を及ぼすものにして、混凝土築造後、之を長く空氣中にて養生せるものは、其の表面に CaCO_3 を生じ、防水性を増加するを以て、硫酸鹽含有水に對して抵抗性を増加するも、 CaCO_3 の被覆はあまり永續しない根がある。

100°C 以上の水蒸氣中にて混凝土を養生すれば Na_2SO_4 、 MgSO_4 に對する抵抗性は著しく増加し、⁽²⁾⁽³⁾ 實際上侵蝕せられざる程度に至る。この方法は、混凝土パイプ、混凝土抗、混凝土ブロック等の如き製品に對しては利用し得べきも、大なる現場打混凝土に對しては、實行困難である。

6. 有害水の性質の影響

有害水の成分⁽⁴⁾⁽⁵⁾の如何により、其の濃度⁽⁵⁾により、其の温度⁽⁶⁾により又流速、壓力等によりて、有害水のセメントに及ぼす影響が異つてくることは當然考へ得らるゝ所にして、混凝土抵抗性を増加せしむるにこれ等の條件を充分に考慮に入れて置く必要あるは言ふまでもない所である。

五、侵蝕性有害水によりて混凝土の受くる 作用を防止する方法概説

混凝土が侵蝕性有害水に依りて受くる悪作用を防止する方法は種々考案せられて居る。之を列挙すれば次の如し。

1. 適當なる種類のセメントを選択し、同種系統のセメント中にても、抵抗性大なるものを用ゐること。
2. セメント以外の材料の性質、其の粒度、配合量、水量等を適當に調節し、密實にして空隙率少き混凝土を造ること。
3. 混凝土施工後空氣養生期間を長くして、其の表面に炭酸石灰の防水層を形成せしむる事。

4. 混凝土製品製造後 100°C 以上の水蒸氣中にてある時間養生すること。
5. 混凝土施工後、之が表面に稀酸或は可溶性稀酸鹽類の溶液を作用せしめて、其の表面に不溶性稀酸石灰の防水層を形成せしむること。
6. (a) 5 と同様に可溶性珪弗化水素酸鹽溶液を作用せしめて其の表面に不溶性弗化石灰、珪酸等の防水層を形成せしむること。
(b) 混凝土混合の際同溶液を加へて混捏すること。
(c) 珪弗化弗達成は珪弗化加里の如き難溶性鹽類の粉末を豫めセメントに混合して置きて使用すること。

7. 混凝土混合の際瀝青乳劑を加へて混捏すること。
8. 出来上り混凝土の表面に防水被膜を施すこと。
9. 出来上り混凝土の空隙中に瀝青質材料を滲透せしむること。
10. 出来上り混凝土の空隙中に硫黄を滲透せしむること。

上記諸種の方法中 (1) 適當なるセメントを選択すること、及び (2) 混凝土の材料、粒度、配合、水量等を適當に定めて空隙率少き混凝土を得るに努むることは、他に如何なる種類の防止方法を講ずる場合に於ても必要である。

(3) 空氣中養生方法は、或る程度迄有効なるも、こゝに生ずる炭酸石灰の被覆層は表面的にして諸種外力によりて破壊せらるゝ事なしとせず、又酸性の水によりては分解せらるゝを以つて、一般に通じて充分なる結果は期待し難い。

(4) 水蒸氣養生法は、硫酸鹽類含有水に對しては、甚だ有効である。然しながら現場打混凝土に對しては應用し難い。

(5) 稀酸或は稀酸鹽類溶液に依る方法は、不溶性稀酸石灰の防水層を形成するものにして、稀酸石灰が水及び弱アルカリ溶液には不溶性なるを以て、ある程度迄有效なるべきも、其の防水層は表面的にして、外力の作用によりて破壊せられ易く、従つて永久的のものと考へ得ない。

(6) (a) この方法も大體 (5) の方法と同様に表面的にして永久的效果は期し難い。

(b) 混凝土混合に際して、可溶性珪弗酸鹽溶液を加ふることは、有效なるべきも、其の濃度にはある程度の限界がある。この限界を超ゆれば、混凝土は全然凝結せざるか、或は強度を減すべし。

(c) セメントに豫め難溶性珪弗化鹽類を混合し置きて使用する方法はセメントの凝結硬化が進むに従つて遊離せらるゝ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ に漸次作用して、不溶性物質を混凝土體內

に生じゆくものにして、有効なるべしと期待せらるゝも、この方面に關じては、研究の結果少し。

(7) 瀝青乳劑の混用は、乳劑の濃度が稀薄なる間は強度に對する影響は餘り大ならず⁽¹⁸⁾混用すべき乳劑の性質殊に乳化劑の性質につきは猶研究すべき點多きものである。

(8) 混凝土施工後、之に防水被覆を行ふことは、一時的には有効なるも、外力の作用或は化學作用によりて其の被膜が破壊せられたる曉に於ては、其の效力を失ふべし。⁽¹⁾⁽²⁾瀝青質被膜は永久的でない。⁽¹⁾Inertol 及び亞麻仁油は 5 年或は 3 年位は有効である。⁽²⁾

(9) 混凝土に瀝青質材料を滲透せしむることは、防水上效果大なるべきも⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾滲透には、特種の裝置を要すべく、經費も大となる、且つこの方法はブロック、抗、管等の製品には應用し得べきも、現場打混凝土には使用し難し、仍ち本方法は特殊の經濟的状況の下に、之等混凝土製品に對して用ふる場合に限り有効且つ經濟的方法となる。

(10) 硫黃滲透方法は、混凝土製品に對してのみ行ひ得べく、瀝青質材料の場合に比すれば滲透操作は容易なるべく、混凝土の強度を増大するものなれども、有害地下水、海水等に對しては、硫黃の酸化によりて硫酸を生じ、却つて混凝土の崩壊を招く原因となり得べきを以つて、有害水に對する防禦法としては何等效なし。⁽²⁾⁽²²⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾

六、 結 論

1. 河水の性質 三種共酸性にして、硫酸鹽に富みセメントを侵蝕する可能性あり。
2. この程度の水は、混凝土の混合水として使用することを得べし。
3. 混凝土が上記河水に浸漬せらるゝ場合は、其の中のセメントは河水中の酸によりて溶出せられ、且つ硫酸鹽によりて膨脹龜裂を起すを以つて、混凝土表面より漸次溶解及び崩壊を起すべく其の混凝土の良否によりて、河水の及ぼす影響に大なる差異あるべきも、No. 628 程度以上の濃度(酢川橋以上)を有する場合は混凝土に重大なる悪影響を及ぼすものと見做さる。
4. かゝる場合は、混凝土の表面を陶製タイル或は耐酸性石塊等を以て保護する必要あり。目筋材としては、高礮土セメントを使用し、尙目筋表面は瀝青質材料(アスファルト、或はアスファルト乳劑)を塗布するをよしとすべし。
5. 酸を含有せず、主として硫酸鹽のみを主たる有害物として含有する水に對しては、混凝土の水蒸氣養生法及び瀝青滲透法(抗、ブロック、タイル管等の製品の場合)及びセ

メントとして高純土セメントを使用すること、鐵セメント、鍍滓セメント等の使用は有效なるべし。

6. いづれの場合に於ても、混凝土の種類、粒度、配合、水量等を適當に調節し密實にして空隙率少き混凝土を造ることは肝要である。

7. 硫黄滲透は有害水に對する防禦方法とはならず、添加剤の混用は、添加剤の質によりて其の效果異なるも、有效なるもの少し。防水被膜を施すことは、其の剝離せざる間は有效である。瀝青乳劑の混用、珪弗化鹽の混用に關しては研究の餘地未だ多し。空氣中養生法、修酸或は修酸鹽溶液塗布法、珪弗化鹽溶液塗布法は表面的防水被膜を生ずるも永く有害水中に浸漬する築造物に對しては、長期の效果を期し難し。

悪水

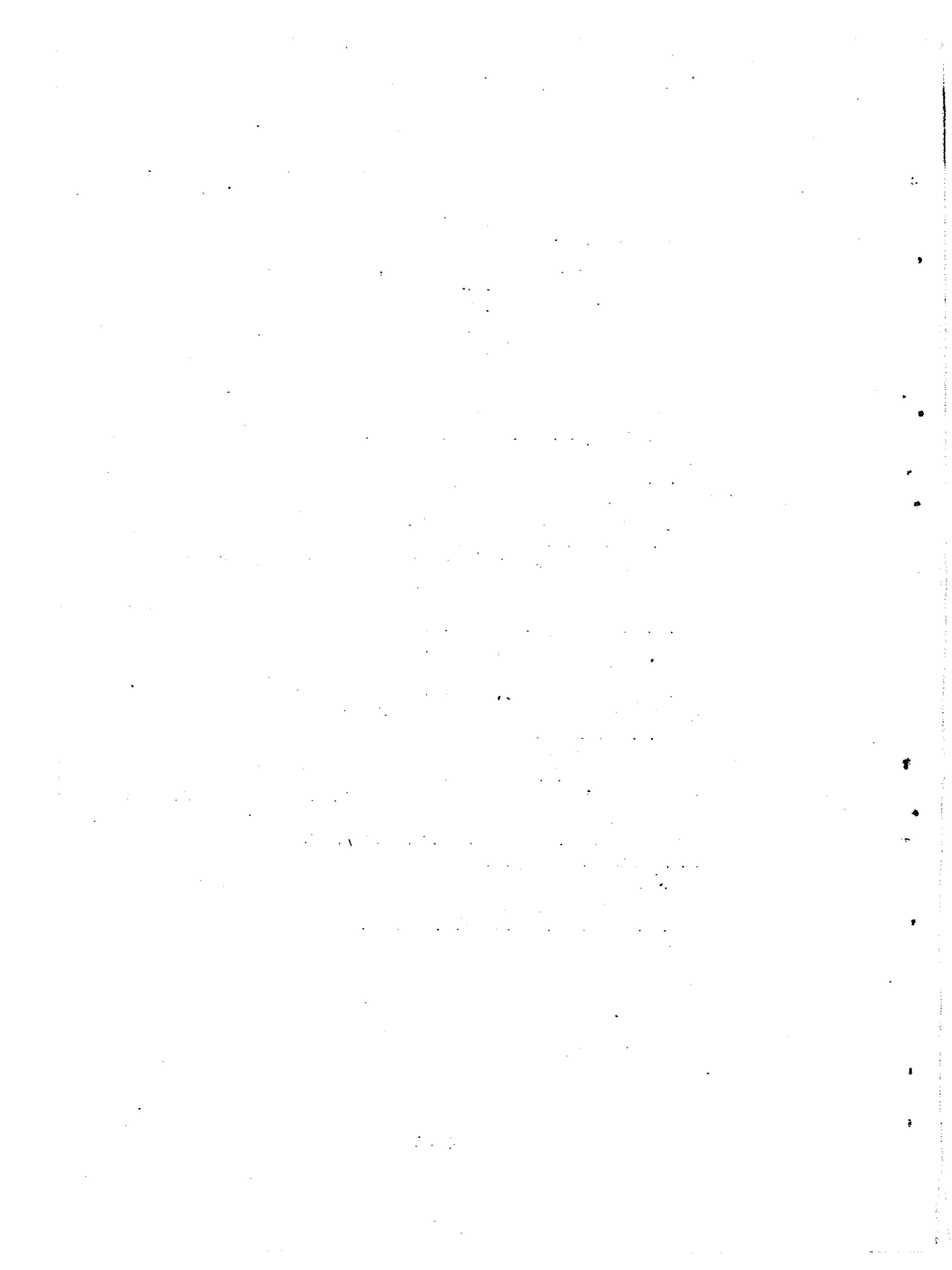
$$1.2 \times 9 = 9.8$$

$$1.2 \times 9 = 9.5$$

参 考 文 献

- (1) The Condition of Fieldspecimens of Concrete Exposed to Alkali Soils and Waters
Examined in December, 1927.
Eng. J. p. 184, March, 1928.
- (2) The Action of Sulphate Water on Concrete
D. G. Miller, Public Roads p. 64~87, May, 1931, Vol. 2. No. 3.
- (3) Effect of Steam Treatment of Portland Cement Mortars on Their Resistance to
Sulphate Action
T. Thorvaldson and V. A. Vigfusson
Eng. J. p. 174, March, 1928.
- (4) Chemische Widerstandsfähigkeit von Beton
Richard Grün 1928
- (5) Einwirkung chemische aggressiver Lösungen auf Zement und Mortel
E. Probst und E. Dorsch
Zement s. 292, 7, März 1929
338, 14, März, 1929
- (6) Der Einfluss der Temperatur der Salzlösungen und Mörtelstruktur auf das Ver-
halten von Portlandzement in aggressiven Lösungen
E. Probst und K. E. Dorsch.
Zem. s. 1090. 5, Sept, 1929.
- (7) セメント・モルタルに対する酸液の作用
永井彰一郎
窯業協会雑誌 1928年8月20日及び1929年7月1日
- (8) Resistance of Portland Cement Concrete to the Action of Sulphate Water as
Influenced by the Cement
D. G. Miller
Public Roads June 1928, Vol. 9. No. 4
Proc. A.S.T.M. p. 13, 1928
- (9) Notes on the Relative Resistance of Various Cements to the Action of Sulphate
Waters
T. Thorvaldson, Eng. J. p. 180, March, 1928
- (10) Disintegration of Portland Cement in Sulphate Water
T. Thorvaldson, Rae. H. Harris, David Waloschow
Ind. Eng. Chem. p. 467, May, 1925
- (11) Beton im Meerwasser
Richard Grün Zem. s. 1180, 8 Dez. 1927.
- (12) 高酸化鐵型ポルトランド・セメントの研究
永井彰一郎
工業化學雜誌 p. 134, 昭和 5. 2. 5
p. 286, 5. 3. 5
p. 421, 5. 4. 5

- (13) セメントの鉄酸石灰鹽及び鐵セメントの研究
永井彰一郎、浅岡勝彦
工化 p. 408 5. 4. 5
513 5. 5. 5
595 5. 6. 5
749 5. 7. 5
914 5. 8. 5
- (14) Tonerdezement
Haegermann Tonind 3393, 20, März 1930
- (15) Action of Sodium and Magnesium Sulphate on Calcium Aluminates
G. R. Shelton Ind. Eng. Chem. p. 1267, Dec., 1925
- (16) Alumina Cements and Sulphate Water
D. G. Miller
Concrete p. 29, April 1926
- (17) Action of Pure Water on Cement Mortar Briquettes
Eng. News. Rec. p. 236, Feb. p. 1928
- (18) アスファルト乳劑のセメントの凝結時間及び強度に及ぼす影響及び其の効力 内田夢郎
復興局技術試験所報告 第二部、第九編 p. 106
- (19) Concrete Piles Impregnated with Asphalt for Sea Water Use in Los Angeles Harbour
G. F. Nicholson Eng. News Rec. p. 990 1926
" " " p. 732 1926
- (20) Improved Asphalt Treatment for Concrete Piles in Sea Water
G. F. Nicholson Eng. News Rec. p. 95, July 18, 1929
- (21) Asphaitieren von Betonröhren nach dem Zentrifugal Verfahren
Zem. s. 242, 9. Feb. 1928
- (22) Schwefelimpregnation von Beton
Walter Obst Zem. s. 104, 10, Feb. 1927
- (23) The Use of Sulphur in Rendering Cement Drain Tile Resistant to the Attack of Alkali
P. H. Bates, Ind. Eng. Chem. Vol. 18, No. 3, p. 309, March, 1926
- (24) U.S.P. No. 1, 551, 574 Sept. 1, 1925
W. H. Kobbé
- (25) New Uses for Sulphur in Industry
W. H. Kobbé, Ind. Eng. Chem. p. 1026, Oct. 1924



標準砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響

内務技師 高 田 昭

一 緒 言

本報告は嘗て土木試験所報告第十二號に於て其の一部を豫報した試験の結果を纏めたものにして、火山灰其他石粉をセメントの代用材料として使用した場合の強度に及ぼす影響をセメント規格試験方法に従ひ標準砂(1:3)モルタルに就て試験すれば、セメントに對し化學的作用なき石粉を用ひたる場合に在りてもモルタルの強度の増加することを指摘し、此の如き影響は一般に石粉の成分及種類を問はず其の大きさ 100 番篩を通過し 200 番篩残留のものならばセメントの重量に對し 10~20% を代用せしめた場合に於て最も顯著なることを示し、又此の如き影響は抗張強度に於ても大體認められるのみならず、其の原因は物理的影響就中密度に對する影響に在ることを明らかならしめたものである。

本試験を行ふに至つた動機は石粉に關する試験結果より下記の如き事實を認め又諸方面に於て行はれたる試験結果に於ても亦略同様の傾向あるを知つた爲めである。

(1) 一般に火山灰其他之れに類する石粉のモルタル又は混凝土の強度に及ぼす影響に關する試験は、セメント規格試験方法に従つて標準砂(1:3)モルタルの強度試験に依り、其の結果は如何なる種類の石粉もセメントの 10~20% に相當する量を代用せし場合に限り其の強度を増加す。

(2) 斯様な結果は單に鐵槌機を使用し、且水量を規格試験方法に指示するが如き極度に硬練りとする程度に止めた場合にのみ限られ、更に水量を増加して通常混凝土に用ふる程度の軟練りとなれば石粉の代用泥加により却つて強度の減少を招くものが多い。

(3) 天然の河砂を用ひて(1)の場合と同様の試験をなすも一般に石粉の代用泥加量の増加に伴ひモルタルの強度は低下す。

本試験は技手眞崎季隆、細山角三及中武縁の三氏の助力に依つて遂行したものである。

二 試験方法及種類

モルタルの配合は重量比に依り又セメントの一部を石粉にて代用せしむる場合にも同様

に重量比に依り、混合は鐵製容器内にて手練りにて行ひたる他供試體の形狀、製作、養生並に強度試験は總べて商工省告示第四十一號セメント規格試験方法に従ひたるも、泥加水量に於て該方法に據る水量の他に其の 1.5, 2.0, 3.0 倍に相當する量を使用して軟練りのものを作りたる場合には鐵槌機の使用不可能なるを以て單に型内に流し込み鐵又は木の丸棒を用ひて軽く搗き固むるに止めた。使用したセメントは總べて淺野セメント（川崎工場製）である。

試験の目的は既に緒言に於て記述したるが如く標準砂(1:3)モルタルの強度に及ぼす石粉の影響に在るも其他の關係を明かならしめる爲め次の如き試験を行ふ。

(1) 荒川産砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響

埼玉縣大里郡寄居町地先より採取した砂を用ひ、重量にて 1:3 配合とし、セメントの 10, 20, 30% を硅酸白土にて置換へたる場合の抗壓強度を材齡 1, 13 週に於て比較す。使用したる荒川産砂は次の如き性状を有するものである。

8 番篩通過	16 番篩止	24 %	比 重	2.62
16 ,,	30 ,,	42	重 量	1,656 kg/m ³
30 ,,	50 ,,	27	空隙率	36.6 %
50 ,,	100 ,,	7		
100 ,,		0		

(2) 標準砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響

標準砂 1:3 モルタルに於てセメントの 10, 20, 30, 40 及 50% を石粉にて置換へたる場合の抗壓及抗張強度に及ぼす影響を材齡 4 及 13 週に於て比較す。

水試験に使用した石粉は花崗岩粉、石灰岩粉、硅酸白土、石英砂粉末及び凝灰質頁岩の 5 種とす。孰れもボールミル（鋪装用石材の締合力試験に使用するもの）に入れて粉碎し其の 99% が 100 番篩を通過し、12~15% が 200 番篩に残留する他は總べて 200 番篩を通過する粒度のものとなし充分乾燥せしめたる後に使用する。

泥加水量は規格試験方法に據る水量の他に其の 1.5, 2.0, 3.0 倍に相當する量をも用ひて其の影響を比較す。

供試體の比重は試験の都合上總べて抗張強度試験用供試體に就きて測定す。即同一試験に使用したる供試體全部の見掛けの容積及試験後乾燥したる時の重量とより比重を算出す。

(3) 標準砂 (1:3) モルタルの強度に影響を及ぼす石粉の大小

標準砂として使用する石英砂をボールミルにて粉碎し之れを篩分けて No. 50~80, 80

～100, 100～200 及 No. 200 通過の 4 種に分ち、夫々に就いて茲に述べたる石粉の影響に關する試験の場合と同様にセメントの 10, 20, 30 及 40% を代用せしめたる場合の抗壓強度に及ぼす影響を比較す。而して泥加水量は總べて標準規格に示す水量の場合のみに就て試験す。

三 試験の結果

(1) 荒川産砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響

荒川産砂に硅酸白土を混加して作りたる(1:3)モルタルをセメント規格試験方法に據りて試験せし場合の抗壓強度は第一表に示すが如く、其の材齡 1 及 13 週に於ては孰れもセメントのみを用ひたる場合が最強にして、セメントの一部を硅酸白土にて代用すれば其の量の増加するに従ひ漸次強度を減少す。

即荒川産砂の如き粗細粒の混合より成る砂を用ひたる場合には假令供試體の製作方法が標準砂を用ひたる場合の規格試験方法に準ずるも硅酸白土の代用混加により強度の増大を期待し得ざる場合あるを窺知することが出来る。本試験を行ふに至つた一動機も亦此の點に在る。

第一表 硅酸白土を混加せる荒川産砂(1:3)

モルタルの抗壓強度(kg/cm²)

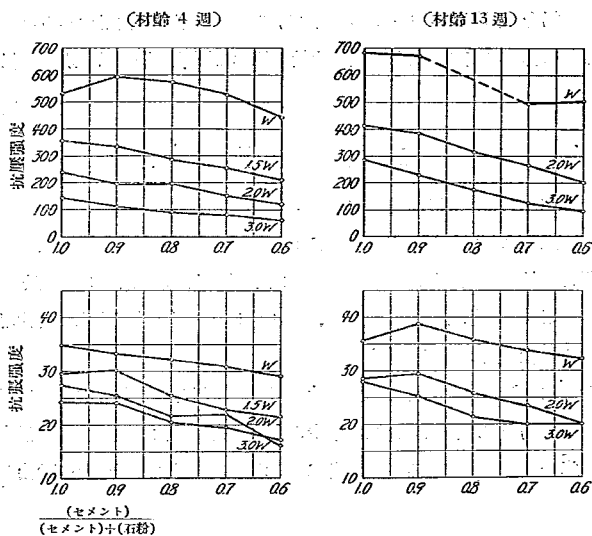
(セメント) (セメント)+(硅酸白土)		1.0	0.9	0.8	0.7
水	量 (%)	33.0	40.0	46.8	57.1
材	齡 1 週	433	352	275	192
材	齡 13 週	593	549	494	382

(2) 標準砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響

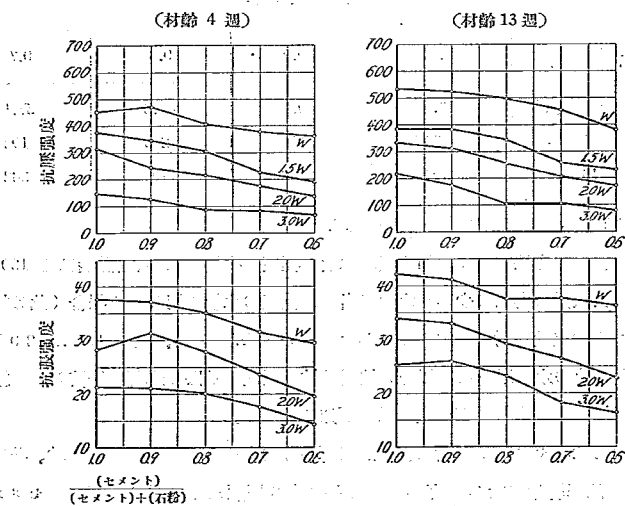
セメント規格試験方法に示すが如く泥加水量を極度に少量となし、鐵槌機にて 100～110 回撈きたる後供試體の裏面に少しく水の滲出する程度の水量を用ひたる場合(此の場合の水量をセメントの重量に對する比にて表したるものを W とす)、竝に 1.5 W, 2.0 W 及 3.0 W の如き多量の水を用ひたる場合の抗壓及抗張強度に及ぼす影響を比較したる結果は第一乃至第五圖及第二表乃至第三表に示すが如くである。

即硅酸白土の如きセメントに對し化學的影響ありと考へらるるもの又石英砂、花崗岩粉末の如き化學的影響殆ど無しと考へらるるもの等の區別なく諸種の石粉にてセメントの

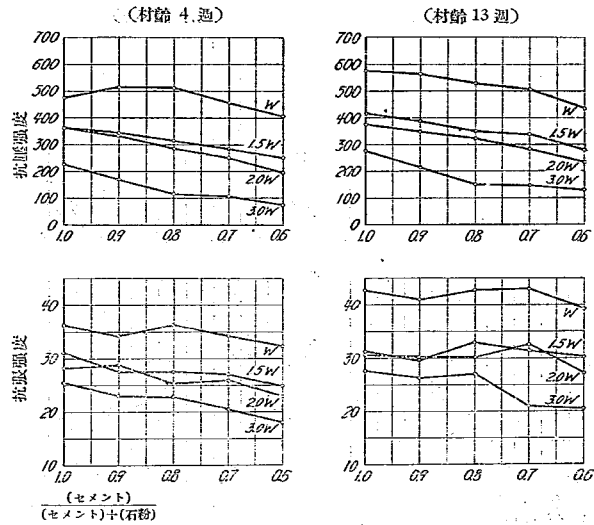
第一圖 花崗岩粉を混加せるモルタルの強度



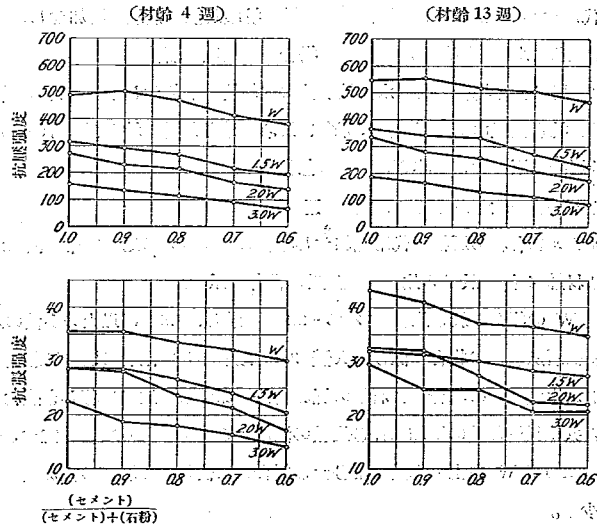
第二圖 石灰岩粉を混加せるモルタルの強度



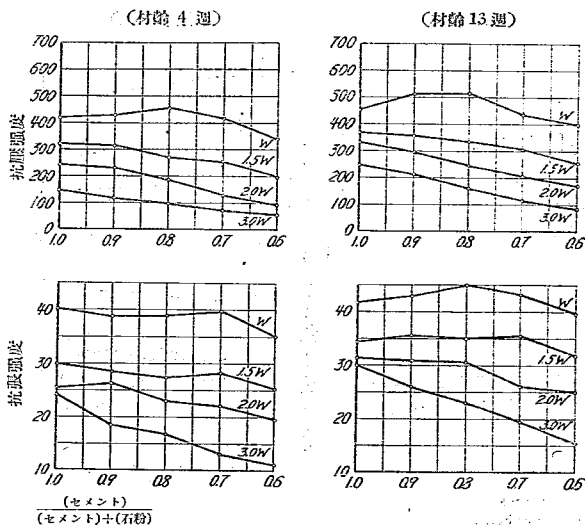
第三圖 硅酸白土を混加せるモルタルの強度



第四圖 石英砂粉末を混加せるモルタルの強度



第五圖 頁岩粉を混加せるモルタルの強度



10～20% を代用せしめ且水量 W の場合には一様に抗圧及抗張強度を増加せしむるも、更に石粉の混加量或は水量を増加すれば孰れの場合にも強度を漸減す。

但硅酸白土を用ひたる場合に限り水量並に其の混加量を増加せしむるも其の影響著しく輕微にして殊に抗張強度中には混加量 30% に及ぶも殆ど差異を示さざるものがあるが如きは多少化學的影響に原因するに非ざるかも想像さる。

(3) 標準砂モルタルに於ける強度と比重との關係

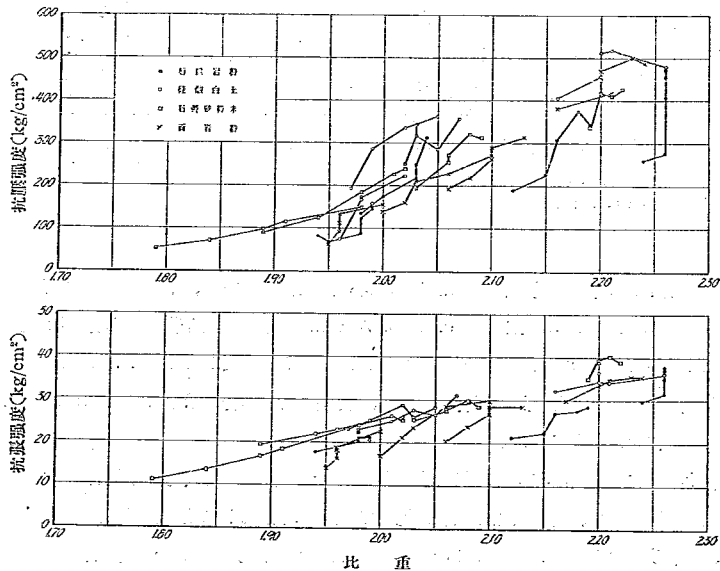
標準砂モルタルに各種の石粉を代用混加せし場合のモルタルの比重は第四表に示すが如く又第六圖は材齢 4 週に於ける比重と強度との關係を示す。

一般に水量 W の場合に於る比重は 2.16—2.26 を示し、1.5 W 以上の多量の水を使用したる場合には石灰岩粉の場合を除けば大體 2.10 以下にして兩者の間には相當著しい差違がある。混加水量 W の場合には石粉の混加量が増加するも比重に著しき變化を與へざるものと共に又混加量の増加に伴ひ比重の漸減するもの等ありて、一定せる傾向を示さない。然るに 1.5 W 以上の水量を用ひたる場合には例外なく石粉の混加量の増加に従ひ比重を減少す。

強度と比重との關係に於ても一般に正比例する關係に在ることが認めらる、即ち石粉の泥加量と共に比重も強度も變化する傾向は一般に認められて居る事實なるも標準砂 1:3 モルタルの場合にも亦同様の傾向を有するに拘らず、只泥加水量 W の場合に限り一般の傾向とは異り石粉の混加に因りて却つて強度を増加するものにして其の原因は必ず密度に及ぼす影響にあるものと考へざるを得ないから、之れを比重又は之れより計算せる密度乃至空隙率の變化によりて立證せんと企てたるも遺憾ながら充分の結果を擧げることが出来なかつたから茲には單に比重と強度とは互に正比例する關係を示したる結果のみに就いて記述するに止む。

第六圖 石粉を混加せる標準砂(1:3)モルタルの強度と比重との關係

(材料 4 週)



(4) 標準砂(1:3)モルタルの強度に影響を及ぼす石粉の大きさ

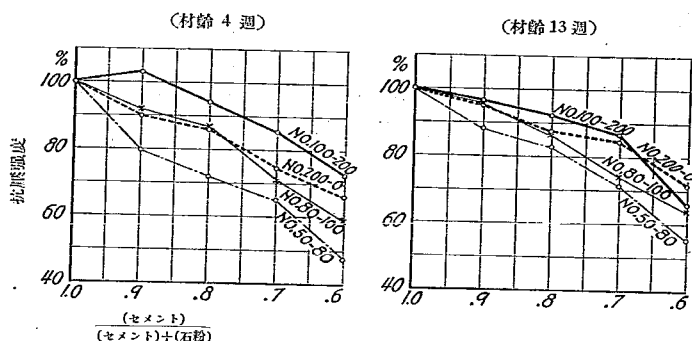
標準砂 1:3 モルタルの強度に及ぼす石粉の影響は前述の如くに泥加水量 W の場合にのみ認めらるるものにして、其の原因が主として物理的影響に在りとすれば標準砂の大きさ

(7)

が一定である關係上 1:3 モルタルの空隙を充填して其の密度を大ならしむる石粉の大き
竝に量には一定の限界がなければならぬ。第五表は各種の大きを有する標準砂の粉末を
諸種の割合に混合した場合の抗壓及抗張強度を示し、又第七圖は其の結果に基づき石粉を
混加せざる場合の強度を 100% とし之れに對する強度の變化を示す。

第七圖 諸種の大きを有する石英粉末を混加せる

標準砂モルタルの抗壓強度



強度に及ぼす影響は一般の石粉を用ひたる場合程顯著でないが、材齢 4, 13 週共に
No. 100—No. 200 のもの即ち大さ 0.14—0.074 mm のものが最も著しい影響を示し、次
に No. 200—0, No. 80—No. 100 にして No. 50—No. 80 即ち 0.29—0.17 mm の如き
比較的粗粒なるものは常に悪い影響を與ふ。即最も効果的影響を示すものは No. 100 以
下の大きを有する粉末である。

標準砂を一定の半径を有する理想的球と考へ之れが一様なる配列をなす場合其の空隙を
充すに足る球の大き、量及空隙の減少に就いては既に所報第十二號に記述したる如くであ
るが、標準砂の大きは 0.850—0.543 mm にして之れを平均 0.69 mm と假定すれば其の
空隙竝に之れを充填する球の大き及量等の關係は次の如くである。

(A) $2R=0.69$ mm なる球が其の中心を一邊 $2R$ なる正四面體の各頂點上に配列する
場合

各球間の空隙に 2 種の大きあり、其の内に入り得る球の最大直径は

$$2r_1 = 2(\sqrt{\frac{3}{2}} - 1)R = 0.15 \text{ mm} \quad \text{但 100 番篩の孔径 } 0.14 \text{ mm}$$

$$80 \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad 0.17$$

$$2r_2 = 2(\sqrt{2} - 1)R = 0.28 \quad 50 \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad 0.29$$

(B) 各球が互に直角なる 3 軸上にて接する場合

各球間の空隙の大きさは一定にして其の内に入り得る球の最大直径は

$$2r_3 = 2(\sqrt{3} - 1)R = 0.50 \quad 30 \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad 0.50$$

である。而して各球の比重が同一ならば (A) 配列の場合に R 球の重量に對し r_1 球 1.14 %, r_2 球 7.09 % 合計 8.23 % を混加すれば原空隙の約 30 % を減少し、 r_1 球のみを約 3.4 % 混加すれば約 13 % を減少す。又 (B) 配列の場合には徑 r_3 球を 39.2 % 混加すれば原空隙の約 43 % を減少し、 r_1 球のみを約 15 % 混加すれば約 16 % 減少す。従て標準砂の場合に於ても上記の如き關係を有する大きさの石粉を 3.4—39 % の範圍にて混加し各砂粒が (A) 又は (B) に示すと同様の配列を爲すモルタルを作り得るならば、半徑 R なる砂のみを用ひたる場合に比しセメントの量を 13—43 % 減少するもモルタルの密度には殆ど差異を生ぜざる筈である。

然れども標準砂は比較的球に近き形狀を爲すと雖、猶相當に不規則にして且稜角を有するもの多く、之れにセメントを混するときは標準砂も石粉も共にセメント粒にて被はれるのみならず空隙の大部分はセメントにて充填される爲め、實際にモルタル内の砂粒間に比較的容易に入り且之れが爲めに密度を減少せしむる様な惧れなき石粉の大きさは徑 r_1 又は夫れ以下のものと推測される。

以上記せし考察と本試験の結果とは相當に合致せるものにして No. 100—No. 200 のものが最も大なる影響を與ふる原因も亦首肯し得るのである。即 No. 80 乃至 No. 100 番篩を通過し且セメント粒子より大なる大きさを有する石粉をセメントの 10—20 % の代用として混加すれば標準砂 1 : 3 モルタルの密度を大ならしめ、惹いては其の強度に影響を及ぼすこととなる。

斯様な關係は單に鐵槌機を使用して供試體を作る場合にのみ限られ、水量多き場合には標準砂及石粉は共に水膨(Bulking)を起し且セメントペーストは極めて多量の水分即空隙に富むものとなるを以て、石粉混加の空隙率に對する好影響は殆ど消失し却つて惡影響を招く結果となる。(終)

第 二 表 石粉を混加せる標準砂(1:3)モルタルの抗壓強度(kg/cm²)

		水量=W				
(セメント) (セメント)+(石粉)		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
花 崗 岩 粉	W (%)	25.5	28.3	31.9	36.4	42.5
	4 週	529	593	578	526	439
	13 "	682	692	495	493	504
石 灰 岩 粉	W (%)	25.5	28.5	32.2	37.0	43.3
	4 週	455	471	406	276	259
	13 "	534	520	498	458	382
硅 酸 白 土	W (%)	25.5	28.3	31.9	36.4	42.5
	4 週	478	507	512	455	407
	13 "	576	561	524	507	433
石英砂粉末	W (%)	25.5	28.3	31.9	36.4	42.5
	4 週	488	501	470	414	382
	13 "	544	522	514	506	466
頁 岩 粉	W (%)	25.5	32.0	39.5	50.2	62.0
	4 週	412	374	455	417	338
	13 "	453	510	516	432	399
		水量=1.5 W				
花 崗 岩 粉	1.5W (%)	38.3	42.5	47.9	54.6	63.8
	4 週	354	327	283	253	210
	13 "	438	368	306	310	244
石 灰 岩 粉	1.5W (%)	38.3	42.8	48.3	55.5	65.0
	4 週	375	343	306	225	188
	13 "	387	383	343	261	223
硅 酸 白 土	1.5W (%)	38.3	42.5	47.9	54.6	63.8
	4 週	361	343	314	284	249
	13 "	417	389	348	338	280
石英砂粉末	1.5W (%)	38.3	42.5	47.9	54.6	63.8
	4 週	313	291	268	219	194
	13 "	363	339	330	271	221
頁 岩 粉	1.5W (%)	38.3	49.4	59.3	75.3	93.0
	4 週	319	313	270	254	196
	13 "	369	355	335	307	253
		水量=2.0 W				
花 崗 岩 粉	2.0W (%)	51.0	56.6	63.8	72.8	85.0
	4 週	237	195	151	119	119
	13 "	400	384	315	264	200
石 灰 岩 粉	2.0W (%)	51.0	57.0	64.4	74.0	86.6
	4 週	311	247	215	173	135
	13 "	336	312	255	202	172
硅 酸 白 土	2.0W (%)	51.0	56.6	63.8	72.8	85.0
	4 週	364	335	285	249	192
	13 "	377	348	322	282	233
石英砂粉末	2.0W (%)	51.0	56.6	63.8	72.8	85.0
	4 週	270	228	214	164	140
	13 "	335	278	254	204	169
頁 岩 粉	2.0W (%)	51.0	64.0	79.0	100.4	124.0
	4 週	239	228	186	124	92
	13 "	329	295	246	204	171

第二表(続き)

水量=3.0 W

(セメント) (セメント)+(石粉)		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
花崗岩粉	3.0W(%)	76.5	84.9	95.7	109.2	127.5
	4 週	141	109	90	80	60
	13 //	283	230	174	124	95
石灰岩粉	3.0W(%)	76.5	85.5	96.6	111.0	129.9
	4 週	145	124	87	80	67
	13 //	218	174	106	102	79
硅酸白土	3.0W(%)	76.5	84.9	95.7	109.2	127.5
	4 週	224	171	116	106	74
	13 //	275	213	150	144	128
石英砂粉末	3.0W(%)	76.5	84.9	95.7	109.2	127.5
	4 週	154	133	112	91	63
	13 //	183	161	129	111	82
頁岩粉	3.0W(%)	76.5	96.0	118.5	150.6	186.0
	4 週	148	115	96	70	53
	13 //	246	211	160	116	84

第三表 石粉を混加せる標準砂(1:3)モルタルの抗張強度(kg/cm²)

水量=W

(セメント) (セメント)+(石粉)		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
花崗岩粉	W (%)	24.0	26.7	30.0	34.3	40.0
	4 週	34.7	35.3	32.0	30.8	28.9
	13 //	35.6	38.8	35.7	33.8	32.2
石灰岩粉	W (%)	24.0	26.7	30.0	34.3	40.0
	4 週	37.8	37.3	35.1	31.5	29.6
	13 //	42.2	41.1	37.5	37.5	32.4
硅酸白土	W (%)	24.0	26.7	30.0	34.3	40.0
	4 週	36.2	34.3	36.4	34.2	32.3
	13 //	42.7	41.0	42.8	43.0	39.0
石英砂粉末	W (%)	24.0	26.7	30.0	34.3	40.0
	4 週	35.6	35.6	33.5	34.7	30.0
	13 //	43.3	41.0	37.0	36.6	29.6
頁岩粉	W (%)	24.0	31.0	38.7	47.3	58.3
	4 週	40.3	38.9	39.1	39.5	34.9
	13 //	41.7	43.0	45.1	43.7	39.7

水量=1.5 W

花崗岩粉	1.5W(%)	36.0	40.1	45.0	51.5	60.0
	4 週	29.6	30.0	25.4	22.7	21.4
	13 //	36.0	40.1	45.0	51.5	60.0
石灰岩粉	1.5W(%)	36.0	40.1	45.0	51.5	60.0
	4 週	27.5	28.5	27.0	22.4	21.2
	13 //	33.5	30.0	29.8	24.8	23.6
硅酸白土	1.5W(%)	36.0	40.1	45.0	51.5	60.0
	4 週	31.1	27.5	27.5	26.5	24.9
	13 //	31.1	29.7	33.1	31.5	30.1
石英砂粉末	1.5W(%)	36.0	40.1	45.0	51.5	60.0
	4 週	28.6	28.5	26.7	23.8	20.5
	13 //	31.9	31.2	29.9	28.2	22.2
頁岩粉	1.5W(%)	36.0	46.5	58.1	71.0	87.5
	4 週	30.0	28.6	27.3	28.2	25.4
	13 //	34.4	35.5	35.0	35.5	31.7

(H)

第三表(續き)

水量=2.0 W

(セメント) (セメント)+(石粉)		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
花 崗 岩 粉	2.0W(%)	48.0	53.4	60.0	68.6	80.0
	4 週	27.4	25.5	21.7	22.0	16.1
	13 //	28.4	29.5	25.8	23.6	20.0
硅 酸 白 土	2.0W(%)	48.0	53.4	60.0	68.6	80.0
	4 週	28.2	28.8	25.2	26.0	22.9
	13 //	30.7	30.0	30.1	32.5	27.1
石英砂粉末	2.0W(%)	48.0	53.4	60.0	68.6	80.0
	4 週	29.8	28.2	23.6	21.3	17.0
	13 //	32.2	31.9	27.3	22.4	21.8
頁 岩 粉	2.0W(%)	48.0	62.0	77.4	94.6	116.6
	4 週	25.4	26.3	23.0	22.0	19.5
	13 //	31.4	31.0	30.4	25.9	24.9

水量=3.0 W

花 崗 岩 粉	3.0W(%)	72.0	80.1	90.0	102.9	120.0
	4 週	24.2	23.9	20.4	19.4	16.9
	13 //	27.9	25.3	21.4	20.1	20.1
石 灰 岩 粉	3.0W(%)	72.0	80.1	90.0	102.9	120.0
	4 週	21.3	21.1	20.2	17.7	14.3
	13 //	25.5	25.9	23.2	18.4	16.3
硅 酸 白 土	3.0W(%)	72.0	80.1	90.0	102.9	120.0
	4 週	25.6	23.0	22.9	20.5	18.0
	13 //	27.6	26.2	26.9	21.1	20.5
石英砂粉末	3.0W(%)	92.0	80.1	90.0	102.9	120.0
	4 週	22.6	18.7	17.9	16.3	14.0
	13 //	29.5	24.7	24.7	20.6	20.5
頁 岩 粉	3.0W(%)	72.0	93.0	116.1	141.9	174.9
	4 週	24.2	18.5	16.8	13.4	11.1
	13 //	30.1	26.0	23.1	19.6	15.3

第 四 表 石粉を混加せる標準砂(1:3)モルタル供試體の比重

(セメント) (セメント)+(石粉)			1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
花崗岩粉	W	13 週	2.26	2.28	2.25	2.23	2.24
	1.5W	13 〃	2.10	2.07	2.04	2.05	2.05
	2.0W	13 〃	2.08	2.07	2.04	2.02	2.02
	3.0W	13 〃	2.01	2.00	1.98	1.97	2.02
石灰岩粉	W	4 〃	2.26	2.26	2.26	2.26	2.24
		13 〃	2.24	2.23	2.23	2.21	2.20
	1.5W	4 〃	2.18	2.19	2.16	2.15	2.12
		13 〃	2.17	2.12	2.12	2.11	2.09
	2.0W	4 〃	2.04	2.03	2.03	2.00	1.98
		13 〃	2.05	2.03	2.02	1.98	1.96
	3.0W	4 〃	1.99	1.98	1.98	1.94	1.95
		13 〃	1.98	2.01	1.97	1.96	1.96
珪酸白土	W	4 〃	2.26	2.21	2.20	2.20	2.16
		13 〃	2.24	2.22	2.21	2.20	2.18
	1.5W	4 〃	2.07	2.03	2.03	2.05	2.02
		13 〃	2.07	2.03	2.05	2.06	2.02
	2.0W	4 〃	2.05	2.02	1.99	2.03	1.97
		13 〃	2.02	2.01	1.99	2.01	1.96
	3.0W	4 〃	2.02	1.98	1.98	1.99	1.96
		13 〃	2.02	2.03	1.99	1.98	1.98
石英砂粉末	W	4 〃	2.24	2.23	2.20	2.21	2.17
		13 〃	2.22	2.23	2.21	2.20	2.20
	1.5W	4 〃	2.13	2.10	2.10	2.08	2.06
		13 〃	2.06	2.04	2.06	2.04	2.01
	2.0W	4 〃	2.10	2.06	2.03	2.02	2.00
		13 〃	2.06	2.03	2.00	1.97	1.97
	3.0W	4 〃	2.00	1.96	1.96	1.96	1.95
		13 〃	2.01	1.99	1.98	1.98	1.98
頁岩粉	W	4 〃	2.21	2.22	2.20	2.20	2.19
		13 〃	2.21	2.22	2.21	2.21	2.18
	1.5W	4 〃	2.08	2.09	2.06	2.06	2.03
		13 〃	2.09	2.12	2.08	2.03	2.06
	2.0W	4 〃	2.02	2.01	1.96	1.94	1.89
		13 〃	2.03	2.00	1.96	1.92	1.89
	3.0W	4 〃	1.98	1.91	1.89	1.84	1.79
		13 〃	1.99	1.95	1.90	1.87	1.80

第五表 石英砂粉末を混加せる標準砂(1:3)モルタルの強度

(セメント) (セメント)+(石粉)		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
水	量 (%)	25.0	27.8	31.3	35.7	41.7
抗 壓 強 度 (kg/cm ²)						
No. 50—No. 80	4 週	455	362	327	294	216
	13 "	529	466	436	377	291
No. 80—No. 100	4 "	463	426	404	330	273
	13 "	547	523	474	405	353
No. 100—No. 200	4 "	384	395	361	329	279
	13 "	500	481	436	408	311
No. 200—	0	495	445	427	368	327
	13 "	517	492	453	437	368
抗 張 強 度 (kg/cm ²)						

No. 50—No. 80	4 週	39.3	37.2	31.4	26.2	21.8
	13 "	50.7	44.7	37.3	31.8	28.3
No. 80—No. 100	4 "	37.5	33.3	32.6	30.1	23.6
	13 "	46.1	42.0	40.0	38.8	28.7
No. 100—No. 200	4 "	38.5	34.0	32.8	29.3	24.5
	13 "	45.5	41.0	39.0	35.4	30.2
No. 200—	0	38.3	34.3	31.8	29.4	26.4
	13 "	44.1	45.2	39.0	36.9	31.8

第六表 石英砂粉末を混加せる標準砂(1:3)モルタル供試體の比重

(セメント) (セメント)+(石粉)		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
No. 50—No. 80	4 週	2.29	2.26	2.22	2.19	2.15
	13 "	2.30	2.29	2.24	2.21	2.17
No. 80—No. 100	4 "	2.26	2.25	2.25	2.25	2.16
	13 "	2.30	2.29	2.26	2.28	2.20
No. 100—No. 200	4 "	2.24	2.26	2.21	2.19	2.15
	13 "	2.27	2.26	2.23	2.22	2.20
No. 200—	0	2.24	2.23	2.21	2.18	2.18
	13 "	2.27	2.26	2.24	2.23	2.22

瀝青乳劑試驗成績

内務技師 西 川 榮 三

近來道路舗装用として瀝青質材料の使用益發達するに従ひ、之を乳劑の形として常溫の儘舗装工事に使用すること漸次盛となり、瀝青乳劑の製造者も最近數年間に著しく數を増加し、従つて製品の種類頗る多く、其の性質も雜多である。第一表は、之等瀝青乳劑の性質を取纏めて表示せるものにして、この中には、エマルビア（東京瀝材工業所）、ビチュマルス（日本ビチュマルス株式會社）、ウオーターファルト（小倉石油株式會社）、日石瀝劑（日本石油株式會社）、アスカル及アスカル X.（カスカル工業合資會社）、エムラス（日本エムラス工業所）、キュアクリート（米國品 Barbar Asphalt Co. 大倉商事株式會社取扱）、國光液體アスファルト（日本化學工業所）、鈴木乳劑（日本アスファルト乳劑株式會社）、ニューカース（日本土木建築株式會社）、藤田乳劑（藤田化學研究所）、レイコン（日本瀝青工業所）、レイコールド（米國 Crown Bitumens Corporation）、ターフロイド及メトロ（ターフロイド會社）等種々の製品を含む。

舗装用乳劑は、大別して、路面處理及透入法用乳劑、混合法用乳劑及混凝土養生用乳劑の三種類となすことを得べきも、本邦に於て多く使用せらるゝものは第一類にして、他は極めて少し。従つて本表中には之等三種類を同一表中に記載し、備考中に其の區別を明かにするに止めた。

瀝青乳劑の試験に關しては、各國其の方法區々にして、未だ定りたる所なく、従つて本試験所に於ては、之等諸種の試験方法を參照し、併せて、本邦瀝青乳劑に適當する方法を定め、之に據りて試験を行ふこととした。（瀝青乳劑の試験方法につきては、近く別に發表する豫定なるを以つて、こゝに之を記さず）。

瀝青乳劑試験成績概觀。第一表中 A, B, C, ……等は夫々同種製品を表示せるものにして、合計十數種、77 試料についての試験成績を見るに、本邦に於ける瀝青乳劑は、原料瀝青質材料としては、概ね石油アスファルトを使用し其の多くは路面處理或は透入法用を目的として製造せられてゐる。混合法用を目的とせるもの、或は、其の性質兩者の中間に位するもの等一、二あるも、混合法用乳劑は未だ充分發達し居らざるが如し。混凝土養生用としては透入法用乳劑を使用し得べし。

第一表 瀝青乳劑試驗成績 (1)

試料番號	845	.....	.....	921	922	923	960	961
試料名	A	A	A	A	A	A	A	A
産地或は製造所	神奈川県 昭和	神奈川県 大正	神奈川県 大正	神奈川県 昭和	神奈川県	神奈川県	神奈川県	神奈川県
試料受入年月	6. 1. 10	14. x. x	14. x. x	6. 6. 18	6. 6. 18	6. 6. 18	6. 7. x	6. 7. x
試験年月	6. 1. x	6. 1. x	6. 1. x	6. 6. 27	6. 6. 27	6. 6. 27	6. 7. x	6. 7. x
1. 外觀	褐色均等	褐色均等	褐色均等	褐色均等	同 左	同 左	暗褐色均等	同 左
2. 比重 25/25°C	1.016	1.006	1.010	1.007	1.007	1.006	1.010	1.010
3. 比粘度エングラマー								
25°C, 50cc	4.7	2.6	2.8	2.9	3.0	3.0	3.1	2.8
4°C, 50cc	14.5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4. 瀝青質残留物 %	57.0	45.0	50.0	50.5	51.0	51.3	51.0	50.0
5. 同上性質								
針度 25°C	135	195	155	141	142	142	164	163
延性 25°C	>100	>100	74	.....	.....	.....	>100	>100
15°C	.....	.....	.....	>100	>100	>100	.....	.....
軟化點 R&B °C	43.0	39	47	.....	.....	.....	.....	.....
6. 貯藏安定度 %	1.5	.....	.....	4.2	7.7	6.1	7.0	6.0
7. 分解速度	.....	.....	.....	<2時	<2時	<2時	1時	1時
8. 被膜の狀態	.....	良	良	良	良	良	良	良
9. 低温安定度	可	.....	.....	良	良	.....	.....	.....
10. 混水安定度	良	良	良	.....	.....	.....	.....	.....
11. 瀝青 CCl ₄ %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
CS ₂ %	56.2	44.0	49.0	.....	.....	.....	.....	.....
12. 鐵物性物質 %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
使用場所	高田馬場坂	同 左	同 左	郡山市	郡山市	郡山市	郡山市	郡山市
用途	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法
備考	良	.....	.....	良	良	良	良	良

第一表 瀝青乳劑試驗成績 (2)

試料番號	962	963	964	1007	1008	1009	1010
試料名	A	A	A	A	A	A	A
產地或製造所	神奈川県 昭和	神奈川県	神奈川県	神奈川県	神奈川県	神奈川県	神奈川県
試料受入年月	6. 7. x	6. 7. x	6. 7. x	6. 8.25	6. 8.25	6. 8.25	6. 8.25
試驗年月	6. 7. x	6. 7. x	6. 7. x	6. 9. x	6. 9. x	6. 9. x	6. 9. x
1. 外觀	暗褐色 均等	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
2. 比重 25/25°C	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010
3. 比粘度エンゲラー							
25°C, 50cc	2.7	3.1	3.0	2.0~8.0	同 左	同 左	同 左
4°C, 50cc	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4. 瀝青質殘留物 %	50.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0
5. 同上性質							
針度 25°C	162	165	170	.....	.....	.....	.....
延性 25°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
15°C	.....	.....	.....	>100	>100	>100	>100
軟化點 R&B °C	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
6. 貯藏安定度 %	7.0	7.0	3.0	8.0	8.0	9.0	5.0
7. 分解速度	1時	1時	1時	1~1.5時	1~1.5時	1~1.5時	1~1.5時
8. 被膜の状態	良	良	良	良	良	良	良
9. 低温安定度	原料アスファルト性質 針度 25°C 198 軟化點 R&B 37.5 延性 25°C >100 15°C >100 蒸發減 163°C 50g 5h 0.08% 蒸發後針度 25°C 159 瀝青全量 CS ₂ 99.98%			.....	.....	.....	.....
10. 混水安定度				.....	.....	.....	.....
11. 瀝青 CCl ₄ %				.....	.....	.....	.....
CS ₂ %				.....	.....	.....	.....
12. 銹物性物質 %				.....	.....	.....	.....
使用場所	郡山市	郡山市	郡山市	郡山市	郡山市	郡山市	郡山市
田 途	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法
備 考	良	良	良	良	良	良	良

第一表 瀝青乳劑試驗成績 (3)

試料番號	1011	1026	814	815	926	927	948	949	950
試料名	A	A	B	B	B	B	B	B	B
產地或製造所	神奈川縣	神奈川縣	神奈川縣	神奈川縣	神奈川縣	神奈川縣	神奈川縣	神奈川縣	神奈川縣
試料受入年月	6.8.25	6.9.16	5.11.x	5.11.x	6.6.23	6.6.23	6.7.2	6.7.2	6.7.2
試驗年月	6.9.x	6.9.25	5.11.x	5.11.x	6.7.2	6.7.2	6.7.x	6.7.x	6.7.x
1. 外觀	暗褐色均等	暗褐色均等	均等	均等	暗褐色均等	同左	同左	同左	同左
2. 比重 25°/25°C	1.010	1.012	1.020	1.020	1.011	1.012	1.020	1.020	1.015
3. 比粘度エンゲラー									
25°C, 50cc	2.0~8.0	3.3	5.1	4.1	2.7	3.0	5.5	5.5	5.1
4°C, 50cc	.....	.....	7.6	8.2	.....	.....	.....	.....	.....
4. 瀝青質殘留物 %	51.0	55.0	52.0	53.0	52.5	52.5	53.0	54.0	54.0
5. 同上性質									
針度 25°C	.....	150	98	89	128	110	128	129	129
延性 25°C	>100	>100	>100	>100	96	80	>100	>100	>100
15°C	>100	>100	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
軟化點 R&B °C	.....	42	51	52	43.0	43.5	43.0	43.0	43.0
6. 貯藏安定度 %	4.0	1.0	2.9	.....	8.7	10.2	1.0	1.0	1.0
7. 分解速度	1~1.5時	30分~1時	<2時	<2時	30分	30分	1時	1時20分	1.0時
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良	良	良
9. 低溫安定度	.....	.....	全分離	全分離	原料アスファルト性質 針度 25°C 138 軟化點 R&B 39°C 延性 25°C >100 蒸發減 163°C, 50g, 5h 0.14% 蒸發殘留物針度 122(89.5%) 瀝青, CS ₂ 99.9%				
10. 混水安定度	.....	.....	全分離	全分離					
11. 瀝青 CCl ₄ %	.....	.....	.....	.....					
CS ₂ %	.....	.....	51.6	52.4					
12. 雜物性質 %	.....	.....	.....	.....					
使用場所	宇都宮市 混成土養生	神奈川縣 透入法	高崎場 透入法	高崎場 透入法	高崎市	高崎市	高崎市	高崎市	高崎市
使用法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法
備考	良	良	低溫には使用し難し	低溫には使用し難し	良	良	良	良	良

第一表 溼青乳劑試驗成績 (4)

試料番號	951	925	928	929	930	658	812
試料名	B	B	B	B	B	C	C
產地或製造所	神奈川県	同 左	同 左	同 左	同 左	.....	.....
試料受入年月	6. 7. 2	6. 6.23	6. 6.23	6. 6.23	6. 6.23	4.11.18	5.11. 4
試驗年月	6. 7. x	6. 7. 3	6. 7. 3	6. 7. 3	6. 7. 3	4.11. x	5.11. x
1. 外 觀	暗褐色均整弱アルカリ性	同 左	同 左	同 左	同 左	.....	褐色均等
2. 比重 25°/25°C	1.020	1.012	1.012	1.010	1.011	.....	1.015
3. 比粘度エンゲラー							
25°C, 50cc	5.6	2.7	3.0	2.4	2.6	.....	2.3
4°C, 50cc	.....	.....	.....	.....	.....	.....	3.9
4. 溼青質殘留物 %	54.0	52.0	52.5	50.0	50.3	55.3	50.0
5. 同上性質							
針度 25°C	129	133	110	127	120	81	126
延性 25°C	>100	98	73	82	92	>100	>100
15°C	.....	.....	.....	.....	.....	>100	.....
軟化點 R&B °C	43.0	43.5	44.0	43.0	43.0	50.5	43.0
6. 貯藏安定度 %	1.0	14.7	15.3	.....	26.9	.....	6.5
7. 分解速度	1.0時	30分	30分	30分	30分	.....	<2時
8. 被膜の狀態	良	良	良	良	良	.....	可
9. 低温安定度	原料アスファルト性質はNo.926~No.950と同様	.....	.....	.....	.....	.....	良
10. 混水安定度		.....	.....	.....	.....	.....	可
11. 溼青 CCl ₄ %		.....	.....	.....	.....	.....	.....
CS ₂ %		.....	.....	.....	.....	54.5	49.7
12. 鑛物性物質 %		.....	.....	.....	.....	.....	.....
使用場所	高崎市	.....	.....	.....	.....	東京府	.....
用 途	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法用
備 考	良	不良不安定	不良不安定	不良不安定	不良不安定	.....	良

第一表 瀝青乳劑試驗成績 (5)

試料番號	808	818	979	980	997	998	999
試料名	D	D	D	D	D	D	D
產地或は製造所	神奈川縣	神奈川縣	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
試料受入年月	5.10.28	5.11.19	6. 8. 7	6. 8. 7	6. 8.14	6. 8.14	6. 8.14
試驗年月	5.11. x	5.12. x	6. 8. x	6. 8. x	6. 8. x	6. 8. x	6. 8. x
1. 外 觀	均等。但沈澱し易し	均等。沈澱の傾向あり	淡褐色等	暗褐色等	同 左	同 左	同 左
2. 比重 25°/25°C	1.017	1.015	1.018	1.020	1.020	1.020	1.020
3. 比粘度エンゲラー							
25°C, 50cc	1.7	3.5	.....	2.3	4.0	3.5	2.5
4°C, 50cc	2.9	6.9	.....	.....	.....	.....	.....
4. 瀝青質殘留物 %	52.0	54.5	22.0	55.0	62.0	63.0	60.0
5. 同上性質							
針度 25°C	75	138	.....	109	130	133	138
延性 25°C	>100	>100	.....	>100	.....	.....	.....
15°C	.....	.....	.....	.....	>100	>100	>100
軟化點 R&B °C	50.0	43.0	.....	.....	.....	.....	.....
6. 貯藏安定度 %	44.5	11.8	.....	23.0	4.0	5.0	8.0
7. 分解速度	.....	<2時	.....	1時	40分	40分	40分
8. 被膜の狀態	可	良	.....	良	可	可	良
9. 低温安定度	全く分離す	變化なし	.....	.....	.....	.....	.....
10. 混水安定度	可	可	.....	.....	.....	.....	.....
11. 瀝青 CCl ₄ %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
CS ₂ %	51.8	54.0	.....	.....	.....	.....	.....
12. 礦物性物質 %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
使用場所	高田馬場	高田馬場	參考品	.....	福岡市	同 左	同 左
用途	透入法	透入法	透入法	混凝土養生用	透入法	透入法	透入法
備 考	不良品 使用せず	稍良し	瀝青殘留に不 良。 物少き。不 良。	不良 不安定	良	良	良

第一表 瀝青乳劑試驗成績 (6)

試料番號	1000	1001	981	982	983	984	1003
試料名	D	D	D	D	D	D	D
產地或は製造所	神奈川縣	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
試料受入年月	6. 8.14	6. 8.14	6. 8. 7	6. 8. 7	6. 8. 7	6. 8. 7	6. 8.22
試驗年月	6. 8. x	6. 8. x	6. 8. x	6. 8. x	6. 8. x	6. 8. x	6. 9. x
1. 外觀	暗褐色等	暗褐色等	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
2. 比重 25/25°C	1.015	1.015	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020
3. 比粘度エングレー							
25°C, 50cc	2.3	2.3	2.0	2.5	2.3	2.2	.....
4°C, 50cc	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4. 瀝青質殘留物 %	57.0	57.0	58.0	57.0	57.0	57.0	.....
5. 同上性質							
針度 25°C	140	150	110	116	119	118	.....
延性 25°C	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
軟化點 R&B °C	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
6. 貯藏安定度 %	4.0	5.0	21.0	20.0	20.0	22.0	6.3
7. 分解速度	40分	40分	40分	40分	40分	40分	30分~1時
8. 枝膜の狀態	良	良	良	良	良	良	良
9. 低温安定度	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
10. 混水安定度	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
11. 瀝青 CCl ₄ %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
CS ₂ %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
12. 礦物性物質 %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
使用場所	福島市	福島市	.....	.....	.....	.....	高崎市
用途	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法	透入法
備考	良	良	不良不安定	不良不安定	不良不安定	不良不安定	良

第一表 瀝青乳劑試驗成績 (7)

試料番號	1004	1005	1006	989	1021	1022	1023
試料名	D	D	D	D	D	D	D
產地或は製造所	神奈川県	神奈川県	神奈川県	神奈川県	神奈川県	神奈川県	神奈川県
試料受入年月日	6. 8.22	6. 8.22	6. 8.22	6. 8.10	6. 9.15	6. 9.15	6. 9.15
試験年月	6. 9. x	6. 9. x	6. 9. x	6. 9. 4	6. 9.29	6. 9.29	6. 9.29
1. 外 觀	暗褐色等	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左	暗褐色等
2. 比重 25°/25°C	1.020	1.020	1.020	1.015	1.022	1.022	1.022
3. 比粘度エングラー							
25°C, 50cc	.....	.....	.....	2.8	3.3	2.2	3.3
4°C, 50cc	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4. 瀝青質残留物 %	.....	.....	.....	56	60	60	59.0
5. 同上性質							
針度 25°C	.....	.....	.....	142	124	131	122
延性 25°C	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
15°C	.....	.....	.....	>100	>100	>100	>100
軟化點 R&B °C	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
6. 貯藏安定度 %	6.0	3.4	2.8	.....	28.0	24.0	28.0
7. 分解速度	30分~1時	30分~1時	30分~1時	40分	30分~1時	30分~1時	30分~1時
8. 核膜の狀態	良	良	良	良	可	可	可
9. 低温安定度	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
10. 混水安定度	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
11. 瀝青 CCl ₄ %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
CS ₂ %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
12. 礦物性物質 %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
使用場所	高崎市	福島市	福島市	宇都宮	高崎市	高崎市	.....
用 途	透入法	透入法	透入法	.....	透入法	透入法	透入法
備 考	良	良	良	.....	不良不安定	不良不安定	不良不安定

第一表 瀝青乳劑試驗成績 (8)

試料番號	1024	1027	1028	1029	1030	937	1018
試料名	D	D	D	D	D	E	E
産地或は製造所	神奈川縣	同 左	同 左	同 左	同 左	東 京	東 京
試料受入年月	6. 9.15	6. 9.26	6. 9.26	6. 9.26	6. 9.26	6. 7. 1	6. 9. 4
試験年月	6. 9.29	6.10. 5	6.10. 5	6.10. 5	6.10. 5	6. 7. 8	6. 9.29
1. 外 観	黒褐色等	同 左	同 左	同 左	同 左	褐色等弱アルカリ性	褐色均等
2. 比重 25°/25°C	1.020	1.023	1.023	1.024	1.023	1.015	1.007
3. 比粘度エングラー							
25°C, 50cc	3.2	3.0	3.0	3.2	2.8	2.3	2.3
4°C, 50cc	.....	.....	.....	.....	.....	2.8	3.2
4. 瀝青質残留物 %	59.0	58.0	58.0	59.0	57.0	51.0	50.0
5. 同上性質							
針度 25°C	114	105	106	109	111	104	130
延性 25°C	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
15°C	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
軟化點 R&B °C	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
6. 貯藏安定度 %	36.0	21.0	19.0	11.0	16.0	4.0	4.0
7. 分解速度	30分~1時	30分	30分	30分	30分	.....	30分~1時
8. 被膜の狀態	可	可 小許剥落	可 小許剥落	可 小許剥落	可 小許剥落	可 小許剥落	良
9. 低温安定度	.....	.....	.....	.....	.....	.....	良
10. 混水安定度	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2時間後硬化なし、24時間にて分解
11. 瀝青 CCl ₄ %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
CS ₂ %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
12. 銹物性物質 %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
使用場所	.....	.....	.....	.....	.....	参考品	参考品
用 途	混凝土養生用	透入法	透入法	透入法	混凝土養生用	透入法	透入法
備 考	不良不安定	不良不安定	不良不安定	不良不安定	不良不安定	試験品改良の餘地あり	良

第 一 表 瀝青乳劑試驗成績 (9)

試 料 番 號	935	936	1034	846	817	847	1017
試 料 名	F	G	G	H	Hx	Hx	Hx
產地或は製造所	神奈川縣	東 京	東 京	東 京	東 京	東 京	東 京
試料受入年月	6. 6. 26	6. 6. 30	6. 9. 30	6. 1. 23	5. 11. x	6. 1. 23	6. 9. 4
試 驗 年 月	6. 7. x	6. 7. x	5	6. 7. x	5. 11. x	6. 2. x	6. 9. 29
1. 外 觀	暗褐色均等 弱アルカリ 性	暗褐色均等 褐色均等	黒褐色 均等	分離し易 し	分離の傾 向あり	同 左	暗褐色 均等
2. 比重 25/25°C	1.015	1.018	1.016	1.068	1.017	1.002	1.012
3. 比粘度エングラール							
25°C, 50cc	4.4	3.2	3.6	4.1	2.0	6.8	2.3
4°C, 50cc	6.4	4.1	4.2	.....	2.8	19.4	3.2
4. 瀝青質殘留物 %	60.0	54.5	50.9	35.0	45.0	56.0	53.0
5. 同上性質							
針度 25°C	205	105	147	47	77	84	107
延性 25°C	.....	.....	.....	71	84	>100	.....
15°C	>100	>100	>100	.....	.....	.....	>100
軟化點 R&B °C	.....	42	.....	55	53	48	.....
6. 貯藏安定度 %	7.0	14.5	7.0	21.4	27.7	0.7	7.0
7. 分 解 速 度	1時40分	1時30分	50分	遅 し	.....	.....	30分~1時
8. 被膜の狀態	水により 剥落	良	良	不 良	不 良	.....	可 小許剥落
9. 低温安定度	不 良	良	良	可	1 部分離	可	不 良
10. 混水安定度	分 解	2 時間良 24時分解	良	可	分 解	可	2 時間良 24時分解
11. 瀝青 CCl ₄ %	.....	.....	50.2	.....	.....	.....	.....
CS ₂ %	.....	.....	.....	30.8	44.5	55.7	.....
12. 鐵物性物質 %	.....	.....	.....	4.2	0.5	0.3	.....
使用場所	參考品	參考品	參考品	高田馬場	參考品	高田馬場	參考品
用 途	透入法	透入法	透入法	混合法	透入法	透入法	透入法
備 考	被膜弱く 低温により 分解す	良	良	碎石に對 する附着力 弱し	不完全改 良の餘地 あり	低温にて は粒度高 きに過ぐ	低温以外 使用に堪 ふ

第一表 瀝青乳劑試驗成績 (10)

試料番號	805	806	807	1020	911	912	.....
試料名	I(1)	I(2)	I(3)	K	ターフ ロイド	メトロ	レイコン
産地或は製造所	東京府	東京府	東京府	神奈川県	英 国	英 国	東京府
試料受入年月	5.10.27	5.10.27	5.10.27	6. 9.12	6. 5.28	6. 5.28	.....
試験年月	5.11. x	5.11. x	5.11. x	6. 9. x	6. 6. x	6. 6. x	.....
1. 外 観	褐色均等	褐色均等	褐色均等	黄 褐 色 均 等	褐色均等中 性ヌール臭 あり	褐色均等可 し性ヌール臭 あり	.....
2. 比重 25°/25°C	1.009	1.010	1.007	1.040	1.085	1.150	1.039
3. 比粘度エンゲラー							
25°C, 50cc	3.5	5.5	3.0	3.0	24.6	11.8	不 能
4°C, 50cc	5.9	9.7	6.4	.....	68.5	21.0	.....
4. 瀝青質残留物 %	51.0	53.0	52.0	51.8	62.0	.....	58.0
5. 同上性質							
針度 25°C	119	118	213	46	.....	.....	49
延性 25°C	81	85	>100	.....	.....	.....	78
15°C	.....	.....	.....	>100	.....	.....	.....
軟化點 R&B °C	42	42.5	38	.....	.....	.....	51
6. 貯藏安定度 %	5.5	4.0	7.8	5.9	0.0	19.0	.....
7. 分解速度	<2.0時	<2.0時	<2.0時	分解遅し	.....	.....	.....
8. 被膜の状態	良	可	良	2 時間後も 多少再乳化	2 時間後も 大部分剥落	1 時間後 2 分遅剥落	.....
9. 低温安定度	一部分離	大部分分離	變化なし	.....	.....	.....	.....
11. 混水安定度	可	可	可	.....	.....	.....	可
11. 瀝青 CCl ₄ %	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
CS ₂ %	50.8	52.8	51.5	.....	.....	.....	52.2
12. 鎖物性物質 %	0.2	0.2	.....	.....	.....	.....	0.8
使用場所	高田馬場	参考品	参考品	参考品	参考品	参考品	参考品
用途	透入法用	透入法	透入法	混合法用	.....	.....	.....
備 考	良	低温には 不適其の 他の場合 には使用 し得	良	試 製 品	瀝青被膜 の膠着性 あり	安定度不 良なるも 被膜の膠 着性はあ り	.....

第一表 瀝青乳劑試驗成績 (11)

試 料 番 號	.....	.....	.....	1016
試 料 名	レイコン	レイコ ー ルド	レイコ ー ルド	L
産地或は製造所	.....	米 國	米 國	米 國
試料受入年月	.....	.....	.....	6. 9. 3
試 驗 年 月	.....	.....	.....	6. 9. x
1. 外 觀	.....	.....	.....	褐色均等
2. 比重 25°/25°C	1.023	1.049	1.045	1.015
3. 比粘度エンゲラー				
25°C, 50cc	不 能	不 能	不 能	2.1
4°C, 50cc	.....	.....	.....	.....
4. 瀝青質残留物 %	53.0	49.5	46	50.0
5. 同上性質				
針度 25°C	56	64	153	.....
延性 25°C	56	88	>100	.....
15°C	.....	.....	.....	.....
軟化點 R&B °C	48	52	40	.....
6. 貯藏安定度 %	.....	.....	.....	.....
7. 分 解 速 度	.....	.....	.....	セメントモ ルタル上 にて2時間以 内
8. 被膜の狀態	.....	.....	.....	良
9. 低溫安定度	.....	.....	.....	.....
10. 混水安定度	可	可	可	.....
11. 瀝青 CCl ₄ %	.....	.....	.....	.....
CS ₂ %	50.2	44.1	42.7	.....
12. 礦物性物質 %	.....	5.4	3.3	.....
使 用 場 所	參 考 品	參 考 品	參 考 品	參 考 品
用 途	.....	.....	.....	混 凝 土 用 養 生
備 考	.....	.....	.....	良

比重 25/25°C. 乳劑の比重は、瀝青質材料、乳化剤等の質及混入量によりて異なるも、現時乳劑にありては、1.004~1.022 の程度にあり、同種乳劑にありても、其の製造時期を異にせるものは 0.066 程度の差異を示せるものあり。

比粘度 エンゲラー、25°C 及 4°C, 乳劑の比粘度は、瀝青質材料含有量及び乳化剤の質によりて異なるも、比粘度 25°C は大體 2.3~5.6 程度にあり、其の多くは 3.0 前後を通常とす。比粘度 4°C は 25°C の實測比粘度に對して、多くの場合 2 倍以下に止る。今假りに施工溫度に於ける比粘度 3~5 を適當と認むれば、比粘度 25°C は夏季に於て 4 程度、冬季に於て 2 程度を目標として乳劑を製造するをよしとすべし。

瀝青質殘留物 現時の乳劑の瀝青質殘留物は、概ね 50% 以上 60% 以下である。この中には乳化剤、安定剤等をも含み、原料瀝青質材料とは異なるも大部分は CS₂ に溶解するものである。

同上針度 25°C, 100g, 5 sec, 瀝青質殘留物の針度は主として原料瀝青質材料の針度に支配せらるゝものなるも、乳化剤其の他の影響により、之より多少小となるを免れず。現存乳劑の多くのものは 100~170 の間にあり。

同上延性 15°C, 5cm/min, 瀝青質殘留物の延性は、概して 15°C に於て 100 以上である。

貯藏安定度 第一表中の貯藏安定度は約 250cc の乳劑を 7 日間靜置後、其の最上部最下部各 50cc 中に於ける、瀝青質殘留物含有量の差を以つて示したるものにして、この差多きものは、粒子沈澱し易く、長期貯藏後分離を起し易きものである。ある種製品は貯藏安定度不良なるものあれども、其の他の多種の製品は概して 10% 以内にあり、貯藏安定度の良否は原料瀝青質材料の質及製造時の諸種の條件にも依るべきも、主として乳化剤の質及量に關するものと思はる。又同一工場製品中に於ても貯藏安定度の良否區々なるものあり、現存の本邦乳劑については特に注意するを要するものである。

分解速度 現存乳劑の多くは其の分解速度 30 分~1 時 30 分の間にあるも、一、二分解遅きものあり、之等は混合法用乳劑として考ふべきものなるも、其の他の性質上未だ完成せる製品と認め難き點がある。

路面處理或は透入法用乳劑としては、乳劑撒布後なるべく速かに分解して附着性に富める瀝青質被膜を骨材表面に残すを要するを以つて、其の分解速度は、乳劑の安定度を損せざる程度に於てなるべく短き事を要するが、混合法用乳劑にありては、骨材と混合し、之を路面に敷き均すまでは分解を起さぬ事を要するを以つて、分解速度の長き事を要する。

この意味に於ては、試料番號 1020 の乳劑の如きは寧ろ透入法用のものにあらすして混合法に使用すべきである。

被膜の狀態 乳劑分解後の瀝青質被膜中には、原料瀝青質材料以外に乳化劑、安定劑等をも含み、其の爲時として原瀝青質材料の膠着性を損傷せられる事がある。本試験に於ては碎石面に生じたる瀝青質被膜を水と振蕩して其の膠着性を定性的に比較したるものにして、大體に於て透入法用乳劑の被膜は、再乳化せず、又水によりて剝落せざるも、場合によりては剝落し易きものあり。(試料番號 1027, 1028, 1029, 1030, 937, 936)又再乳化を起すものもあり。

低温安定度 低温安定度の試験は冬期使用のものにして、低温に於て放置せらるゝ場合に限り行ふものにして、夏季使用のものには其の必要を認めず、本試験は通常 -5°C に乳劑を冷却して後之を常溫に戻す、操作を2回反復したる後、乳劑の狀態の變化を見るものにして、かゝる冷却によりて、全く分解して瀝青質成分の凝集作用を起すものあり、又然らざるものあり、常溫に復したる後攪拌振蕩により原乳狀に戻るものをよしとする。第一表の成績によれば、

低温安定度の良好なるものは

A, C, (812) D(818) E(1018) G(1034, 936) I₃(807).

低温安定度 不良なるものは

B(814, 815) D, (808), F(935), H_x(1017) I₂(806).

等である。

混水安定度 乳劑に水を混じて放置する時、分離を起すものと然らずして乳狀を保つものとあり。本試験は主として混合法用乳劑に必要なものとす。混水安定度と貯藏安定度とは必ずしも一致せざること第一表中に見る如し。

瀝青 (CCl_4 或は CS_2 可溶) 瀝青質殘留物中に於ける CCl_4 或は CS_2 に可溶成分中には原料瀝青の殆ど全部及乳化劑中の或る部分が含まるも、主として瀝青と見做して差支なし。固形乳化劑、或は無機質安定劑の大部分は CCl_4 或は CS_2 に不溶解の物質として除去せらる、第一表の成績より見るに、乳劑中瀝青以外の成分は次の如し。

A (845) 0.8% B (815) 0.6 %

A (.....) 1.0 C (658) 0.8

A (.....) 1.0 C (812) 0.3

B (814) 0.4 D (808) 0.2

D (818)	0.5%	I ₍₂₎ (806)	0.2%
G (1034)	0.7	I ₍₃₎ (807)	0.5
H (846)	4.2 ⊗	レーコン	0.8
H _x (817)	0.5	レイコード	5.4 ⊗
H _x (847)	0.3	レイコード	3.3 ⊗
I ₍₁₎ (805)	0.2		

⊗ は固形乳化剤

即固形乳化剤を用ゐたるものを除きては、乳劑中 CCl₄ 或は CS₂ 不溶物質は 1.0% 前後を出す。

礦物性物質 固形乳化剤を用ゐたる乳劑を除きては、通常の場合礦物性物質の含有量は少い。安定剤として珪酸曹達の如き無機質物質を用ひる場合以外、乳化剤の大部分は有機性物質なるを以つて、當然の結果である。

總括 上記の試験成績は、主として使用者側の依頼による試験の成績を取り纏めたるものにして、研究の目的より行ひたるものに非ざるを以つて、試験項目の統一等の上に缺くる所あるも大體次の如き傾向を見るを得べし。

1. 本邦現時の瀝青乳劑の種類は十種以上に上るも、概して透入法用乳劑のみ發達し、混合法用の乳劑は其の發達未だ充分ならず。1020k 乳劑の如きは、其の性質混合法用乳劑としての性質を多分に有するものゝ如し。

2. 本邦乳劑中の不良品中には、貯藏安定度不充分なるもの、瀝青質被膜の性質不良なるものあり。低温安定度につきては優良なるものと、不良なるものと相半せり。之等の點は今後本邦乳劑の改良を要する點と認めらる。

土木試験所出版圖書

報告

- 第一號 {路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究
中間報告。瀝青質材料と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験報告} 同 五月發行
- 第五號 {簡易鋪裝に關する試験報告} 昭和二年三月發行
- 第六號 {混凝土及鐵筋混凝土抗拉力試験報告} 同 五月發行
- 第七號 {八幡製鐵所副産部製品、瀝青質材料、瀝青質鋪裝、
セメント類及揮發油に對する「アスファルト」の
可溶率等に關する試験成績} 同 七月發行
- 第八號 {瀝青質材料標準試験方法。石材料標準試験方法} 同 十月發行
- 第九號 {急硬セメントに關する試験。「ソリデチット」
の耐壓強度に關する試験。「ブロック」に關する試
験。高知縣黒澤川産砂に關する試験。多摩川産砂
利及砂に關する調査。石材料試験成績} 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)
道路橋振動試験} 昭和三年三月發行
- 第十一號 {瀝青滲透ブロック試験成績。鋪裝工事用サーフェ
ス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試験。
常願寺川産砂に關する試験} 同 七月發行
- 第十二號 {アスファルト・ブロック試験成績。各種アスファ
ルト・ブロック比較試験成績。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験。瓦
斯爐及骸炭爐タール及ピッチに關する試験成績。
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
ルタルの強度に及ぼす火山灰及石粉の影響。} 同 四年一月發行
- 第十三號 {ポルトランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試験。橋
梁用敷板強度試験。舊橋鐵材の腐蝕に關する調
査。鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試験。} 同 五月發行
- 第十四號 {瀝青乳劑及ビニユマルス鋪裝に關する試験
瀝青滲透ブロックに關する試験
瀝青質材料の滲透性に關する試験
瀝青質材料の粘度及膨脹係數に關する試験} 同 十二月發行
- 第十五號 {北上川降開式轉動樞模型試験。電氣銲接法による
鐵筋の接合。現場打混凝土の耐壓試験報告} 同 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験。工事用石材
試験成績} 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

(注 意) 裏面=續ク

- 第十八號 { 混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試験。鋪裝混凝土
工に及ぼす氣象作用の影響並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験。鐵筋混凝土道路橋設計
資料。各種土木工事用材料試験成績 } 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並に之に基く道
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験(一)。基
礎の沈下量算定法(一)。岩淵水門に關する水理試
驗。單紋拱橋模型試験。國道鐵筋混凝土丁桁橋標
準設計案 } 同 六年 六月發行

其 他

- 本邦道路橋輯覽 大正十四年十二月發行
- 本邦道路橋輯覽(增補) 昭和三年三月發行

昭和六年十二月二十五日印刷

昭和六年十二月三十日發行

内務省土木試験所

東京市本郷區駒込上富士前町二十六番地

電話小石川(85) 自 7,900 番
至 7,902 番

東京市本所區板橋一丁目二十七番地ノ二

印刷者 井 上 源 之 丞

東京市本所區板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