



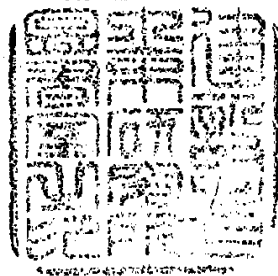
土木試験所報告

第三十三號

昭和十一年 第一冊

砂利路面工の配合比に関する試験	山田元雄 船山時雄
鋼橋鉚接部壓縮試験	青木楠男 鈴木倫虎
基礎版の基本的研究(第2報)基礎桁	松村孫治
道路舗装用アスファルトの力學的特性に 就て(其の1)	島田八郎
停止波に就て	横田周平

1936 — III



内務省土木試験所

正 誤 表

頁	行	誤	正
76	下より 11行	$0.144 a_2$	$0.144 a_2$
84	上より 6行	$\frac{bL^4}{E_1 I} \left\{ \right.$	$-\frac{bL^4}{E_1 I} \left\{ \right.$
92	下より 7行	$-\frac{\gamma^2}{12}$	$-\frac{\gamma^2}{12}$
96	上より 11行	$V_q \frac{bL^4}{E_1 I}$	$V_q = \frac{bL^4}{E_1 I}$
98	下より1行及2行	$\left(\frac{\partial v_p}{\partial x} \right)_{x=0}$	$\left(\frac{\partial v_p}{\partial x} \right)_{x=0}$
131	下より 8~9行	$1.01 \times 10^7, 3.11 \times 10^7$	$3.11 \times 10^7, 1.01 \times 10^7$
139	上より 12行	$+\mathcal{E}'_{mv}$	$-\mathcal{E}'_{mv}$

土木試験所報告

第三十三號

序 言

本報告は「砂利路面工の配合比に関する試験」「鋼橋溶接部圧縮試験」「基礎版の基本的研究（第2報）基礎桁」「道路舗装用アスファルトの力學的特性に就て（其の1）」「停止波に就て」等を輯録せるものである。

砂利路面工の配合比に関する試験 は土、砂及砂利の配合比を異にする 16 種の砂利道を築造し略々實際に近き車輪の作用に據り其耐力を比較實驗し、乾濕兩種に亘り如何なる配合が最も適當なるかを明かにし以て砂利道築造の資に供せむとするものである。

鋼橋溶接部圧縮試験 は内務省横濱土木出張所の架設にかゝる溶接鐵道橋瑞穂橋の支承部に就て行つた強度試験の結果を報告したるものにして此種溶接部が充分所期の強度を發揮し得るものなることを明かならしめたものである。

基礎版の基本的研究（第2報）基礎桁 は弾性地盤上に設置せる基礎桁に作用する應力の近似計算法に就き述べたものである。

道路舗装用アスファルトの力學的特性に就て（其の1） は靜的動的荷重下に於ける力學的性質を明かにする爲め -5°C 乃至 35°C に於て數種の異なる荷重に對する可塑係數（粘性係數）を明かにし、可塑性の大なる物質に對する靜荷重による實驗の意義を論及し、至力消失現象の有無を吟味し、水硝子の特性と比較し、一般的に此種物質の性狀を闡明にし、更にビエゾ壓力計及びオッシログラフ を使用し壓縮狀態に於ける自己振動中の彈性特性を明かにし、固體粘性係數を推定し以て振動減衰現象に論及し、以上各種の見地よりアスファルトの舗装工學及材料工學上の位置を明かにしたものである。

停止波に就て は時間に獨立に、空間に固定せる停止波の存在を解析的に證明せるものにして、算出せる波長を實際の波長と比較し、以て所論の大過なきことを示したものである。

昭和十一年三月

内務省土木試験所長 内務技師 物 部 長 穂

目 次

砂利路面工の配合比に関する試験.....	1
内務技師 山 田 元	
内務技手 船 山 晴 雄	
鋼橋銲接沓壓縮試験.....	31
内務技師 青 木 楠 男	
内務技手 鈴 木 倫 虎	
基礎版の基本的研究（第 2 報）基礎析	69
内務技師 松 村 孫 治	
道路舗装用アスファルトの力學的特性に就て（其の 1）	99
内務技師 島 田 八 郎	
停止波に就て.....	157
横 田 周 平	

砂利路面工の配合比に関する試験

内務技師 山 田 元
内務技手 船 山 晴 雄

目 次

緒 言	(1)
I 試験方法	(2)
II 試験の経過及結果	(6)
III 要 約	(25)

緒 言

路面を構成する砂利は車輪の複雑な作用を受け、單なる鉛直荷重の支持材ではないから、所謂砂利と稱せらるゝ粗骨材の外に、骨材相互を密着せしめる膠着作用を有する材料を混合する必要がある、通例砂利路面工（所謂砂利道）に於ては此の作用を爲すものは土砂である。然るに路面工は車輪の作用の外に、複雑な氣象作用を受けるが、一般に砂利路面工の膠着材たる土砂は氣象作用に由つて其性質を變化すること甚しく、其影響を路面工全體に及ぼすものである。故に砂利路面工の配合比、即ち粗骨材たる砂利、細粒骨材たる砂及膠着材たる土の比率如何は其路面としての耐力に至大の關係がある。殊に最近の如く其表面に加工して自動車交通に對する耐力を増大せしむる所謂路面處理砂利道の應用盛なるに至つては此比率如何は經濟上一層切實な問題である。然るに從來砂利道と稱せられる路面は單に表土又は在來路面上に川砂利を或る厚に撒布し、別に膠着材を加へず交通に由る輾壓作用と氣象作用とに由つて自然に固結するに委したものに過ぎないから、其配合の如きは深く顧慮する所なく、適々砂利粒度を示方するものに於ても僅に 200 番篩通過材の最大限度を示すに止まるが如き狀態であり、従つて砂利道の許容交通量とか經濟的交通量とか云つても其意義甚だ分明を缺くのである。

砂利道が今日まで斯くの如く非科學的に取扱はれて來たのは一つには本邦に於て砂利が比較的豊富であつて安價に得られるからであるが、其主要構成材であり且綜合材である土の性質が從來一般材料工學に於て取扱はれて居る彈性的材料でないが爲である。即ち斯種材料に對しては彈性感の如く單一試験の結果を綜合して考察するのみでは解決し得ず、従つて實際路面上の現象に就て考察する必要があるからである。幸に本所は實際路面上の現象と殆ど同様の現象を再現し得る試験設備を有するを以て該設備を利用し先づ市販の砂利及砂、東京山手赤土各 1 種を採り、各種配合の試験路面を作り、種々の氣象的條件の下に、

其各種輪帶の車輪に対する耐力を比較測定して其許容交通量を推定し、且從來の如き無造作且緩慢な築造及維持工法が果して將來も尙是認さるべきか否かを検討せむとするものである。固より土砂の工學的性質及其氣象作用に由る變化は土砂其物の材質に由つて異なるもの頗る多く、且之を支配する共通の方則が多く不明である今日、本試験の結果は一般的通性を有するとは稱し難いが近似せる性質を有する材料に對しては或程度まで之を適用し得るものと信ずる。

I. 試 験 方 法

〔1〕 試験概説

試験は甲種道路試験機¹⁾を用ひ、平均徑約 10 m の環狀の試験路面の一部に、配合又は含水率を異にする各種の砂利路面工を設け、其上に直徑 1 m、重量約 1 噸の車輪 8 個を、空氣入ゴム、固形ゴム及鐵等の各種の輪帶を混用し約 3 哩/時の速度を以て各獨自の徑路を回轉走行せしめて路面の破壊に到る經過及結果を觀測し且其許容通過荷重量を測定した。利用し得る試験路面減少なりし爲試験は比較的長時日を要し、昭和 9 年 6 月 14 日第 1 回試験路面を築造してより昭和 10 年 8 月 9 日第 16 回試験を終るまで約 1 年 1 ヶ月に亘つた。試験回数を異にせるものは同一種類のものと雖も其構造嚴密に同様ならざるを以て嚴密なる比較を明かにし得ないが大略の耐力は之を比較し得る。

〔2〕 使用材料の性質

斯種の試験は材料の原産地に由つて其結果大に異なるべきは想像するに難くないが、本試験に於ては先づ砂利、土及砂各 1 種に止めた。

砂利 は埼玉縣北足立郡吹上村地先荒川産のものにして其性状第 1 表に示すが如く

第 1 表 砂利試験成績表

試 験 項 目	試験數値	簡 分 成 績			
		簡 目	百分率	簡 目	百分率
比 重	2.647	40 mm 通過 30 mm 止	0.5	5 mm 通過 8 番 止	7.7
吸 水 率 %	0.76	30 " 25 "	0.5	8 番 " 16 "	2.5
單 位 重 量 kg/m ³ (同 上 輕 詰)	1756. (1634.)	25 " 20 "	5.0	16 " 30 "	0.6
空 隙 率 %	32.7 (37.4)	20 " 15 "	22.7	30 " 50 "	0.3
粘 土 混 泥 百分率 %	0.2	15 " 10 "	30.6	50 " 100 "	0.1
		10 " 5 "	29.2	100 " 200 "	0.1
				200 "	0.2

1) 土木試験所報告第 13 號參照。

最大 40 mm 以下なるも主として 20 mm~5 mm のもの多く其量 82.5% に達する。

砂 は東京市王子區地先（東北本線鐵道橋附近）荒川産、其性狀第 2 表に示すが如く比較的細粒にして主として 50 番乃至 100 番のものより成り室内乾燥の程度に於ける吸水率は平均 1.71% である。

第 2 表 砂試験成績表

試 驗 項 目	試驗數值	篩 分 成 績					
		篩 目	百分率	篩 目	百分率		
比 重	2.65	5mm 通過	8番 止	0.2	50番 通過	100 止	54.6
單 位 重 量 kg/in³	1416.	8番 "	16 "	0.2	100 "	200 "	12.8
空 隙 率 %	46.5	16 "	30 "	1.3	200 "		2.2
粘土淤泥百分率 %	2.2	30 "	50 "	29.8			

土 は東京市瀧野川區内産所謂「東京山手赤土」の 1 種にして其性狀概要第 3 表に示すが如く粘土分 61.2% に達し曩に本所に於て試験報告¹⁾せるものと略、同質のものである。其地表面に堆積貯藏中に於ける含水率は 18.4% 乃至 102.0% である。

第 3 表 土試験成績表

試 験 項 目	試験數値	篩 分 成 績 (洗滌法)			
		篩 目		百分率	
比 重	2.415	5mm 通過	10番 止	0.4	
收 縮 限 界 %	56.81	10番 "	20 "	0.2	
收 縮 比 %	1.03	20 "	30 "	0.3	
液 狀 限 界 %	129.6	30 "	40 "	0.6	
可 塑 性 限 界 %	92.2	40 "	50 "	1.1	
可 塑 性 指 數	37.4	50 "	80 "	2.7	
遠 心 力 含 水 當 量 %	67.0	80 "	100 "	1.9	
野 外 含 水 當 量 %	81.1	100 "	200 "	9.2	以上砂 16.4%
單 位 重 量 kg/m ³	672.	200 "	0.01 mm "	22.4	淤 泥
空 隙 率 %	72.2	0.01 mm "		61.2	粘 土

(3) 路面工の構造、種別及施工

試験路面は内外 2 列の環狀鐵筋コンクリート側壁内に設けられ幅員 76.2 cm, 中心線直徑 10.06 m, 延長 31.6 m, 面積 24.08 m² の一部, 中心線延長約 5.93 m, 面積約 4.52 m² で、之を 6 等分し一區間中心線延長約 0.99 m, 面積 0.75 m² とし同時に 6 種類を比較し得る。路面は兩側各約 8 cm を除く中央 60 cm に對し 8 個の試験車輪が相接して各獨

1) 土木試験所報告第 20 號 1~26 頁, 全第 22 號 116~121 頁, 全第 31 號 2 頁

自の路線を反覆走行するものである。

(1) 路床 は単位重量 1.659 kg/m^3 , 粒度 $40 \sim 25 \text{ mm}$ 18.8%, $25 \sim 20 \text{ mm}$ 16.4%, $20 \sim 5 \text{ mm}$ 64.8% の砂利を厚約 1 m 填充して搗固めたるものにして直径 20 cm の圓形加壓面による平均地床示数 (Modulus of Subgrade Reaction, Bodenziffer) 12.0 kg/cm^2 ¹⁾ にして本区域中略、均等と看做し得る。

(2) 基礎 は前記路床上に厚さ約 20 cm に築造せる砂利層にして、前述路床用砂利に砂、赤土及水を加へて鐵板上にて混合せる後敷均し鐵製搗固器 (重量 11 kg, 底面積 110 cm^2) を以て充分搗固め下 2 層は 7.5 cm, 上層は 5 cm の厚さに仕上げ、完工直後の平均地床示数 (直径 20 cm の圓形加壓面による) は 8.70 kg/cm^2 , 表層施行直前の平均地床示数は 13.8 kg/cm^2 にして本試験区域中略、均等と看做し得る。表層施工直前基礎は表面下 3 cm までは充分乾燥して居た。

第 4 表 表 層 種 別

表層 番號	配 合 (砂利に對する重量 %)		乾濕 程度	試験 回数	表層 番號	配 合 (砂利に對する重量 %)		乾濕 程度	試験 回数
	土	砂				土	砂		
(1)	5	0	D W O	1 1 1	(9)	10.0	10.0	D W O	2 3 2
(2)	7.5	0	D W O	1 1 1	(10)	12.5	12.5	D W O	3 4 3
(3)	10.0	0	D W O	5 2 1	(11)	15.0	15.0	D W O	2 2 2
(4)	12.5	0	D W O	5 2 1	(12)	17.5	17.5	D W O	3 3 3
(5)	15.0	0	D W O	7 3 2	(13)	12.5	18.7	D W O	1 1 1
(6)	17.5	0	D W O	7 3 2	(14)	12.5	25.0	D W O	1 1 1
(7)	5.0	5	D W	1 1	(15)	15.0	30.0	D W O	1 1 1
(8)	7.5	7.5	D W	1 1	(16)	17.5	26.2	D W O	1 1 1

1) 土木試験所報告第 27 號 150 頁參照。

第5表 試験用車輪の性状

P は空気入ゴムにして () 内数字は管気圧 (kg/cm²), G は固形ゴム, S は鉄輪帯

車輪 番號	輪帶 種別	輪 帶 寸 法		荷 重 (kg)	路 面 と の 接 觸 面			變形量 (mm)	壓 力 度		標準許 容荷重 に對する 倍率	構造令 規程125 kg/cm ² に對する 倍率	摘 要
		直 徑 (cm)	幅 (cm)		長 (cm)	幅 (cm)	面 積 (cm ²)		輪帶幅1cm につき (kg/cm)	單位面積 kg/cm ²			
1	P(4.23)	86.84	10.00	1019	28.3	6.7	174.5 (125.4) ¹⁾	37.0	152	5.83(8.10) ¹⁾	2.64	1.21	標準許容荷重 385 kg 1) 純接觸面積 標準許容荷重 590 kg
	G	89.85	8.75	1104	16.7	5.8	81.0	10.9	191	13.64	1.87	1.53	
2	P(4.23)	86.84	10.00	896	29.5	6.7	180 (134)	33.3	134	4.95(6.68)	2.32	1.07	
	G	89.85	8.75	1028	19.0	6.3	98.3	11.0	163	10.45	1.74	1.30	
3	S	98.98~98.43	7.62	1341		7.62			177			1.42	
4	S	98.58~97.39	7.70	1360		7.70			177			1.42	
5	P(4.23)	81.92	10.00	907	26.0	6.8	162 (121)	33.5	133	5.60(7.50)	2.35	1.06	
6	G	78.11	8.75	911	15.0	6.1	78	10.1	149	11.70	1.54	1.19	
7	G	78.11	8.75	957	15.5	5.8	80	10.5	165	11.95	1.62	1.32	
8	P(3.52)	79.38	10.00	781	29.0	6.0	165 (124)	36.0	130	4.73(6.30)	2.02	1.04	
	G	78.11	8.75	949	17.0	6.2	86.0	10.5	153	11.00	1.61	1.29	
計	A			8,304									1P 2G 8P 1G 2P 8G 1G 2G 8G
	B			8,425									
	C			8,557									

(標準壓力度はゴム輪帶に對しては標準許容荷重に基き空氣入 385 kg, 固形 590 kg とし鐵輪帶に對しては構造令規程 125 kg/cm² を採る)

(3) 表層概説 表層は仕上厚 8 cm, 厚各 4 cm の 2 層に分ち施工するものとし、豫め鐵板上面にて所定の配合の材料 1 回約 130 kg を各材充分均一となるまでショベルにて混合せる後前記基礎面上に敷均し、木蛸 (重量 24.4 kg, 底面直徑 25 cm, 面積 491 cm²) を以て下層 3 通り上層 6 通り搗固め、周囲は鐵製搗固器 (重量 11 kg, 底面積 110 cm²) を代用した。配合は砂利 100% に對する土、砂 (各乾燥重量) の百分率を以て表はし、土は 5% より初め 2.5% 宛を増加して最大 17.5% に達せしめ砂は 0 より初め、土との比を重量 (乾燥) 1:1, 1:1.5 又は 1:2 とし第 4 表に示す 16 種とし、其多くを乾燥 (表中 D を以て示す)、濕潤 (W) 及適濕 (O) の 3 種とし總計 46 種に達した。表層は同時に築造するを理想とするが必ずしも同日に全部を施工する能はず、同日に施工しても築造時間によつて其の性質を異にするから孰れも築造後少くとも 1 回は其表面を充分乾燥せしめて後試験に供し築造の際に於ける水分の相違による影響を少からしむるに努めた。

(4) 表層各説 表層は其耐力に著しい相違ある爲、勢ひ試験の都合上同一種類のものも數回試験するの已むなき場合あり、併も試験回数の異なるに従ひ、其性質を異にするものあるを以て、II に試験結果と併記した。

〔4〕 試験車輪

試験に使用せる車輪は其構造上全部彈下荷重 (Unsprung Weight) にして輪帶は 8 個の内、外側より數へて第 3, 第 4 を常に鐵輪帶、第 2, 第 6, 第 7 を常に固形ゴム輪帶、第 5 を常に空氣入ゴム輪帶、其他の第 1, 第 8 は固形又は空氣入ゴム輪帶を混用した。運轉には 4 個を働輪 4 個を従輪とした。各車輪は土木試験所報告第十三號、第二十七號に詳細報告せるものにして概要第 5 表に示すが如く、之を標準許容荷重、構造令規程荷重等に比較すれば著しく過大にして本試験結果の實際に比し過酷なるを示して居る。車輪の速度は各異り平均約 3 哩/時にして 1 周に要する時間は 25.5 秒である。

II. 試験の經過及結果

〔1〕 經過及結果の概説

試験は 1 回に 6 種を採り濕潤狀態略、所定の程度に達し、且築造當初の諸條件の影響比較的輕微と認めらるゝに到つて前述の車輪を平均 3 哩/時の速度を以て走行せしめ路面破壊の度相當進捗せる時機械の運轉を中止して其路面狀況を比較した。各種路面共鐵輪帶の影響極めて著しく主として該部分の破壊の爲運轉を中止するに至つた。他種輪帶の部分は鐵輪に隣接せる部分を除き多くは未だ其耐力を充分測定し得る程度に到らなかつた。運轉を中止するに至つた破壊の程度にも一定の標準はなく、且各種路面共或る程度までの破壊は比較的短時間に進捗するが、種類によつては其後は極めて長時間の運轉を許容するものも

あるから、試験時を異にせるものに就き運轉時間の長短によつて其耐力を比較するは困難である。各試験の運轉時間及通過荷重を一括すれば第6表の如く、其経過及結果の概要を一括すれば第7表の如くである。

〔2〕 各種別の性狀及結果

(1) 表層第1種 (土 5:砂 0:砂利 100)

乾燥路面 (1) D は築造後9日、路面充分乾燥せる後 1.8 t/m^2 の割に撒水し 11日経過して再び充分乾燥せる後第1回試験を行つたが鐵輪帶路線 3及4より破壊し始め運轉4分間最大鐵輪帶通過荷重 12.8 噸にして路線 1乃至7に亘る區域甚しく破壊し、特に路線4は表層全厚破壊したが路線8は大なる變化なく空氣入輪帶に對しては通過荷重 7.3 噸、相當交通量 310 噸以上を許容することを示した。

濕潤路面 (1) W は (1) D の材料を全部取出し再使用施工せるものにして、施工後 1日 3.4 t/m^2 、2日 3.9 t/m^2 撒水し 4日後路面乾燥せる時再び 3.4 t/m^2 撒水し、其後降雨數回の後乾燥路面に 4.4 t/m^2 撒水して路面を充分濕した後第2回の試験を行つたが運轉僅に2分間にして全路線に亘り破壊し空氣入ゴム輪帶通過荷重 3.6 噸、相當交通量 150 噸に堪へざることを示した。

適濕路面 (1) O は全部新材料を用ひ從來と同様工法にて施工せしに固結不充分の爲 7.2 t/m^2 を撒水し 5日後充分乾燥せる後 9.5 t/m^2 、其後3日を経て 3.0 t/m^2 撒水し更に2日後路面乾燥し過ぎた爲 4.1 t/m^2 撒水し表面適度の濕度に乾燥するを待つて第3回試験を行つたが運轉開始後4分間にして全區域に亘り基礎面に達するまで破壊し其耐力空氣入ゴム輪帶に對し 7.3 噸、相當交通量 310 噸に過ぎざるを示した。

(2) 表層第2種 (土 7.5:砂 0:砂利 100)

乾燥路面 (2) D 施工及手當 (1) D 同様とし撒水量稍、多く 2.3 t/m^2 とす、第1回試験の結果は(1)に比し稍、良く破壊路線は1~5、破壊せる厚は鐵輪下にて基礎上約2cmに止まる。固形ゴム輪帶に對し通過荷重 9.1 噸、相當交通量 392 噸に堪へ得 (1) D に稍、勝るも鐵輪帶に對しては通過荷重 12.8 噸、相當交通量 416 噸を出でない。

濕潤路面 (2) W は9年7月5日前回の材料に不足を補つて再使用施工し、6日午前 1.6 t/m^2 、午後 1.9 t/m^2 、7日午前 1.9 t/m^2 、午後 2.0 t/m^2 、及9日午前 3.1 t/m^2 撒水し其後氣象による乾燥及濕潤作用を受け7月30日 4.3 t/m^2 撒水して濕潤狀態とし第2回試験を行つたが運轉僅かに2分にして路線1乃至5破壊し、路線6,7少しく沈下し唯路線8のみ殆ど異狀なく、鐵輪帶に對しては通過荷重 6.4 噸、相當交通量 208 噸に堪へざるも空氣入ゴム輪帶通過荷重 3.6 噸、相當交通量 150 噸には堪へ得る。

適濕路面 (2) O 9年8月2日第2回試験後降雨の爲濕潤となれる路面を鉈を以て

第6表 試驗荷重及主

試驗番號	側輪 從輪	Wh. 1					Wh. 2			Wh. 3
		試驗荷重			相當交通量		試驗荷重			試驗荷重
		P	G	計	P	G	P	G	計	S
No. 1	側從計	9.6			358			9.7		12.6
No. 2	側從計	4.8			179			4.8		6.3
No. 3	側從計	9.6			358			9.7		12.6
No. 4	側從計	9.6			358			9.7		12.6
No. 5	側從計	16.8			628			17.0		22.0
No. 6	側從計	32.6			1,216			33.9		44.1
No. 7	側從計	28.8			1,075			29.0		37.8
No. 8	側從計	31.2			1,165			31.5		41.0
No. 9	側從計	26.4 43.2 69.6			2,600			26.6 43.6 70.2		91.3
No. 10	側從計	43.2			1,612			43.6		56.7
No. 11	側從計	16.8 228.0 244.8			9,120			17.0 230.0 247.0		321.3
No. 12	側從計	19.2 144.0 163.2	98.8 218.4 317.2	118.0 362.4 480.4	6,090	13,600	12.6 113.4 126.0	97.0 218.0 315.0	109.6 331.4 441.0	598.5
No. 13	側從計		52.0			2,105		48.4		63.0
No. 14	側從計		28.6			1,235		25.6		34.6
No. 15	側從計		127.4 288.6 416.0			17,900		118.6 268.6 387.2		504.0
No. 16	側從計		41.6 109.2 150.8			6,500		38.7 101.8 140.5		182.7

要車輪の相当交通量(吨)

Wh. 4		Wh. 5	Wh. 6	Wh. 7		Wh. 8				迴轉 時間 (分)
試驗荷重	相當 交通量	試驗荷重	試驗荷重	試驗荷重	相當 交通量	試 驗 荷 重		相當交通量		
S	S	P	G	G	G	P	G	P	G	
12.8	416	8.5	8.6	9.1	392	7.3		310		4
6.4	208	4.2	4.3	4.5	194	3.6		150		2
12.8	416	8.5	8.6	9.1	392	7.3		310		4
12.8	416	8.5	8.6	9.1	392	7.3		310		4
22.4	728	14.9	15.0	15.9	685	12.8		532		7
44.8	1,456	29.8	30.0	31.8	1,370	25.7		1,070		14
38.4	1,248	25.6	25.7	27.2	1,172	22.2		925		12
41.6	1,352	27.7	27.8	29.5	1,272		29.0		1,170	13
92.8	3,016	61.8	62.1	40.9 25.0 65.9	2,840		40.2 24.5 64.7		2,610	29
57.6	1,872	38.4	38.5	40.9	1,763		40.2		1,620	29
326.4	10,608	217.2	218.3	215.6 15.9 231.5	9,975		212.0 15.6 227.6		9,150	102
608.0	19,760	404.7	406.6	326.9 104.4 431.3	18,650		321.1 102.6 423.7		17,050	190
64.0	2,080	42.6	42.8	45.4	1,955		44.6		1,800	20
35.2	1,144	23.4	23.5	24.9	1,075		23.5		947	11
512.0	16,640	340.8	342.4	252.0 111.2 363.2	15,650		247.6 109.2 356.8		14,400	160
185.6	6,025	123.5	124.1	95.3 36.3 131.6	5,680		93.6 35.7 129.3		5,215	58

第 7 表 試 験 結 果

試験 番 號	表 層 番 號	配 合 (砂利重 量の%)		乾 燥 程 度	含 水 率 (乾燥重量に対する %)				地 床 示 数 (kg/cm ²)			施工及其後の手當大要	破 損 程 度
		土	砂		施 工 時		試 験 時		築造 直後	中間	試験 直前		
					全	土	全	土					
No. 1	(1)	5.0	0	D	6.6	133.2	2.7	52.7	29.4 ¹⁾	45.5 ²⁾	{ 18, 21, 22日の3日連続試験器にて 合計 15 通り試験 (23日散水 1.76m ²) { 熱間同上 散水量 5.28 // { 熱間 16, 18, 19 及 22 日計15通 散水量 1.85 // { 熱間時、同上 散水量 1.92 // { 熱間時、同上 散水量 2.00 // { 熱間時、同上 散 量 1.91 水	1	
	(2)	7.5	0	D	8.3	101.6	3.5	47.4	30.8	30.4		2	
	(3)	10.0	0	D	11.2	110.1			55.5	32.8		3	
	(4)	12.5	0	D	10.3	82.7			36.4	54.0		3	
	(5)	15.0	0	D	12.8	83.2			41.7	47.8		3	
	(6)	17.5	0	D	13.1	86.5			31.3	33.9		3	
No. 2	(1)	5.0	0	W			6.0	106.0	14.3 ¹⁾	32.3 ²⁾	46.5 ³⁾	前試験材料に水を加へ再使用	1
	(2)	7.5	0	W			5.7	68.2	15.5 ¹⁾	32.3 ²⁾	50.0 ³⁾	5, 7 日散水	2
	(3)	10.0	0	D					27.4 ²⁾	38.5 ³⁾	47.7 ⁴⁾	同上	
	(4)	12.5	0	D					51.3	30.3	43.5	以下4種共同試験に破壊せる部分を 散水熱間にて再使用	
	(5)	15.0	0	D					46.5	37.8	51.3		
	(6)	17.5	0	D					57.1	33.9	47.7		
No. 3	(1)	5.0	0	O	7.7	141.7	3.8	69.8	30.2	55.5 ¹⁾	31.8 ²⁾	3, 8, 11, 14 日散水	1
	(2)	7.5	0	O			4.9	63.4	36.1 ¹⁾	62.5 ²⁾	37.8 ³⁾	{ 破壊せる部分を線を以て均し線に て熱間する 3, 8, 11, 14 日散水	2
	(3)	10.0	0	D			5.4	57.4		41.6	58.8	(1) の施行直後以下全區に散水平均	3
	(4)	12.5	0	D			5.9	51.5		50.0	37.7	2.4 t/m ²	4
	(5)	15.0	0	D			6.0	44.9		41.5	37.7		5
	(6)	17.5	0	D			4.8	31.0		57.5	66.6		6
No. 4	(7)	5.0	5	D	6.3	108.6	2.3	44.6	25.4	30.3 ¹⁾	44.5 ²⁾	8 月 23 日より 11 月 13 日まで 83 日間自給の気象利用を受く以下同様	1
	(8)	7.5	7.5	D	8.1	100.6	2.6	35.1	33.9	20.9	76.9	前試験後散水熱間にて修理以下同様	
	(3)	10.0	0	D			3.0	31.0		35.8	57.1		
	(4)	12.5	0	D			3.3	28.1		50.0	46.4		
	(5)	15.0	0	D						45.5	42.5		
	(6)	17.5	0	D						30.3	44.5		
No. 5	(7)	5.0	5	W			5.2	84.4			34.5	前試験後の路面を修理試験前散水熱 間さす 6 種共同様	1
	(8)	7.5	7.5	W			6.0	68.5			48.4		3
	(3)	10.0	0	W			7.6	73.6			49.5		3
	(4)	12.5	0	W			7.8	62.2			62.5		3
	(5)	15.0	0	W			9.2	64.1			33.2		3
	(6)	17.5	0	W			12.2	76.0			39.2		2

の試験別比較

試験結果	試験要項	摘 要
路面概況	(通過荷重及相當交通量) は鐵輪の最大値を用ふ	
鐵輪下より破壊し始め漸次兩側に及び 全路線破壊し鐵輪下では基礎上面に及ぶ 鐵輪下では下層の半まで破壊路線 6, 7, 8 は耐力力を餘す 鐵輪下のみ表面破壊す程度以下四種甲 乙なし 同 上 同 上 同 上	施工 (1)~(3) 9年6月14日 (4)~(6) 〃 15日 試 驗 9年7月4日 運轉時間 4 分 通過荷重 12.8 吨 相當交通量 416 〃	1) 6 月 23 日測定築造後 9 日經過以下之に準ず 2) 6 月 25 日測定 23 日撒水乾燥後以下同様
全然破壊 路線 2~4 破壊甚し 以下四種破壊せず	施 工 9年7月5日 試 驗 〃 30日 運轉時間 2 分 通過荷重 6.4 吨 相當交通量 208 〃	1) 7 月 7 日測定撒水の爲湿润 2) 7 日測定表面乾燥以下同様 3) 19 日降雨の爲湿润となりたる時測定以下同様 4) 7 月 30 日試験直前撒水後測定上段は撒水直前乾燥時
基礎上面に達するまで全面に互り破壊 鐵輪下のみ深さ 6 cm まで破壊 鐵輪下のみ深さ 5.5 cm まで破壊 〃 4.5 〃 〃 4.2 〃 〃 4.0 〃	施 工 (1) 9年8月3日 修 理 (2) 〃 2日 試 驗 〃 13日 運轉時間 4 分 通過荷重 12.8 吨 相當交通量 416 〃	(1) は新材料にて新に築造 1) 8 月 3 日測定撒水後湿润時 2) 8 月 8 日表面乾燥せる時測定以下同じ 3) 撒水後適度に乾燥せる時測定
鐵輪下のみ破壊し他路線は耐力力あり 鐵輪部も未だ耐力あり以下同様	施 工 9年8月23日 試 驗 11月13日 運轉時間 4 分 通過荷重 12.8 吨 相當交通量 416 〃	1) 10 月 13 日湿润状態にて測定
路線 1~7 の表面破壊路線 3, 4 は破壊大 鐵輪の部沈下せるのみ以下同様 鐵輪部の沈下上記 4 種に比し稍大	修 理 9年11月14日 試 驗 〃 29日 運轉時間 7 分 通過荷重 22.4 吨 相當交通量 728 〃	

試験 番 號	表 層 番 號	配 合 (砂利重 量の%)		乾 燥 程 度	含 水 率 (乾燥重量に対する %)				地 床 示 数 (kg/cm ²)			施工及其後の手當大要	破 損 程 度
		土	砂		施 工 時		試 験 時		築造 直後	中 間	試験 直前		
					全	土	全	土					
No. 6	(9)	10.0	10.0	D	12.7	132.4	5.9	66.8			80.0	{新築水量過多なりし爲施工中松固 不充分に付 12 月 10 日松固追加	3
	(10)	12.5	12.5	D	15.1	133.0	6.4	60.4			60.0		{新築 12 月 8 日及 10 日に互に (9) と同程度に松固む
	(3)	10.0	0	D			5.8	61.8			42.5	前試験後修理	1
	(4)	12.5	0	D			7.7	67.7			58.0	"	2
	(5)	15.0	0	D			8.2	61.8			70.0	"	5
	(6)	17.5	0	D			11.4	75.2			49.5	"	6
No. 7	(9)	10.0	10.0	O							47.0	{前試験後止水手直し松固各區共同 様	3
	(10)	12.5	12.5	O							27.8		{凍害を避ける爲試験日まで復旧は 被覆す
	(3)	10.0	0	O			4.0	39.0			51.3	一部降雨の爲濡れた部分は焚火にて 乾かし後各區一様に自然乾燥せしめ たる後 2 月 8 日撤水其後乾燥して 適當の温度とす	1
	(4)	12.5	0	O							38.5		2
	(5)	15.0	0	O							43.5		4
	(6)	17.5	0	O							44.1		5
No. 8	(9)	10.0	10.0	W			7.9	74.8			41.3	撤水地固めて修理す 15, 16 日撤水	4
	(10)	12.5	12.5	W			6.4	46.0			44.5	以下同様	3
	(3)	10.0	0	W			7.5	72.5			38.1		1
	(4)	12.5	0	W			8.4	67.6			61.5		2
	(5)	15.0	0	W			6.1	40.3			46.0		4
	(6)	17.5	0	W			6.9	40.5			43.5		4
No. 9	(12)	17.5	17.5	O	18.1	123.7	10.3	71.5			28.9	{築造直後軟弱 20, 21 日及 23 日 松固及撤水 3 月 9 日撤水	1
	(11)	15.0	15.0	O	14.4	108.6	9.5	74.3			27.8		同上 (12) より稍上固し
	(11)	15.0	15.0	D	20.0	157.3					69.0	(12) O と同様但し 3 月 9 日撤水せず	6
	(12)	17.5	17.5	D	17.9	122.1					54.0	同 上	5
	(5)	15.0	0	D							74.0	2 月 20 日撤水地固修理	3
	(6)	17.5	0	D							80.0	同 上	4
No. 10	(9)	10.0	10.0	W	11.6	119.2	7.35	67.6	19.5	64.5	47.2	{軟弱の爲上層地固め 5 通りにて中 止せし故 16 日再松固め後撤水 3 回	4
	(10)	12.5	12.5	W	14.8	130.0	9.93	81.0	5.8	26.4	38.5		
	(11)	15.0	15.0	W			10.8	77.3		26.3	21.0	撤水地固修理 13, 14 日尚 3 回撤水	1
	(12)	17.5	17.5	W			11.7	74.4		26.0	35.5	同 上	2
	(5)	15.0	0	W			7.38	50.3			80.0	同上表面比較的乾燥す	6
	(6)	17.5	0	W			9.00	54.6			42.5	"	5

試 験 結 果	試 験 要 項	摘 要
路 面 概 況	(通過荷重及相當交通量) (は鐵輪の最大値を用ふ)	
路線3,4 沈下路線2 表面弛緩路線1, 5, 8 8は略、原狀の儘 同上、稍、(9)に優る (路線1~7 破壊特に3, 4 大、路線8は 原狀に近し 同 上 (9),(10)と略、同様少しく(9),(10)に優る 同 上	施工(9)(10) 9年12月7日 試 驗 " 26日 運轉時間 14分 通過荷重 44.8 吨 相當交通量 1,456 #	1) 附近に並設せる同配合の試料より測定以下同様試験路面より稍、濕氣多き觀あり
鐵輪部少しく沈下し路線2の表面少しく弛緩せる程度尙充分耐力あり 同上稍、良好 (他に比し乾燥の度大、最も早く破壊し始め破壊の程度も大 破壊の程度(3)に次ぐ (10)と略、同様 同 上	修理 10年1月7, 8, 9日 試 驗 " 2月13日 運轉時間 12分 通過荷重 38.4 吨 相當交通量 1,248 #	
鐵輪部沈下、路線1の外側少しく弛緩 略、上記同様なれど稍、惡し 破壊の度最甚しく路線1~5破壊し外側に盛上る (10)と略、同様稍、之より惡し 鐵輪部沈下(9)と略、同様 同 上	修 理 10年2月14日 試 驗 " 16日 運轉時間 13分 通過荷重 41.6 吨 相當交通量 1,352 #	
(破壊最も甚しく外側に高く盛上り最早耐力なし本區域中乾燥の度大なるものは成績比較的良好各路線下の材料は移動せるも弛緩するに至らず 破壊狀況同上 路面弛緩せる程度 同 上 (12)より稍、惡し 同 上	施工(11)(12) 10年2月19日 修理(5)(6) " 20日 試 驗 " 3月12日 運轉時間 29分 通過荷重 92.8 吨 相當交通量 3,016 #	
(外側に盛上る、路線6, 7は以下各區とも殆ど變化なく略、原狀の通り (11)に接する部分のみ兩側他は外側のみ盛上る (11), (12)は初めは比較的良好なりしも中途より急に惡化兩側に盛上る 兩側少し盛上る 外側少し盛上る	修理(11)(12)(5)(6) 10年3月13, 14日 施工(9)(10) " 15日 試 驗 " 4月2日 運轉時間 18分 通過荷重 57.6 吨 相當交通量 1,872 #	1) 3月27日測定3月24日の降雨にて濡れし後表面乾燥以下同様 2) 試験の爲特に撒水せし後測定 本試験は濕潤狀態の試験なるも(5), (6)に對しては水分稍、過少の感あり

試験 番 號	表 層 番 號	配 合 (砂利重 量の%)		乾 燥 程 度	含 水 率 (乾燥重量に對する %)				地 床 示 数 (kg/cm ²)			施工及其後の手當大要	破 の 損 順 位 度		
		土	砂		施 工 時				築 造 直 後	中 間	試 験 直 前				
					全		土								
					全	土	全	土							
No.11	(9)	10.0	10.0	O	11.6	119.2	4.9	48.8		38.9 ¹⁾	56.5	4月23日4月24日1回撒水以下同様	3		
	(10)	12.5	12.5	O	12.3	105.0	4.9	40.0		77.0	47.2		5		
	(11)	15.0	15.0	O	14.8	112.1	5.7	41.2		44.1	48.7		4		
	(12)	17.5	17.5	O	15.3	102.1	6.1	39.1		37.1	27.8		6		
	(5)	15.0	0	O	14.0	101.1	6.3	45.2		51.3	37.1		1		
	(6)	17.5	0	O	15.4	97.6	7.8	49.4		38.5	31.3		2		
No.12	(6)	17.5	0	D	11.3	70.0	6.4	41.7		42.6 ¹⁾	28.2	5月4日乾燥6日撒水8日再び乾燥	2		
	(5)	15.0	0	D	10.9	77.2	5.2	38.7		38.5	52.0	以下同様	3		
	(12)	17.5	17.5	D	13.8	90.6	5.5	39.2		51.2	59.7		6		
	(11)	15.0	15.0	D	12.2	89.4	4.7	37.6		47.5	40.0		5		
	(10)	12.5	12.5	D	12.7	109.0	3.8	34.4		61.5	48.8		4		
	(9)	10.0	10.0	D	8.7	84.4	4.3	47.6		50.0	33.1		1		
No.13	(6)	17.5	0	W		8.9~8.2	51.2			36.0 ¹⁾	31.5	充分撒水して揚固 28 日乾燥後撒水	2		
	(5)	15.0	0	W		7.0~7.7	49.5			59.7	27.6	2 回以下同様	4		
	(12)	17.5	17.5	W		7.7~7.2	41.3			70.2	37.7		6		
	(11)	15.0	15.0	W		6.7~6.9	42.5			66.7	53.3		3		
	(10)	12.5	12.5	W		5.9~7.7	45.0			87.0	31.3		5		
	(9)	10.0	10.0	W		5.7	48.4			50.6	39.2		1		
No.14	(16)	17.5	26.2	W	11.1	70.4	9.6	58.0	4.2	68.0 ¹⁾	46.5	6月18日路面乾燥後撒水以下同様	3 ²⁾		
	(14)	12.5	25.0	W	11.3	96.3	9.2	73.2	7.5	43.5	40.0		6		
	(12)	17.5	17.5	W	12.4	79.8	8.8	52.1	9.7	70.8	33.6		1		
	(15)	15.0	30.0	W	10.8	78.1	8.0	50.9	8.6	43.5	38.1		5		
	(10)	12.5	12.5	W	10.1	83.0	7.2	54.0	8.0	59.7	25.5		2		
	(13)	12.5	18.7	W	10.9	91.4	7.8	58.9	5.2	58.8	21.3		4		
No.15	(16)	17.5	26.2	O	11.8	76.1	5.9	38.1	4.4	91.0 ¹⁾	60.7	18 日乾燥 19 日午前の撒水以下同様	5		
	(14)	12.5	25.0	O	11.6	99.6	4.7	37.9	7.1	105.0	83.5		6		
	(12)	17.5	17.5	O	11.9	75.9	5.6	35.3	12.4	74.2	50.0		4		
	(15)	15.0	30.0	O	10.7	77.1	4.6	31.3	9.2	64.5	37.8		2		
	(10)	12.5	12.5	O	10.1	83.0	4.3	34.0	6.5	52.7	61.5		1		
	(13)	12.5	18.7	O	9.5	76.8	4.5	35.7	6.6	57.2	52.0		3		

試 験 結 果	試 験 要 項	摘 要
路 面 概 況	(通過荷重及相當交通量) は鉄輪の最大値を用ふ	
尚耐力あり (9)~(12) は甚しき差違なし 外側少しく盛上る路線 1~5 弛緩 6, 7, 8 は一部のみ弛緩 水分多き一小部分を除き路線 6, 7, 8 は略、原状、水分特に多き部分を除き 外側盛上らず 同上、劣る外側少しく盛上る 水分特に多き部分を除き外側は盛上 らず 外側全部盛上る鉄輪に對して支持力 不十分 外側一部盛上る 同上	施工 (6) (5) 9年4月9日 (12) (11) " 13日 (10) (9) " 16日 試験 9年4月24, 25, 26日 運轉時間 102分 通過荷重 326.4 吨 相當交通量 10,608 〃	1) 4月23日乾燥時測定
雨側全部盛上る (9) と略、同じ 同上 外側は全部内側は一部盛上る 同上 同上 雨側全部盛上る	施工 (6) (5) 9年4月27日 (12)(11)(10) " 5月1日 (9) " 2日 試 験 " 9, 10日 運轉時間 190分 通過荷重 608 吨 相當交通量 19,760 〃	1) 5月6日乾燥時測定 試験開始後20分間は各種殆ど差違 なく40分頃より差違を示し始め (12)最良好 (11) (10)之に次ぎ (9)最 悪以後順位同様
路線 1, 2 の間及 7, 8 の間隆起す 路線 1, 2 及 7, 8 間隆起すれど比較的低下 路線 7, 8 間は隆起せず路線 1, 2 間は隆 起低し 路線 1, 2 間の隆起他種に比し最高 路線 7, 8 間は約半分隆起 路線 1, 2 間 7, 8 間隆起すれども前者は 比較的低下 後者は各種中最高	修理全區 9年5月11日 試 験 " 28日 運轉時間 20分 通過荷重 64 吨 相當交通量 2,080 〃	1) 5月28日乾燥時測定 各種の差違著しからず尚耐力あり
外側盛上る以下同様 (13) と大差なし (15) と殆ど區別なし 試験初めより鉄輪に對して支持力不 充分 (10) と略、同様	施工 (16) 9年6月6日 (14)(12)(15)(10)(13) " 7日 試 験 " 13日 運轉時間 11分 通過荷重 35.2 吨 相當交通量 1,144 〃	1) 6月13日路面乾燥時測定 2) 外側盛上りの高さに據る
路線 1, 7, 8 は弛緩せず 6 は少し他は弛 緩 7, 8 間隙一小部隆起 外側には殆ど盛出さず 弛緩の度同上 7, 8 間隙隆起せず 路線 1 は半分 7, 8 は雨端其他は全部弛緩 (約 100 分位まで結果良好なりしも其 後急に悪化路線 1 の一部 7, 8 を除き弛 緩す 路線 7, 8 間隙中央半分及雨端隆起す 路面弛緩の度 (15) と同様 路線 7, 8 間隙の一小部隆起路線 7, 8 及 1 の半分のみ弛緩せず	施工 (16)(14)(12) 9年6月14日 (15)(10)(13) " 15日 試験 9年6月19日午後 より 20, 21 日 運轉時間 160分 通過荷重 512 吨 相當交通量 16,640 〃	1) 6月18日路面乾燥時測定 試験當初20分頃は (16) (14) 比較的 不良 100 分頃は却つて (14) 最良 (16) 之に次ぐ以後同様但し大差な く皆尚餘力あり

試験 番 號	表 層 番 號	配 合 (砂利重 量%)		乾 燥 程 度	含 水 率 (乾燥重量に對する %)				地 床 示 数 (kg/cm ²)			施工及其後の手當大要	破 損 程 度
		土	砂		施 工 時		試 験 時		築造 直後	中 間	試 験 直前		
					全	土	全	土					
No.16	(16)	17.5	26.2	D	10.6	66.2	3.6	25.4	5.9	57.1 ³⁾	63.5	7月16日全區域に散水其後充分乾燥せる後試験す以下同様	2
	(14)	12.5	25.0	D	10.5	87.5	2.6	23.0	9.2	62.5	87.0		2
	(12)	17.5	17.5	D	12.6	81.3	2.5	16.1	4.7	40.4	55.6		3
	(15)	15.0	30.0	D	10.4	74.2	3.0	23.8	6.6	66.7	93.0		3
	(10)	12.5	12.5	D	8.7	69.0	2.6	22.4	10.4	39.7	100.0		1
	(13)	12.5	18.7	D	10.2	84.1	2.7	23.8	4.8	39.6	74.0		4

均し鐵製搗固器を以て搗固め修理し、翌 3 日午後 7.2 t/m²、8 日午前表面乾燥せる時 4.7 t/m²、午後 2.5 t/m²、11 日 3.0 t/m²、13 日 4.1 t/m² 撒水し表面幾分乾燥して適度の含水率と認めらるゝに至り第 3 回試験を行つたが運轉 4 分間にして路線 2~4 の部分は深さ 6 cm まで破壊し他路線は尙餘力あるを示した。固形ゴム輪帶通過荷重 9.1 吨、相當交通量 392 吨には堪へ得る。

(3) 表層第 3 種 (土 10:砂 0:砂利 100)

乾燥路面 (3) D 9 年 6 月 14 日午後築造、路面乾燥せる 23 日 1.9 t/m² 撒水、7 月 4 日再び乾燥後第 1 回試験を行つたが 4 分間運轉の後鐵輪帶部の表面のみ破壊し鐵輪帶に對する許容通過荷重 12.8 吨、相當交通量 416 吨と看做され其耐力 (1) 又は (2) に比し遙に勝るを示した。7 月 5 日撒水搗固めて破壊部分を修理し其後撒水搗固乾燥を繰返し乾燥状態にて第 3 回試験として 4 分間運轉し 2, 3 兩回試験を通じ運轉時間 6 分間に達したるに鐵輪帶深さ 5.5 cm まで破壊し他路線は破壊せず空氣入ゴム輪帶に對しては通過荷重 14.4 吨、相當交通量 537 吨、固形ゴム輪帶に對しては通過荷重 13.6 吨、相當交通量 624 吨以上の耐力あるを示した。第 3 回試験の破損を修理し氣象作用により乾濕を反覆して 11 月 13 日第 4 回試験 4 分間運轉の結果は鐵輪帶部に於て少しく破損せるも尙耐力あることを示し 12 月 26 日第 6 回試験に於ては運轉 14 分の後路線 1~7 破壊し路線 8 のみ略、原狀のまゝにて尙耐力を存することを示した。即ち空氣入ゴム輪帶に對しては通過荷重 25.7 吨以上、相當交通量 1,070 吨以上なるも固形ゴム輪帶に對しては通過荷重 31.8 吨、相當交通量 1,370 吨以下なることを示して居る。

濕潤路面 (3) W 前回試験にて破損せる部分を修理し乾燥後再び濕潤ならしめ 11 月 29 日第 5 回試験に 7 分間運轉せしに鐵輪帶部は沈下したが尙破壊するに至らず他路線は殆ど異狀を示さず (7) W, (8) W 及び (6) W に勝り、鐵輪通過荷重 22.4 吨、相當交通量 728 吨以上の耐力あるを示して居る。第 7 回試験後 2 月 14, 15 兩日路面を撒水搗

試 験 結 果	試 験 要 項	摘 要
路 面 概 況	(通過荷重及相當交通量) (は鐵輪の最大値を用ふ)	
(10)を除き著しき差違なく尙充分耐力あり 尙耐力あり	施 工 9年6月25日 試 験 // 8月9日 運轉時間 58分 通過荷重 185.6吨 相當交通量 6,025 //	D 7月16日全區域に4回撒水せる後測定

固めて修理し 16 日撒水濕潤ならしめ第 8 回試験を行ひ 13 分間運轉したるに 6 種中破壊の度最も甚しく路線 1~5 の部分破壊し材料路線 1 の外側に排出されて隆起するに至つた。(4) W, (6) W, (9) W 等に比して著しく劣る。

適濕路面 (3) O 10 年 1 月 7 日~9 日撒水搗固めて前試験の破損を修理し凍結を防ぎ 2 月 8 日充分乾燥せる時 5.2 t/m^2 撒水し 2 月 13 日適當の溫度となつた時第 7 回試験を行つたが他種に先ち破壊し始め其程度最も甚しく運轉 12 分にして止めた。路線 1~5 は其耐力を超過し路線 7, 8 は略。其極度を示した。

(4) 表層第 4 種 (土 12.5:砂 0:砂利 100)

乾燥路面 (4) D 第 1 回乃至第 4 回試験に於ては略。(3) D と等しくして稍。之に勝れるものゝ如く第 3 回累計 10 分後の鐵輪下の破壊深さ 4.5 cm に止り (3) D に比し約 1 cm 淺し。第 4 回試験は運轉時間僅かに 4 分間に過ぎなかつた爲破壊するに至らず尙充分餘力あるを示した。第 6 回試験は 12 月 7 日前試験後の路面を修理し充分乾燥せしめた後 14 分間運轉したが路線 1~7 破壊し唯路線 8 のみ略。原狀のまゝにて尙耐力を存するを示した。(3) D と略。同様にして稍。勝り。(9) D には甚しく劣るが如し。

適濕路面 (4) W 第 5 回試験に於て 7 分間運轉したるも (3), (5), (8) 等と略。同じく僅かに鐵輪路線部が少しく沈下せるのみにして未だ其耐力を明にするに至らなかつた。第 8 回試験は第 7 回試験後の破損を 2 月 14, 15 兩日撒水搗固めて修理し更に 16 日撒水して充分濕潤なる時行ひ 13 分間運轉したるに鐵輪路線部沈下し路線 1, 2, 5 の表面弛緩し路線 1 の外側一部盛出した。(3) W に勝るが (6) W には明に劣る。

適濕路面 (4) O (3) O と略。同様に扱ひ充分乾燥後 2 月 8 日 4.6 t/m^2 撒水し 2 月 13 日適當なる溫度となりし時第 7 回試験を行ひ運轉 12 分間にして路線 1, 2, 5 表面弛緩し 3, 4 は破壊す。(3) O に勝るも (5) O 以下に劣る。

(5) 表層第 5 種 (土 15:砂 0:砂利 100)

乾燥路面 (5) D 第 1 回より第 4 回までの試験に於ては (3) D, (4) D と餘り異らず第 3 回累計 10 分後鐵輪下破壊の深さ約 4.2 cm にして前二者に稍、勝つた。第 4 回試験に於ては僅かに 4 分間なる爲破壊せず、唯 (6) D, (8) D と大差なく (7) D に勝るを示し、第 6 回試験に於ては 14 分運轉後路線 2~4 は表面弛緩したが路線 1, 5~8 は殆ど原状と異らず、第 9 回試験は 2 月 20 日前同破損部を修理し充分乾燥せる後 3 月 12 日 29 分間運轉して尙餘力あり、却つて (11) O, (12) O より勝れるを示した、第 12 回試験は 10 年 4 月 27 日前第 11 回試験材料を再使用し新に築造し 5 月 6 日充分乾燥せる時 4.7 l/m^2 撒水し再び乾燥せる後 5 月 9 日より 11 日に亘り続行し合計 3 時間 10 分に及んだ。結果は (9) D に勝り、(6) D に略、等しくして稍、劣り (10) D に劣る。材料兩側に排出盛上り原状に近き路線なく全路線破壊す。

濡潤路面 (5) W 第 4 回試験終了後一部破損部を修理し充分乾燥せしめた後再び濡潤となし 11 月 29 日第 5 回試験を行ひ 7 分間運轉せるに鐵輪帶の部分も沈下せるのみにて他路線同様破壊するに至らず、従つて耐力不明なるも (8) W より勝り且 (6) W より結果良好である、第 8 回試験は (4) W 同様 2 月 13 日の前回試験後修理し充分なる乾燥を待たず 2 月 16 日施工し 13 分間運轉したが破損の程度輕微にして充分の餘力を示し (9) W, (6) W に劣るが (4) W には遙に勝る。第 13 回試験は前回新築せるもの、試験による破壊を 5 月 11 日修理し充分乾燥せる後 5 月 28 日 3 回に分ち 5.4 l/m^2 撒水して 20 分間運轉した。結果は未だ破損少く充分餘力あるを示して居る。(9) W に勝り (10) W に劣るが如きも孰れも大差はない。

適濕路面 (5) O 第 7 回試験に於て (3) O, (4) O 同様 1 月 7~9 日修理し充分乾燥せるを待ち 2 月 8 日 2 回に 4.6 l/m^2 撒水し湿度適當と認めらるゝに至り 2 月 13 日 12 分間運轉せるに尙充分の餘力を示し (3) O, (4) O に遙に勝り (9) O, (10) O と略、似て稍、勝る。第 11 回試験は 4 月 9 日新材料を用ひ 14.0% の全含水率を以て築造し乾燥後 4 月 23 日 2 回に分ち 7.5 l/m^2 撒水し翌 24 日乾燥し過ぎた爲 1.7 l/m^2 撒水し湿度適當となるを待ち運轉を開始し同日 17 分、25 日 42 分、26 日 38 分計 1 時間 42 分に達せしめたが他種に比して破壊の程度最も大きく材料外側に排出盛上るに至つた。

(6) 表層第 6 種 (土 17.5:砂 0:砂利 100)

乾燥路面 (6) D 第 1 回乃至第 4 回までの結果は (5) D と略、同様にして常に稍、之に勝り第 3 回最大鐵輪通過荷重 12.8 吨、相當交通量 416 吨に於て鐵輪部の破壊厚 4 cm にして (5) D より約 0.2 cm 少い。第 6 回、第 9 回試験に於ては (5) D と共に撒水、乾燥固結及通過荷重による固結の爲其耐力増加せるが如く鐵輪帶部及其影響著しき 2, 5 等の路線に於て少しく破壊せるに止る。第 12 回試験に於ては前回までの影響を抹殺する爲

新に全含水率 11.3% にて築造し充分乾燥せる後 4.9 l/m^2 撒水し再び乾燥せる後 3 時間 10 分運轉せるに兩側全長に亘り材料排出され破壊の程度 (9), (5) に次で大きく路線 6, 7 及 8 皆弛緩した。

濕潤路面 (6) W 施工及其後の手當は (5) W と略、同様とせしに第 5 回試験に於ては (7) W に勝り (8) W に劣り (5) W にも少しく劣つたが第 8 回試験に於ては (9) W 及 (5) W に勝り (10) W に劣る。第 13 回試験に於ては第 12 回に於て新築せしものを (5) W 同様修理撒水し 20 分間運轉せしに他種に比し著しき相違なきも一部外側に排出盛上り、路線 7, 8 の間隙隆起し他路線皆弛緩し (9) W に勝り (5) W 及 (10) W に劣つた。

適濕路面 (6) O 常に (5) O と同様に加工し第 7 回試験に於ては (5) O, (10) O に勝り結果最良にして尙充分餘力を示し、第 11 回試験に於ては 4 月 23 日 7.1 l/m^2 , 24 日 1.6 l/m^2 撒水後 1 時間 42 分運轉したるに結果略、(5) O と同様にして稍、勝り、(9) O, (10) に劣る、路線 6, 7, 8 は大體其耐力を示して居る。

(7) 表層第 7 種 (土 5: 砂 5: 砂利 100)

乾燥路面 (7) D 8 月 23 日全含水率 6.3% を以て築造し數回乾燥を繰返したる後 11 月 13 日第 4 回試験として 4 分間運轉せるに鐵輪帶の路線 3, 4 のみ破壊し他路線は未だ餘力あるが (3) 及 (8) に劣る。

濕潤路面 (7) W 11 月 14 日前回の破損部分を修理し 29 日第 5 回試験に 7 分間運轉し路線 1~7 の表面破壊し特に鐵輪路線下甚しく (3) W~(6) W 及 (8) W に劣る。

(8) 表層第 8 種 (土 7.5: 砂 7.5: 砂利 100)

乾燥路面 (8) D 施工、手當及試験共に (7) D と略、同様にしたるに試験結果は常に之に勝り第 4 回に於ては運轉 4 分後鐵輪帶に對しても尙充分の耐力を示した。

濕潤路面 (8) W (7) W と略、同様に取り扱ひ第 5 回試験 7 分間運轉せるに鐵輪路線 3, 4 沈下を示せるのみにて尙充分の耐力あり遂に (7) W に勝り、稍、(6) W にも勝り (3)~(5) W と略、等し。

(9) 表層第 9 種 (土 10: 砂 10: 砂利 100)

乾燥路面 (9) D 9 年 12 月 7 日全含水率 12.7% にて築造、水量稍、過多にて上層搗固め 4 通にして止め 10 日稍、乾燥せる後正規の搗固めを了し、充分乾燥せる 12 月 26 日第 6 回試験にて 14 分間運轉せるに路線 3, 4 沈下し路線 2 の表面弛緩したが尙餘力充分あり路線 1, 5 乃至 8 は殆ど原狀の儘の如く、(3) D, (4) D には勝るも (5) D, (6) D 及 (10) D 等とは未だ優劣判然せず。第 12 回試験に於ては 5 月 2 日全含水率 8.7% にて築造し、6 日路面充分乾燥するを待ち 5.1 l/m^2 撒水し再び充分乾燥せしめた後 9, 10 兩日に亘り 3 時間 10 分運轉した。成績は運轉開始後 40 分頃までは各種大差なかつたが終

了後は最も悪く(5) D, (6) D に劣り兩側路線外に排出盛上り各路線破壊し原狀に近き路線なく通過荷重は明かに耐力を超過して居る。

濕潤路面 (9) W 2月13日前回試験終了後14, 15兩日撒水修理し16日再び撒水して濕潤路面とし第8回試験を行ひ13分間運轉せしに(5) W, (6) W と略、同様にして尙餘力あるを示し、第10回試験に於ては3月15日全含水率11.6%にて新に築造し、竣工後同日0.2 t/m^2 、翌16日1.4 t/m^2 、27日4.9 t/m^2 、4月2日4.8 t/m^2 撒水し18分間運轉せしに(10) W, (11) W, (12) W 等に優り(5) W, (6) W と略、同様にして材料外側に排出盛上つた。第13回試験は5月11日撒水修理し、乾燥後28日再び5.4 t/m^2 撒水して濕潤とし20分間運轉したるに、各表層共著しき優劣なきも本試験の種別中最も劣れるものゝ如く路線7, 8間は全長隆起し路線1の外側弛緩した。

適濕路面 (9) O 9年1月7~9日前回試験の破損を修理し乾燥後2月8日7.5 t/m^2 撒水し13日適當濕度となれる時第7回試験12分間運轉せしに鐵輪路線部沈下せるのみにて他路線は支障なく(5) O, (10) O に稍、劣り(3) O, (4) O には遙に勝る。第11回試験は新材料を用ひ4月16日全含水率11.6%にて築造し4月23日充分乾燥後7.1 t/m^2 撒水し再び乾燥し24日1.3 t/m^2 撒水して適當の濕度となして24~26日に亘り1時間42分運轉せしに(5) O, (6) O に優り(10) O, (11) O に劣る。路線6, 7及8の内比較的良好乾燥せる部分は未だ弛緩しないが他路線は表面弛緩し鐵輪路線部に沈下を生じた。

(10) 表層第10種 (土12.5:砂12.5:砂利100)

乾燥路面 (10) D 第6回試験に於て全含水率15.1% 施工に適當なる軟稠度にて正規の如く築造し略、(9) D と同様の經過の後12月26日14分間運轉したるに(9) D と略、同様の結果にして稍、優り路線3, 4沈下し路線2表面弛緩せる程度にして他路線は未だ支障なく尙餘力あるを示した。第12回試験に於ては全含水率12.7% として5月1日施工し6日撒水量4.6 t/m^2 とせる外略、同様に取扱ひ3時間10分運轉せしに(9) D には遙に優り(5) D, (6) D に稍、優り(11) D, (12) D に劣れるが如く外側全長に亘り材料排出盛上つたが路線7, 8の一部乾燥充分なる所は表面未だ弛緩せず尙固結して居る。第16回試験は6月25日築造、7月16日7.2 t/m^2 撒水8月9日58分間運轉せるに尙餘力を有して居るが(12) D に比し稍、劣れるが如く本試験中破損の程度最大である。

濕潤路面 (10) W (9) W と同様に取扱ひ第8回試験に於て13分間運轉せしに鐵輪部の沈下したるも其他は支障なく(3) W, (4) W に比し優るも(9) W に比しては稍、劣れるが如く、第10回試験に於ては3月15日全含水率14.8%にて施工、水量稍、過多の爲上層撓固5通りにして止め其後(9) W と同様乾燥に伴ひ撓固め3月16日1.4 t/m^2 撒水、24日降雨、27日5.5 t/m^2 、4月2日4.0 t/m^2 撒水同日18分間運轉せしに材料兩

側に排出盛上り (11) W, (12) W に優るも、(5) W 又は (9) W に劣る、第 13 回試験に於ては (9) 又は (11) と同様に取扱ひ充分乾燥後温潤ならしめて 20 分間運轉せしに破損の程度殆ど大差なく路線 7, 8 に至るまで表面弛緩せるも兩路線の間隙は一部隆起せしのみにして (12) W に次で結果良好である、第 14 回試験に於ては 6 月 7 日新に全含水率 10.1% にて築造し、充分乾燥するを待ち 13 日 10 回に分ち 12.3 g/m^2 撒水し 11 分間運轉したるに各種大差なく材料外側に排出盛上る、其の程度 (12) W に次で最も大である。

温潤路面 (10) O 第 7 回試験に於ては略 (9) O と同様に取扱ひ 2 月 8 日 6.9 g/m^2 撒水し 13 日適當なる温潤状態となつた時 12 分間運轉せしに路線 3, 4 沈下せるのみにて他路線は支障なく (3) O, (4) O 及 (9) O に勝り (5) O, (6) O と略同様である、第 11 回試験に於ては 4 月 13 日全含水率 12.3% にて築造し充分乾燥後 5.8 g/m^2 撒水し 24 日再び乾燥後 1.4 g/m^2 撒水し適當の温度となしたる上 26 日に至る 3 日間に 1 時間 42 分運轉せしに (12) O と共に成績最も良く尚餘力あるものゝ如く (9) O, (5) O, (6) O, (11) O に勝る、第 15 回試験に於ては 6 月 15 日午前 (12) O に約半日遅れて全含水率 10.1% にて築造し 19 日他種同様 2.6 g/m^2 撒水し適温となしたる上 21 日に至る 3 日間 2 時間 40 分運轉せるに路線 7, 8 の大部分尚略、原状を呈し兩路線間隙は兩端及中央の半に亘り隆起したが未だ餘力を有して居り (12) O に稍、劣るが如きも大差はない。

(11) 表層第 11 種 (土 15:砂 15:砂利 100)。

乾燥路面 (11) D 第 9 回試験は 2 月 19 日新材料を用ひ全含水率 20.0% に達する稍、過多の水量を用ひ搗固を上下各 3 通りに減じて築造し乾燥に伴ひ搗固めて正規の工法に近からしめ尙撒水乾燥搗固めを行ひ 3 月 12 日充分乾燥せる後 29 分間運轉せしに各路線共尚耐力を有し (11) O, (12) O に遙に勝り且 (5) D, (6) D にも勝り (12) D と殆ど區別なし、第 12 回試験に於ては全含水率 12.2% にて 5 月 1 日 (10) D, (11) D と同日に築造し充分乾燥せる後 5 月 6 日 4.3 g/m^2 撒水し再び乾燥せる後 9, 10 兩日に亘り 3 時間 10 分運轉せるに外側は全長に亘り、内側は一部材料排出盛上り其程度 (10) D, (12) D 等と大差なくして之等の中間に位し恰も配合比と同様の傾向を示し路線 8 の一部は未だ表面弛緩せざる部分がある。

温潤路面 (11) W 第 10 回試験に於て 3 月 13, 14 兩日撒水搗固めて前回試験の後を修理し乾燥後 27 日 5.9 g/m^2 , 4 月 2 日 3.1 g/m^2 撒水し 18 分間運轉したるに初は状態最も良好なりしも終に近づき急に悪化し材料兩側に排出盛上つて破損したが路線 6, 7 等は尚耐力あるを示し (9) W, (10) W, (12) W 等に比し明に劣る、第 13 回試験に於ては 5 月 11 日前回の破損を修理し 28 日 5.4 g/m^2 撒水せる後 20 分間運轉せしに路線 3, 2

及 7, 8 の間隙隆起し路線 6, 7 の外全部表面弛緩したが結果は (12) W に次で良好にして (10) W に勝る。

適温路面 (11) O 第 9 回試験に於て 2 月 19 日全含水率 14.4% にて築造、水量稍、過多の爲下層 3 通り、上層 4 通り搗固めたのみで其後乾燥と共に搗固め充分乾燥せる後 3 月 19 日 6.5 t/m^2 , 11 日 5.0 t/m^2 , 12 日 1.1 t/m^2 撒水して適當の温度となるを待ち 29 分間運轉せしに破壊最も甚しく (5) D に著しく劣る、第 11 回試験に於ては 4 月 13 日新に全含水率 14.8% にて築造し 23 日乾燥後 6.4 t/m^2 , 4 月 24 日 1.4 t/m^2 撒水せる後 26 日に至る 3 日間に亘り 1 時間 42 分運轉せしに路線 6, 7, 8 等は表面殆ど弛緩せず (6) O, (5) O に勝るも (9) O, (10) O 等と大差なきも稍劣る。

(12) 表層第 12 種 (土 17.5: 砂 17.5: 砂利 100)

乾燥路面 (12) D 第 9 回試験は 2 月 19 日全含水率 17.9% 水分稍、過多にて下層 3 通り、上層 4 通り搗固めて築造し 21 日 2.5 t/m^2 撒水、26 日降雨、其後充分乾燥せる後 3 月 12 日 29 分間運轉せしに結果最も良く各路線共尙充分餘力がある。第 12 回試験に於ては全含水率 13.8%, 5 月 6 日撒水量 4.2 t/m^2 の外 (11) D と同様に取扱ひ 3 時間 10 分運轉せる結果外側は全長に亘り材料排出盛上つたが内側は其現象なく路線 8 の大部分のみ表面原状に近く成績他の 5 種に比し最良である。第 16 回試験に於ては全含水率 12.6% とし稍過多の水量にて築造し (10) D と同様乾燥後 7 月 16 日 7.2 t/m^2 撒水、8 月 9 日 58 分間運轉せしに (10) D に勝るが其他には少しく劣れるが如きも尙充分餘力がある。

濕潤路面 (12) W 第 10 回試験に於ては撒水量 3 月 27 日 4.2 t/m^2 , 4 月 2 日 4.0 t/m^2 とせし外 (11) W と同様に取扱ひ 18 分間運轉せしに材料兩側に排出隆起し破壊の程度 (11) W に次で甚しく (5) W, (6) W 又は (9) W に劣る。第 13 回試験に於ては (11) W と同様に取扱ひ 20 分間運轉の結果路線 7, 8 は表面少しも弛緩せず兩路線間隙は全長の半分のみ隆起せしに止まり本試験の種類中成績最良好であるが其差は輕微である。第 14 回試験に於ては全含水率 12.4% とせし外 (10) W と同様に取扱ひ 11 分間運轉せしに各種の差違は僅少ではあるが、外側に排出された材料の量により比較すれば (10) W と共に成績最も不良である。

適温路面 (12) O 第 9 回試験に於て全含水率 18.1% とし水量過多の爲下層 3 通り上層 4 通り搗固めて築造し其後は (11) O と同様に扱ひ 29 分間運轉せる結果材料兩側に排出隆起し破壊の度 (10) O と略、同様にして最早耐力なし。第 11 回試験に於ては全含水率を 15.3% とし 4 月 23 日の撒水を 6.5 t/m^2 とせる外 (11) O と同様とし 1 時間 42 分運轉せるに路線 1~5 は破壊せるも路線 6, 7 及 8 の表面中比較的水分多き部分を除き他は弛緩せず略、原状を呈し (10) O と共に他種に比し優良である。第 15 回試験に於ては全

含水率 11.9% とせし外 (10) O と同様に扱ひ 2 時間 40 分運轉せるに路線 7, 8 の大部分は表面弛緩せず兩者間隙も兩端の一部を除く外隆起せず (10) O, (15) O には稍、劣る。

(13) 表層第 13 種 (土 12.5:砂 18.7:砂利 100)

乾燥路面 (13) D 第 16 回試験に於て 10 年 6 月 25 日午前全含水率 10.2% にて築造し充分乾燥せしめ 7 月 16 日 7.2 g/m^2 撒水し 8 月 9 日再び充分乾燥せる後 58 分間運轉せしに (10) D の結果最悪なるに對し成績最も良く尙充分餘力がある。

濕潤路面 (13) W 第 14 回試験に於て 10 年 6 月 7 日全含水率 10.9% にて築造し充分乾燥せる 6 月 13 日 12.3 g/m^2 撒水せる後 11 分間運轉せしに各路線皆沈下し材料外側に排出盛上る。結果 (10) W, (12) W に比し大に勝り, (16) W に略、等しくして少しく勝り, (14) W, (15) W 等には明に劣る。

適濕路面 (13) O 第 15 回試験は 6 月 15 日午前全含水率 9.5% にて新に築造し乾燥せる後 19 日 2.6 g/m^2 撒水し表面乾燥し始める頃運轉を開始し 21 日までに 2 時間 40 分運轉せるに尙耐力を有し路線 1~6 は破壊弛緩せるも 7, 8 は表面弛緩するに至らず兩線間隙は兩端及中央一小部のみ隆起し他は支障なく (16) O, (14) O には稍、劣るも其他に比しては少しく勝るが如し。

(14) 表層第 14 種 (土 12.5:砂 25:砂利 100)

乾燥路面 (14) D 第 16 回試験は 6 月 25 日全含水率を 10.6% とし築造し充分乾燥せる後 (13) D 同様 7.2 g/m^2 撒水し再び乾燥せる後 8 月 9 日 58 分間運轉せしに (12) D, (15) D, (16) D 等と大差なく尙充分餘力あり (10) D に勝り, (13) D に稍、劣る。

濕潤路面 (14) W 第 14 回試験は 10 年 6 月 7 日全含水率 11.3% にて築造し充分乾燥せる後 6 月 13 日 12.3 g/m^2 撒水し 11 分間運轉せしに外側に於て材料少しく排出隆起の徴候を示す程度に止り (15) W と略、同様にして成績最良である。

適濕路面 (14) O 第 15 回試験は 6 月 14 日午後全含水率 11.6% を以て築造し充分乾燥せしめ 19 日午前 2.6 g/m^2 撒水同日午後適當なる濕潤状態となつた時より 21 日に至るまでに 2 時間 40 分運轉せしに路線 1, 6, 7, 8 の大部分は未だ表面弛緩するに至らず, 路線 7, 8 間及外側は殆ど隆起せず尙充分餘力あるを示し他種に比し最も優良である。

(15) 表層第 15 種 (土 15:砂 30:砂利 100)

乾燥路面 (15) D 第 16 回試験に於て全含水率 10.4% とし (13) D, (14) D 等と同様試験せる結果は (13) D には稍、劣るも他種に比しては勝り尙充分の餘力を示して居る。

濕潤路面 (15) W 第 14 回試験に於て全含水率 10.8% とし (13) W, (14) W 等と同様に試験せるに外側の材料排出隆起せるは一部分にして結果は (14) W と略、同程度にして他種に比し大に勝る。

第 8 表 配合種別と輪帯別耐力

(1) <印は該數量にて破壊し; >印は該數量以上の耐力あるを示す.

(2) 空氣入ゴムの部分は鐵輪帯の影響により破壊す, 以下空欄は同意義を示す.

表層 番號	配 合		乾煤 程度	運轉 時間 (分)	通 過 荷 重 (吨)			相 當 交 通 量 (吨)			試 驗 番 號
	土	砂			空氣入 ゴム	固形ゴム	鐵輪帶	空氣入 ゴム	固形ゴム	鐵輪帶	
(1)	5	0	D W O	4 2 4	> 7.3 < 3.6 < 7.3	< 9.1 < 4.5 < 9.1	< 12.8 < 6.4 < 12.8	> 310 < 150 > 310	< 392 < 194 < 392	< 416 < 208 < 416	No. 1 No. 2 No. 3
(2)	7.5	0	D W O	4 2 4	> 7.3 < 3.6 > 9.6	> 9.1 < 4.5 < 9.1	< 12.8 < 6.4 < 12.8	> 310 < 150 > 358	> 392 < 194 > 392	< 416 < 208 < 416	No. 1 No. 2 No. 3
(3)	10.0	0	D W O	14 13 12	> 25.7 < 31.2 > 22.2	31.8 29.5 27.2	< 44.8 < 41.6 < 38.4	> 1,070 < 1,165 > 925	1,370 1,272 1,172	< 1,456 1,352 < 1,248	No. 6 No. 8 No. 7
(4)	12.5	0	D W O	14 13 12	> 25.7 > 31.2 > 22.2	31.8 > 29.5 > 27.2	< 44.8 41.6 38.4	> 1,070 1,165 > 925	1,370 1,272 1,172	< 1,456 1,352 1,248	No. 6 No. 8 No. 7
(5)	15.0	0	D W O	29 20 102	> 69.6	> 65.9 > 45.4 218.3	92.8 > 64.0 326.4	> 2,600	> 2,840 > 1,955 9,975	3,016 > 2,080 10,608	No. 9 No. 13 No. 11
(6)	17.5	0	D W O	190 20 102		431.3 45.4 231.5	608.0 64.0 < 326.4		18,650 2,080 9,975	19,760 1,955 < 10,608	No. 12 No. 13 No. 11
(7)	5	5	D W O	4 7	> 9.6 > 12.8	> 9.7 15.9	12.8 < 22.4	> 358 > 628	> 392 685	416 728	No. 4 No. 5
(8)	7.5	7.5	D W O	4 7	> 9.6 > 12.8	> 9.7 > 15.9	> 12.8 > 22.4	> 358 > 628	> 392 685	> 416 728	No. 4 No. 5
(9)	10.0	10.0	D W O	190 20 102		< 431.3 45.4 231.5	< 608.0 64.0 < 326.4		< 18,650 2,080 9,975	< 19,760 1,955 < 10,608	No. 12 No. 13 No. 11
(10)	12.5	12.5	D W O	190 20 160		423.7 > 45.4 363.2	< 608.0 64.0 < 512.0		17,050 > 2,080 15,650	< 19,760 1,955 < 16,630	No. 12 No. 13 No. 15
(11)	15.0	15.0	D W O	190 20 102		423.7 45.4 231.5	< 608.0 64.0 < 326.4		17,050 1,955 9,975	< 19,760 2,080 < 10,608	No. 12 No. 13 No. 11
(12)	17.5	17.5	D W O	190 20 160		423.7 45.4 363.2	< 608.0 < 64.0 < 512.0		17,050 2,080 15,650	< 19,760 < 1,955 < 16,630	No. 12 No. 13 No. 15
(13)	12.5	18.7	D W O	58 11 160		> 131.6 > 24.9 363.2	> 185.6 35.2 < 512.0		> 5,680 1,075 15,650	> 6,025 1,144 < 16,630	No. 16 No. 14 No. 15
(14)	12.5	25.0	D W O	58 11 160		> 131.6 > 24.9 > 416.0	> 185.6 35.2 512.0		> 5,680 1,075 > 17,900	> 6,025 1,144 16,630	No. 16 No. 14 No. 15
(15)	15.0	30.0	D W O	58 11 160		> 131.6 > 24.9 363.2	> 185.6 > 35.2 < 512.0		> 5,680 1,075 15,650	> 6,025 1,144 < 16,630	No. 16 No. 14 No. 15
(16)	17.5	26.2	D W O	58 11 160		> 131.6 > 24.9 > 416.0	> 185.6 35.2 512.0		> 5,680 1,075 > 17,900	> 6,025 1,144 16,630	No. 16 No. 14 No. 15

適濕路面 (15) O 第 15 回試験に於て全含水率 10.7% とし (13) O, (14) O と同様に試験せるに試験の始めは路面状態比較的良好にして (14), (16) に次で第 3 位なりしが終に至つて路線 7, 8 の一部分に表面原状を維持する部分ある外破損の程度最も大きく路線 7, 8 間の間隙も兩端及中央半分隆起した。

(16) 表層第 16 種 (土 17.5:砂 26.2:砂利 100)

乾燥路面 (16) D 第 16 回試験に於て全含水率 10.6% とし (12) D, (15) D 等と同様に試験せる結果は (10) D に勝り (13) D に劣るも其他に對しては大差なく尙充分餘力を存して居る。

濕潤路面 (16) W 第 14 回試験に於て全含水率 11.1% とし (12) W, (15) W 等と同様に試験せる結果は各種大差なきも外側に排出盛上つた材料の量より見るに (14) W, (15) W に劣り其他に比しては勝る。

適濕路面 (16) O 第 15 回試験に於て全含水率 11.8% とし (12) O, (15) O と同様に試験せしに (14) O に次ぎて路線 1, 6, 7, 8 等は表面未だ弛緩するに至らず路線 7, 8 間の間隙も殆ど隆起せず尙充分耐力を有し (10) O, (12) O 等には遙に勝り, (13) O, (15) O 等にも稍勝る。

以上の結果より各種表層の各種輪帶に對する許容通過荷重量及相當交通量を一括すれば第 8 表の如くであるが全部を常に同一の破壊程度の標準に合致せしめることの不可能であり且此種の路面は或る程度破壊後に於ても尙荷重を許容し併も其許容量が破壊に至るまでの耐力に比して甚しく大なる場合がある等の爲表中の數字を以て直に全部を比較することは不可能である。

III. 要 約

上述試験結果より東京山手赤土若しくは之と同性質の土を膠着材とする砂利路面工の築造及維持に對し參考に資し得る點を要約すれば次の如くである。而して本試験に於ては通常考慮し得らるゝ砂利路面工の配合の全範圍を網羅したとは云へないが相當廣範圍に亘つたから略、全般を推し得ると信ずる。

1) 東京若しくは之に似た氣象の地方に於ては鐵輪帶に對する砂利路面工の耐力は乾燥と共に増大し、通常起り得る最大乾燥時の含水率より甚しく大なる含水率に於て最大耐力を有することはない。換言すれば所謂最適含水率 (Optimum Moisture Content) なるものは尠くとも鐵輪帶に對しては存在しない。

2) 乾燥状態に於て最大耐力を有する配合が濕潤状態に於ても常に耐力最大なりとは限らぬ。

3) 砂を混用しない場合、乾燥状態に於ては土量（砂利乾燥重量に對する土の乾燥重量の %）17.5% までは土量を増すと共に耐力を増すが濕潤状態に於ては 15% まで増大し 17.5% では 15% と略同様にし寧ろ少しく劣るが如くである。

4) 土量 17.5% までの範圍内に於ては砂を混用する方乾、濕孰れの場合に於ても耐力遙に大である。而して最適當の土砂の比率は土量及乾、濕に由つて異なるが土 1 に對し砂 1.5~2.0 の間にあり土量 12.5~17.5% に於ては乾燥には 1:1.5、濕潤には 1:2 を適當と認める。

5) 砂利 100 に對し土 10、砂 10 若しくは之以下の土砂量の配合では假令乾燥充分なりとも充分なる耐力を得難い。

6) 砂利の空隙率に比し土砂モルタルの量が充分ならざる程度の配合でも土 12.5%、砂 12.5% に達すれば施工適當にして乾燥充分ならば鐵輪帶相當交通量 19,760 廻に及び他のより適當なる配合のものゝ不適當なる施工又は乾燥不充分なるものに比し耐力大である。

7) 砂利 100 に對し土 17.5 を使用しても必ずしも土量過多ではなく工法適當にして乾燥充分ならば鐵輪帶相當交通量 19,760 廻に及び若し之に適當量の砂を混用すれば其耐力更に増大し本試験の範圍内に於ける最大の耐力に近からしめ得る。

8) 本試験の結果土量 17.5% 以下の場合に於て適當と看做し得る配合は乾燥重量に於て下記程度の範圍である。

土	砂	砂利
12.5	: 18.7~25	: 100
15	: 30	: 100
17.5	: 26.2	: 100

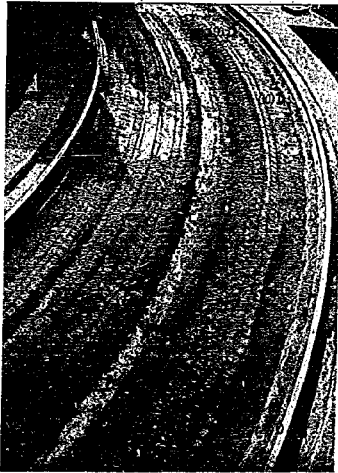
9) 上記配合の内孰れが最も優れるかは未だ明確ではないが其差輕微であり地況に據つて最も經濟的な配合を探り之に應ずる施工法を用ふべきである。

10) 上記の配合の範圍内に於ける配合の相違の耐力に及ぼす影響に比すれば含水率の差施工の差の遙に大なる影響あることは之等の試験中同一種類の區域内の路面狀況の差の配合の異なる他區との差よりも著しきものあるに見て明である。

11) 本試験の範圍内では土の分量の 2.5% 程度の配合の差は施工法又は含水率の差に比し寧ろ輕微である。

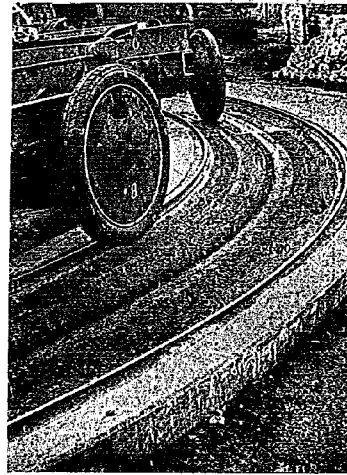
試験 No. 6 乾燥路面

運轉時間 14 分 最大鐵輪通過荷重 44.8 吨
同相當交通量 1,456 吨



試験 No. 7 適濕路面

運轉時間 12 分 最大鐵輪通過荷重 38.4 吨
同相當交通量 1,248 吨



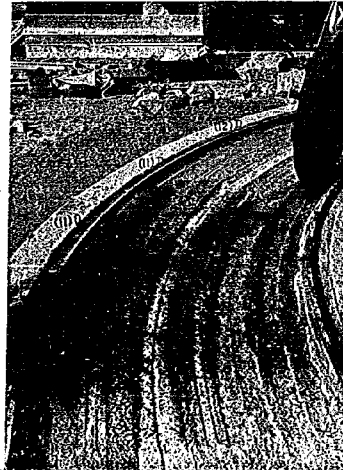
試験 No. 8 濕潤路面

運轉時間 13 分 最大鐵輪通過荷重 41.6 吨
同相當交通量 1,352 吨



試験 No. 9 適濕及乾燥路面

運轉時間 29 分 最大鐵輪通過荷重 92.8 吨
同相當交通量 3,016 吨



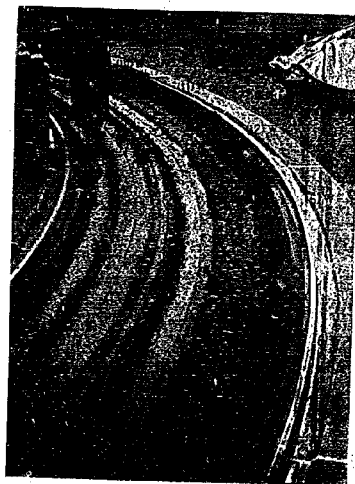
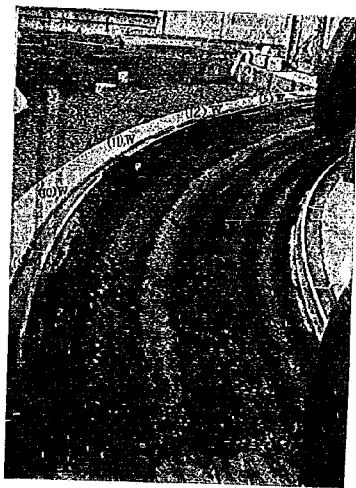
土木試驗所報告

試驗 No. 10 濕潤路面

運轉時間 18 分

最大鐵輪通過荷重 57.6 噸

同相當交通量 1,872 噸

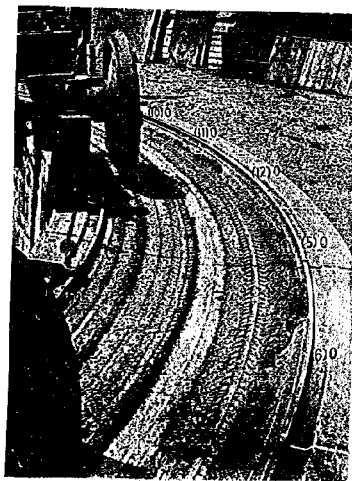


試驗 No. 11 適濕路面

運轉時間 1 時間 42 分

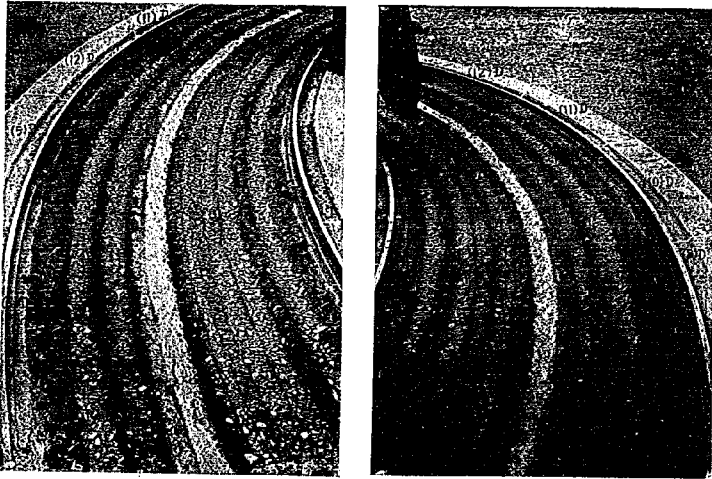
最大鐵輪通過荷重 326.4 噸

同相當交通量 10,608 噸



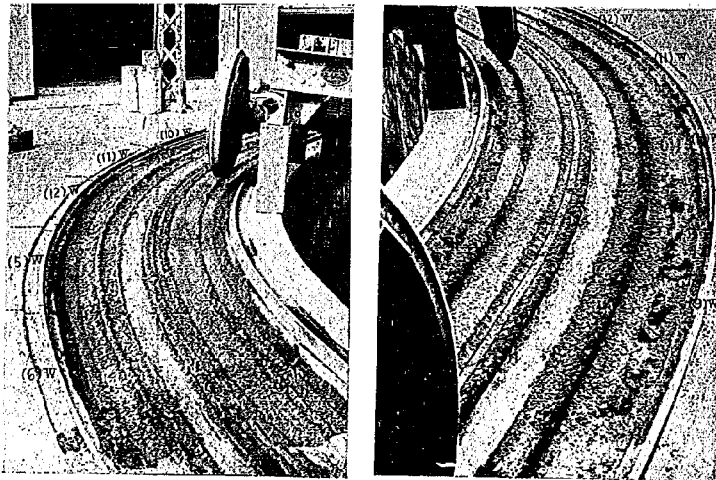
試験 No. 12 乾燥路面

運轉時間 3 時間 10 分 最大鐵輪通過荷重 608.0 吨 同相當交通量 19,760 吨



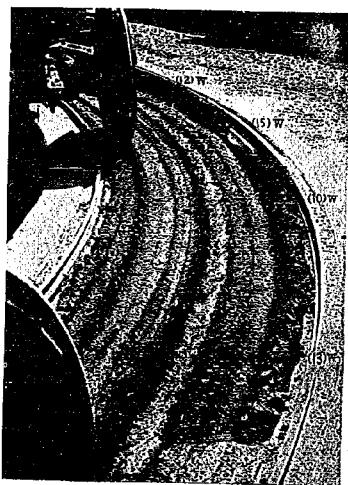
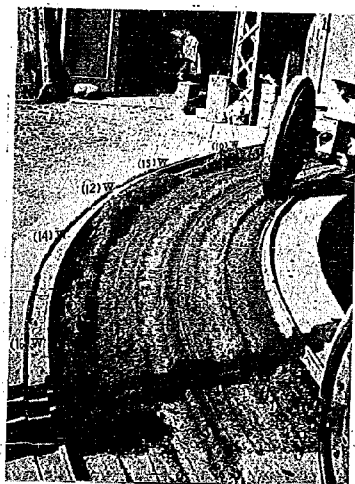
試験 No. 13 湿润路面

運轉時間 20 分 最大鐵輪通過荷重 64.0 吨 同相當交通量 2,080 吨



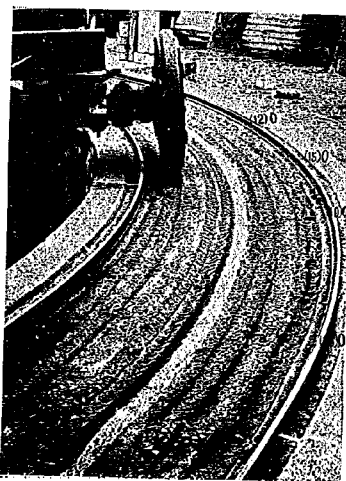
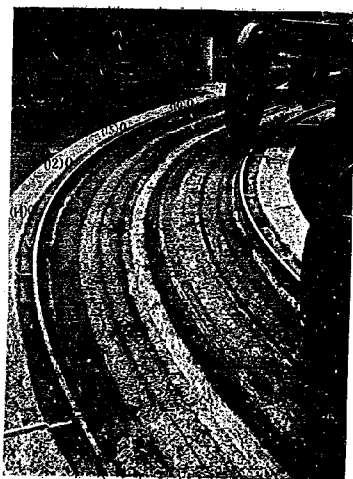
試驗 No. 14 濕潤路面

運轉時間 11 分 最大鐵輪通過荷重 35.2 噸 同相當交通量 1,144 噸



試驗 No. 15 適濕路面

運轉時間 2 時間 40 分 最大鐵輪通過荷重 512.0 噸 同相當交通量 16,640 噸



鋼橋銲接沓壓縮試験¹⁾

内務技師 青 木 楠 男

内務技手 鈴 木 倫 虎

目 次

I 總 論	(1)
[1] 鋼橋銲接沓	(1)
[2] 米國 Bureau of Standard に於ける銲接沓試験	(3)
II 試験體並に試験方法	(5)
[3] 試験體	(5)
[4] 試験方法	(7)
[5] 應力の測定法	(7)
III 橋樑用銲接沓試験成績	(8)
[6] 載荷の方針	(8)
[7] 第1次試験	(9)
(1) 下部支承	(9)
(A) 主肋飯	(9)
(B) 隔飯	(17)
(C) 補剛飯	(17)
(D) 底飯	(18)
(2) 上部支承	(20)
[8] 第2次試験	(25)
IV 飯桁橋用銲接沓試験成績	(26)
[9] 試験の順序	(26)
[10] 第1次試験	(26)
(A) 主肋飯	(27)
(B) 隔飯	(33)
(C) 補剛飯	(33)
(D) 底飯	(34)
[11] 第2次並に第3次試験	(35)
V 要 約	(37)

I. 總 論

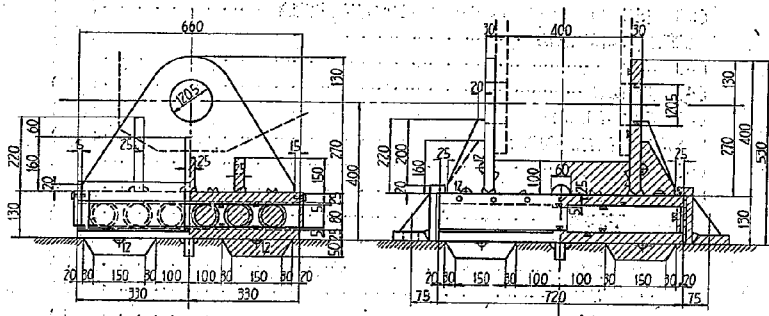
[1] 鋼橋銲接沓

電弧銲接法の普及に伴つて、各種構造物の支承として從來使用せられた鑄鐵又は鑄鋼製の沓は漸次軟鋼板の銲結よりなる支承沓に代らんとする傾向が見え、最近築造せらるゝ銲結又は銲結の内外諸建築物の柱支承、鋼橋の支承等に銲接沓の使用せられた例は頗る多い。

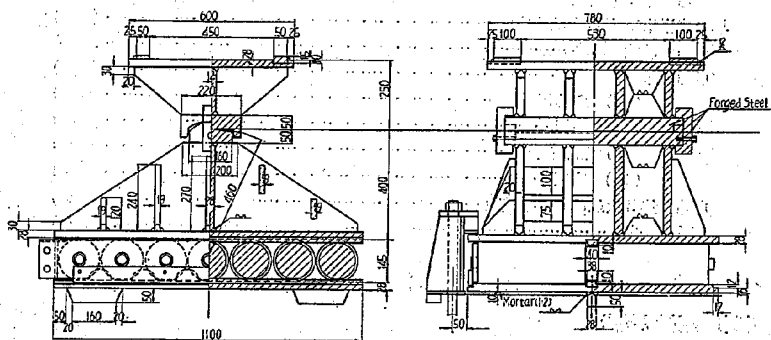
1) 本試験は内務省横濱土木出張所の依頼によつて行つたものである。試験に際しては富所、富澤、豊田、石川、佐藤の諸氏を煩した點が尠くない、こゝに諸氏の勞に對し謝意を表する次第である。

これによる製作日数の短縮と工費の節約とが見逃すべからざる額に達するためであると考へられる。

今鋼橋鉚接脊の實例として、筆者の關係したもの 1, 2 を掲ぐれば、内務省東京土木出張所に於て昭和 9 年度に架設したる八號國道梁川橋、内務省横濱土木出張所の架設にかゝる横濱港瑞穂橋等がある。前者は上路鉚結構橋にて其支承にのみ鉚接を使用した例であり、後者は本邦最初の鉚接鐵道橋として横濱港外國貿易施設用埋立地と同市神奈川區千若町との間の水路に架設せられたもので、其構橋部、鉚桁橋部共に鉚接脊を使用してをる。



第 1 圖 梁川橋鉚接脊



第 2 圖 瑞穂橋鉚接脊

第 1 圖は梁川橋に用ひた可動端鉚接脊の構造を示したもので主構と脊との連結にはピンを使用してをる、又第 2 圖は瑞穂橋構橋の可動端鉚接脊を示したもので主構との連結にはロツカーを使用してをる。これ等の鉚接脊の設計に當つて常に論議せらるゝ點は脊を形成

する各材料を鉚結するに隅肉鉚接を使用すべきか、片刃又は両刃鉚接となすべきかの問題である。前者に於ては各材料の接觸端部を削成することにより應力を直接材料間の接觸にて傳達しうること、鉚接施工の容易なること等の利點を挙げうるも、米國 Bureau of Standard にて行はれた鉚接沓強度試験によると、この接觸による應力傳達は必しも信頼し得ず、隅肉鉚接による沓の應力分布状態は、其施工幾分困難なる片刃又は両刃接ぎによる鉚接沓の應力分布状態に比して遙かに劣る結果を示してをる。これ等の理由により前記梁川橋並に瑞穂橋に於ける鉚接沓は其鉚結に片刃及両刃接ぎを採用した。

而してこれ等鉚接沓の強度並に應力分布に關する試験として今日まで發表せられたる文献は其數甚だ尠く、僅かに前記 Bureau of Standard に於ける J. H. Edwards, H. L. Whittemore, A. H. Stang 3 氏の實驗を見るのみである。しかもこの實驗に供された鉚接沓は A 字形に組合された 2 枚の肋鉄を使用した特殊形のもので、今日本邦にて橋梁用支承沓として使用してをるものとは幾分趣きを異にしたものである。從つて内務省横濱土木出張所にて瑞穂橋を架設するに際し、其最初の試みたる鉚接沓の強度に就いては多少の懸念を抱くに至り、これが實物強度試験を施行することに決定した。

本報告は同出張所の依頼によつて筆者が當土木試験所に於て行つた壓縮試験の結果を纏めたもので、實驗に供した試片は鉚接沓中、構橋及鉚桁橋の固定端用のもの各 1 個である。構橋用のものは實際架設に使用する鋼材の一部であつて、壓縮試験は彈性限度以内にとめた。鉚桁橋用のものは架設すべきものと同一の製品を別に作製したもので壓縮は試験機の許し得る最大限度まで行つた。

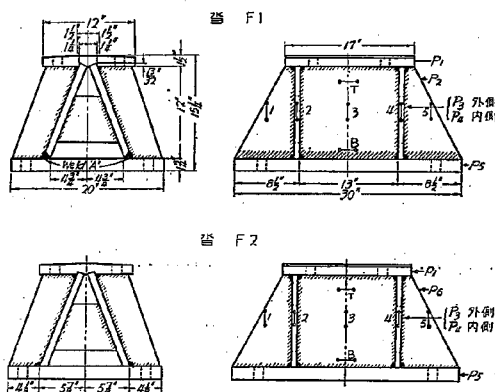
これ等の試験方法並に其結果に關しては第 II 章以下に記載したが、これに先つて本鉚接沓の設計に際して其試験結果を参照した前記米國 Bureau of Standard の鉚接沓試験の概要を記述することとする。

〔2〕 米國 Bureau of Standard に於ける鉚接沓試験

實驗に供された試験體は第 3 圖に示す F_1 及 F_2 2 種の鉚接沓で、兩者共に A 字形に組合したる主肋鉄とこれの梯剛鉄とよりなり、前者は底鉄と主肋鉄との取付けに片刃接ぎを用ひ、後者は鉄の端部を削成して底鉄との接觸を充分ならしめたる後、隅肉鉚接をもつて接合してをる。兩者とも 350,000 # の荷重に對して設計せられたものである。

壓縮試験は Bureau of Standard 備付けの 10,000,000 # 壓縮試験機を使用してをり、供試體は $3'-6'' \times 2'-8'' \times 18''$ のコンクリート版上に据えられ、中心線上においた長 17" 幅 3" の鋼板によつて荷重が加へられてをる。

1) Bureau of Standards Journal of Research Oct. 1930, "Stress Distribution in Welded Steel Pedestals" By James H. Edwards, H. L. Wittemore, and A. H. Stang.



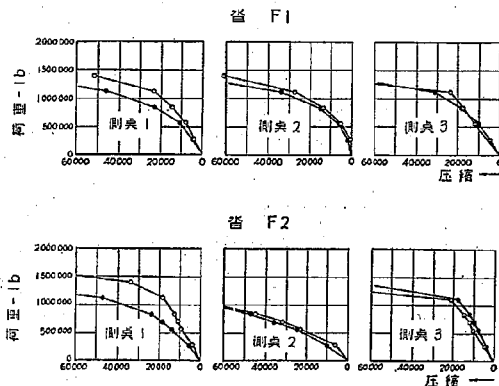
第3圖 米國 Bureau of Standard に於ける壓縮試験用鋸接合

く F_1 に於ては各測點とも殆ど近似の値を示してをり、荷重は容の $\frac{1}{2}$ 高の水平断面に於ては主肋鉄、補剛鉄ともほぼ均等に分布せることを示せるに對し、 F_2 に於ては補剛鉄にて測定せる應力 (測點 2) は主肋鉄に於ける夫れの約 2 倍に達し、 F_1 に比して應力分布

の不均等なることを示してをる。

又測定應力より算出した $\frac{1}{2}$ 高断面の壓縮應力は計算値とほぼ一致してをる。

又兩供試體とも其破壊は上鉄の彎曲と、主肋鉄竝に補剛鉄の彎折によつてをり、極限強度は設計荷重の 6 倍以上殆ど 7 倍に近い値を示してをる。

第4圖 鋸接合 F_1 及 F_2 に於ける應力 (測點 1, 2, 3)

この實驗に於ては應力の測定が僅かに容の $\frac{1}{2}$ 高の部分についてのみ行はれ、この部分に對しては實測値と計算値との比較が記述されてをるが、實測點以外に生ずべき最大應力の發生點についての調査が全く見逃されてをる、從つて極限強度が設計荷重の 6 倍以上に達

すると結論されてをるが、局部的の屈伏が最大應力の發生部にて遙るかに低い荷重で起つて居らないとは斷言出来ない筈である。併しこの實驗に於ける最大の收穫は容を構成する材片の集成に片刃又は兩刃接ぎを用ひ、鋼材自身の接觸に信頼すべきでないと思ふことを明かならしめた點であらう。

II. 試驗體竝に試驗方法

〔3〕 試 験 體

瑞穂橋の上部構造は横河橋梁製作所の製作にかゝるものであるが、これに使用した銲接容は淺野造船所の製作である。

これ等銲接容中壓縮試験に供した固定端のものゝ形狀竝に寸法は第5圖の如くである。

銲接容の製作に當つて使用した銲接機は、多人數型直流銲接機で、電源には明電舎製 85 馬力、50 サイクルの電動機とベルト連結されたアレン・アンド・サン社製發電機 75 kW、80 V のものを使用してをる。使用電極棒はアーコスのノルメンド徑 4 mm、長 460 mm のもので、銲接容總鋼材重量 10.125 t (構橋用 5.977 t、鈹桁橋用 4.148 t) に對して使用電極棒 8,974 本、作業延時間 774 時間を要してをる。従つて鋼材 1 t 當りの電極棒使用量は約 40 kg に當つてをる。

尙使用電極棒ノルメンドの鋼心分析の結果は

C	S	Mn	SiO	P
0.08	0.025	0.47	—	0.018

で、これを用ひて作つた銲着鋼の引張竝に曲げ試驗成績は第1表の如くである (試驗方法竝に試験片形狀は銲接研究會“電弧銲接鋼構造物示方書”による)。

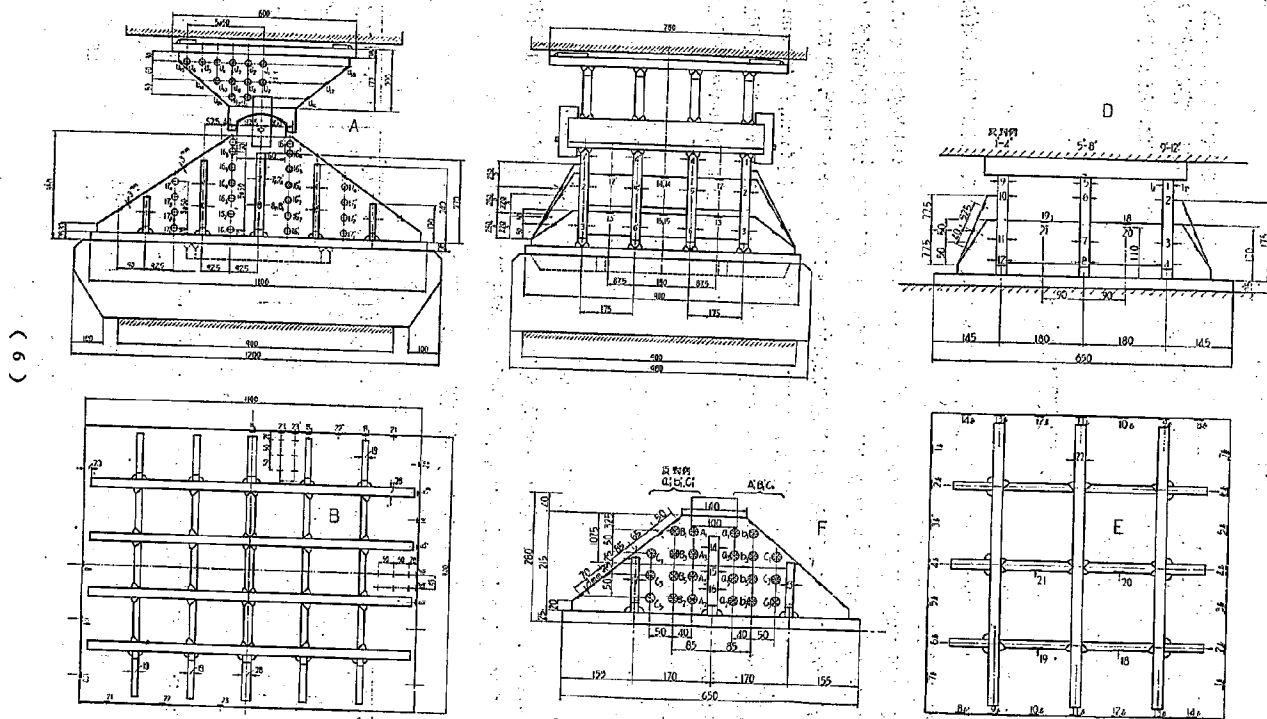
第 1 表 銲接容製作用電極棒試驗成績

1. 引 張 試 験

試片番號	直 徑 (mm)	斷面積 (mm ²)	標點距離 (mm)	破壞荷重 (kg)	極限強度 (kg/mm ²)	伸 (mm)	伸 率 (%)	破斷箇所
G ₁	14.05	155.0	50	6,520	42.1	9.5	19.0	中央
G ₂	14.04	154.7	50	6,330	40.9	9.3	18.6	〃
G ₃	14.09	156.0	50	6,370	40.8	9.5	19.0	〃

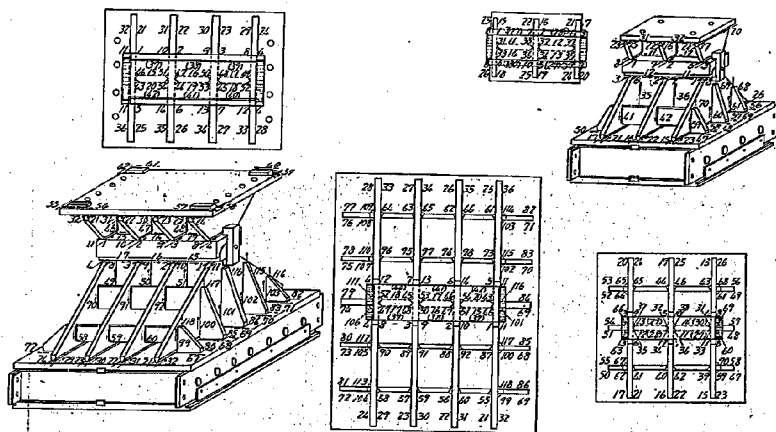
2. 曲 げ 試 験

試 片 番 號	標 點 番 號	標 點 距 離 (mm)	伸 (mm)	伸 率 (%)
G ₁	1—1	20.0	6.5	32.5
	2—2	20.0	4.5	22.5
	3—3	20.0	5.0	25.0



第 5 圖 壓縮試験用銲接香と其應力測定點

銲接沓の銲接作業は各鋼片の集成に當つて出來うる限り歪及び残留應力の發生を避くることにつとめ、其各部銲接順もこの點に充分なる注意を拂つた。第6圖は樺橋用竝に鉸桁橋用の可動端銲接沓銲接順序を示したものである。



第 6 圖 銲接沓銲接順

〔4〕 試験方法

銲接沓の壓縮試験に使用した試験機は當所備付 M.A.N 製 1,000 t 耐壓試験機である。載荷は油壓式にて荷重の計測は振子動力計によつてをる。

試験體の載荷に當りて、試験機附屬の試片支持臺の大きさ 90×90 cm なるに對し、樺橋用銲接沓は 90×110 cm なるため、支持用として 98×120×25 cm の鐵筋コンクリート版を製作し、沓をこの版上に置き、支持臺と版、版と沓との間隙にはセメント・モルタルを填充して載荷の均等分布を得るにつとめた。鉸桁橋用の銲接沓は其大さ 90×90 cm なる故に鐵筋コンクリート版の使用を必要としない。

〔5〕 應力の測定法

銲接沓各部の應力測定には Huggenberger Tensometer を使用した。gauge length 20 mm のもの 4 個、10 mm のもの 2 個、各目盛は 1/1000 mm である。試片への取付は取付金物竝に magnet を使用した。第 7 圖及び第 8 圖は樺橋用竝に鉸桁橋用銲接沓の試験狀況を示したものである。

Tensometer の讀數 (Z) と歪 (ε) 竝に發生應力 (σ) との間に次の關係あるものと見做す。

$$\varepsilon = \frac{Z}{1000} \times \frac{1}{20} = 50 Z \times 10^{-6} \dots\dots 20 \text{ mm gauge に對し}$$

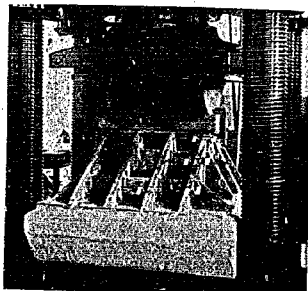
$$= \frac{Z}{1000} \times \frac{1}{10} = 100 Z \times 10^{-6} \dots\dots 10 \text{ mm gauge に對し}$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

今 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ と假定すれば

$$\sigma = 2.1 \times 10^6 \times 50 Z \times 10^{-6} = 105 Z \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots 20 \text{ mm gauge に對し}$$

$$= 2.1 \times 10^6 \times 100 Z \times 10^{-6} = 210 Z \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots 10 \text{ mm gauge に對し}$$



第 7 圖 瑞穂橋樑橋用銲接沓の壓縮試験



第 8 圖 同上飯桁橋用銲接沓壓縮試験

各試験體に於ける應力測定點は第 5 圖に示す如くにして、樑橋用銲接沓に於て 185 箇所、飯桁橋用銲接沓に於て 301 箇所である。

III. 樑橋用銲接沓試験成績

〔6〕 載荷の方針

本試験に使用した銲接沓は、試験終了を俟つて、直ちに現場に運搬、架設を要するものであつたのと、工期切迫の折柄として短期間に試験を了らねばならなかつた關係上、應力の測定點の選定にあつては、試験體の中心軸に對稱なる位置に於ては大體同様の應力が發生するものと假定し、試片の片側にのみこれを選んだ(この假定の照査のために特に 1, 2 箇所の測定點を設けた)。測點數 185 箇所、これによつて銲接沓の最大應力發生箇所を求むると共に、沓の各部に於ける應力分布狀況を知ることにつとめた。

試験は第 1 次試験と第 2 次試験とに分ち、第 1 次試験に於ては各部の應力發生狀況を驗べることを目的とし、載荷を 0 より始めて 500 t に至らしめ、この間約 50 t 置きに應力

の測定を行つた。各測點に對しこの操作を3回反覆し、3回測定値の平均をもつて觀測値と定めた。

第2次試験は第1次試験によつて求められた最大應力發生點8箇所 ($1_b, 1_r, 4'_b, 4'_r, 1'_l, U_{11-45^\circ}, U_{12-45^\circ}, U_{15}$) に就き、鉗接脊の設計荷重の2倍に相當する640t迄の荷重を加へて、發生應力の觀測をしたものである。この場合も3回反覆試験し、測定値の平均をもつて觀測値とした。

この試験に於て特に注意を要する點は本試験體は各材片の鉗結後、焼鈍を行つてをらぬことである。従つて鉗接作業の結果として試験體内に殘留した元應力は、觀測値にかなりの影響を與へてをるものと考へねばならぬ。

以下第1次試験並に第2次試験に於て觀測せられたる應力發生狀況について記述することとする。

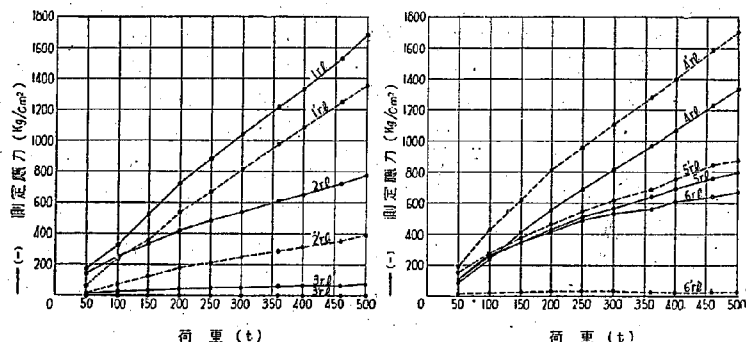
〔7〕 第1次試験

試験に供したる構橋用鉗接脊は上部桁承と下部支承との間に搖承(ロッカー)が用ひられてをる。上部桁承は厚28mmの主肋鈑4枚よりなり、其中央にこれ等をつなぐ厚さ28mmの隔鈑を有す。下部支承は上部と同様厚さ28mmの主肋鈑4枚が中央厚さ28mmの主隔鈑にて連結せらる。外にこれが左右に各2個の副隔鈑を有し、更に外側の2主肋鈑は其側面に夫々5個の補剛鈑を有してをる(第2圖參照)。

これ等主肋鈑、隔鈑、補剛鈑並に底鈑について行つた試験の結果は次の如くである。

(1) 下部支承

(A) 主肋鈑 先づ主肋鈑の縁應力を求むるために、これの傾斜縁部に各3箇所

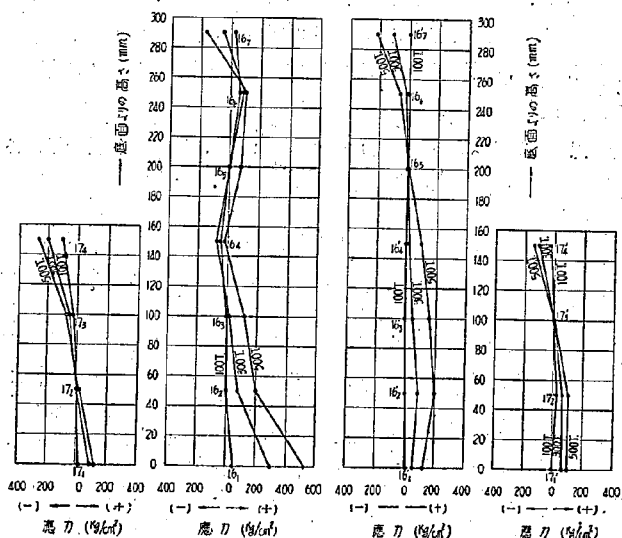


第9圖 主肋鈑縁應力

(1, 2, 3; 1', 2', 3'; 4, 5, 6; 4', 5', 6') の測點を設けた。各測點は第5圖に従ひ正確に野線し、其位置に誤りなからんことを期した。測點は肋鈑の兩面に應力計を取付くる關係上、縁邊より 3mm 内部に設置してをる。第9圖はこれ等の點に於ける應力測定の結果と、試験體に加へた荷重との關係を示したものである。圖中 1_1 等とあるは當該測點にて求めたる主肋鈑兩表面應力の平均を示すものである。

第9圖によると4主肋鈑各々の測定應力間には相當著しい差が認められ、各主肋鈑が均等なる荷重分擔をしてをらないことが知られるが、孰れの主肋鈑に於ても頂部に於て最大應力を發生し、下方に至る程減少してをる。

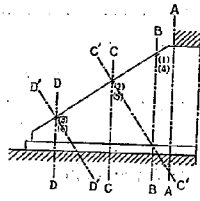
更に主肋鈑の作きは其側腹に於て測定した水平方向の應力からも判斷出来る。第10圖は側腹に設けた、4列、22箇所 ($16_1 \sim 16_7$; $16'_1 \sim 16'_7$; $17_1 \sim 17_4$; $17'_1 \sim 17'_4$) に於ける測定應力中、荷重 100t, 300t, 及 500t の場合のものを示したもので、16群に於ける分布は幾分不規則なるも其他のものに於ては孰れも高さ $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ の點に中立軸を有し、これより上部にて壓縮、下部にて引張應力の發生せることを示してをる。これによつて見るに主肋鈑端部が大體突桁として作用してをることが窺れるが、これが分擔する荷重は一般に假定するが如く總荷重を底面に等布せるものとは可成の相違があるのではないかと思はせ



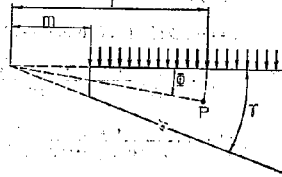
第10圖 主肋鈑側腹に於ける水平方向の應力

られる。

今主肋傾斜縁部について求めたる、實測縁應力と、慣用設計法による計算應力とを比較して見ることとする。一般にこの種楔形主肋鋸の設計に際しては第 11 圖に示す A-A 断面を考へ、荷重は等布せらるゝものと假定し、この断面より外側を突桁と見做し、この断面に於ける縁應力を許容應力内に止まらしむる様、主肋鋸數位に鋸厚を決定するのが常法である。又傾斜縁部の應力の算出を行ふ場合には、鉛直断面 (例へば B-B, C-C 等)



第 11 圖



第 12 圖

を考へこれに對して縁應力を求める場合多きも、かくの如くにして求められたる應力は傾斜縁部の縁應力と與ふるものにあらずして、過少なる近似値を示すこととなる。又傾斜縁部に垂直なる断面 (例へば C'-C', D'-D' 等) を假想して、これについて縁應力を算出する場合あるも、過大なる近似値と與ふるに過ぎない。

今これ等兩近似計算法により、第 11 圖指示の 6 断面について求めたる傾斜縁部の縁應力を示せば第 2 表の如くである。

第 2 表 近似計算による主肋縁應力

測 點		1(1')(4)(4')	(2) (2') (5) (5')	(3) (6) (3') (6')		
断 面	A-A	B-B	C-C	C'-C'	D-D	D'-D'
曲げモーメント (kg cm)	5,025,000	3,966,000	1,690,000	4,171,000	184,300	594,000
断面二次モーメント (cm ⁴)	82,000	68,840	23,470	44,500	2,400	4,280
縁 距 離 (cm)	23.9	22.6	16.1	20.0	7.8	9.4
縁 應 力 (kg/cm ²)	-1,470	-1,300	-1,160	-1,870	-600	-1,310

以上は截頭楔形桁の慣用計算法による數値と實測値との比較をしたものであるが、この種の桁を理論的に取り扱つたものに次の如き解法¹⁾がある。これによれば第 12 圖の截頭

1) "Spannungskurven in rechteckigen und keilförmigen Trägern" von Akira Miura.

$$\sigma_r = p[(S_K - 1) - C_K \sin 2\Phi + S_K \cos 2\Phi - 2C_K\Phi]$$

$$\sigma_t = \rho[(S_K - 1) + C_K \sin 2\vartheta - S_K \cos 2\vartheta - 2C_K \vartheta] \dots\dots\dots (2)$$

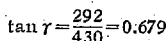
$$-\frac{pm^2}{2K} \frac{\{\cos(\gamma - 2\theta) - \cos \gamma\}}{r^2} \dots \dots \dots (3)$$

$$C_K = -\frac{\cos \gamma}{2(\gamma \cos \gamma - \sin \gamma)}, \quad S_K = -\frac{\sin \gamma}{2(\gamma \cos \gamma - \sin \gamma)}$$

下部傾斜縁に於ては $\phi = r$, $\sigma_t = 0$, $\tau = 0$ にして, 其縁應力は

となる.

上式によつて溶接脊主肋鋼の縁應力を求むるに、第 13 圖に示す寸法により



$$\gamma = 34^{\circ} 10' = 0.5963 \text{ rad.}$$

$$\sin \gamma = 0.562, \quad \cos \gamma = 0.827$$

$$\sin 2\gamma = 0.9293,$$

$$\cos 2\gamma = 0.3692$$

従つて

$$C_K = 5.99, \quad S_K = 4.07,$$

$$C' = 1.158, \quad S' = 0.034,$$

$$K = -0.069$$

第 13 圖

$$\sigma_r = p \left(-8.13 + 17.0 \frac{m}{r} - 8.14 \frac{m^2}{r^2} \right)$$

測點 3 及 6 に對し $r_1 = 188.6 \text{ mm}$

測點 2 及 5 に對し $r_2 = 409.3 \text{ mm}$

測點 1 及 4 に対し $r_3 = 584.6 \text{ mm}$
 $m = 86 \text{ mm}$ なるが故に

$$\frac{m}{r_1} = 0.456, \quad \frac{m}{r_2} = 0.210, \quad \frac{m}{r_3} = 0.147,$$

$$\left(\frac{m}{r_1}\right)^2 = 0.208, \quad \left(\frac{m}{r_2}\right)^2 = 0.0441, \quad \left(\frac{m}{r_3}\right)^2 = 0.0216$$

従つて測點 3 及 6 に対し

$$\sigma_r = p(-8.13 + 17.0 \cdot 0.456 - 8.14 \cdot 0.208) = -2.07p$$

測點 2 及 5 に対し

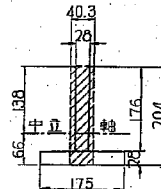
$$\sigma_r = p(-8.13 + 17.0 \cdot 0.210 - 8.14 \cdot 0.0441) = -4.92p$$

測點 1 及 4 に対し

$$\sigma_r = p(-8.13 + 17.0 \cdot 0.147 - 8.14 \cdot 0.0216) = -5.81p$$

となる。

p の値は桁の単位幅に対する等布荷重を意味するものなるも、この場合桁の断面は梯形にして、単位幅當りの荷重の決定困難である、今 4 本の主肋鉄が均一に荷重を負担するものとすれば、総荷重 500 t の場合 1 主肋鉄のうくる荷重は 125 t となる。1 主肋鉄の平均断面は突縁幅 175 mm を有する丁形断面にて長 1,100 mm、高さは漸變してをる。よつて今傾斜部の平均断面、突縁幅 175 mm、高 204 mm の丁形断面形(第 14 圖)を採り、これと同一の断面係数を有する、同高の矩形断面を求め、これが幅員を b の算出に使用することとする。



第 14 圖

第 14 圖丁形断面に於ては

断面積	$A = 9,828 \text{ mm}^2$
中立軸の位置	$\eta_1 = 66 \text{ mm}, \quad \eta_2 = 138 \text{ mm}$
断面二次モーメント	$I = 38,610,000 \text{ mm}^4$
断面係数	$W = 279,800 \text{ mm}^3$

にして、これと同高にして同断面係数をもつ矩形断面の幅員は

$$\frac{bh^2}{6} = 279,800 \text{ mm}^3, \quad h = 204 \text{ mm}$$

$$\text{幅員} \quad b = 40.3 \text{ mm}$$

となる。

従つて換算等布荷重は

$$p = \frac{125,000}{1,100 \times 40.3} = 2.82 \text{ kg/mm}^2$$

よつて測點 3 及 6 に對し、縁應力は

$$\sigma_r = -2.07p = -5.84 \text{ kg/mm}^2 \div -580 \text{ kg/cm}^2$$

測點 2 及 5 に對し、縁應力は

$$\sigma_r = -4.92p = -13.87 \text{ kg/mm}^2 \div -1,390 \text{ kg/cm}^2$$

測點 1 及 4 に對し、縁應力は

$$\sigma_r = -5.81p = -16.38 \text{ kg/mm}^2 \div -1,640 \text{ kg/cm}^2$$

となる。

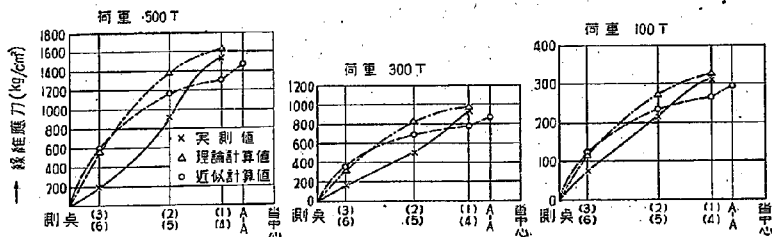
前記 2 近似計算並に (4) 式を用ひこの理論計算による載荷 500 t の場合の主肋縁應力と、實測値とを比較すれば第 3 表の如くである。

第 3 表 各種計算法による主肋縁應力と實測値との比較

測 點	斷面 A-A	平均 $\frac{(1)}{(4)} \frac{(1')}{(4')}$	平均 $\frac{(2)}{(5)} \frac{(2')}{(5')}$	平均 $\frac{(3)}{(6)} \frac{(3')}{(6')}$
實 測 縁 應 力 (kg/cm ²)		$\begin{cases} -1,520 \\ -1,520 \end{cases}$	$\begin{cases} -580 \\ -840 \end{cases}$	$\begin{cases} -40 \\ -350 \end{cases}$
鉛直斷面によるもの (//)	-1,470	-1,300	-1,160	-600
傾斜斷面 " (//)	—	—	-1,870	-1,310
理 論 式 " (//)	—	-1,640	-1,390	-580

これによれば實測應力と理論式による計算値とは測點 (1) (4) に於ては比較的近き値を示せるも、其他の測點にては其差が著しい。これに反して理論計算値と、鉛直斷面による近似計算値とは測點 (3) (6) に於てよく一致するも脊の中央に向ふにつれて其差異は大となり、測點 (1) (4) にては 25% に達する相違を示してをる。第 15 圖はこれ等の關係を明かならしむるため第 3 表の結果並に同様の方法にて求めたる荷重 300 t 及 100 t の場合の應力分布を圖表としたものである。

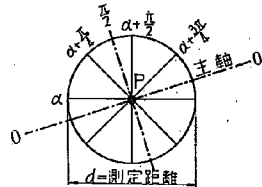
理論計算値と實測値との差は理論式の適用に際して、脊の楕形斷面形を矩形斷面形に改めて、平均幅員を求めたることによる影響も見逃し難いものであるが、このほかに理論式の誘導にあつて假定された荷重の等布が、溶接脊の場合に満足されてをらないことが大



第 15 圖 主肋縁應力の分布

なる原因をなすものではないかと考へられる。第 15 圖にて實測應力の値が端部に於て低く、中央部に於て急激に増加してをることからも、荷重分布が端部に薄く中央部に厚いのではないかと想像される。

又一般慣用の設計法にて等布荷重を用ひ、鉛直断面を用ひて計算することは、端部にては過大の應力と與へ、中央部にては過小の應力と與ふる可能性のあることがわかる。傾斜断面を使用しての應力計算は甚しく過大の應力と與ふることが多く、適當なる計算法とは稱し難い。



第 16 圖

主肋鈑については更に 16' 群及び 17' 群の一部について観測したる水平、垂直及び左右 45° の方向の變形、即ち ϵ_α , $\epsilon_{\alpha+\frac{\pi}{2}}$, $\epsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}}$, $\epsilon_{\alpha+(\frac{3}{4})\pi}$ (第 16 圖参照) に基いて、次の諸式より其主應力 σ_1 及び σ_2 の大きさに作用方向 $\tan 2\alpha$ を求めた。

$$\tan 2\alpha = -\frac{\epsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}} - \epsilon_{\alpha+(\frac{3}{4})\pi}}{\epsilon_\alpha - \epsilon_{\alpha+\frac{\pi}{2}}} = -\frac{D_{\alpha+\frac{\pi}{4}}}{D_\alpha} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{matrix} \right\} = \frac{m \cdot E}{2} \left(\frac{S_\alpha}{m-1} \pm \frac{\sqrt{D_\alpha^2 + D_{\alpha+\frac{\pi}{4}}^2}}{m+1} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\begin{aligned} \text{竝に} \quad S_\alpha &= \epsilon_\alpha + \epsilon_{\alpha+\frac{\pi}{2}} = \epsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}} + \epsilon_{\alpha+(\frac{3}{4})\pi} = \text{定數} \\ D_\alpha &= \epsilon_\alpha - \epsilon_{\alpha+\frac{\pi}{2}}, \quad D_{\alpha+\frac{\pi}{4}} = \epsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}} - \epsilon_{\alpha+(\frac{3}{4})\pi} \\ E &= \text{彈性係數} = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2 \\ m &= \text{Poisson 比} = \frac{10}{3} = 3.33 \end{aligned}$$

(5) 及び (6) 式による主應力の計算に於ては、観測上の誤差により $S_\alpha = \text{定數}$ なる關係は満足しないことが多い、よつて應力の算出にあつては、附近の観測點の測定結果より、同一方向の應力の變化狀況を確め、これを基として測定値の更正を行ひ、 $S_\alpha = \text{定數}$ の成立する様補正したる観測値を用ひて計算を行つた。

第 4 表はこれ等 16' 群及 17' 群の測點 6 箇所について求めた 2 主應力の大き及び其方向を示すものである。

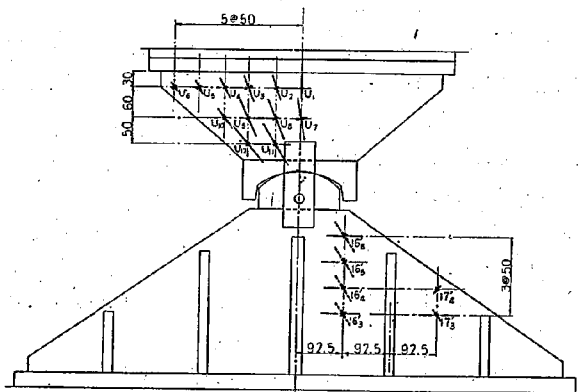
計算の結果から求めた各測點の主應力の方向は載荷の大きさに従つて幾分の變化を示してをるが著しい量ではない。第 17 圖下半は主應力の方向としては各載荷の平均値をとり、載荷 500 t の場合の主應力の大きを示したものである。

今第 4 表に示した結果と第 17 圖とにより、16' 群の主應力の方向について考ふるに、 σ_2 が支承鈑の上下面に於てこれと鉛直ならざる可からざることを、竝に第 28 圖に示せる光弾性質験の結果とに徴して、測定 16' より 16₃' にむかつて垂直よりの傾きは漸次減少すべ

き管である。第4表計算の結果を見るに各測點の平均傾斜角は孰れも $31^{\circ} \sim 33^{\circ}$ にして、

第4表 構橋下部支承主肋板に於ける主應力

測 點	主 應 力	荷 重 (t)					平 均
		100	200	300	400	500	
16 ₃ '	$\sigma_1(\text{kg/cm}^2)$	+ 38.50	+ 92.75	+157.50	+192.50	+255.50	
	$\sigma_2(\quad)$	-175.00	-393.75	-549.50	-735.00	-885.50	
	α	-38°58'	-34°18'	-32°53'	-30°25'	-29°33'	
16 ₄ '	σ_1	+ 10.50	+ 26.25	+101.50	+ 98.00	+141.80	
	σ_2	-175.00	-387.00	-626.50	-790.00	-1014.00	
	α	-33°26'	-34°44'	-32°10'	-29°9'	-27°59'	
16 ₅ '	σ_1	+ 29.75	+ 64.75	+ 85.80	+105.00	+ 112.00	
	σ_2	-180.30	-439.10	-702.00	-962.50	-1225.00	
	α	-33°42'	-33°10'	-33°10'	-32°13'	31°45'	
16 ₆ '	σ_1	+ 40.25	+ 66.50	+ 54.25	+ 17.50	- 26.50	
	σ_2	-176.70	-399.00	-684.00	-962.50	-1224.00	
	α	-35°7'	-34°51'	-33°28'	-32°6'	-31°10'	
17 ₃ '	σ_1	+ 36.75	+ 33.25	+ 54.25	+ 61.25	+ 68.25	
	σ_2	-129.50	-229.25	-309.75	-393.75	-442.75	
	α	-37°2'	-36°55'	-36°37'	-36°46'	-37°14'	
17 ₄ '	σ_1	+ 24.50	+ 14.00	+ 12.25	+ 10.50	+ 7.00	
	σ_2	- 98.00	-210.00	-281.75	-325.50	-381.50	
	α	+39°14'	+39°40'	+40°12'	+40°5'	+39°29'	



1000 $\frac{1}{2}$ cm $\times$ 25mm

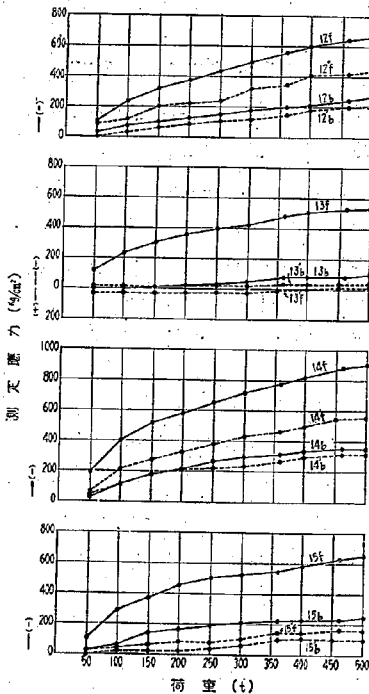
第17圖 主肋板に於ける主應力

これ等の間に著しき差違なく、上記の関係を充分明かならしむること困難なるも、測點 $16_3' \sim 16_4'$ の間にては垂直よりの傾きが漸次遞減してをることが認められる。

又 σ_2 の大きさが $16_3'$ より $16_4'$ へと減少してゆく傾向は應力線が橋承より底鈑へと漸次擴散してゆくことを示すものであり、 σ_1 の値が大體引張であり、荷重 500 t に至つて $16_3'$ にて壓縮を示すに至つた。この點にて σ_1 σ_2 共に壓縮となり、橋承直下に近き部分にて著しい應力の集中があるわけであるが、局部的の變形の妨けらるゝために一般の場合に比して遙かに大なる應力を支持し得る筈である。

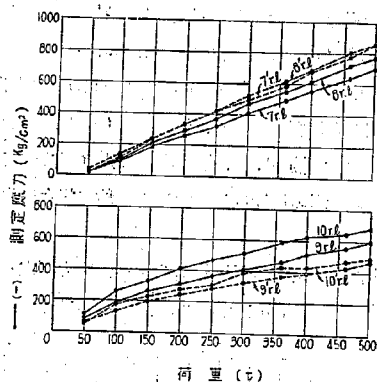
(B) 副鈑 中央主肋鈑の應力は構造上、應力計の取付困難なるため、應力測定を行つてをぬ。但副肋鈑に對しては、各其中央部に於て測定を行つた (測點番號 12, 13, 14, 15, $12'$, $13'$, $14'$, $15'$)。元來副肋鈑については顯著なる應力の發生を豫期せざりしに拘らず、實測の結果にては荷重 500 t にて 600 kg/cm^2 以上の壓縮應力の發生せるものが少くない。第 18 圖は測定應力と荷重との關係を示したものである。圖中、f 及 b とあるは副肋鈑觀測點の前面及後面の測定應力を示すもので、兩者の間に幾分の相違ありて常に前面に大なる應力の發生を見てをることは、副肋鈑にかゝる壓縮が、多少の偏心を有することを示すもので、この原因は副肋鈑の取付けが片又銲接によれるが故に、補強盛のために取付部の断面中心軸は前面に偏せることにありと信する。

(C) 補剛鈑 外側主肋鈑は其側面に各 5 個の補剛鈑を有する。これ等は主肋鈑の剛性を増加する意味に取りつけられたもので、脊の設計にあつては主應力材と認められない場合が多いが、實際問題としては肋鈑よりの應力を傳達するに相當役立つてをるものと考へねばならぬ。今この點を確むるために 5 個の補剛鈑中、中央の 3 個に各 2 個、兩側補剛鈑に各 1 個



第 18 圖 副肋鈑に於ける應力

いが、實際問題としては肋鈑よりの應力を傳達するに相當役立つてをるものと考へねばならぬ。今この點を確むるために 5 個の補剛鈑中、中央の 3 個に各 2 個、兩側補剛鈑に各 1 個



第19図 補剛鉄に於ける應力

の測點(測點番號 7~11, 及び 7'~11')を設け、其縁應力を求めた。第19圖は實測應力を圖示したものである。測點 11 及 11' に於ては最大荷重にて僅かに 20 kg/cm^2 程度の應力が發生したのみなるが故に第19圖にはこれが記入は省略した。中央補剛鉄に於ける測點 7 及 8 は、各其位置が補剛鉄高の兩點に位し、相當の隔りを有するが故にこれが發生應力には多少の變化あるものと豫想せるも、實測の結果は兩點共殆ど同様にして、下部に位する測

點 8 及 8' の應力が上部の測點 7 及 7' のものより幾分大なる傾向を示した。發生應力の大きさは主肋鉄側面の測點 $16_3'$, $16_4'$ にて求めたる垂直應力と一致してをる。

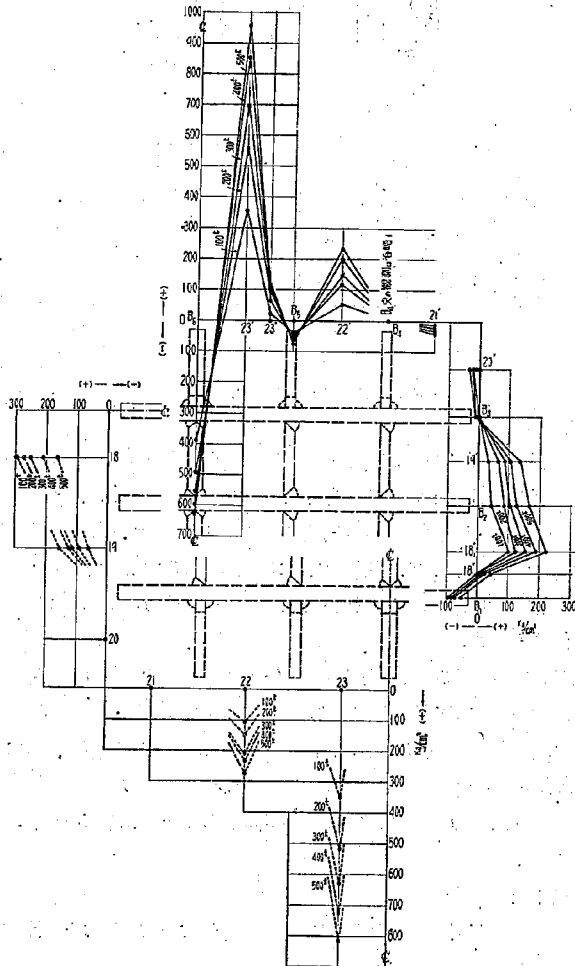
兩側補剛鉄に設けたる測點 9, 10, 及 9', 10' の發生應力は中央補剛鉄に於けると同様、兩者の間に殆ど變化なく、下部のものが幾分大なる應力を示してをる。發生應力の大きさは大體主肋鉄側面の測點 $16_3'$, $17_3'$ 及 $16_4'$, $17_4'$ にて求められた垂直應力の平均値に對應してをり、補剛鉄の應力が主肋鉄からの應力に支配されてをることが窺はれる。

(D) 底鉄 底鉄に就いては先づ其縁邊に沿つての應力を求めた。測點は第5圖に示す 20 箇所 ($18 \sim 23$, $18' \sim 23'$ $B_1 \sim B_6$) にて、これ等の位置は主肋鉄又は補剛鉄の中心線上にありて壓縮が直接傳達せらるゝものと考へらるゝ點と、これ等の中間に位する點とに區別することが出来る。第20圖に示した應力測定の結果にも兩者の差異は明かに認めることが出来、前者に於ては主として壓縮應力、後者に於ては引張應力が發生してをる。而して其最大應力は引張、壓縮共に中央補剛鉄附近の 23 , $23'$ 及 B_3 に起り、この部分の應力は他の部分の測定値の數倍に達してをる。この結果より見て通例設計に當つて輕視せらるゝ主肋鉄並に中央補剛鉄にて傳へらるゝ荷重が見逃すべからざる大きさであることが認められる。

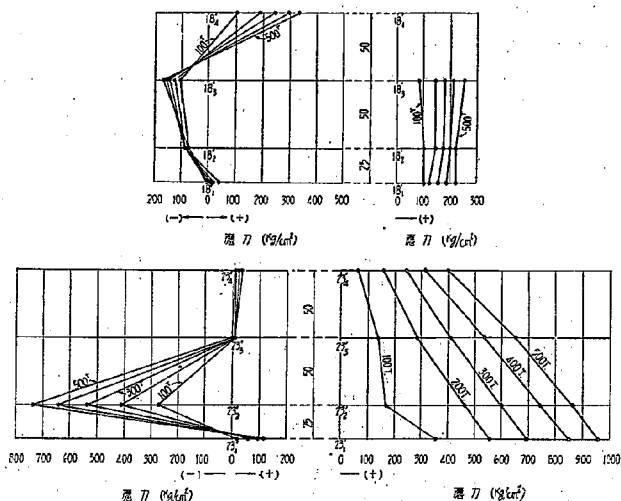
底鉄については上記のほか、 $18_1'$, $18_1''$ 及び $23_1'$, $23_1''$ より内部に向つて 28 乃至 50 mm 間隔の諸點 ($18_1' \sim 18_4'$, $18_1'' \sim 18_4''$, $23_1' \sim 23_4'$, $23_1'' \sim 23_4''$) について應力の測定を行つた。これ等の點は 2 主肋鉄又は 2 補剛鉄にて挟まれたる間隙の中央並に $\frac{1}{4}$ 線上にありて、 18_1 群は兩側に主肋鉄を有し、中央補剛鉄に至るまで類似の狀況にあるが故に、測點附近は 2 邊固定の平鉄と認め得べく、 23_1 群は 2 補剛鉄と主肋鉄とに圍まれたる 3 邊固定

の平飯上に在るものと認めることが出来る。

應力測定の結果は第 21 圖に示すが如く、18₁ 群中、中央線上にある 18₁'~18₄' の諸點は殆ど近似の引張應力が發生してをり、500 t 荷重にても 250 kg/cm² に達するもの



第 20 圖 底飯縁邊に於ける應力



第 21 圖 底鉄内部に於ける應力

は少い、これに對し $\frac{1}{4}$ 線上にある $18_1'' \sim 18_4''$ の諸點は最縁部の $18_1''$ が僅少の引張應力を發生せるに對し内部に進むにつれ壓縮應力を増し $18_3''$ にては 500 t 荷重にて 170 kg/cm^2 に達し、 $18_4''$ に至つては再び同一荷重にて 300 kg/cm^2 を超ゆる引張應力を示すに至つた。斯の如き應力分布の不規則が如何なる原因によるかを詳かにするを得ざるも、燒鈍を行はざる銲接試片についての實驗結果としては殘留應力の影響によるものと認むるを最も妥當なりと信ずる。

23_1 群に於ける應力を見るに中央線上の $23_1' \sim 23_4'$ にては引張應力の發生を見其大さは最縁部より内方に向つて漸次減少してをる、最縁部に於ける引張應力が 500 t 荷重にて 950 kg/cm^2 に達し、他の底版應力測定點に於ける實測値に比して格段に大なることは既述の如くである。 $\frac{1}{4}$ 線上の $23_1'' \sim 23_4''$ にては最縁部の引張應力が内部に進むにつれ壓縮應力となり、再び引張應力に變ずることは 18_1 群に於けると類似してをるが、其大さには可成の相違がある。

(2) 上部支承

上部支承に對しては最外側の 1 主肋鉄について其縁應力と内部應力とを測定せるととまる。

縁應力の測定には第 5 圖指示の 6 測點 ($U_{18} \sim U_{18}$) を縁邊より 5 mm 内側に設け、外

従つて

$$C_K = 3.586, \quad S_K = 2.995$$

$$C' = 1.337, \quad S' = 0.0548$$

$$K = -0.107$$

$$\sigma_r = p \left(-5.99 + 12.18 \frac{m}{r} - 5.98 \frac{m^2}{r^2} \right)$$

然るに測點 U_{13} 及 U_{18} に対しては $r_1 = 69.4$ 測點 U_{14} 及 U_{17} に対しては $r_2 = 184.1$ 測點 U_{15} 及 U_{16} に対しては $r_3 = 262.1$ 又 $m = 69.4$ なるが故に

$$\frac{m}{r_1} = 1$$

$$\frac{m}{r_2} = 0.377, \quad \left(\frac{m}{r_2} \right)^2 = 0.1421, \quad \frac{m}{r_3} = 0.265, \quad \left(\frac{m}{r_3} \right)^2 = 0.0701$$

測點 U_{13} 及 U_{18} に対しては $\sigma_r = 0$ 測點 U_{14} 及 U_{17} に対しては

$$\sigma_r = p \{ -5.99 + 12.18 \cdot 0.377 - 5.98 \cdot 0.142 \} = -2.25p$$

測點 U_{15} 及 U_{16} に対しては

$$\sigma_r = p \{ -5.99 + 12.18 \cdot 0.265 - 5.98 \cdot 0.0701 \} = -3.185p$$

となる。

今總荷重 500 t の場合 1 主助鈑の分擔する荷重を 125 t とし、其平均斷面が第 25 圖の

如く突縁幅 175 mm, 高 129 mm, 鈑厚 28 mm の丁形斷面形を有するものとすれば

$$\text{斷面積} \quad A = 7,728 \text{ mm}^2$$

$$\text{中立軸の位置} \quad \eta_1 = 37.6 \text{ mm}, \quad \eta_2 = 91.4 \text{ mm}$$

$$\text{斷面二次モーメント} \quad I = 10,183,900 \text{ mm}^4$$

$$\text{斷面係數} = \frac{I}{\eta_2} = 111,400 \text{ mm}^3$$

にして、これと同一の斷面係數を有し、同高の矩形桁を求む

れば、この幅員は

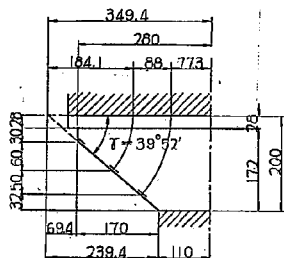
$$\frac{bh^2}{6} = 111,400, \quad h = 129$$

$$\text{幅員} \quad b = 40.2 \text{ mm}$$

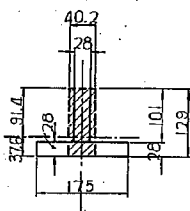
となる。

従つて梯形主助鈑を矩形斷面なりと假定しての荷重單位強度 p は

(22)



第 24 圖



第 25 圖

$$\rho = \frac{125,000}{560 \times 40.2} = 5.556 \text{ kg/mm}^2$$

よつて測點 U_{13} 及 U_{18} に對し、縁應力は

$$\sigma_r = 0$$

測點 U_{14} 及 U_{17} に對し、縁應力は

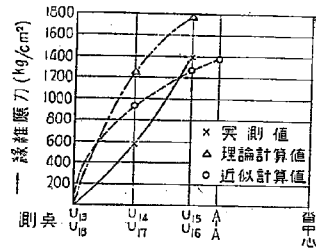
$$\sigma_r = -2.25\rho = -2.25 \cdot 5.556 = -1,250 \text{ kg/cm}^2$$

測點 U_{15} 及 U_{16} に對し、縁應力は

$$\sigma_r = -5.81\rho = -5.81 \cdot 5.556 = 1,770 \text{ kg/cm}^2$$

となる。

上記慣用計算法並に理論式による荷重 500 t の場合の縁應力と實測縁應力との比較をすれば第 6 表に示す如くなる。

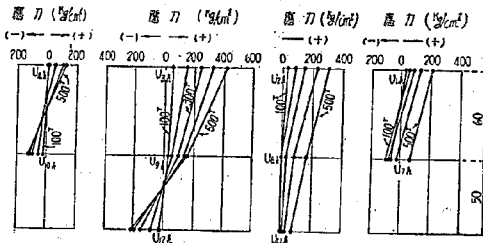


第 26 圖 主肋縦縁應力の分布

第 6 表 主肋縦縁應力の計算値と實測値との比較

測 點	斷 面 (A-A)	U_{15} U_{16} (平 均)	U_{14} U_{17} (平 均)	U_{13} U_{18} (平 均)
實 測 縁 應 力 (kg/cm²)	—	-1,390	-590	-21
慣用計算法によるもの (//)	-1,380	-1,250	-940	0
理 論 式 によるもの (//)	—	-1,770	-1,250	0

上記の結果を見るにこれ等 3 種の應力の關係は下部支承の場合と全く類似し、測點 U_{14} 、 U_{17} に於ては實測値は兩計算値に比して遙かに少く、測點 U_{15} U_{16} に於ては實測値が近似計算法による値を僅かに凌駕するも、理論式によるものに比しては遙かに少い。第 26 圖はこれ等の關係を示したものである。實測値と理論計算値との間の差異は、其主なる原因を荷重の分布状態に歸すべきであると信ずる。而して其差異が下部支承の場合に比して稍著しいことも、橋梁部の幅員と底面の幅員との比が下部支承に比して大であつて、桁として作用する突出部の短小なることから、桁の部分の分擔する荷重が一層僅少なるべきことを考ふる時當然なる結果と認められる。



第 27 圖 主肋側面の水平應力の分布

主肋鉄内部應力を求めるために第 5 圖指示の測點 12 箇所 ($U_1 \sim U_{12}$) を主肋鉄側面上に設定し、これらの點につきて各水平、垂直、 $+45^\circ$ 、 -45° の 4 方向の變形 (第 16 圖参照) を求め (5) 式及 (6) 式によつて應力分布状態を確めた。

先づ水平應力について見るに、主肋鉄側面に設けたる 6 列の測點の各列とも、上部に於

第 7 表 上部支承主肋鉄に於ける主應力

測 點	主 應 力	荷 重 (t)					平 均
		100	200	300	400	500	
U_1	$\sigma_1(\text{kg/cm}^2)$ σ_2 α	+ 3.5 -94.5 $0^\circ 0'$	+ 10.50 -206.5 $-1^\circ 05'$	+ 3.5 -336.0 $1^\circ 20'$	+ 15.85 -481.3 $-1^\circ 25'$	+ 33.3 -652.8 $-1^\circ 00'$	$-0^\circ 58'$
U_2	σ_1 σ_2 α	- 3.5 +175.8 $+16^\circ 55'$	+ 7.0 -339.5 $+18^\circ 50'$	+ 40.3 -477.8 $+18^\circ 50'$	+108.5 -651.0 $+18^\circ 50'$	+145.3 -834.8 $+18^\circ 50'$	$+18^\circ 28'$
U_3	σ_1 σ_2 α	+ 5.3 -260.9 $+20^\circ 00'$	+ 77.0 -392.0 $+21^\circ 10'$	+175.0 -521.5 $+21^\circ 38'$	+252.0 -731.5 $+22^\circ 30'$	+308.0 -892.0 $+21^\circ 10'$	$+21^\circ 17'$
U_4	σ_1 σ_2 α	- 26.3 -243.3 $+24^\circ 00'$	+ 35.0 -336.0 $+30^\circ 38'$	+105.0 -420.0 $+30^\circ 45'$	+141.8 -593.3 $+28^\circ 20'$	+178.5 -735.0 $+28^\circ 41'$	$+28^\circ 30'$
U_5	σ_1 σ_2 α	- 19.3 -190.8 $+24^\circ 26'$	- 10.5 -290.5 $+27^\circ 14'$	+ 3.5 -350.0 $+29^\circ 05'$	- 8.8 -428.8 $+27^\circ 58'$	-10.5 -500.5 $+27^\circ 53'$	$+27^\circ 20'$
U_6	σ_1 σ_2 α	-250.3 -351.8 $+35^\circ 45'$	-227.5 -374.5 $+38^\circ 40'$	-218.8 -383.3 $+39^\circ 20'$	-218.8 -383.3 $+39^\circ 20'$	-218.8 -383.3 $+39^\circ 20'$	$+38^\circ 30'$
U_7	σ_1 σ_2 α	-103.3 -138.3 $+9^\circ 15'$	-217.0 -485.5 $+8^\circ 35'$	-290.5 -791.0 $+8^\circ 20'$	- 311.5 -1,097.3 $+7^\circ 00'$	- 358.8 -1,356.3 $+8^\circ 35'$	$+8^\circ 21'$
U_8	σ_1 σ_2 α	- 24.5 -185.5 $+22^\circ 30'$	- 68.3 -502.3 $+22^\circ 30'$	-131.3 -813.8 $+21^\circ 30'$	- 105.0 -1,172.5 $+20^\circ 45'$	- 87.5 -1,487.5 $+19^\circ 30'$	$+21^\circ 30'$
U_9	σ_1 σ_2 α	+ 12.3 -239.8 $+23^\circ 50'$	+ 56.0 -521.5 $+26^\circ 30'$	+ 71.8 -792.8 $+25^\circ 55'$	+ 105.0 -1,081.5 $+25^\circ 45'$	+ 120.8 -1,352.8 $+25^\circ 40'$	$+25^\circ 15'$
U_{10}	σ_1 σ_2 α	+ 36.8 -260.8 $+36^\circ 15'$	+ 47.3 -407.8 $+36^\circ 45'$	+ 45.5 -511.0 $+38^\circ 40'$	+ 22.8 -642.3 $+37^\circ 35'$	+ 3.5 -756.0 $+38^\circ 40'$	$+37^\circ 15'$
U_{11}	σ_1 σ_2 α	+ 38.5 -129.5 $+36^\circ 40'$	+ 78.8 -453.3 $+33^\circ 52'$	+159.3 -925.8 $+31^\circ 10'$	+ 45.5 -1,277.5 $+28^\circ 45'$	+ 29.8 -1,650.3 $+27^\circ 05'$	$+31^\circ 05'$
U_{12}	σ_1 σ_2 α	+ 80.5 -154.0 $43^\circ 2'$	+119.0 -493.5 $41^\circ 35'$	+131.3 -883.8 $40^\circ 27'$	+ 143.5 -1,246.0 $38^\circ 55'$	+ 38.5 -1,575.0 $37^\circ 38'$	$+40^\circ 20'$

て引張應力、下部に於て壓縮應力を示し、孰れにも中立軸の存すること第 27 圖に於けるが如くである。測點 U_6 及び U_7 にては測定値極めて低きが故に圖示を省略した。

次にこれら 12 測點の觀測結果より (5) 及 (6) 式を用ひて求めたる主應力の大き竝に方向を見るに第 7 表に示す如くである。

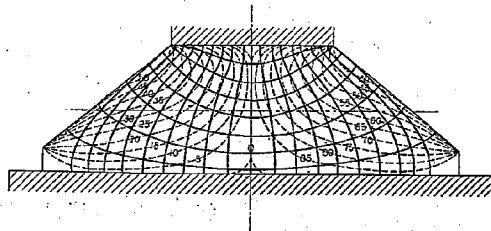
第 7 表の結果を圖示したものが第 17 圖上半である、先づ主應力線の方向の變化を見るに、指承部より鉛直方向に出でたる應力線は上部支承綫に向ふにつれて其傾斜を増し、應力線は擴散し上部支承綫附近に至つて再び鉛直方向を保つに至ることは下部支承の場合と同様であり、又フェノライト板試片を用ひて行ひたる、第 28 圖に示す光弾性實驗にて求めたる主應力線の方向とほぼ類似してをる 次に主應力の種類を見るに指承部に接近せる部分にて中央部のものは兩

主應力 (σ_1 σ_2) とも壓縮か
又は、1 主應力 (σ_1) の引張
を示せるものありとするも
其量は極めて小さい。これ
等の部分より遠さからにつ

れて、 σ_2 の壓縮應力は漸次

減少し、 σ_1 の引張應力が増

加してをる。但し楔形桁の端部にて應力の比較的小なる部分にては、觀測上の誤差の影響大なるためかこれ等の關係は明瞭でない。



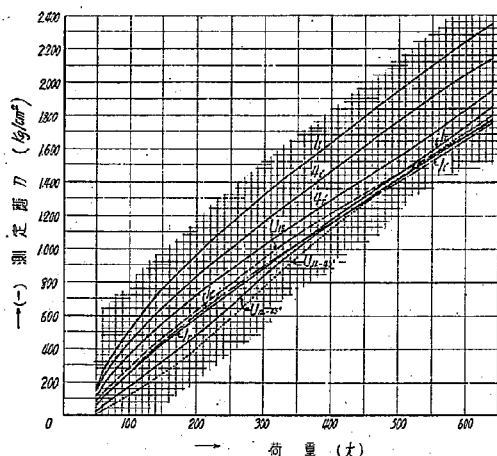
第 28 圖 フェノライト試片による等傾曲線竝に主應力線

〔8〕 第 2 次試験

第 2 次試験は實驗に供したる鉗接沓の設計荷重 320 t に對する安全率を決定せんとして行つたものである。試驗體が工事に使用せらるべき實物なる關係上破壊試験を行ふことは許されざるため、これに加ふる最大荷重は設計荷重の 2 倍 640 t とし、3 回の反覆試験による測定應力によつて、其安全率を判定せんと試みた。

發生應力の測定は鉗接沓各部中最も危険なりと認めらるゝ點を選定すべきである。これがためには第 1 次試験の測定應力を基とし 1_1 , 1_2 , 4_1 , 4_2 , 1_3 , U_{11-45° , U_{12-45° の 7 箇所を選んだ。これ等の點は第 1 次試験の測點中にて最大應力を示した諸點であつて、これ等の點の附近にて更に大なる應力を發生すべしと考へらるゝ位置あるも、使用測定器取附の關係上、測點をより以上これに接近せしむること困難なるため、これ等の點に於ける觀測によつて發生最大應力を判斷することとした。

これ等 7 測點に於ける觀測値は第 29 圖に示せるが如く、最大應力を示せる 1_1 に於ては 640 t の最大荷重に於て $2,352 \text{ kg/cm}^2$ で一般軟鋼に對する許容強度 $1,200 \text{ kg/cm}^2$ の約 2 倍



第 29 図 最大应力発生点の应力図

である。この値は一般軟鋼の降伏点強度、 $2,500 \sim 3,000 \text{ kg/cm}^2$ 以下であり、この点の附近にて一層大なる應力の發生點ありとするも、著しく降伏点強度を超過するものはないと斷定して過りないと信ずる。これ等の諸點より見て、本銲接容の有する安全率は橋梁本體に對して考へられてをるものと大差ないものであることが確言出来る。

IV. 鈹桁橋用銲接容試験成績

〔9〕 試験の順序

試験に用いた銲接容は瑞穂橋鈹桁固定端用容の下部支承部のみを別に製作せしめたもので、構橋用のものと同様試験前に焼鈍を行つてをらぬ。

應力の測定箇所は第 5 圖に示した 301 箇所、これ等の選定は構橋用銲接容に於ける實驗を參考とし、最大應力の發生點の決定と、應力分布狀態の決定に必要な點を採つた。

試験は第 1 次、第 2 次、第 3 次の 3 回に分ちて施行した。第 1 次試験は最大荷重を 500 t とし、最大應力發生箇所にて其應力を降伏點以内に止まらしめ、試験體各部の發生應力の觀測に主眼を置いた。第 2 次試験は試験體の破壊を目的として行つたものである。第 1 次試験に於ける試験點中最も大なる應力の發生を見るに 6 測點を選び、降伏點を幾分超過するまで變形の測定を行つた。試験は載荷 860 t に至りて試験機械に故障を生じたるため一時中止の止むなきに至り、機械の修理後第 3 次試験を行つた。この試験に於ても試験機械の最大荷重 1,000 t まで載荷したるも遂に試験體の破壊を見るに至らず、第 2 次試験に於てすでに幾分認められたる主肋鈹の彎折が一層顯著となりたるに止まる。

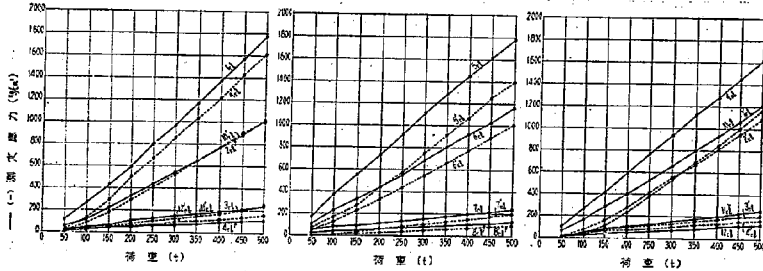
以下は第 1 次乃至第 3 次の試験結果をまとめたものである。

〔10〕 第 1 次試験

鈹桁橋用の銲接容は厚 22 mm の主肋鈹が中央厚 22 mm の主肋鈹と厚さ 16 mm の副

隔壁によつて連結せられ、兩外側主肋鉄はこのほかに厚さ 16mm の補剛鉄 3 個を有し大體の構造は構橋用のものと同様である (第 5 圖参照)。

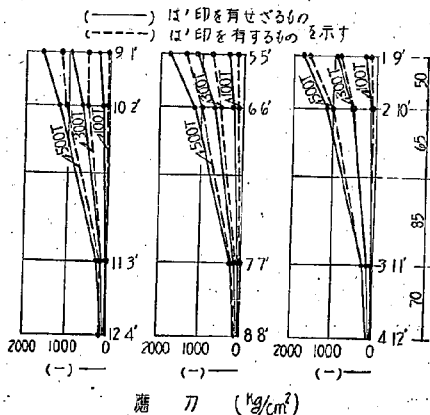
(A) 主肋鉄 主肋鉄の縁力測定のために設けた測點は、各鉄の兩傾斜縁部に 4 個合計 24 個であつて (1~12 及び 1'~12') 各縁部に平行に應力計取付の關係上縁より



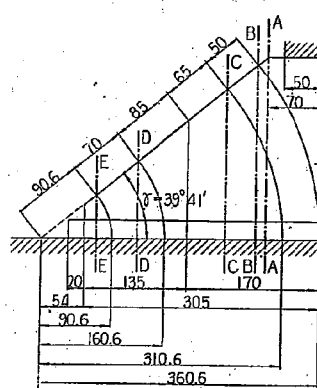
第 30 圖 主肋鉄縁力

3mm 内側に設けた。第 30 圖はこれ等の諸點に於ける應力測定結果を圖示したもので、1 主肋鉄に於ける 8 測點の觀測値を 1 圖表上に置いた。

第 30 圖に示した結果に基くと 3 主肋鉄中 1 端のものの應力幾分低きも、これ等の間の差異は構橋用容の場合の如く著しくなく、最大壓縮應力を示せる頂部に於て、最大荷重 500t に對し約 1,800 kg/cm² である。各主肋鉄とも發生應力は頂部に於て大きく、底部に至るほど低く、これ等の間の變化は大體第 31 圖によつて知ることが出来る。



第 31 圖 主肋鉄縁力の變化



第 32 圖

今この實測應力と比較するために、各測點を通る垂直断面（第 32 圖）について慣用近似計算法による荷重 500 t の場合の縁應力を求めると第 8 表の如くなる。

第 8 表 近似計算による主肋縁應力

測 點		(1) (5) (9) (1') (5') (9')	(2) (6) (10) (2') (6') (10')	(3) (7) (11) (3') (7') (11')	(4) (8) (12) (4') (8') (12')
断 面	A—A	B—B	C—C	D—D	E—E
曲げモーメント (kg cm)	2,500,900	1,616,300	924,000	308,800	—
断面二次モーメント (cm ⁴)	16,600	9,600	4,960	1,440	—
縁距離 (cm)	17.2	14.5	11.7	7.8	—
縁應力 (kg/cm ²)	-2,580	-2,440	-2,180	-1,670	—

更に縁應力を (4) 式によつて算出すれば

$$\gamma = 39^\circ 41' = 0.693 \text{ rad.}$$

にして $m = 54.0$ 、各測點に對し、夫々 $r = 360.6$; 310.6; 160.6; 90.6 となり、其縁應力は

$$\text{測點 1, 5, 9 に對し} \quad \sigma_r = -4.395 p$$

$$\text{測點 2, 6, 10 } // \quad \sigma_r = -4.144 p$$

$$\text{測點 3, 7, 11 } // \quad \sigma_r = -2.653 p$$

$$\text{測點 4, 8, 12 } // \quad \sigma_r = -0.927 p$$

となる。等布荷重 p の決定には構橋用支承の場合と同様の方法を用ひて平均幅員 $b = 32.8$ mm を求め、各主肋が總荷重の $\frac{1}{3}$ を分擔するものと假定すれば

$$p = \frac{500,000}{3} \cdot \frac{1}{650.32.8} = 7.82 \text{ kg/mm}^2$$

となり、測點縁應力は、

$$\text{測點 1, 5, 9 に對し} \quad \sigma_r = -3,437 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{測點 2, 6, 10 } // \quad \sigma_r = -3,240 //$$

$$\text{測點 3, 7, 11 } // \quad \sigma_r = -2,080 //$$

$$\text{測點 4, 8, 12 } // \quad \sigma_r = -730 //$$

にて與へらる。

今これ等の計算による應力と實測値とを比較すれば第 9 表の結果が得られる。

第 9 表に於て特に注目せらるゝ點は實測應力と計算値との間に著しい差のあることである。この傾向は構橋用の脊に於ても認められたのであるが、斯くの如き甚しいものではなかつた。第 33 圖の分布圖によれば測點 (1) (5) (9) に於ける縁應力の實測値は理論計算値の $\frac{1}{3}$ 、慣用計算による値の $\frac{1}{2}$ に達するに過ぎないが、其分布狀況は構橋用脊の場合

第9表 各種計算法による主肋鋸縁應力と實測値との比較

測 点	断 面 (A-A)	(1) (5) (9) (1') (5') (9') (平 均)	(2) (6) (10) (2') (6') (10') (平 均)	(3) (7) (11) (3') (7') (11') (平 均)	(4) (8) (12) (4') (8') (12') (平 均)
實 測 値 應 力 (kg/cm ²)	—	{ -1,725 -1,393	{ -1,131 -1,040	{ -245 -217	{ -123 -140
慣用計算法によるもの(//)	-2,583	-2,440	-2,180	-1,670	—
理論式によるもの(//)	—	-3,440	-3,240	-2,080	-730

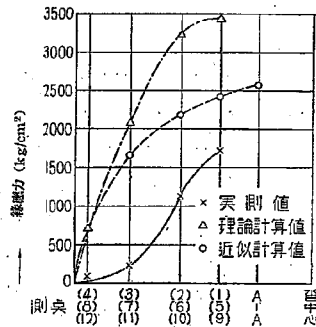
と全く類似してをる。又兩計算値の分布並に相互関係も構橋脊に於けると全く同一である。然らば何故に鋸桁橋脊に於て特に實測値がかくの如き僅少なる數値を示したか、これが直接の原因は底面に於ける荷重の分布が中央部に集中する程度の相違に歸することは當然であるが、この相違を生ぜしめたる理由としては、先づ主肋鋸の間隔、從つて其間に設けられた主隔鋸の荷重傳達に對する効果の大小を挙げねばならぬ。構橋脊に於ては主肋鋸數4にして、鋸桁橋脊にては3、主肋鋸間隔 d と主肋鋸高 h との比は、前者(下部支承)に於て

$\frac{d}{h} = \frac{175}{350} = 0.5$ なるに對し、後者は $\frac{d}{h} = \frac{180}{240} = 0.75$ である。從つて中央主隔鋸の傳達する荷重は後者の場合、遙かに大なるべく、後述すべき隔鋸の應力測定結果に於てこれに發生せる應力の主肋鋸縁應力に比して遙かに大なることに徴しても、主隔鋸によつて直接底面に傳達せらるゝ荷重の極めて大なるべきことが窺はれる、從つて底面荷重の分布が中央部に集中すべきは當然であつて、後述する底鋸應力の測定結果にも、このことを立證しうる結果が現はれてをる。

更に底面荷重分布を不均一ならしむる原因としては荷重をうける挿承部の幅と底面幅の比の大小がある。構橋脊下部支承にて $\frac{b_1}{b_2} = \frac{160}{1,100} = 0.146$ 、同上上部支承にて $\frac{b_1}{b_2} = \frac{220}{600} = 0.367$ 、鋸桁橋脊にて $\frac{b_1}{b_2} = \frac{100}{650} = 0.154$ となつてをる。

今試験に供した構橋脊上下支承並に鋸桁橋脊の主肋鋸實測應力と計算應力の比と、主肋鋸間隔と主肋鋸高との比 $\lambda = \frac{d}{h}$ 、並に挿承部の幅と底面幅との比 $\mu = \frac{b_1}{b_2}$ との關係を比較すれば第10表の如くである。

第10表に於て各主肋鋸の形狀が大體相似形であり、最大應力を觀測したる點もほゞ相似の點なりと假定すれば、實測縁應力と計算値との比 α 、又は β が、主肋鋸の間隔



第33圖 主肋鋸縁應力の分布

第10表 主肋鉄質測線應力と計算應力との比

	橋橋査下部支承	橋橋査上部支承	鉅桁橋査下部支承
荷重 500 t に於ける最大質測應力 σ_a	1,520 (kg/cm ²)	1,390 (kg/cm ²)	1,725 (kg/cm ²)
同 上 理論計算値 σ_b	1,640 "	1,770 "	3,440 "
同 上 近似計算値 σ_c	1,300 "	1,250 "	2,440 "
$\alpha = \sigma_a / \sigma_b$	0.93	0.79	0.50
$\beta = \sigma_a / \sigma_c$	1.06	1.11	0.71
$\lambda = d/h$	0.5	0.88	0.75
$\mu = b_1/b_2$	0.146	0.367	0.154
γ	34°10'	39°52'	39°41'

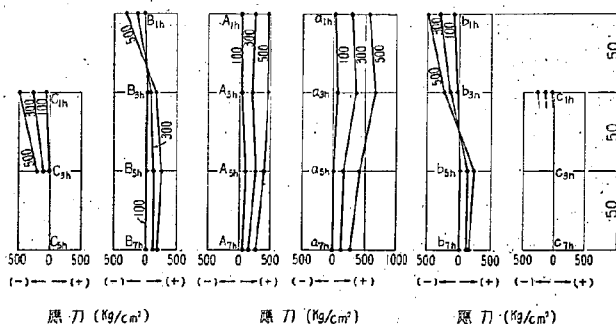
と高さとの比 λ 及、主肋鉄の頂部載荷の幅と底面との比 μ によつて左右されてをること
が知られ、 λ 大なれば α は小となり質測値は理論計算値より遠ざかつて其値は減じ、 μ 大
なれば理論計算値に接近することが知られる。第10表の数値から α , β と λ , μ との関係
を求めると

$$\alpha = -1.8\lambda + 2.46\mu + 1.47$$

$$\beta = -1.49\lambda + 2.78\mu + 1.4$$

が得られる。

更に主肋鉄については其側面に第5圖指示の22個の測點を設け、各測點に於て4方
向の變形を求め、これによつて肋鉄に於ける應力分布狀況を確めた。

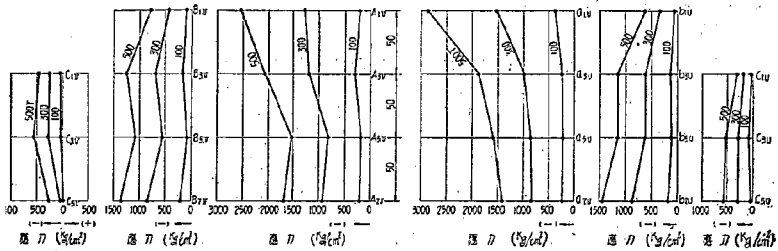


第34圖 主肋鉄水平方向の應力の分布

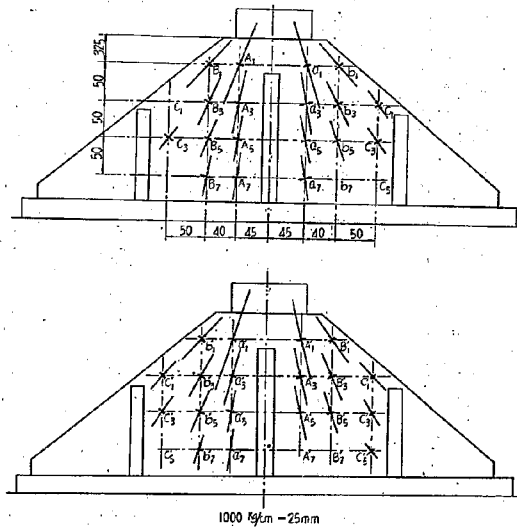
先づ測定の結果に基づいて、水平方向の應力分布を見るに第34圖に示せるが如く6列の
測點中、搖承の直下に位する中央部 A 及び a 列に於ては各測點とも水平引張應力を示
し、其値は下部に至るにつれて減少してをる。この變化は第35圖に示せるこの部分の垂

直圧縮應力の變化によく對應せることが知られる。B, b 及 C, c 列に於ては其位置に高低あるも孰れも中立軸を有し、これ等の部分に於て主肋鉚が彎曲をうけつゝあることが窺はれる。

更に垂直應力の分布を第 35 圖につきて見るに A 及び a 列に於ては橋承の直下に現はれたる圧縮應力は底部にむかひて急激に減少し、高さの $\frac{1}{2}$ 以下に至つて大體一定値に達するの傾向が見える。この部分の應力強度が第 38 圖に示す補剛鉚の圧縮強度と大體一致してゐるは峇底面に於ける荷重の分布の點から見て見逃すべからざる點である。



第 35 圖 主肋鉚垂直應力の分布



第 36 圖 主肋鉚に於ける應力

B 及 b 列に於ける垂直壓縮應力は上部に於て少く、下部に至るにつれて増加してをる。肋鉄に於ける荷重の分布の擴がりを示すものと認める。c 列に於ても B, b 列と同様の傾向を示せるに對し C 列に於ては下部に於て壓縮應力の激減が認められるが、この原因については確かなる判断を下し得ない。

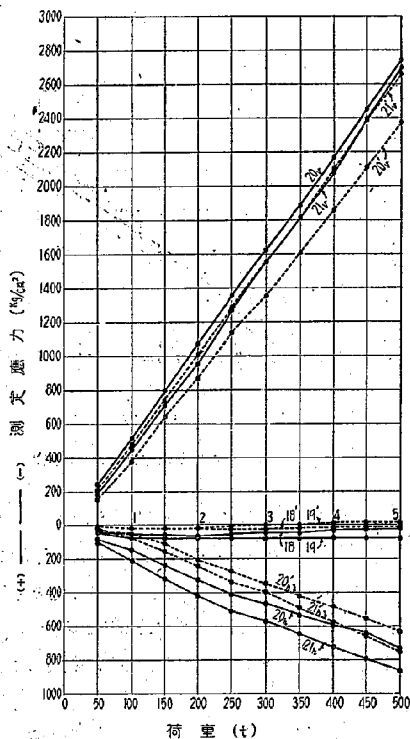
次に (5) 式並に (6) 式を用ひて算出した主應力の大き及び方向は第 11 表に示す如くである。観測は $a_1 \sim c_6$, $a_1' \sim c_6'$, $A_1 \sim C_6$, $A_1' \sim C_6'$ の 44 箇所について實測してをるが、こゝには資料最も適りたる $a_1' \sim c_6'$ の計算結果を掲ぐるに止める。其他の部分のものは第 36 圖を参照せられたい。

第 11 表 鋼桁橋支承主肋鉄に於ける主應力

測點	主應力	荷 重 (t)					平 均
		100	200	300	400	500	
a_1'	σ_1 (kg/cm ²) σ_2 (//) α	- 42.0 - 514.5 - 18°30'	- 80.5 - 1,256.5 - 18°15'	- 138.3 - 2,038.8 - 18°40'	- 246.8 - 2,745.8 - 18°0'	- 318.5 - 3,538.5 - 18°40'	- 18°25'
a_3'	σ_1 σ_2 α	0 - 280.0 - 16°30'	+ 49.0 - 693.0 - 16°20'	+ 138.3 - 1,142.8 - 16°45'	+ 189.0 - 1,571.5 - 16°45'	+ 241.5 - 2,026.5 - 16°30'	- 16°34'
a_5'	σ_1 σ_2 α	+ 80.5 - 154.0 - 8°40'	+ 148.8 - 418.3 - 7°20'	+ 224.0 - 721.0 - 9°10'	+ 399.0 - 1,148.0 - 10°40'	+ 369.3 - 1,373.8 - 11°30'	- 9°28'
a_7'	σ_1 σ_2 α	+ 35.0 - 199.5 - 4°00'	+ 68.3 - 488.3 - 5°05'	+ 101.5 - 784.0 - 8°25'	+ 133.0 - 1,050.0 - 9° 55'	+ 169.8 - 1,370.3 - 10°25'	- 7°34'
b_1'	σ_1 σ_2 α	+ 19.3 - 229.3 - 39°20'	- 28.0 - 619.5 - 42°20'	- 22.8 - 1,058.8 - 43°0'	- 10.5 - 1,478.5 - 43°30'	- 3.5 - 1,872.5 - 43°10'	- 42°18'
b_3'	σ_1 σ_2 α	+ 12.3 - 162.8 - 28°10'	+ 36.8 - 488.3 - 28°10'	+ 140.0 - 920.5 - 28°35'	+ 98.0 - 1,225.0 - 29°00'	+ 145.3 - 1,597.8 - 29°15'	- 28°38'
b_5'	σ_1 σ_2 α	- 7.0 - 189.0 - 20°45'	+ 26.3 - 523.3 - 23°05'	+ 94.5 - 847.0 - 24°40'	- 162.8 - 1,167.3 - 25°15'	+ 239.8 - 1,517.3 - 25°30'	- 23°51'
b_7'	σ_1 σ_2 α	+ 26.3 - 71.8 - 13°25'	+ 35.0 - 259.0 - 15°45'	+ 78.8 - 498.8 - 17°55'	+ 94.5 - 742.0 - 19°20'	+ 138.3 - 1,009.8 - 19°40'	- 17°14'
c_1'	σ_1 σ_2 α	- 19.3 - 131.3 - 45°00'	- 89.3 - 407.8 - 41°20'	- 122.5 - 689.5 - 44°10'	- 157.5 - 983.5 - 43°20'	- 206.5 - 1,263.5 - 41°55'	- 43°09'
c_3'	σ_1 σ_2 α	- 26.3 - 124.3 - 40°15'	- 31.5 - 388.5 - 35°45'	- 33.3 - 673.8 - 35°45'	- 28.0 - 948.5 - 35°00'	- 66.5 - 1,263.5 - 35°35'	- 36°28'

主應力算出の結果に徴するに、其方向、其大さの變化は構橋用主肋鈹の場合と全く一致し、第 36 圖に示すが如き分布を示してをる。指承部附近にては σ_3 の壓縮應力は極めて大きく第 11 表中其大さ鋼の降伏點強度を超へたりと認めらるゝ部分あるも計算の結果を其儘記載した。これに對し σ_1 の値は指承附近にては壓縮か又は極めて小さき引張を示し、 σ_2 の値はこれより遠ざかるにつれて壓縮量を減じ、 σ_1 は其引張量を増してをる。

(B) 隔鈹 中央主隔鈹の應力測定點としては、第 5 圖に示す如く主肋鈹間の中央にて、脊の $\frac{1}{2}$ 高の位置を選んだ (測點 20, 21, 20', 21')、今これ等の點に於ける實測結果を示せば第 37 圖の如くにて、其垂直壓縮應力は主肋鈹の A 及び a 列の應力に匹敵し、同時にこれに對應する水平引張應力が現はれてをる。この點より見て主肋鈹が指承よりの荷重傳達に有効に働

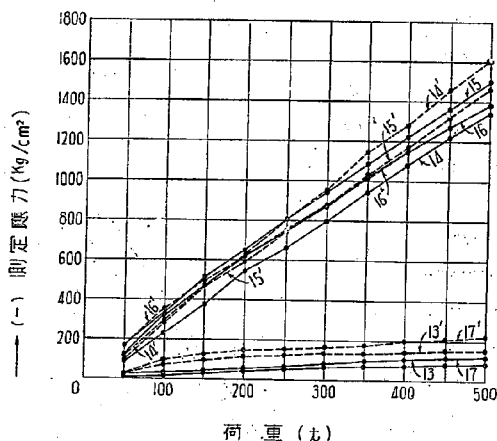


第 37 圖 主肋鈹に於ける應力

いてをり、其應力が各測點とも殆ど同様の結果を示してをる點から見て、接手工法に兩及接ぎを使用してをることが、少くも不良なる結果を齎してをらないことを確言出来る。主隔鈹にては測點 2 箇所にすぎず應力の分布狀況を知ること困難なるも、其作用上より見て隔鈹内の著しい應力分布の變化は考へられない。

副隔鈹に於ける發生應力は測點 (18, 19, 及 18', 19') について求めてをるが、各測點とも 80 kg/cm² 以下の應力を示したにすぎず (第 37 圖)、この副隔鈹が主肋鈹の剛性を増加する意味以外、荷重の傳達には働いてをらぬことが知れる。

(C) 補剛鈹 外側主肋鈹は其側面に厚さ 22 mm 及 16 mm の補剛鈹各 3 個を有してをる。これはほぼ 3 角形をなし、其高さは取付け部分の主肋鈹高に應じ 175 mm 及 120 mm にして底邊は各 121 mm の長さを有してをる。これら補剛鈹に於ける應力測定には



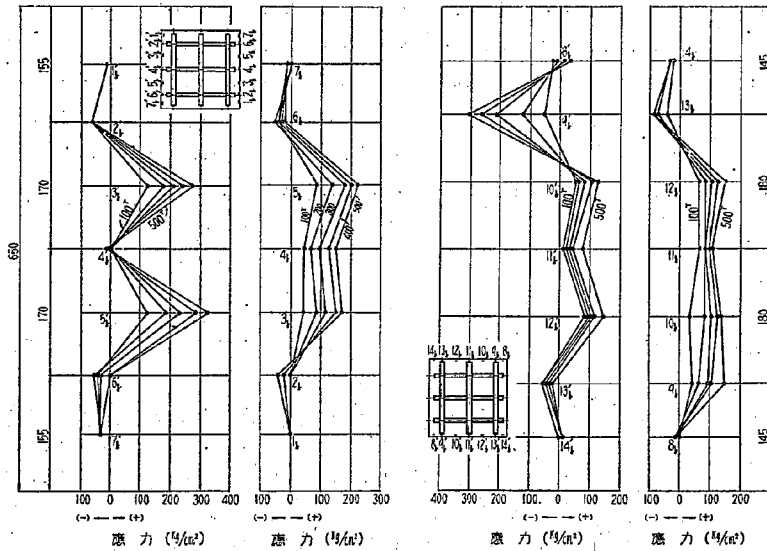
第 38 圖 補剛鉄に於ける應力

中央補剛鉄に各 3 個 (14 ~ 16, 及び 14' ~ 16'), 兩側補剛鉄に各 1 個 (13, 17 及び 13', 17') を設けた。第 38 圖は中央補剛鉄に於ける應力分布を示したもので、各測點に於ける壓縮應力に著しい變化が認められず、且つ其大さは、主肋鉄の側面 A 及 a 列の測點中下部のものゝ觀測値と極めて接近してをる。これに對し兩側補剛鉄に於ける應力は 500 t 荷重にて 4 測點

中最大のもの 221 kg/cm^2 、最小のもの 84 kg/cm^2 、平均 165 kg/cm^2 の壓縮強度を示せるにすぎず、これを中央補剛鉄の壓縮強度平均 1,450 kg/cm^2 に比較するとき僅かに其 1/9 に達するのみである。この點より考ふるとき橋承よりの荷重の大部分は主肋鉄の中央部、主肋鉄、中央補剛鉄等によりて底鉄に傳達せらるゝもの多く、底面に於ける荷重の分布は一般に取扱はるゝ如く均等ではなく、中央部に於ける集中が相當量に及ぶものと考へねばならぬ。

(D) 底鉄 底鉄については其周縁に沿ひて其表面應力を測定したにとゞまる。内部の表面應力は脊の構造上測定困難なるためこれを省略した。周縁に於ける測點は第 5 圖に示せるが如く、4 周邊とも、主肋鉄又は補剛鉄の中心線上の點とこれ等の中間點とにて總測點數 28 箇 (1₀ ~ 7₀, 1₀' ~ 7₀', 8₀ ~ 14₀, 8₀' ~ 14₀') となる。各測點の實測應力により其分布狀況を示したものが第 39 圖である。

先づ主肋鉄に平行なる 1₀ ~ 7₀、及び 1₀' ~ 7₀' の應力分布を見るに、補剛鉄中心線上の諸點に於ては、4₀ 點を除き、壓縮應力を示してをる。この部分は底鉄を分布荷重をうけた連桁と考へたるとき其支點にあたる點にして壓縮應力を示すことは當然と考へられる。只測點が補剛鉄端より幾分距りたる位置にあるが故に觀測の結果には横方向の曲りの影響も加りてをるものと考へねばならぬ。これ等の壓縮應力は其大さに於ては極めて僅少にて 500 t 荷重にて 100 kg/cm^2 に達するものはない。次に補剛鉄中心線の中間點の應力を見るに、これ等の點の中、中央部の 2 點にては顯著なる引張應力を示し、其大さは 500 t 荷重にて



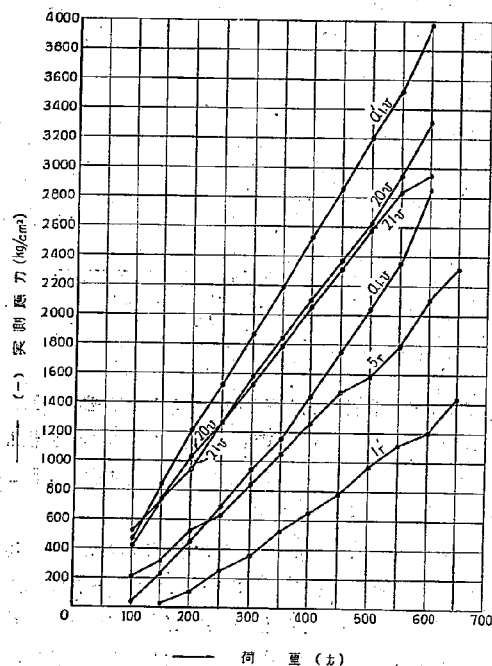
300 kg/cm² を超過してをるものもある。この部分に引張應力を生ずることは、連結の正曲げモーメントによるものと考えるとき當然のことであり、両側の2點に於て僅少の壓縮應力を示せるのみにて引張應力をしてをらないことも、この2點の狀況が中央部の2點と全く異なる事から充分首肯し得る事柄である。

次に主肋鈎に直角の方向にある $8_0 \sim 14_0$ 及び $8'_0 \sim 14'_0$ に於ける應力分布を見るに、其大體の傾向は前掲 $1_0 \sim 7_0$ 及び $1'_0 \sim 7'_0$ のものと大差なきも其應力の大きは一般に僅少である。この事實は本銲接合の機構に於て荷重は主厓鈎に沿ひて主肋鈎の中央部分に比較的集中し、主肋鈎の兩端附近にての荷重は中部に比して低きものと見做すことが出来る。 9_0 及 13_0 に於て他の部分に比して大なる壓縮應力を生じてをることは 3 主肋鈎中この點のものが最もよく働いてをり、其發生應力も他主肋鈎に比して大なることから見て、其直下の底鈎に比較的なる壓縮應力の發生を見たことも妥當なりと考へらる。

〔11〕 第2次竝に第3次試験

第1次試験にて各部の弾性限度内の応力分布の測定を終つた溶接部はこゝに其破壊試験を行つた。この試験に於ては、第1次試験に於ける最大応力發生點6箇所を選び(測點1', 5_r, 20_v, 21_v, a_{1v}, a_{1v}')これ等の點にて載荷650 tに至るまでの間は應力の測定を行つた。

第40圖は其測定結果である。應力の算出は〔4〕に説きたる方法によりたるものなるが故に降伏點強度以上の部分に對しては信頼し得ざるものなること當然である。圖中 a'_{10} 即ち中央隔鈑の橋承直下のものが最大である。荷重の増加に伴ひ小音響を發し、載荷 700 t に至つて先づ表面黒皮の龜裂離脱を示し始めた點も又この測點附近である。つゞいて主肋鈑頂部より中央部に亘つて黒皮の離脱を生じ、850 t 前後に達して主肋鈑の彎折が顯著となり、側面より其彎曲を認め得る状態となつた。中央隔鈑の彎折は脊の構造上識別困難であ



第40圖 最大應力發生點の應力圖

これ等の狀況が幾分進行せるを見るのみであつて、試験體は遂に破壊するに至らなかつた。

この鈑桁橋脊のうくべき設計荷重 126 t に對して、觀測點中の最大應力發生點たる a'_{10} の應力が降伏點強度 (2,500 kg/cm² と假定) に達したときの荷重は 400 t である。従つてこの鉗接脊のもつ安全率は橋梁本體の有する夫れに比して稍、過大の感がある。

つた。載荷は更に進み總荷重 860 t に至り試験機に故障を生じたるため荷重の増加不能となつた。試験體は未だ破壊に至らず局部的の彎折を示すに至れるのみなるも、止むなく荷重を去除き、試験機修理の後第3次の試験を行つた。

第3次試験の狀況は第2次試験に於ける夫れと大差なく、載荷 900 t を超すに至つて更に表面黒皮の離脱を見たるも、其他の部分に顯著なる變形なく、僅かに第2次試験に於ける主肋鈑の彎折の増加を見たのみである。載荷が更に進み試験機の最大荷重 1000 t に至つても特別なる變化なく、

V. 要 約

以上瑞臨橋の構橋並に鉚格橋用兩種の鉚接支承査の試験を通して見るに、其接手に片又又は兩又鉚接を使用せる此等の査が、少くも其靜力學的試験に於ては何等の好しからざる性狀を示さなかつたと斷定出来る。只應力實測の結果から見て、一般設計に用ひらるゝ慣用計算法による應力が實測値と一致しないこと。この原因が主として底面に於ける荷重の分布を均等なりと假定するところにあることが明かである。

今これ等の査について行つた試験の結果を要約すれば下掲の如くである。

1. 主肋鉚の縁應力の實測値は其端部に於て比較的少く、中央部にむかつて急激に増加する。この理由は底面に於ける荷重の分布が均等でないことによるものである。又其實測値を主肋鉚を等布荷重をうくる桁として取扱ふ慣用計算法又は理論計算法による値に比較するとき、端部のものは構橋、鉚格橋用兩種の支承査とも、計算値より低く、中央部のものは構橋用査にては慣用計算法によるものと理論計算値との中間の値を示し、鉚格橋用の査にては兩計算値よりも遙かに低い値を示してをる。兩鉚接査にて其最大實測應力の割合に斯くの如き大なる相違あることは、底面の荷重の中央部集中の程度の差によるものであり、其集中の度は主肋鉚の高さと其間隔との比、及主肋鉚の高さと其幅員との比に左右せられてをることが明かである。

2. これ等の關係は構橋用査についての實驗では、載荷 100 t 乃至 500 t の間にては、載荷の大きさに伴つての顯著な變化は認められない。

3. 主肋鉚の鉛直斷面に沿ひての水平應力の分布は、搖承の下にあたる部分に於ては、全高に亘り引張應力を示すもの多く、搖承直下に於ては壓縮應力を示す場合あるも、其量極めて低い。これに對し搖承より左右に距りたる斷面に於ては上部に壓縮、下部に引張應力を生じ高さの中央部に中立軸の存在を示してをる。又鉛直斷面に沿ひての垂直應力を見るに、搖承直下の斷面は其頂部に於て著しく大なる壓縮應力を示し、高さの $\frac{1}{2}$ 以下に至つて大體一定値に達する。搖承直下より距りたる部分にては、この垂直壓縮應力は顯著に低下してをることが見られる。

以上の關係から見て、搖承にて傳達せらるゝ荷重の一部は、主肋鉚の搖承直下にあたる部分及中央隔鉚の壓縮にて直接底鉚に集中傳達せられ、其殘部が底鉚に分布して主肋鉚端部に曲げを生ずるものであり、其分布も中央部より端部にむかひ漸減してをることが推断出来る。

4. 主隔鉚は主肋鉚の中央部と同等の壓縮垂直應力を示し、これと共に荷重の底鉚への傳達に顯著に作用してをることが窺れる。

5. 主肋鈑の補剛鈑中、中央部のは主肋鈑のこれが取り付けられた部分にて實測せられたる値と略。同等の壓縮應力を全高に亘つて生じてをり、兩側の補剛鈑に至つては極めて僅少の應力を示したにすぎぬ。これ3に掲げたる荷重の中央部集中の結果に基くものである。

6. 底鈑周邊の上面縁應力は、主肋鈑に平行なる邊の中央部に於て最も大なる値を示し、これと直角の邊に於ては比較的少い。この原因も、主肋鈑並に主肋鈑の中央部にてなされる應力集中の結果と見做されねばならぬ。

7. 慣用計算法を用ひて設計せられた兩銘接合中、構橋用のものは設計荷重 320 t に對し其 2 倍 640 t までの載荷をなしたるも、實測せる最大應力は、鋼の降伏點に達したると認めらるゝもの幾分ありたるに止まる。従つてこの容が靜荷重に對しては構橋主體とほぼ同値の安全率を有するものと斷定出来る。

鈑桁橋用のものは設計荷重 126 t にして、測定點中の最大應力が鋼の降伏點に達したりと見做さるゝ時の載荷は 400 t にて、この容の有する安全率は構橋用のものに比して幾分大なりと考へられる。

基礎版の基本的研究(第2報)

基礎 析

内務技師 松 村 孫 治

目 次

緒 言	(1)
I 對稱荷重の場合	(1)
II 非對稱荷重の場合	(2)
III 計算例	(7)

緒 言

基礎版の基本的研究(第1報)に於ては、弾性地盤上に設置せる基礎版に作用する地盤反力の近似計算法に就て述べ、その第一歩として版の長さに比し幅の極めて小なる基礎版(假りに基礎析と呼ぶ)に對稱荷重の作用する場合を計算した結果、本計算法が設計の基準とするに足る地盤反力及彎曲力率を與へ得る可能性あるを以て、更に廣き範圍に亘つて計算するときは實用に供し得る見込あるを知つた。

本文は基礎析に任意の垂直荷重が作用する場合、版に作用する地盤反力及彎曲力率を求めるに必要な係数の算定を行つた。一般に版に作用する荷重は對稱なる部分と非對稱なる部分とに分ち得るを以て、夫々對稱なる荷重のみと、非對稱なる荷重のみとの作用する場合の計算法を示す時は、任意の荷重の作用する場合の計算を行ひ得る譯である。對稱なる荷重に依る計算に必要な諸係数は既に第1報に求めたるを以て、本文に於ては主として非對稱荷重に必要な係数を求めた。

更に最後に本計算法の使用例として二三の計算例を示した。(本文中に使用する記號は第1報と同一である)。

I. 對 稱 荷 重 の 場 合

對稱なる荷重の作用する場合は第1報に於て求めた、即ち地盤反力 $q(x)$ 及基礎地盤表面の沈下 w は夫々次の如し。

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

$$w = \frac{1}{\pi} \frac{1 - \sigma_2^2}{E_2} l (a_0 A_0 + a_2 A_2 + \dots + a_n A_n) \dots (2)$$

但し $A_0, A_2, \dots, A_n$ は次式より與へらる.

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{2} F_0(n\gamma, a, \xi), & A_2 &= \frac{1}{2} \{ F_0(n\gamma, a, \xi) - 2F_1(n\gamma, a, \xi) + 2F_2(n\gamma, a, \xi) \} \\ A_3 &= \frac{1}{2} \{ F_0(n\gamma, a, \xi) - 3F_1(n\gamma, a, \xi) + 6F_2(n\gamma, a, \xi) - 6F_3(n\gamma, a, \xi) + 12G_3(n\gamma, a, \xi) \} \\ A_4 &= \frac{1}{2} \{ F_0(n\gamma, a, \xi) - 4F_1(n\gamma, a, \xi) + 12F_2(n\gamma, a, \xi) - 24F_3(n\gamma, a, \xi) + 24F_4(n\gamma, a, \xi) \} \\ A_5 &= \frac{1}{2} \{ F_0(n\gamma, a, \xi) - 5F_1(n\gamma, a, \xi) + 20F_2(n\gamma, a, \xi) - 60F_3(n\gamma, a, \xi) \\ &\quad + 120F_4(n\gamma, a, \xi) - 120F_5(n\gamma, a, \xi) + 240G_5(n\gamma, a, \xi) \} \\ A_6 &= \frac{1}{2} \{ F_0(n\gamma, a, \xi) - 6F_1(n\gamma, a, \xi) + 30F_2(n\gamma, a, \xi) - 120F_3(n\gamma, a, \xi) \\ &\quad + 360F_4(n\gamma, a, \xi) - 720F_5(n\gamma, a, \xi) + 720F_6(n\gamma, a, \xi) \} \end{aligned}$$

$$\text{但し} \quad n\gamma = x/l, \quad a = b/l, \quad \xi = y/l \quad \dots\dots\dots(3)$$

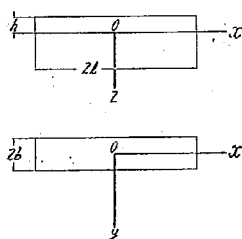
第 1 報に於ては A_0, A_2, A_3 及 A_4 の $\xi=0$ に於ける値を $n\gamma=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ 及 $1, \alpha=0.01, 0.02, 0.05$ 及 0.1 に就て計算した. 本文に於ては更に係数 A_5, A_6 を加へ, $\alpha=0.2, 0.3$ に就て計算を行つた. 従つて (2) 式に含まるゝ未知数は 6 個となり, 基礎地盤表面の沈下と桁の撓度とを 6 個所に於て一致せしむることが出来る. A_0, A_2, A_3, A_4, A_5 及 A_6 の値を附表第 1 に示した.

此の場合 a の値が大なる時は幅の方向に於ける壓力分布を考慮する必要があり, 基礎桁として計算することが不可能になる. 而して基礎桁として取り扱ひ得る a の値の範囲に就ては本文に於ては觸れず, 改めて述べることにする.

II. 非對稱荷重の場合

(1) 地盤反力

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



地盤反力 $q(x)$ は一般に次の如く示される. (但し上方に作用するものを正の方向とする).

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

然るに荷重が x に對し非對稱なるを以て

$$x=0; \quad q=0$$

従つて非對稱なる場合の地盤反力 $q(x)$ は次式の如く

示さる.

$$q(x) = a_1 \left(\frac{x}{l} \right) + a_2 \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \dots + a_n \left(\frac{x}{l} \right)^n \quad \dots\dots\dots(4)$$

〔2〕 地盤表面の沈下 w 及原点の傾斜 $\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_{x=0}$

(4) 式に示す地盤反力に依る基礎地盤表面の沈下 w は地中に向ふものを正の値とすれば, 對稱荷重の場合と同様に附録 I の (6) 式より次の如く示される。

$$w = \frac{1}{\pi} \frac{1 - \sigma_2^2}{E_2} I (a_1 A_1 + a_2 A_2 + \dots + a_n A_n) \dots \dots \dots (5)$$

但し $A_1, A_2, \dots$ は次式により與へらる。

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{2} \{ -F_0(n\gamma, a, \xi) + F_1(n\gamma, a, \xi) \}, \\ A_2 &= \frac{1}{2} \{ -F_0(n\gamma, a, \xi) + 2F_1(n\gamma, a, \xi) - 2F_2(n\gamma, a, \xi) + 2G_2(n\gamma, a, \xi) \}, \\ A_3 &= \frac{1}{2} \{ -F_0(n\gamma, a, \xi) + 3F_1(n\gamma, a, \xi) - 6F_2(n\gamma, a, \xi) + 6F_3(n\gamma, a, \xi) \}, \\ A_4 &= \frac{1}{2} \{ -F_0(n\gamma, a, \xi) + 4F_1(n\gamma, a, \xi) - 12F_2(n\gamma, a, \xi) + 24F_3(n\gamma, a, \xi) \\ &\quad - 24F_4(n\gamma, a, \xi) + 24G_4(n\gamma, a, \xi) \}, \\ A_5 &= \frac{1}{2} \{ -F_0(n\gamma, a, \xi) + 5F_1(n\gamma, a, \xi) - 20F_2(n\gamma, a, \xi) + 60F_3(n\gamma, a, \xi) \\ &\quad - 120F_4(n\gamma, a, \xi) + 120F_5(n\gamma, a, \xi) \}, \\ A_6 &= \frac{1}{2} \{ -F_0(n\gamma, a, \xi) + 6F_1(n\gamma, a, \xi) - 30F_2(n\gamma, a, \xi) + 120F_3(n\gamma, a, \xi) \\ &\quad - 360F_4(n\gamma, a, \xi) + 720F_5(n\gamma, a, \xi) - 720F_6(n\gamma, a, \xi) + 720G_6(n\gamma, a, \xi) \} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

(6) 式中の各函数は附録 I の (9) 式に示さる。 $A_1, A_2, \dots$ は何れも $n\gamma, a, \xi$ の函数にして, 與へられたる a に對して $A_1, A_2, \dots$ の値を計算して置く時は, それと形状の相似なる總ての桁に使用し得る點は對稱荷重の場合と全く同様である。 w_0 は上式に於て $\xi=0$, w_b は $\xi=a$ と置ける値である。

(6) 式及附録 I の (9) 式より $x=0$ に於ける w は零となり, 常數 $a_1, a_2, \dots$ を決定する場合には, 原点に於ける地盤表面の沈下と桁の撓度とは常に相等しきを以て, 原点に於ては基礎地盤の傾斜 $\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_{x=0}$ を使用するが便利である, かくする時は對稱荷重の場合は原点の傾斜は水平なるを以て, 原点に於ては傾斜と沈下とは兩者共常に等しくなる。

原点に於ける傾斜は附録 I の (16) 式より次の如く示される。

$$\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_{x=0} = \frac{1}{\pi} \frac{1 - \sigma_2^2}{E_2} (a_1 C_1 + a_2 C_2 + \dots + a_n C_n) \dots \dots \dots (7)$$

但し $C_1, C_2, \dots$ は次式より與へられる。

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{2} \{ -F(\rho, a, \xi) + F_0(\rho, a, \xi) \} \\ C_2 &= \frac{1}{2} \{ -F(\rho, a, \xi) + 2F_1(\rho, a, \xi) - 2F_2(\rho, a, \xi) \} \\ C_3 &= \frac{1}{2} \{ -F(\rho, a, \xi) + 3F_1(\rho, a, \xi) - 6F_2(\rho, a, \xi) + 6F_3(\rho, a, \xi) \} \\ C_4 &= \frac{1}{2} \{ -F(\rho, a, \xi) + 4F_1(\rho, a, \xi) - 12F_2(\rho, a, \xi) + 24F_3(\rho, a, \xi) - 24F_4(\rho, a, \xi) \} \end{aligned} \right\} \dots$$

$$\begin{aligned}
 & +48G_3(o, a, \xi) \} \\
 C_6 = & \frac{1}{2} \{ -F(o, a, \xi) + 5F_0(o, a, \xi) - 20F_1(o, a, \xi) + 60F_2(o, a, \xi) \\
 & - 120F_3(o, a, \xi) + 120F_4(o, a, \xi) \} \\
 C_6 = & \frac{1}{2} \{ -F(o, a, \xi) + 6F_0(o, a, \xi) - 30F_1(o, a, \xi) + 120F_2(o, a, \xi) \\
 & - 360F_3(o, a, \xi) + 720F_4(o, a, \xi) - 720F_5(o, a, \xi) + 1440G_5(o, a, \xi) \} \quad (8)
 \end{aligned}$$

(8) 式中の各函数は附録 I の (18) 式に示さる。

$\xi=0$ なる $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ の値を $a=0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3$ に就て, $x/l=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1$ の 6 ヶ所に於て求め附表第 2 に示す。又 $\xi=0$ なる點の $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ の値を $a=0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3$ に就て求め附表第 3 に示す。

〔3〕 常數決定法

桁の各點の撓度及原點に於ける傾斜は普通の計算法に依り各荷重, 各限界條件に就て容易に求められ, 非對稱荷重の作用する場合には一般に次の如き形を有す。

$$v = \frac{bL^4}{E_1 I} (a_1 B_1 + a_2 B_2 + \dots + Cx + L) \quad (9)$$

式中 $B_1, B_2, \dots$ は何れも桁の彈性係數, 大き等に無關係にして, 限界條件によりて定まり, L は荷重に關係する項, C は積分常數である。

(5) 及 (9) 式より $a_1, a_2, \dots$ は w と v とを等しくすることにより求められる。

$$x = x_0, x_1, \dots; \quad w = v \quad (10)$$

$x=0$ に於ては w と v とは常に零なるを以て, 對稱荷重の場合と異なり, $x=0$ に於ては基礎地盤表面の傾斜と桁の傾斜とを等しくせしむるを要す。即ち

$$x=0; \quad \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} \quad (11)$$

桁に作用する全荷重の總和は零であるが, その半部に作用する全荷重を P とすれば P はその部分に作用する地盤反力の總和と等しきを以て

$$\frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{3} + \dots + \frac{a_n}{n+1} = \frac{1}{2bl} P \quad (12)$$

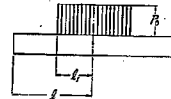
從つて (10), (11), (12) 式に示す聯立方程式を解きて $a_1, a_2, \dots$ を求むれば, 桁の各點に作用する地盤反力及彎曲力率が求められる。今決定する未知數の數を n 個とすれば, 上記聯立方程式中に含まれる未知數の總和は $(n+1)$ 個となる。從つて $(n-1)$ 個所に於て (10) 式を満足せしむる事が出来る。然るに $x=0$ に於ては常に $w=v=0$ なるを以て, 此の場合も亦原點を含めて n 個所に於て桁の撓度と地盤表面の沈下とを一致せしめ得るを以

て、對稱荷重の場合と同一となる。

〔4〕 近似の程度

計算に使用する未知数の數及地盤表面の沈下と桁の撓度とを一致せしむべき個所の採り方により、地盤反力の分布及彎曲力率に如何なる影響があるかを求める爲に、次の9場合に就き第2圖に示す如く等布荷重の作用する場合の比較を行つた。

- ① $\xi=1, 0.8, 0.6, 0$ ② $\xi=1, 0.8, 0.2, 0$
 ③ $\xi=1, 0.6, 0.4, 0$ ④ $\xi=1, 0.4, 0.2, 0$
 ⑤ $\xi=1, 0.8, 0$ ⑥ $\xi=1, 0.6, 0$
 ⑦ $\xi=1, 0.4, 0$ ⑧ $\xi=1, 0.2, 0$
 ⑨ $\xi=1, 0.8, 0.6, 0.4, 0$



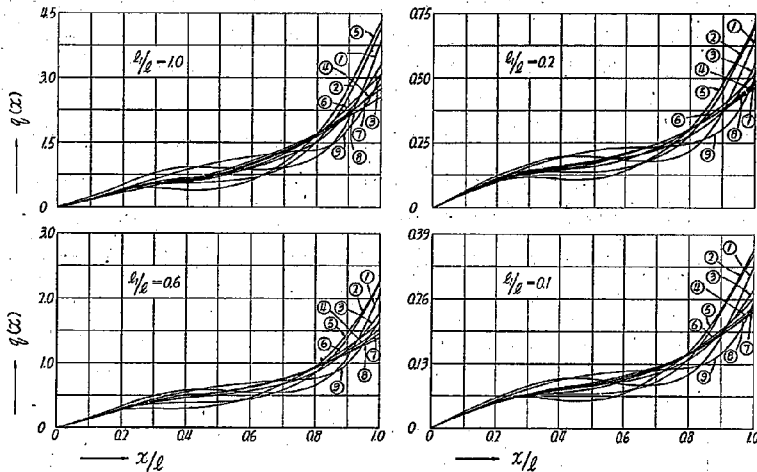
第 2 圖

⑤, ⑥, ⑦, ⑧ は未知數 3 個, ①, ②, ③, ④ は 4 個, ⑨ は 5 個である。

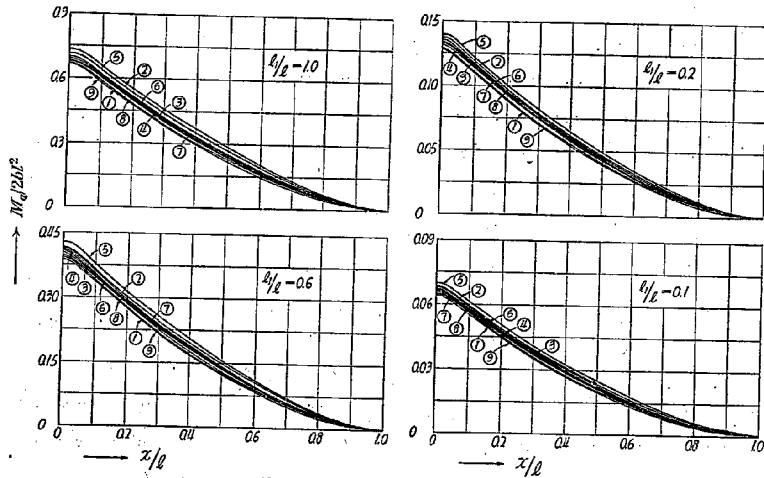
第 1 報に述べたる如く $a=0.01, \varepsilon=1$ の場合の比較を以て a, ε の異なる場合も大體推定し得るを以て、本文の計算は $a=0.01, \varepsilon=1$ なる場合に止めた。且つ荷重の分布は $h/l=1, 0.6, 0.2, 0.1$ の 4 場合を採つた。

地盤反力分布を第 3 圖 (a), 地盤反力のみに依る彎曲力率 M_0 を第 3 圖 (b) に示す。

第 3 (a) 圖より地盤反力に及ぼす未知数の數及位置の影響を知る事が出来、その大體の傾向は對稱荷重の場合と殆ど同様である。即ち未知数の 3 個と 4 個と 5 個の反力分布曲線



第 3 圖 (a) 地盤反力の値
 (但し圖中の値は q_0 の係數を示す)



第3圖(b) 彎曲率力の値
(但し圖中の⑤は ρ_0 の係数を示す)

は多少の差異が認められ、特に5個の場合には壓力分布を一樣ならしむる傾向を有す、而して必要な最大地盤反力に就ては、その最大なるものと最小なるものとの差異は常に50%以下にして、荷重が中央に集中するに従ひその差異は減小する。未知數4個の場合には位置の撰び方に依り多少異なるも、未知數3個の場合は⑤ [$x=0.8l$ の如き端に近き點にて沈下と撓度を一致せしめたるを以て除外するが當然である]を除き他の⑥、⑦、⑧は殆ど一致する:

第3圖(b)より地盤反力のみによる彎曲力率の變化を見るに、①、⑤、⑨を除き他は殆ど一致し⑤の絕對値は常に最大、⑨の絕對値は最小にして①と⑨の間には大なる差異がない。第3圖(a)の地盤反力分布圖と比較すれば差異極めて小にして、實用上殆ど一致すると考へられる。然るに荷重のみに依る彎曲力率 M_l と M_q との符號異なる

第1表 $(M_q + M_l)/2bl^2$ の値 ($x=0$)

	$l_1/l=1.0$	$l_1/l=0.6$	$l_1/l=0.2$	$l_1/l=0.1$		$l_1/l=1.0$	$l_1/l=0.6$	$l_1/l=0.2$	$l_1/l=0.1$
①	-0.180	-0.214	-0.109	-0.0594	⑥	-0.212	-0.230	-0.114	-0.0629
②	-0.228	-0.239	-0.116	-0.0634	⑦	-0.202	-0.225	-0.112	-0.0612
③	-0.203	-0.226	-0.112	-0.0643	⑧	-0.196	-0.223	-0.112	-0.0611
④	-0.202	-0.225	-0.112	-0.0612	⑨	-0.175	-0.211	-0.108	-0.0590
⑤	-0.249	-0.250	-0.119	-0.0649					

上表の數字は ρ_0 の係数を示す。

るを以て、兩者の絶対値が殆ど等しき場合は M_0 の僅少の差異も影響が著しく大となる。今一般に彎曲力率最大なる $x=0$ に於ける (M_1+M_0) の値を求め第1表に示す。上表により餘り大なる差異のなきことが分る。

是等の計算の結果對稱荷重の場合と全く同様に、未知數の數及撓度と沈下とを一致せしむべき點の位置の地盤反力分布及彎曲力率に及ぼす影響の大體の傾向を推定することが出来る、近似の程度も推定し得る。

III. 計 算 例

基礎桁に對稱及非對稱荷重の作用する場合の基礎地盤表面の沈下量を求めるに必要な諸係數を、附表第1、第2及第3に與へたるを以て、桁に作用する荷重が既知なる時は地盤反力及桁の強度計算を行ふことが出来る。本文の近似計算法の使用を説明する爲に、二三の例に就て計算を行つた。元より實際問題への適用を目的として行つたものではないが、比較的實際問題に近き場合に就て計算したるを以て、此等の計算例より本近似計算法を實在問題に如何に適用すべきかは充分理解し得ると思ふ。然しかゝる計算法を實在問題に適用するに當りては、本計算法の根底をなす諸假定、問題の要求してゐる近似の程度等を充分考慮して行ふが至當である。

計算例 1

長さ $2l$ 、幅 $2b$ 、厚さ一樣なる基礎桁に、第4圖(a)に示す如く、 $2p_0$ なる荷重が d なる幅に作用する時、此の荷重は (b) 及 (c) に示す如く、對稱なるものと非對稱なるものと二荷重に分ち得る。

未知數は5個とし $x=l, 0.6l, 0.4l, 0.2l$ 及 0 の5ヶ所、即ち桁全體としては9ヶ所に於て桁と基礎地盤の沈下とを一致せしむる。特に原點に於ては傾斜も亦一致する。

1. 對稱なる場合

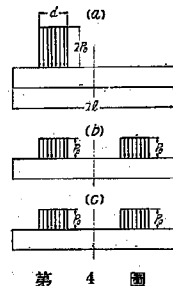
未知數は5個なるを以て地盤反力は (1) 式より次の如く示される。

$$q(x) = a_0 + a_1 \left(\frac{x}{l}\right) + a_2 \left(\frac{x}{l}\right)^2 + a_3 \left(\frac{x}{l}\right)^3 + a_4 \left(\frac{x}{l}\right)^4 + a_5 \left(\frac{x}{l}\right)^5 \dots \dots \dots (13)$$

(13) 式の地盤反力による基礎地盤表面の沈下 w_0 は (2) 式より次の如く示される。

$$w_0 = \frac{1}{\pi} \frac{1-\sigma_2^2}{E_2} l (a_0 A_0 + a_1 A_1 + a_2 A_2 + a_3 A_3 + a_4 A_4 + a_5 A_5) \dots \dots \dots (14)$$

上式の係數 $A_0, A_1, \dots$ は附表第1より求められる。例へば $a=0.02$ の場合の $x=0.8l$



第 4 圖

なる點の w_0 の値は次の如し.

$$w_0 = \frac{1}{\pi} \frac{1-\sigma_2^2}{E_2} l (0.4075812a_0 + 0.2240500a_2 + 0.1782156a_3 \\ + 0.1442317a_4 + 0.1182084a_5)$$

同様に $x=l, 0.6l, 0.4l, 0.2l$ 及 0 なる點の w_0 の値は附表第 1 より求められる.

(13) 式の地盤反力に依る桁の撓度 v_q は第 1 報の附録 II より

$$v_q = \frac{bl^4}{E_1 I} (a_0 B_0 + a_2 B_2 + a_3 B_3 + a_4 B_4 + a_5 B_5) + C_1 \dots\dots\dots (15)$$

第 2 表 B_0, B_2, B_3, B_4, B_5 の値

對稱荷重, 兩端自由

x/l	B_0	B_2	B_3	B_4	B_5
1.0	-0.25	-0.14	-0.1190476190	-0.1011904762	-0.0879629629
0.8	-0.18346	-0.10456746	-0.0858326552	-0.0727330621	-0.0630728953
0.6	-0.1188	-0.0662592	-0.0540666514	-0.0456199954	-0.0394352366
0.4	-0.0608	-0.03291164	-0.0266705676	-0.0224007802	-0.0193017606
0.2	-0.01746	-0.00911146	-0.0073333638	-0.0061333364	-0.0052698416
0	0	0	0	0	0

$B_0, B_2, \dots$ の値は第 2 表に示す如し. 此の場合 $B_0, B_1, \dots$ は a には無關係にて, x/l のみの函數にて示される. 今 $x=l$ なる點の v_q は第 1 表より次の如し.

$$v_q = -\frac{bl^4}{E_1 I} (0.25a_0 + 0.144a_2 + 0.1190476a_3 + 0.1011905a_4 - 0.0879630a_5) + C_1$$

次に第 4 圖 (b) に示す荷重が作用する時の桁の撓度 v_p は次の如く示される.

$$v_p = \frac{bl^4}{E_1 I} p_0 L + c \dots\dots\dots (16)$$

L は附録 II の第 6 式より求められる.

基礎地盤表面の沈下と桁の撓度とは等しきを以て

$$w_0 = v_q + v_p$$

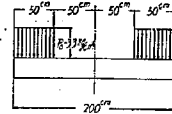
$$\text{又は} \quad a_0(A_0 - \varepsilon B_0) + a_2(A_2 - \varepsilon B_2) + a_3(A_3 - \varepsilon B_3) + a_4(A_4 - \varepsilon B_4) \\ + a_5(A_5 - \varepsilon B_5) + C = \varepsilon L p_0 \dots\dots\dots (17)$$

$$\text{但し} \quad \varepsilon = \frac{6\pi}{1-\sigma_2^2} \frac{E_2}{E_1} \left(\frac{l}{h}\right)^3 \dots\dots\dots (18)$$

上式の C は積分常數にして $-\frac{\pi E_2}{1-\sigma_2^2} \frac{1}{l} (C_1 + c)$ を示す. 更に地盤反力の總和は荷重の總和に等しきを以て

$$a_0 + \frac{1}{3}a_2 + \frac{1}{4}a_3 + \frac{1}{5}a_4 + \frac{1}{6}a_5 = \frac{d}{l} p_0 \dots \dots \dots (19)$$

今一例として第5図に示す如く荷重が幅20cm, 長2mの基礎桁に作用する時地盤反力及撓曲力率を求める。



第5図

基礎桁の材料はコンクリートとして $E_1 = 200,000 \text{ kg/cm}^2$, 基礎地盤の弾性係数 $E_2 = 100 \text{ kg/cm}^2$ (大體赤土の應壓試験より得たる弾性係数の値) $\sigma_2 = 0$, $l = 100 \text{ cm}$, $h = 15 \text{ cm}$ 従つて ϵ は (18)

式より 2.79 となる。然るに第1報に於て述べたる如く ϵ の多少の差異は, 地盤反力及撓曲力率に餘り影響を及ぼさざるを以て, 本計算法の近似の程度に於ては $\epsilon = 3$ として差支へなく, 以下の計算は $\epsilon = 3$ として行ふ。

(17) 式に示す聯立方程式を求めるに當り L を計算しなければならぬ。附録 II の (6) 式より

x/l	1.0	0.6	0.4	0.2	0
L	0.2135416	0.0990083	0.0493	0.0136	0

(17) 式に於て常數 C を消去する爲に, $x=0$ に相當する式を各式より引き去つて置けばよい。然るに $x=0$ に於ける $B_0, \dots$ 及 L の値は總て zero なるを以て, A の係數に於て $x=0$ の値を豫め除去して置く時は, 直ちに C を消去せる式を求め得る。而して $a=b/l = 0.1$ なるを以て附表第1の $a=0.1$ に相當する A の係數を用ひて, (17) 式は次の如く示さる。

$$\begin{aligned} 0.0893920a_0 + 0.7899309a_2 + 0.7115523a_3 + 0.6425838a_4 + 0.5860040a_5 &= 0.640625p_0 \\ 0.2679024a_0 + 0.5273100a_2 + 0.3877075a_3 + 0.2941757a_4 + 0.2314074a_5 &= 0.297025p_0 \\ 0.1477418a_0 + 0.2532791a_2 + 0.1638117a_3 + 0.1166009a_4 + 0.0899899a_5 &= 0.148p_0 \\ 0.0442781a_0 + 0.0670232a_2 + 0.0385349a_3 + 0.0272589a_4 + 0.0215899a_5 &= 0.041p_0 \\ a_0 + 0.333a_2 + 0.25a_3 + 0.2a_4 + 0.166a_5 &= 0.5p_0 \end{aligned}$$

是等の聯立方程式を解きて a_0, a_2, a_3, a_4, a_5 を求むれば

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= 0.33686, & a_2 &= -0.26091, & a_3 &= 4.04118, \\ a_4 &= -10.12766, & a_5 &= 7.59143 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (20)$$

(20) 式の値より地盤反力 $q(x)$ は (13) 式より, 地盤反力のみによる桁の撓曲力率 M_q は第1報の附録 II の (6) 式より夫々次の如く求めらる。

$$q = (0.33686 - 0.26091\xi^2 + 4.04118\xi^3 - 10.12766\xi^4 + 7.59143\xi^5) p_0$$

$$M_q = -2bl^2(0.16842\xi^3 - 0.02174\xi^4 + 0.20205\xi^5 - 0.33757\xi^6 + 0.18074\xi^7) p_0 \\ + 2bl^2 0.5\xi p_0 - 2bl^2 0.3086 p_0$$

荷重のみに依る彎曲力率 M_p は附録 II の (7) 式に於て $l_1=50$, $d=50$, $l=100$ と置きて求めらる。上記の計算より得たる地盤反力 M_q , M_p 及 M_q+M_p によりて生ずる桁の邊維應力 (σ) を求むれば次の如し。但し $p_0=3.3 \text{ kg/cm}$ とする。

x/l	地 盤 反 力	M_q	M_p	M_q+M_p	σ
1.0	5.218	0	0	0	0
0.8	1.909	- 14902	13200	-1702	2.3
0.6	1.299	- 46800	52800	6000	8.0
0.4	1.228	- 89390	115500	26110	34.8
0.2	1.138	-141774	181500	39726	53.0
0	1.112	-203319	247500	44181	58.9

単位は總て kg, cm とし、且つ σ は應張力のみを採る。

本計算に使用したる荷重は道路構造令細則の第 1 種自動車荷重の後輪に相當する。

今桁の長さ $l=200 \text{ cm}$ とすれば $\epsilon=22.34$, $\alpha=0.05$ となる。従つて $\epsilon=20$ として上記と同じ計算を行へば地盤反力、彎曲力率、邊維應力は次表の如し。

x/l	地 盤 反 力	M_q	M_p	M_q+M_p	σ
1.0	0.227	0	0	0	0
0.8	0.439	- 4184	0	- 4148	5.5
0.6	0.808	- 22822	0	-22822	30.4
0.4	1.058	- 66963	13200	-53763	71.6
0.2	1.140	-144447	115300	-28947	38.6
0	1.139	-258205	247500	-10705	14.3

単位は kg, cm とする。

二つの場合の地盤反力及彎曲力率を第 6 圖に示す。同圖より桁の長さを變へたる爲に彎曲力率の附號が變り、又地盤反力の分布も亦可成り異なることが分る。

2. 非對稱の場合

地盤反力 $q(x)$ 及それによりて生ずる基礎地盤表面の沈下 w_0 は (4) 式, (5) 式より次の如く示さる。

$$\left. \begin{aligned} q(x) &= a_1 \left(\frac{x}{l} \right) + a_2 \left(\frac{x}{l} \right)^2 + a_3 \left(\frac{x}{l} \right)^3 + a_4 \left(\frac{x}{l} \right)^4 + a_5 \left(\frac{x}{l} \right)^5 \\ w_0 &= \frac{1}{\pi} \frac{1 - \sigma_2^2}{E_2} \{ a_1 A_1 + a_2 A_2 + a_3 A_3 + a_4 A_4 + a_5 A_5 \} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (21)$$

係数 A_1, A_2, A_3, A_4 及 A_5 は附表第 2 に示す。対稱なる場合と異なり $x=0$ に於ては $w=0$ なるを以て、原點に於ける地盤表面の傾斜と基礎桁の傾斜とを一致せしむるを要す。而して対稱なる場合は原點に於ける基礎地盤表面の傾斜と基礎桁のそれとは等しきを以て、結局原點に於ては沈下と傾斜とは兩者共等しくなる。

基礎地盤表面の傾斜 $\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_{x=0}$ は (7) 式より次の如し。

$$\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_{x=0} = \frac{1}{\pi} \frac{1-\sigma_2^2}{E_2} [a_1 C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3 + a_4 C_4 + a_5 C_5] \dots (22)$$

$C_1, C_2, \dots$ の係数は附表第 3 に與へらる。

(21) 式の地盤反力に依る桁の撓度 v_q は附録 II の (4) 式より

$$v_q = \frac{bl^4}{E_1 I} (a_1 B_1 + a_2 B_2 + a_3 B_3 + a_4 B_4 + a_5 B_5) + C_3 x$$

但し $B_1, B_2, \dots$ は第 3 表に示す。桁の原點に於ける傾斜 $\left(\frac{\partial v_q}{\partial x}\right)_{x=0}$ は上式より

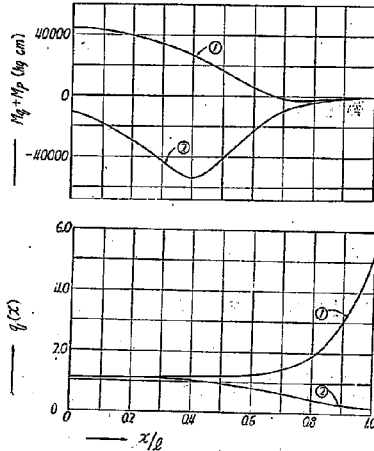
第 3 表 B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 の値
非對稱荷重, 兩端自由

x/l	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
1.0	-0.183	-0.14	-0.1190476190	-0.1011904762	-0.0879629629
0.8	-0.1334613	-0.10456746	-0.0858326552	-0.0727330621	-0.0630728953
0.6	-0.085296	-0.0662592	-0.0540666514	-0.0456199954	-0.0394352366
0.4	-0.0428373	-0.03291164	-0.0266705676	-0.0224007802	-0.0193017607
0.2	-0.0120053	-0.00911146	-0.0073333638	-0.0061333364	-0.0052698416
0	0	0	0	0	0

$$\left(\frac{\partial v_q}{\partial x}\right)_{x=0} = C_3 \dots (23)$$

第 4 圖 (c) に示す荷重が作用する時の桁の撓度 v_p は次の如し。

$$v_p = \frac{bl^4}{E_1 I} p_0 L + ex \dots (24)$$



第 6 圖

L は附録 II の (6) 式に與へられ、又桁の原點に於ける傾斜は (24) 式より

$$\left(\frac{\partial v_p}{\partial x} \right)_{x=0} = e$$

對稱なる場合と同様に $w_0 = v_q + v_p$ なるを以て

$$a_1(A_1 - \varepsilon B_1) + a_2(A_2 - \varepsilon B_2) + a_3(A_3 - \varepsilon B_3) + a_4(A_4 - \varepsilon B_4) + a_5(A_5 - \varepsilon B_5) + C \frac{x}{l} = \varepsilon L p_0 \quad (25)$$

$$\text{但し} \quad \varepsilon = \frac{6\pi}{1 - \sigma_2^2} \frac{E_2}{E_1} \left(\frac{l}{h} \right)^3, \quad C = - \frac{\pi E_2}{1 - \sigma_2^2} (C_3 + e)$$

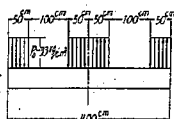
亦原點に於ける傾斜が等しきを以て

$$C = a_1 C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3 + a_4 C_4 + a_5 C_5 \quad (26)$$

桁の半分に作用する地盤反力の總和は荷重の總和に等しきを以て

$$\frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{3} + \frac{a_3}{4} + \frac{a_4}{5} + \frac{a_5}{6} = \frac{d}{l} p_0 \quad (27)$$

(25), (26), (27) より $a_1, a_2, \dots$ の値を求める時は地盤反力及彎曲力率を容易に求め得る。



今一例として第 7 圖に示す荷重が幅 20 cm, 長さ 4 m の基礎桁に作用する時の地盤反力及彎曲力率を求める。

E_1, E_2, σ_2, h の値は總て對稱荷重の場合と同様なりとすれば

第 7 圖 $\varepsilon = 22.34, \alpha = 0.05$ となり $\varepsilon = 20$ として以下の計算を行ふ。

(25) 式の聯立方程式を求める爲に L の値を求めなければならぬ。 L は附録 II の (8) 式を組み合せて次の如く求めらる。

x/l	1.0	0.6	0.4	0.2	0
L	0.140625	0.06354948	0.03142448	0.0088	0

従つて未知數 $a_1, a_2, \dots$ を與へる聯立方程式は次の如し。

$$4.0073537a_1 + 3.1932557a_2 + 2.6594854a_3 + 2.2824952a_4 + 2.0019479a_5 + C = 2.8125p_0$$

$$2.1219692a_1 + 1.5879789a_2 + 1.2547217a_3 + 1.0314891a_4 + 0.8737792a_5 + 0.6C = 1.2709896p_0$$

$$1.144959a_1 + 0.7971605a_2 + 0.6085669a_3 + 0.4937109a_4 + 0.4169168a_5 + 0.4C = 0.6284896p_0$$

$$0.38687221a_1 + 0.23301075a_2 + 0.17104762a_3 + 0.13777310a_4 + 0.11630803a_5 + 0.2C \\ = 0.176p_0$$

$$0.73790077a_1 + 0.20024984a_2 + 0.09920255a_3 + 0.06654120a_4 + 0.04987646a_5 \\ = C$$

$$0.5a_1 + \frac{1}{3}a_2 + 0.25a_3 + 0.2a_4 + \frac{1}{6}a_5 = 0.5p_0 \dots\dots\dots (28)$$

(28) 式より a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 を求むれば $q(x)$ は (21) 式より, 地盤反力による彎曲力率 M_q は附録 II の (4) 式より, 荷重に依る彎曲力率 M_p は附録 II の (9) 式を組合せて求めらる。今上記の計算より得たる地盤反力, M_q , M_p 及 $M_q + M_p$ は次の如し。但し $p_0 = 3.3 \text{ kg/cm}$ とする。

x/l	地 盤 反 力	M_q	M_p	$M_q + M_p$
1.0	6.40	0	0	0
0.8	1.72	- 64162	52800	- 11362
0.6	1.61	-194367	181500	- 12868
0.4	1.39	-375571	313500	- 62071
0.2	1.07	-600653	448800	-151853
0	0	-856442	660000	-196442

単位は總て kg, cm とす。

3. 一般の場合

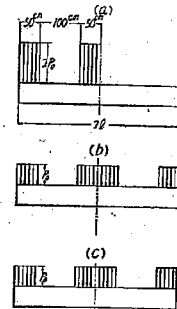
一般の場合として第8圖に示す荷重の作用する場合に就て計算する。

$$l=200 \text{ cm}, \quad h=15 \text{ cm}, \quad b=20 \text{ cm}$$

$$E_1=200,000 \text{ kg/cm}^2, \quad E_2=100 \text{ kg/cm}^2, \quad \sigma_2=0$$

然る時 $\varepsilon=22.34$, $\alpha=0.05$ となり, $\varepsilon=20$ として計算を行ふ。

第8圖 (b) は對稱なる荷重の場合にて 1. の 2 の場合と唯 L の値が異なるのみである。 $a_0, a_1, \dots$ を求め地盤反力, 彎曲力率を求むれば



第 8 圖

x/l	地 盤 反 力	M_q	M_p	$M_q + M_p$
1.0	1.88	0	0	0
0.8	0.83	- 22717	26400	3682
0.6	0.62	- 74118	90750	16631
0.4	0.68	-146058	156750	10692
0.2	0.78	-239936	224400	-15536
0	0.83	-358789	330000	-28789

第 8 圖 (c) は第 7 圖と全く同様にして此の場合は p_0 の代りに $p_0/2$ を用ふればよい、従つて第 8 圖 (a) なる荷重による地盤反力、彎曲力率、邊維應力は次の如し。

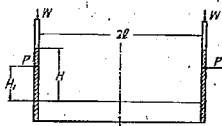
	地盤反力	彎曲力率	邊維應力
1.0	5.08	0	0
0.8	1.69	- 1998	2.6
0.6	1.43	10197	13.6
0.4	1.38	- 20343	27.1
0.2	1.31	- 91463	121.9
0.	0.83	-127010	169.3

單位は kg, cm とする。

場合には、 B 及 L を新に計算する必要がある。而して一般に B 及 L は A に比し簡單に求め得る。尙本計算法に於ては桁の厚さが如何に變化するとも、亦如何なる限界條件に於ても B 及 L を計算し得る時は、常に地盤反力並に桁に作用する彎曲力率を計算し得る。表に示したる各係数の値は小数點以下 10 桁迄求めてある。然し實際計算する場合には、10 桁迄用ひる必要はなく餘程少ない桁數にて充分である、但し餘り桁數を少なく探る時は稀には未知數を決定する事が不可能となる虞れがある。

計算例 2

第 9 圖に示す如く一樣なる厚さの基礎桁の兩端に柱が連結し、柱に荷重が作用する時は、一見計算例 1 と限界條件を異にする如くであるが、第 10 圖に示す如く、基礎桁の兩端に作用する彎曲力率 M 及外力 Q を荷重と考ふる時は兩端自由と見做し得るを以て、計算例 1 と全く同様になる。従つて荷重のみに依る桁の撓度 v_p を求むれば足る。 v_p は次式に示さる。



第 9 圖



第 10 圖

$$v_p = \frac{M}{E_1 I} \frac{x^3}{2} - \frac{Q}{E_1 I} \left(\frac{x^3}{6} - \frac{Lx^2}{2} \right) + c \dots \dots (29)$$

今第 9 圖に示す如く柱の高さ H 、垂直荷重 W 及柱底より H_1 なる點に水平荷重 P が作用するとする。計算を簡單にする爲に柱及桁の自重、軸方向に作用する力に依る變位、並に彎曲力率、及柱脚の底部に作用する地盤反力を無視する時は (29) 式の Q, M は次の如く求められる。

$$Q = W, \quad M = PH_1$$

柱の代りに不靜定構造物なる時は柱の變位を求める必要がある。その場合は柱と桁とが固定するとすれば、柱底と桁端の角變位が夫々等しき條件より求められる。

$E_1=200,000 \text{ kg/cm}^2$, $E_2=100 \text{ kg/cm}^2$, $\alpha_0=0$, $l=100 \text{ cm}$, $h=15 \text{ cm}$, $b=10 \text{ cm}$ とし, 計算例 1 と同様に $\varepsilon=2.79$ の代りに 3 を採用する時は, (16) 式の v_p の代りに (29) 式の v_p を使用し, 聯立方程式を解きて容易に求められる. 未知数を 5 個とし $x=l$, $0.6l$, $0.4l$, $0.2l$ 及 0 にて沈下と撓度とを一致せしむる時には, 夫等の値は次の如し.

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= -0.000004782M + 0.000219W \\ a_1 &= 0.000000653M - 0.0002120W \\ a_2 &= 0.000062596M + 0.005388W \\ a_3 &= -0.000154169M - 0.013439W \\ a_4 &= 0.000118490M + 0.010153W \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (30)$$

基礎桁の端に於ける角變位は次の如く示さる.

$$\frac{d(v_0+v_p)}{dx} = -\frac{2bl^2}{E_1I} \left\{ \sum_{n=0}^5 \frac{a_n}{(n+1)(n+2)(n+3)} \right\} - \frac{1}{2} \sum_{n=0}^5 \frac{a_n}{n+1} + \sum_{n=0}^5 \frac{a_n}{n+2} + \frac{Wl^2}{2E_1I} + \frac{Ml}{E_1I}$$

(30) 式の $a_0, a_1, \dots$ の値を代入すれば

$$\frac{d(v_0+v_p)}{dx} = \frac{1}{E_1I} (-304762M - 32792W)$$

地盤反力及撓曲力率は第 11 圖の如し.

計算例 3

桁の厚さの異なる例として, 第 12 圖に示す基礎桁に就て計算する.

今基礎桁と柱との接合部の變形を無視する時は, 桁の断面の moment of inertia は次の如く示さる.

$$\left. \begin{aligned} I &= \infty & 0 < x < l_1 \\ &= \frac{bh^3}{6} & l_1 < x < l \end{aligned} \right\} \dots\dots (31)$$

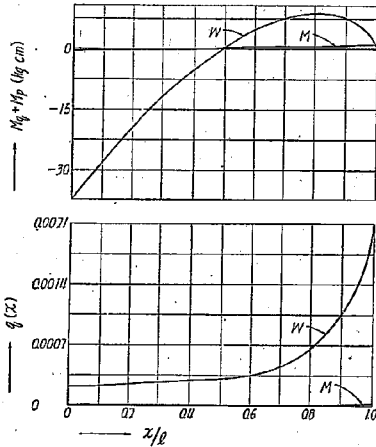
1. 作用する荷重對稱なる場合

地盤反力は

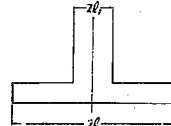
$$q(x) = a_0 + a_2 \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \dots + a_n \left(\frac{x}{l} \right)^n + \dots$$

今 $l_1 < x < l$ 間の桁の撓度を v_1 , $0 < x < l_1$ 間の値を v_2 とすれば

$$\frac{d^4 v_1}{dx^4} = -\frac{2b}{E_1I} \left\{ a_0 + a_2 \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \dots \right\}, \quad v_2 = C$$



第 11 圖



第 12 圖

限界条件として

$$x=l; \quad \frac{d^3v_1}{dx^3}=0, \quad \frac{d^2v_1}{dx^2}=0, \quad x=l_1; \quad v_1=v_2, \quad \frac{dv_1}{dx}=0$$

従つて桁の撓度 v_q 及彎曲力率 M_q は次の如く求められる。

$$\begin{aligned} v_q = & -\frac{2bl^4}{E_1I} \sum \frac{a_n}{(n+1)(n+2)(n+3)(n+4)} \left\{ \left(\frac{x}{l} \right)^{n+4} - (n+4) \left(\frac{x}{l} \right) \left(\frac{l_1}{l} \right)^{n+3} \right. \\ & + (n+3) \left(\frac{l_1}{l} \right)^{n+4} \left. \right\} + \frac{bl^4}{3E_1I} \left\{ \left(\frac{x}{l} \right)^3 - 3 \left(\frac{x}{l} \right) \left(\frac{l_1}{l} \right)^2 + 2 \left(\frac{l_1}{l} \right)^3 \right\} \sum \frac{a_n}{n+1} \\ & - \frac{bl^4}{E_1I} \left\{ \left(\frac{x}{l} \right)^2 - 2 \left(\frac{x}{l} \right) \left(\frac{l_1}{l} \right) + \left(\frac{l_1}{l} \right)^2 \right\} \times \sum \frac{a_n}{n+2} + C \quad l_1 < x < l \\ = & C \quad 0 < x < l_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{又は} \quad v_q = & \frac{bl^4}{E_1I} (a_0B_0 + a_2B_2 + a_3B_3 + a_4B_4) + C \quad l_1 < x < l \\ = & C \quad 0 < x < l_1 \dots \dots \dots (32) \end{aligned}$$

B_0, B_2, B_3, B_4 の値を第 4 表に示す。

第 4 表

$l_1/l=0.1$				
x/l	B_0	B_2	B_3	B_4
1.0	-0.164025	-0.100055249	-0.083330937	-0.071390476
0.8	-0.115558333	-0.069411672	-0.057665977	-0.049199728
0.6	-0.06895833	-0.042759027	-0.033399976	-0.028353328
0.4	-0.029025	-0.016522649	-0.013503895	-0.011400780
0.2	-0.003758333	-0.002055872	-0.001666693	-0.001400003
0.0	0	0	0	0

$l_1/l=0.2$				
x/l	B_0	B_2	B_3	B_4
1.0	-0.1024	-0.065991111	-0.055713401	-0.048123708
0.8	-0.0684	-0.043449600	-0.036498651	-0.031399652
0.6	-0.036266666	-0.022476800	-0.01873286	-0.016019943
0.4	-0.0108	-0.006467111	-0.005336990	-0.004534086
0.2	0	0	0	0
0.0	0	0	0	0

$$M_q = -2bl^2 \left[\sum \frac{a_n}{(n+1)(n+2)} \left(\frac{x}{l} \right)^{n+2} - \sum \frac{a_n}{n+1} \frac{x}{l} + \sum \frac{a_n}{n+2} \right]$$

但し $a_1 = 0$

今一例として柱に $2P$ なる荷重が作用する時、荷重のみに依る桁の撓度 $v_p = G$ 、彎曲力

率 $M_p=0$ となる。且つ全荷重と地盤反力とは等しきを以て

$$a_0 + \frac{1}{3}a_2 + \frac{1}{4}a_3 + \dots = \frac{P}{2bl} \quad \dots\dots\dots(33)$$

今未知数 4 個即ち地盤反力を次の如く示し

$$q(x) = a_0 + a_2\left(\frac{x}{l}\right)^2 + a_3\left(\frac{x}{l}\right)^3 + a_4\left(\frac{x}{l}\right)^4$$

$a=0.01$ 即ち $b=\frac{l}{100}$ なる場合に就て、
 $x=l, 0.6l, 0.4l$ 及 0 の 4 ケ所にて地盤
 表面の沈下と桁の撓度とを一致せしめて、
 求めたる地盤反力及彎曲力率を第 13 圖に
 示す。

2. 作用する荷重が非対称の場合

地盤反力は

$$q(x) = a_1\left(\frac{x}{l}\right) + a_2\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \dots\dots\dots + a_n\left(\frac{x}{l}\right)^n + \dots\dots\dots$$

にして $l_1 < x < l$ 間の撓度を v_1 , $0 < x < l_1$
 の値を v_2 とすれば 1 と同様に

$$\frac{d^4 v_1}{dx^4} = -\frac{2b}{E_1 I} \left\{ a_1\left(\frac{x}{l}\right) + a_2\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \dots\dots\dots \right\},$$

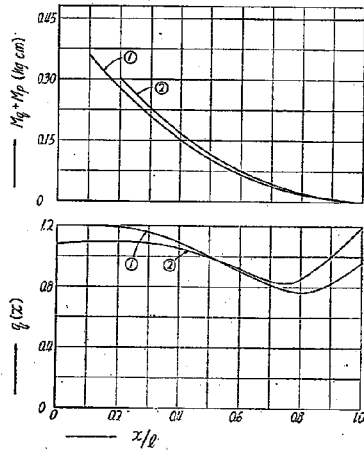
$$v_2 = Cx$$

限界條件は $x=l$ に於ては 1 と同様にして

$$x=l_1; \quad v_1=v_2, \quad \frac{dv_1}{dx} = \frac{dv_2}{dx}$$

従つて桁の撓度 v_0 , 彎曲力率 M_0 は次の如し。

$$\begin{aligned} v_0 = \frac{bl^4}{E_1 I} & \left[-\sum \frac{2a_n}{(n+1)(n+2)(n+3)(n+4)} \left(\frac{x}{l}\right)^{n+4} + \sum \frac{a_n}{n+1} \left(\frac{1}{3} \frac{x^3}{l^3} - \frac{l_1^2}{l^2} \frac{x}{l} + \frac{2}{3} \frac{l_1^3}{l^3} \right) \right. \\ & - \sum \frac{a_n}{n+2} \left(\frac{x^3}{l^3} - 2 \frac{l_1}{l} \frac{x}{l} + \frac{l_1^3}{l^3} \right) + \sum \frac{2a_n}{(n+1)(n+2)(n+3)} \left(\frac{l_1}{l}\right)^{n+3} \frac{x}{l} \\ & \left. - \sum \frac{2a_n}{(n+1)(n+2)(n+4)} \left(\frac{l_1}{l}\right)^{n+4} + C \frac{x}{l} \right] \quad l_1 < x < l \\ & = \frac{bl^4}{E_1 I} C \frac{x}{l} \quad 0 < x < l_1 \end{aligned}$$



第 13 圖 圖中 ① 曲線は $l_1/l=0.1$,
 ② 曲線は $l_1/l=0.2$ に相當する

$$\text{又は } v_0 = \frac{bl^4}{E_1 I} \left(a_1 B_1 + a_2 B_2 + a_3 B_3 + a_4 B_4 + a_5 B_5 + C \frac{x}{l} \right) \quad \left. \begin{array}{l} l_1 < x < l \\ 0 < x < l_1 \end{array} \right\} \dots\dots (34)$$

$$= \frac{bl^4}{E_1 I} C \frac{x}{l}$$

$B_1, B_2, \dots$ の値を第 5 表に示す.

第 5 表

$l_1/l=0.1$				
x/l	B_1	B_2	B_3	B_4
1.0	-0.124659000	-0.100055249	-0.083330937	-0.071390476
0.8	-0.087122666	-0.069411672	-0.057665977	-0.049199728
0.6	-0.051291666	-0.042759027	-0.033399976	-0.028353328
0.4	-0.021168000	-0.016522649	-0.013503895	-0.011400780
0.2	-0.002671000	-0.002055872	-0.001666693	-0.001400003
0.0	0	0	0	0

$$M_0 = -2bl^2 \left[\sum \frac{a_n}{(n+1)(n+2)} \left(\frac{x}{l} \right)^{n+2} - \sum \frac{a_n}{n+1} \left(\frac{x}{l} \right) + \sum \frac{a_n}{n+2} \right]$$

但し $a_0=0$

一例として第 14 図 (a) の如く, M なる彎曲力率が中央の柱に作用する時, 柱の幅を $2l_1$ とすれば, l_1 が l に比して小なる時

は (b) 図に示す荷重と同様に考へられ,

$p_0 = M/bl_1^2$ となる. 桁の半分の全荷重と

地盤反力とは等しきを以て

$$\frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{3} + \dots = \frac{M}{bl_1}$$

且つ荷重のみに依る

桁の撓度 $v_p = C_1 x$,

彎曲力率 $M_p = 0$ と

なる.

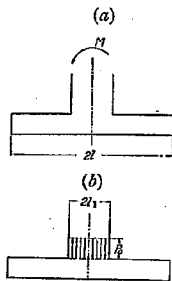
未知数を 4 個とし

$l_1/l=0.1, a=0.01$ 及

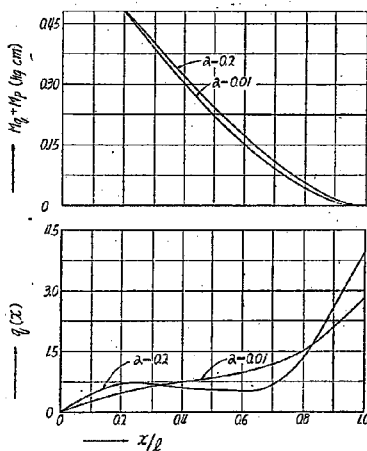
$0.2, \varepsilon=1$ の場合に

就き地盤反力及彎曲

力率を求め第 15 図に示す.



第 14 図



第 15 図

第 15 図より a の地盤反力及彎曲力率に及ぼす影響の餘り著しくないことが分る.

附表第1 $A_0, A_2, \dots$ の値
 (基礎桁; 對稱荷重)

$\alpha = 0.01$						
x/l	A_0	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	0.1298293742	0.0964937382	0.0873972819	0.0844864575	0.0787552873	0.0770484530
0.8	0.2115081094	0.1190318484	0.0931478922	0.0764874322	0.0622868333	0.0596580074
0.6	0.2230091657	0.0768144090	0.0480244515	0.0319299118	0.0214971811	0.0152295026
0.4	0.2284467228	0.0424152078	0.0216099880	0.0126815466	0.0082700078	0.0056120768
0.2	0.2311170070	0.0207081199	0.0105402458	0.0069010844	0.0051519752	0.0041336512
0.0	0.2319326116	0.0133300236	0.0083327571	0.0059997326	0.0046664929	0.0038093813
$\alpha = 0.02$						
x/l	A_0	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	0.2519330276	0.1727166766	0.1576408719	0.1467932497	0.1383672031	0.1315034248
0.8	0.4075812351	0.2240499787	0.1782153807	0.1442316754	0.1182083869	0.0978931130
0.6	0.4305712151	0.1517891509	0.0998088019	0.0685618382	0.0470289716	0.0366228738
0.4	0.4414438623	0.0914098412	0.0518928555	0.0334129905	0.0249593085	0.0247713110
0.2	0.4467837439	0.0530482304	0.0311061915	0.0220406516	0.0172293278	0.0142375117
0.0	0.4484162812	0.0399763274	0.0266620630	0.0199973374	0.0159982237	0.0133320043
$\alpha = 0.05$						
x/l	A_0	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	0.5382078709	0.3484905623	0.3148164815	0.2918093662	0.2503740044	0.2338603492
0.8	0.8361308807	0.4531654754	0.3668023800	0.3053526397	0.2351097731	0.1961523590
0.6	0.8932854789	0.3234012638	0.2246750459	0.1672897407	0.1081357996	0.0826949302
0.4	0.9205239825	0.2090291201	0.1327580187	0.0986225764	0.0578569982	0.0462397103
0.2	0.9337408532	0.1350650207	0.0911534377	0.0747124370	0.0429829193	0.0354883061
0.0	0.9378175340	0.1097064354	0.0816144895	0.0699419771	0.0399723184	0.0333125607
$\alpha = 0.1$						
x/l	A_0	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	0.9380175340	0.5563767339	0.4871398317	0.4386868588	0.4018895609	0.3724230406
0.8	1.3979670174	0.7114141575	0.5630127465	0.4573338150	0.3784317865	0.3177044801
0.6	1.5101279065	0.5266448441	0.3582379012	0.2569902095	0.1928760662	0.1505886424
0.4	1.5639672695	0.3526566688	0.2165303913	0.1490731236	0.1118590783	0.0892668301
0.2	1.5905035774	0.2378013029	0.1492651821	0.1085333951	0.0855548354	0.0707547068
0.0	1.5986254958	0.1981124608	0.1327303394	0.0996745130	0.0797744105	0.0664652224
$\alpha = 0.2$						
x/l	A_0	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	1.5986254953	0.8684126574	0.7431123861	0.6596872050	0.6041121013	0.5764676632
0.8	2.2616579578	1.0868636413	0.8551875474	0.6946165052	0.5767381115	0.4864863042
0.6	2.4719781525	0.8532899784	0.5914299858	0.4341517884	0.3336415987	0.2663156971
0.4	2.5766188690	0.6112350083	0.3907425825	0.2777919788	0.2130815316	0.1724099439
0.2	2.6287142190	0.4462483930	0.2891782058	0.2131014310	0.1690359978	0.1400243515
0.0	2.6447111146	0.3775609965	0.2601714165	0.1975187093	0.1582977323	0.1320437925

$\alpha=0.3$

x/l	A_0	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	2.1552796542	1.1044521223	0.9291478054	0.8109265538	0.7242636745	0.6497366518
0.8	2.9456766500	1.3577046867	1.0630263254	0.8625098046	0.7170494082	0.6008858219
0.6	3.2357033845	1.1070348296	0.7756880762	0.5769203791	0.4492470825	0.3574533635
0.4	3.3860634284	0.8301049834	0.5433375629	0.3934534768	0.3153717055	0.3027294541
0.2	3.4619532642	0.6363766017	0.4205571290	0.3126862989	0.2488947474	0.2023415437
0.0	3.4853679568	0.5684967238	0.3866835610	0.2921225045	0.2345080862	0.191480035

$$w_0 = \frac{1}{\pi} \frac{1 - \sigma_2^2}{E_2} l (a_0 A_0 + a_2 A_2 + a_3 A_3 + a_4 A_4 + a_5 A_5 + a_6 A_6)$$

附記 第1報の $\alpha=0.02$ の値は計算に誤りを見出したを以て本表に於ては訂正せる値を示した。

附表第2 $A_1, A_2, \dots$ の値

(基礎桁; 非対称荷重)

 $\alpha=0.01$

x/l	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	0.0999291659	0.0889672298	0.0867903412	0.0804924602	0.0789727727	0.0657832632
0.8	0.1452083383	0.1114055173	0.0904223771	0.0716715677	0.0586971752	0.0473829180
0.6	0.1158076863	0.0689601309	0.0446696999	0.0285524319	0.0191357654	0.0120510311
0.4	0.0793790512	0.0343977123	0.0168956742	0.0089125996	0.0053675372	0.0029776653
0.2	0.0402235750	0.0111750926	0.0043504590	0.0036770057	0.0012149066	0.0005628373
0.0	0	0	0	0	0	0

 $\alpha=0.02$

x/l	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	0.1723316949	0.1572652661	0.1464265884	0.1380097845	0.1311561081	0.1253924078
0.8	0.2620768146	0.2065308690	0.1655649359	0.1343526632	0.1101119181	0.0910402756
0.6	0.2103477266	0.1315419552	0.0852915085	0.0572729300	0.0398759627	0.0288256564
0.4	0.1445800840	0.0673759764	0.0348412428	0.0202346321	0.0131947754	0.0095100686
0.2	0.0733578598	0.0233178582	0.0103879982	0.0061857923	0.0044013787	0.0034175302
0.0	0	0	0	0	0	0

 $\alpha=0.05$

x/l	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	0.3406870397	0.3043668028	0.2785330461	0.2586856588	0.2426886156	0.2392651153
0.8	0.5090879815	0.3993749814	0.3201803490	0.2606723338	0.2148578837	0.1789748391
0.6	0.4160492453	0.2627949401	0.1733886717	0.1190891809	0.0850744323	0.0631651583
0.4	0.2882492092	0.1389276208	0.0751555221	0.0456953051	0.0308815813	0.0224301614
0.2	0.1467655423	0.0507814200	0.0243803442	0.0151063751	0.0109111992	0.0085801242
0.0	0	0	0	0	0	0

$a=0.1$

x/l	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	0.5476509299	0.5190298822	0.4310956961	0.3946948808	0.3658269487	0.3420067513
0.8	0.7997976671	0.6558832355	0.4998019661	0.4079618771	0.3379746791	0.2835195067
0.6	0.6666942226	0.4495120847	0.2857158196	0.2005852681	0.1467816182	0.1116321199
0.4	0.4659022578	0.2486677089	0.1313807413	0.0831238761	0.0582773617	0.0441053765
0.2	0.2382389218	0.0975353692	0.0459242753	0.0347222668	0.0219374896	0.0178352648
0.0	0	0	0	0	0	0

 $a=0.2$

x/l	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	0.8372941553	0.7142558898	0.6312049555	0.5720158034	0.5272817161	0.4864574118
0.8	1.1796711023	0.9122013917	0.7290276747	0.5960811922	0.4959740305	0.4180920600
0.6	1.0079607206	0.6516539576	0.4467869858	0.3216463531	0.2416778432	0.1885864950
0.4	0.7131217351	0.3723601595	0.2211096880	0.1466275294	0.1062752194	0.0823753745
0.2	0.3668325506	0.1520174670	0.0836726845	0.0556667520	0.0414497434	0.0322988877
0.0	0	0	0	0	0	0

 $a=0.3$

x/l	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1.0	1.0407947209	0.8738835864	0.7617333033	0.6797520606	0.6165175532	0.5690909456
0.8	1.4271950165	1.0964908202	0.8743717026	0.7150745833	0.5962241931	0.5079099827
0.6	1.2367298765	0.8061223673	0.5597048987	0.4088719277	0.3118540343	0.2492840906
0.4	0.8825227431	0.4744392811	0.2905010618	0.1978430616	0.1366368224	0.0587231883
0.2	0.4559833011	0.2006877701	0.1152760754	0.0785395768	0.0392077847	0.0484568795
0.0	0	0	0	0	0	0

$$w_0 = \frac{1}{\pi} \frac{1-\sigma_2^2}{E_2} l (a_1 A_1 + a_2 A_2 + a_3 A_3 + a_4 A_4 + a_5 A_5 + a_6 A_6)$$

附表第3 $C_1, C_2, \dots$ の値

(基礎版; 非対称荷重)

α	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
0.01	0.2119329449	0.0400020006	0.0199904042	0.0133313617	0.0099989963	0.0079992911
0.02	0.3684216136	0.0800159984	0.0399343148	0.0266535845	0.0199920198	0.0159946749
0.05	0.7379007737	0.2002498439	0.0992025460	0.0665411982	0.0498764565	0.0399171170
0.10	1.1992891802	0.4019950249	0.1950010663	0.1315850421	0.0990362496	0.0793101489
0.20	1.8499506730	0.8158431222	0.3709225478	0.2459252245	0.1928331050	0.1550259541
0.30	2.3026757664	1.2528367810	0.5227979810	0.3640420539	0.2779203322	0.2243563269

$$\left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=0} = \frac{1}{\pi} \frac{1-\sigma_2^2}{E_2} (a_1 C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3 + a_4 C_4 + a_5 C_5 + a_6 C_6)$$

附録 I 基礎地盤表面の沈下及傾斜

1. 基礎地盤の沈下

基礎地盤を semiinfinite elastic body と考へ、その表面に x に對して非對稱、 y に對しては對稱なる垂直荷重 $q(x, y)$ が作用し、水平荷重の作用なき場合の表面の沈下 w は次式の如く示さる。

$$w = -\frac{1-\sigma_2}{1-2\sigma_2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{A_1}{\sqrt{a^2+\beta^2}} \sin ax \cos \beta y da d\beta \dots\dots\dots (1)$$

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

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

(2) 式を (1) 式に代入すれば

$$w = -\frac{1-\sigma_2}{E_2} \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{q(\lambda, \mu)}{\sqrt{a^2+\beta^2}} \sin ax \cos \beta y \cos \beta \mu \sin a \lambda da d\beta d\lambda d\mu \dots\dots (3)$$

$q(x, y)$ は次の如く示さるゝを以て

$$\begin{aligned} q(x, y) &= -a_1 \left(\frac{x}{l}\right) - a_2 \left(\frac{x}{l}\right)^2 - \dots\dots\dots - a_n \left(\frac{x}{l}\right)^n & |x| < l, \quad |y| < b \\ &= 0 & |x| > l \text{ or } |y| > b \end{aligned}$$

$q(x, y)$ を (3) 式に代入すれば

$$\begin{aligned} w &= -\frac{1-\sigma_2}{E_2} \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{A}{\sqrt{a^2+\beta^2}} \sin ax \cos \beta y da d\beta \\ \text{但し} \quad A &= \int_0^l \int_0^b \left\{ a_1 \left(\frac{\lambda}{l}\right) + a_2 \left(\frac{\lambda}{l}\right)^2 + \dots\dots\dots + a_n \left(\frac{\lambda}{l}\right)^n \right\} \cos \beta \mu \sin a \lambda d\mu d\lambda \end{aligned} \dots\dots\dots (4)$$

(4) 式の A を積分する時は次の如し

$$A = \frac{\sin \beta b}{\beta} (a_1 B_1 + a_2 B_2 + \dots\dots\dots + a_n B_n)$$

但し

$$B_n = \int_0^l \left(\frac{\lambda}{l}\right)^n \sin a \lambda d\lambda \quad \text{にして } n=6 \text{ 迄の値を求めば}$$

$$B_1 = -\frac{\cos al}{a} + \frac{\sin al}{a^2 l}, \quad B_2 = -\frac{\cos al}{a} + 2 \frac{\sin al}{a^2 l} - 2 \frac{1-\cos al}{a^3 l^2}$$

$$B_3 = -\frac{\cos al}{a} + 3 \frac{\sin al}{a^2 l} - 6 \frac{1-\cos al}{a^3 l^2} + 6 \frac{al - \sin al}{a^4 l^3}$$

$$B_4 = -\frac{\cos al}{a} + 4 \frac{\sin al}{a^2 l} - 12 \frac{1-\cos al}{a^3 l^2} + 24 \frac{al - \sin al}{a^4 l^3} - 24 \frac{\cos al + \frac{a^2 l^2}{2} - 1}{a^5 l^4}$$

$$\begin{aligned} B_5 &= -\frac{\cos al}{a} + 5 \frac{\sin al}{a^2 l} - 20 \frac{1-\cos al}{a^3 l^2} + 60 \frac{al - \sin al}{a^4 l^3} - 120 \frac{\cos al + \frac{a^2 l^2}{2} - 1}{a^5 l^4} \\ &\quad + 120 \frac{\sin al - al + \frac{a^3 l^3}{6}}{a^6 l^5} \end{aligned}$$

$$B_0 = -\frac{\cos al}{a} + 6\frac{\sin al}{a^2 l^2} - 30\frac{1 - \cos al}{a^3 l^2} + 120\frac{al - \sin al}{a^4 l^3} - 360\frac{\cos al + \frac{a^2 l^2}{2} - 1}{a^5 l^4} \\ + 720\frac{\sin al - al + \frac{a^2 l^2}{6}}{a^6 l^5} - 720\frac{1 - \cos al - \frac{a^2 l^2}{2} + \frac{a^4 l^4}{24}}{a^7 l^6}$$

$B_0, B_1, \dots$ の値を (4) 式に代入する時は w は次の (5) 式に示す定積分を適宜に組み合せて (6) 式の如く示さる。

$$\left. \begin{aligned} I_0 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b \cos al}{a \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \sin ax \, da \, d\beta \\ I_1 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b \sin al}{a^2 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \sin ax \, da \, d\beta \\ I_2 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b (1 - \cos al)}{a^3 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \sin ax \, da \, d\beta \\ I_3 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b (al - \sin al)}{a^4 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \sin ax \, da \, d\beta \\ I_4 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b \left(\cos al + \frac{a^2 l^2}{2} - 1 \right)}{a^5 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \sin ax \, da \, d\beta \\ I_5 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b \left(\sin al - al + \frac{a^2 l^2}{6} \right)}{a^6 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \sin ax \, da \, d\beta \\ I_6 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b \left(1 - \cos al - \frac{a^2 l^2}{2} + \frac{a^4 l^4}{24} \right)}{a^7 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \sin ax \, da \, d\beta \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

$$w = \frac{1}{\pi} \frac{1 - \sigma_z^2}{E_2} \{ a_1 A_1 + a_2 A_2 + \dots + a_n A_n \} \dots (6)$$

但し

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{\pi}{l^2} (-I_0 + I_1), \quad A_2 = \frac{\pi}{l^3} (-l^2 I_0 + 2I_1 - 2I_2) \\ A_3 &= \frac{\pi}{l^4} (-l^3 I_0 + 3l^2 I_1 - 6I_2 + 6I_3) \\ A_4 &= \frac{\pi}{l^5} (-l^4 I_0 + 4l^3 I_1 - 12l^2 I_2 + 24I_3 - 24I_4) \\ A_5 &= \frac{\pi}{l^6} (-l^5 I_0 + 5l^4 I_1 - 20l^3 I_2 + 60l^2 I_3 - 120I_4 + 120I_5) \\ A_6 &= \frac{\pi}{l^7} (-l^6 I_0 + 6l^5 I_1 - 30l^4 I_2 + 120l^3 I_3 - 360l^2 I_4 + 720I_5 - 720I_6) \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

(5) 式に示す積分値は第 1 報に於けると全く同様に得られ、是等を (7) 式に代入すれば w の係数なる $A_1, A_2, \dots$ は次の如く示さる。

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{2} \{ -F_0(n\gamma, a, \xi) + F_1(n\gamma, a, \xi) \} \\ A_2 &= \frac{1}{2} \{ -F_0(n\gamma, a, \xi) + 2F_1(n\gamma, a, \xi) - 2F_2(n\gamma, a, \xi) + 4G_2(n\gamma, a, \xi) \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_2 &= \frac{1}{2} \{-F_0(n\gamma, a, \xi) + 3F_1(n\gamma, a, \xi) - 6F_2(n\gamma, a, \xi) + 6F_3(n\gamma, a, \xi)\} \\
 A_4 &= \frac{1}{2} \{-F_0(n\gamma, a, \xi) + 4F_1(n\gamma, a, \xi) - 12F_2(n\gamma, a, \xi) + 24F_3(n\gamma, a, \xi) \\
 &\quad - 24F_4(n\gamma, a, \xi) + 48G_4(n\gamma, a, \xi)\} \\
 A_6 &= \frac{1}{2} \{-F_0(n\gamma, a, \xi) + 5F_1(n\gamma, a, \xi) - 20F_2(n\gamma, a, \xi) + 60F_3(n\gamma, a, \xi) \\
 &\quad - 120F_4(n\gamma, a, \xi) + 120F_5(n\gamma, a, \xi)\} \\
 A_8 &= \frac{1}{2} \{-F_0(n\gamma, a, \xi) + 6F_1(n\gamma, a, \xi) - 30F_2(n\gamma, a, \xi) + 120F_3(n\gamma, a, \xi) \\
 &\quad - 360F_4(n\gamma, a, \xi) + 720F_5(n\gamma, a, \xi) - 720F_6(n\gamma, a, \xi) + 1440G_6(n\gamma, a, \xi)\}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

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

上式の $F_0(n\gamma, a, \xi)$, $F_1(n\gamma, a, \xi)$, は次式の如し.

$$\begin{aligned}
 F_0(n\gamma, a, \xi) &= f_0\{(1+n\gamma), (a+\xi)\} + f_0\{(1+n\gamma), (a-\xi)\} - f_0\{(1-n\gamma), (a+\xi)\} - f_0\{(1-n\gamma), (a-\xi)\} \\
 F_1(n\gamma, a, \xi) &= f_1\{(1+n\gamma), (a+\xi)\} + f_1\{(1+n\gamma), (a-\xi)\} - f_1\{(1-n\gamma), (a+\xi)\} - f_1\{(1-n\gamma), (a-\xi)\} \\
 F_2(n\gamma, a, \xi) &= f_2\{(1+n\gamma), (a+\xi)\} + f_2\{(1+n\gamma), (a-\xi)\} - f_2\{(1-n\gamma), (a+\xi)\} - f_2\{(1-n\gamma), (a-\xi)\} \\
 F_3(n\gamma, a, \xi) &= f_3\{(1+n\gamma), (a+\xi)\} + f_3\{(1+n\gamma), (a-\xi)\} - f_3\{(1-n\gamma), (a+\xi)\} - f_3\{(1-n\gamma), (a-\xi)\} \\
 F_4(n\gamma, a, \xi) &= f_4\{(1+n\gamma), (a+\xi)\} + f_4\{(1+n\gamma), (a-\xi)\} - f_4\{(1-n\gamma), (a+\xi)\} - f_4\{(1-n\gamma), (a-\xi)\} \\
 F_5(n\gamma, a, \xi) &= f_5\{(1+n\gamma), (a+\xi)\} + f_5\{(1+n\gamma), (a-\xi)\} - f_5\{(1-n\gamma), (a+\xi)\} - f_5\{(1-n\gamma), (a-\xi)\} \\
 F_6(n\gamma, a, \xi) &= f_6\{(1+n\gamma), (a+\xi)\} + f_6\{(1+n\gamma), (a-\xi)\} - f_6\{(1-n\gamma), (a+\xi)\} - f_6\{(1-n\gamma), (a-\xi)\} \\
 G_2(n\gamma, a, \xi) &= f_2(n\gamma, a+\xi) + f_2(n\gamma, a-\xi) \\
 G_4(n\gamma, a, \xi) &= f_4(n\gamma, a+\xi) + f_4(n\gamma, a-\xi) \\
 G_6(n\gamma, a, \xi) &= f_6(n\gamma, a+\xi) + f_6(n\gamma, a-\xi)
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

但し $f_0, f_1, \dots$ は次式の如し

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

$$\begin{aligned}
 f_0(x, y) = & \frac{x^7}{5040} \log \frac{\sqrt{x^2+y^2}+y}{\sqrt{x^2+y^2}-y} + \frac{x^6 y}{720} \log \frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x} - \frac{x^4 y^3}{144} \log \frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x} \\
 & + \frac{x^2 y^5}{320} \log \frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x} - \frac{y^7}{8064} \log \frac{\sqrt{x^2+y^2}+x}{\sqrt{x^2+y^2}-x} - \frac{223}{50400} x y (x^2+y^2)^{5/2} \\
 & + \frac{473}{30240} x y^3 (x^2+y^2)^{3/2} - \frac{169}{13440} x y^5 (x^2+y^2)^{1/2}
 \end{aligned} \tag{10}$$

桁の中央即ち $y=0$ に於ける基礎地盤の沈下は (9) 式に於て $\xi=0$ と置けるものにして、その場合の $F_0(n\gamma, a, \xi)$ は次の如く示さる。

$$\left. \begin{aligned}
 F_0(n\gamma, a, 0) &= 2\{f_0(1+n\gamma, a) - f_0(1-n\gamma, a)\} \\
 F_1(n\gamma, a, 0) &= 2\{f_1(1+n\gamma, a) - f_1(1-n\gamma, a)\} \\
 F_2(n\gamma, a, 0) &= 2\{f_2(1+n\gamma, a) - f_2(1-n\gamma, a)\} \\
 F_3(n\gamma, a, 0) &= 2\{f_3(1+n\gamma, a) - f_3(1-n\gamma, a)\} \\
 F_4(n\gamma, a, 0) &= 2\{f_4(1+n\gamma, a) - f_4(1-n\gamma, a)\} \\
 F_5(n\gamma, a, 0) &= 2\{f_5(1+n\gamma, a) - f_5(1-n\gamma, a)\} \\
 F_6(n\gamma, a, 0) &= 2\{f_6(1+n\gamma, a) - f_6(1-n\gamma, a)\} \\
 G_2(n\gamma, a, 0) &= 2f_2(n\gamma, a), \quad G_4(n\gamma, a, 0) = 2f_4(n\gamma, a) \\
 G_6(n\gamma, a, 0) &= 2f_6(n\gamma, a)
 \end{aligned} \right\} \tag{11}$$

又桁の端 $y=b$ に於ける基礎地盤の沈下 w_b は $\xi=b/y=a$ と置けるものにして $F_0(n\gamma, a, \xi)$, etc は次の如し。

$$\left. \begin{aligned}
 F_0(n\gamma, a, a) &= f_0(1+n\gamma, 2a) - f_0(1-n\gamma, 2a) \\
 F_1(n\gamma, a, a) &= f_1(1+n\gamma, 2a) - f_1(1-n\gamma, 2a) \\
 F_2(n\gamma, a, a) &= f_2(1+n\gamma, 2a) - f_2(1-n\gamma, 2a) \\
 F_3(n\gamma, a, a) &= f_3(1+n\gamma, 2a) - f_3(1-n\gamma, 2a) \\
 F_4(n\gamma, a, a) &= f_4(1+n\gamma, 2a) - f_4(1-n\gamma, 2a) \\
 F_5(n\gamma, a, a) &= f_5(1+n\gamma, 2a) - f_5(1-n\gamma, 2a) \\
 F_6(n\gamma, a, a) &= f_6(1+n\gamma, 2a) - f_6(1-n\gamma, 2a) \\
 G_2(n\gamma, a, a) &= f_2(n\gamma, 2a), \quad G_4(n\gamma, a, a) = f_4(n\gamma, 2a) \\
 G_6(n\gamma, a, a) &= f_6(n\gamma, 2a)
 \end{aligned} \right\} \tag{12}$$

(11) 式と (12) 式とより對稱なる荷重の場合と同様に $b/l=a$ なる桁の端の沈下 $(w_b)_x$ は幅が 2 倍なる桁の中央の沈下 $(w_0)_{2x}$ の半分に等し、即ち

$$(w_b)_x = \frac{1}{2}(w_0)_{2x} \tag{13}$$

2. 基礎地盤表面の傾斜

基礎地盤表面の傾斜 $\frac{\partial w}{\partial x}$ は (4) 式より次の如く示さる。

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial w}{\partial x} &= \frac{1-\sigma_z^2}{E_2} \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{Aa}{\sqrt{a^2+\beta^2}} \cos ax \cos \beta y da d\beta \\
 \text{但し} \quad A &= \frac{\sin \beta b}{\beta} (a_1 B_1 + a_2 B_2 + \dots)
 \end{aligned} \right\} \tag{14}$$

従つて (14) 式は次の積分を適當に組み合わせることにより (16) 式の如く求められる。

$$\left. \begin{aligned}
 I_0 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b \cos al}{\beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \cos ax \, da \, d\beta \\
 I_1 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b \sin al}{a \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \cos ax \, da \, d\beta \\
 I_2 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b (1 - \cos al)}{a^2 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \cos ax \, da \, d\beta \\
 I_3 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b (al - \sin al)}{a^3 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \cos ax \, da \, d\beta \\
 I_4 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b \left(\cos al + \frac{a^2 l^2}{2} - 1 \right)}{a^4 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \cos ax \, da \, d\beta \\
 I_5 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b \left(\sin al - al + \frac{a^3 l^3}{6} \right)}{a^5 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \cos ax \, da \, d\beta \\
 I_6 &= \frac{8}{\pi^2} \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{\sin \beta b \left(1 - \cos al - \frac{a^2 l^2}{2} + \frac{a^4 l^4}{24} \right)}{a^6 \beta \sqrt{a^2 + \beta^2}} \cos \beta y \cos ax \, da \, d\beta
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{1}{\pi} \frac{1 - \sigma_2^2}{E_2} (a_1 C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3 + \dots\dots\dots) \dots\dots\dots (16)$$

但し

$$\left. \begin{aligned}
 C_1 &= \frac{\pi}{l} (-I_0 + I_1), & C_2 &= \frac{\pi}{l^2} (-I_0 + 2I_1 - 2I_2) \\
 C_3 &= \frac{\pi}{l^3} (-I_0 + 3I_1 - 6I_2 + 6I_3) \\
 C_4 &= \frac{\pi}{l^4} (-I_0 + 4I_1 - 12I_2 + 24I_3 - 24I_4) \\
 C_5 &= \frac{\pi}{l^5} (-I_0 + 5I_1 - 20I_2 + 60I_3 - 120I_4 + 120I_5) \\
 C_6 &= \frac{\pi}{l^6} (-I_0 + 6I_1 - 30I_2 + 120I_3 - 360I_4 + 720I_5 - 720I_6)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

(15) 式に示す積分値を求め (17) 式に代入すれば $\frac{\partial w}{\partial x}$ の係数 C_1, C_2, etc は次の如く示さる。

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \frac{1}{2} \{ -F(n\gamma, a, \xi) + F_0(n\gamma, a, \xi) \} \\
 C_2 &= \frac{1}{2} \{ -F(n\gamma, a, \xi) + 2F_0(n\gamma, a, \xi) - 2F_1(n\gamma, a, \xi) \} \\
 C_3 &= \frac{1}{2} \{ -F(n\gamma, a, \xi) + 3F_0(n\gamma, a, \xi) - 6F_1(n\gamma, a, \xi) + 6F_2(n\gamma, a, \xi) \} \\
 C_4 &= \frac{1}{2} \{ -F(n\gamma, a, \xi) + 4F_0(n\gamma, a, \xi) - 12F_1(n\gamma, a, \xi) + 24F_2(n\gamma, a, \xi) \\
 &\quad - 24F_3(n\gamma, a, \xi) + 48G_3(n\gamma, a, \xi) \} \\
 C_5 &= \frac{1}{2} \{ -F(n\gamma, a, \xi) + 5F_0(n\gamma, a, \xi) - 20F_1(n\gamma, a, \xi) + 60F_2(n\gamma, a, \xi) \\
 &\quad - 120F_3(n\gamma, a, \xi) + 120F_4(n\gamma, a, \xi) \}
 \end{aligned}$$

$$C_6 = \frac{1}{2} \{-F(u\gamma, a, \xi) + 6F_0(u\gamma, a, \xi) - 30F_1(u\gamma, a, \xi) + 120F_2(u\gamma, a, \xi) \\ - 360F_3(u\gamma, a, \xi) + 720F_4(u\gamma, a, \xi) - 720F_5(u\gamma, a, \xi) + 1440G_6(u\gamma, a, \xi)\}$$

但し $u\gamma = x/l, \quad a = b/l, \quad \xi = y/l$

上式に於ける $F_0(u\gamma, a, \xi), F_1(u\gamma, a, \xi), F_2(u\gamma, a, \xi)$ 等は第1報の附録Iの(12)式に示すものと全く同一にして、附録Iに含まれざる $F(u\gamma, a, \xi)$ は次の如く示さる。

$$F(u\gamma, a, \xi) = f\{(1+u\gamma), (a+\xi)\} + f\{(1+u\gamma), (a-\xi)\} \\ + f\{(1-u\gamma), (a+\xi)\} + f\{(1-u\gamma), (a-\xi)\}$$

但し $f(x, y) = \log \frac{\sqrt{x^2+y^2}+y}{\sqrt{x^2+y^2}-y}$

而して我々の必要なるは $x=0$, 即ち $u\gamma=0$ なる點の値にして、その場合の $F(u\gamma, a, \xi)$ etc の値は次の如し。

$$\left. \begin{aligned} F_0(o, a, \xi) &= 2\{f_0(1, a+\xi) + f_0(1, a-\xi)\}, & F_0(o, a, \xi) &= 2\{f_0(1, a+\xi) + f_0(1, a-\xi)\} \\ F_1(o, a, \xi) &= 2\{f_1(1, a+\xi) + f_1(1, a-\xi)\}, & F_2(o, a, \xi) &= 2\{f_2(1, a+\xi) + f_2(1, a-\xi)\} \\ F_3(o, a, \xi) &= 2\{f_3(1, a+\xi) + f_3(1, a-\xi)\}, & F_4(o, a, \xi) &= 2\{f_4(1, a+\xi) + f_4(1, a-\xi)\} \\ F_5(o, a, \xi) &= 2\{f_5(1, a+\xi) + f_5(1, a-\xi)\}, & G_6(o, a, \xi) &= f_6(o, a+\xi) + f_6(o, a-\xi) \\ G_6(o, a, \xi) &= f_6(o, a+\xi) + f_6(o, a-\xi) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

(18) 式より $b/l=a$ なる桁の端の地盤表面の傾斜 $\left(\frac{\partial w_0}{\partial x}\right)_a$ は幅が2倍なる桁の中央の傾斜 $\left(\frac{\partial w_0}{\partial x}\right)_{2a}$ の半分に等しい。

$$\left(\frac{\partial w_0}{\partial x}\right)_a = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w_0}{\partial x}\right)_{2a} \dots\dots\dots (19)$$

附録 II 桁の撓度

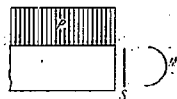
座標及附號は本文に於けるものと同一なるものを使用し、bending moment (M), shear (S) 及荷重 p の正の方向は第1圖に示す如くとり、桁の撓度 v は下方を正とする時は v, M, S 及 p の間には次式に示す關係あり。

$$\frac{d^4 v}{dx^4} = \frac{p}{E_1 I}, \quad M = E_1 I \frac{d^2 v}{dx^2}, \quad S = E_1 I \frac{d^3 v}{dx^3} \dots\dots\dots (1)$$

1. 厚さ一様なる桁が両端にて自由なる場合 (非對稱荷重の作用する場合)

桁の撓度 v_0 及地盤反力 q との間には次の關係あり

$$\frac{d^4 v_0}{dx^4} = -\frac{2bq}{E_1 I} \quad (27)$$



第 16 圖

q の代りに本文の (4) 式に示す値を代入し積分すれば、 v_q は次の如し。

$$v_q = -\frac{2bl^4}{E_1 I} \left[\frac{a_1}{2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5} \left(\frac{x}{l} \right)^5 + \frac{a_2}{3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} \left(\frac{x}{l} \right)^6 + \cdots + \frac{a_n}{(n+1)(n+2)(n+3)(n+4)} \left(\frac{x}{l} \right)^{n+4} + \cdots \right] \\ + \frac{c_1}{6} x^3 + \frac{c_2}{2} x^2 + c_3 x + c_4 \cdots \cdots (2)$$

荷重非対称にして、両端自由なるを以て (2) 式の積分常数 c_1, c_2, c_3, c_4 は次の限界条件より求めらる。

$$x=0; \quad v_q=0, \quad x=l; \quad \frac{d^2 v_q}{dx^2}=0, \quad \frac{d^3 v_q}{dx^3}=0 \cdots \cdots (3)$$

(2) 式を (3) 式に代入して c_1, c_2, c_4 を求むれば次の如し。

$$c_1 = \frac{2bl}{E_1 I} \left\{ \frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{3} + \cdots + \frac{a_n}{n+1} + \cdots \right\} \\ c_2 = -\frac{2bl^2}{E_1 I} \left\{ \frac{a_1}{3} + \frac{a_2}{4} + \cdots + \frac{a_n}{n+2} + \cdots \right\}, \quad c_4 = 0$$

是等の値を (2) 式に代入し v_q, M_q を求むれば次々の如し。

$$v_q \frac{bl^4}{E_1 I} (a_1 B_1 + a_2 B_2 + \cdots) + c_3 x$$

但し

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= -\frac{2}{2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5} \left(\frac{x}{l} \right)^5 + \frac{1}{3 \cdot 2} \left(\frac{x}{l} \right)^3 - \frac{1}{3} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \\ B_2 &= -\frac{2}{3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} \left(\frac{x}{l} \right)^6 + \frac{1}{3 \cdot 3} \left(\frac{x}{l} \right)^3 - \frac{1}{4} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \\ B_3 &= -\frac{2}{4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7} \left(\frac{x}{l} \right)^7 + \frac{1}{3 \cdot 4} \left(\frac{x}{l} \right)^3 - \frac{1}{5} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \\ B_4 &= -\frac{2}{5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8} \left(\frac{x}{l} \right)^8 + \frac{1}{3 \cdot 5} \left(\frac{x}{l} \right)^3 - \frac{1}{6} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \\ B_5 &= -\frac{2}{6 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 9} \left(\frac{x}{l} \right)^9 + \frac{1}{3 \cdot 6} \left(\frac{x}{l} \right)^3 - \frac{1}{7} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \\ B_6 &= -\frac{2}{7 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 10} \left(\frac{x}{l} \right)^{10} + \frac{1}{3 \cdot 7} \left(\frac{x}{l} \right)^3 - \frac{1}{8} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \\ M_q &= -2bl^2 \left\{ \frac{a_1}{2 \cdot 3} \left(\frac{x}{l} \right)^5 + \frac{a_2}{3 \cdot 4} \left(\frac{x}{l} \right)^4 + \frac{a_3}{4 \cdot 5} \left(\frac{x}{l} \right)^3 + \cdots \right\} \\ &+ 2bl^2 \left(\frac{a_1}{2} + \frac{a_2}{3} + \frac{a_3}{4} + \cdots \right) \left(\frac{x}{l} \right) - 2bl^2 \left(\frac{a_1}{3} + \frac{a_2}{4} + \frac{a_3}{5} + \cdots \right) \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (4)$$

2. 厚さ一樣なる桁が両端にて自由なる時

本文の第 4 図 (b) なる荷重による桁の撓度 v_p を求める。

$0 < x < l_1$ 間の撓度 v_1 , $l_1 < x < l_1 + d$ 間の撓度 v_2 , $l_1 + d < x < l$ 間の撓度 v_3

とすれば次の微分方程式が成立する。

$$\frac{d^4 v_1}{dx^4} = 0, \quad \frac{d^4 v_2}{dx^4} = \frac{2b p_0}{E_1 I}, \quad \frac{d^4 v_3}{dx^4} = 0 \cdots \cdots (5)$$

限界条件は次の如く

$$\begin{aligned}
 x=l; \quad \frac{d^3 v_1}{dx^3} &= 0, \quad \frac{d^2 v_1}{dx^2} = 0, \quad x=0; \quad \frac{dv_3}{dx} = 0 \\
 x=l_1+d; \quad v_1 &= v_2, \quad \frac{dv_1}{dx} = \frac{dv_2}{dx}, \quad \frac{d^2 v_1}{dx^2} = \frac{d^2 v_2}{dx^2}, \quad \frac{d^3 v_1}{dx^3} = \frac{d^3 v_2}{dx^3} \\
 x=l_1; \quad v_2 &= v_3, \quad \frac{dv_2}{dx} = \frac{dv_3}{dx}, \quad \frac{d^2 v_2}{dx^2} = \frac{d^2 v_3}{dx^2}, \quad \frac{d^3 v_2}{dx^3} = \frac{d^3 v_3}{dx^3}
 \end{aligned}$$

(5) 式を解きて上記の境界条件に代入し常数を決定すれば v_p は次の如く求められる。

$$\left. \begin{aligned}
 v_p &= \frac{b\rho_0 l^4}{E_1 I} \left[-\frac{1}{3} \frac{d}{l} \left(\frac{x}{l} \right)^3 + \left(\frac{l_1}{l} \frac{d}{l} + \frac{1}{2} \frac{d^2}{l^2} \right) \left(\frac{x}{l} \right) \right] + e & 0 < x < l_1 \\
 &= \frac{b\rho_0 l^4}{E_1 I} \left[\frac{1}{12} \left(\frac{x}{l} \right)^4 - \frac{1}{3} \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right) \left(\frac{x}{l} \right)^3 + \frac{1}{2} \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right) \left(\frac{x}{l} \right)^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{l_1}{l} \right) \left(\frac{x}{l} \right) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{12} \left(\frac{l_1}{l} \right)^4 \right] + e & l_1 < x < l_1 + d \\
 &= \frac{b\rho_0 l^4}{E_1 I} \left[\frac{1}{3} \left\{ \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right)^3 - \left(\frac{l_1}{l} \right)^3 \right\} \frac{x}{l} - \frac{1}{12} \left\{ \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right)^4 - \left(\frac{l_1}{l} \right)^4 \right\} \right] + e & l_1 + d < x < l
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

変曲力率 M_p は次の如し

$$\left. \begin{aligned}
 M_p &= b\rho_0 l^2 \left[\left(\frac{x}{l} \right)^2 - 2 \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right) \frac{x}{l} + \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right) \right] & l_1 < x < l_1 + d \\
 &= b\rho_0 l^2 \left[-2 \left(\frac{d}{l} \right) \left(\frac{x}{l} \right) + \left(\frac{2l_1}{l} + \frac{d}{l} \right) \left(\frac{d}{l} \right) \right] & 0 < x < l_1
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

3. 両端にて自由なる厚さ一様なる桁に第4図(c)なる荷重が作用する時

桁の撓度 v_p を求めるに

$$0 < x < l_1 \text{ 間の撓度 } v_1, \quad l_1 < x < l_1 + d \text{ 間の撓度 } v_2, \quad l_1 + d < x < l \text{ 間の撓度 } v_3$$

とすれば

$$\frac{d^4 v_1}{dx^4} = 0, \quad \frac{d^4 v_2}{dx^4} = \frac{2b\rho_0}{E_1 I}, \quad \frac{d^4 v_3}{dx^4} = 0$$

境界条件は次の如く示され

$$\begin{aligned}
 x=l; \quad \frac{d^3 v_1}{dx^3} &= 0, \quad \frac{d^2 v_1}{dx^2} = 0, \quad x=0; \quad v_3=0 \\
 x=l_1+d; \quad v_1 &= v_2, \quad \frac{dv_1}{dx} = \frac{dv_2}{dx}, \quad \frac{d^2 v_1}{dx^2} = \frac{d^2 v_2}{dx^2}, \quad \frac{d^3 v_1}{dx^3} = \frac{d^3 v_2}{dx^3} \\
 x=l_1; \quad v_2 &= v_3, \quad \frac{dv_2}{dx} = \frac{dv_3}{dx}, \quad \frac{d^2 v_2}{dx^2} = \frac{d^2 v_3}{dx^2}, \quad \frac{d^3 v_2}{dx^3} = \frac{d^3 v_3}{dx^3}
 \end{aligned}$$

是等兩式より v_p は次の如く求められる。

$$\begin{aligned}
 v_p &= \frac{b\rho_0 l^4}{E_1 I} \left[-\frac{1}{3} \frac{d}{l} \left(\frac{x}{l} \right)^3 + \left(\frac{l_1}{l} \frac{d}{l} + \frac{1}{2} \frac{d^2}{l^2} \right) \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right] + ex & 0 < x < l_1 \\
 &= \frac{b\rho_0 l^4}{E_1 I} \left[\frac{1}{12} \left(\frac{x}{l} \right)^4 - \frac{1}{3} \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right) \left(\frac{x}{l} \right)^3 + \frac{1}{2} \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right)^2 \frac{x^2}{l^2} \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{3} \left(\frac{l_1}{l} \right) \frac{x}{l} + \frac{1}{12} \left(\frac{l_1}{l} \right)^4 \right] + ex & l_1 < x < l_1 + d \\
 &= \frac{b\rho_0 l^4}{E_1 I} \left[\frac{1}{3} \left\{ \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right)^3 - \left(\frac{l_1}{l} \right)^3 \right\} \frac{x}{l} - \frac{1}{12} \left\{ \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right)^4 - \left(\frac{l_1}{l} \right)^4 \right\} \right] + ex & 0 < x < l_1
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

撓曲力率 M_p は次の如し

$$\begin{aligned}
 M_p &= b\rho_0 l^2 \left[-2 \frac{d}{l} \frac{x}{l} + \left(2 \frac{l_1}{l} \frac{d}{l} + \frac{d^2}{l^2} \right) \right] & 0 < x < l_1 \\
 &= b\rho_0 l^2 \left[\left(\frac{x}{l} \right)^2 - 2 \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right) \left(\frac{x}{l} \right) + \left(\frac{l_1}{l} + \frac{d}{l} \right)^2 \right] & l_1 < x < l_1 + d \\
 &= 0 & l_1 + d < x < l
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

原点に於ける桁の傾斜 $\left(\frac{\partial v_p}{\partial x} \right)_{x=0}$ は

$$\left(\frac{\partial v_p}{\partial x} \right)_{x=0} = e \tag{10}$$

道路舗装用アスファルトの 力學的特性に就て(其の1)

内務技師 島 田 八 郎

目 次

緒 言	(2)
I 概 説	(2)
II 静的荷重による實驗的研究	(5)
〔1〕 一般の考察	(5)
〔2〕 實驗裝置, 實驗方法並に試料	(8)
(a) 實驗裝置	(8)
(b) 實驗方法並に數式	(9)
(c) 端部影響	(12)
(d) 試 料	(14)
III 實驗結果に就て	(15)
〔1〕 一般の事項	(15)
(a) 實驗條件	(15)
(b) 試驗制荷壁に於ける滑り	(16)
〔2〕 實驗結果, 特に變形 $\sim$ 時間($0\sim t$)の關係	(16)
〔3〕 可塑性(粘性係數)の正規性	(24)
〔4〕 静的實驗による弾性率	(27)
〔5〕 可塑性(粘性係數)と温度との關係	(29)
IV 結 論	(32)
V アスファルトと水硝子の可塑性より見たる差異に就て	(34)
〔1〕 一般の考察並に試料	(34)
〔2〕 實驗方法並に結果	(34)
〔3〕 理論的考察	(36)
(a) 變形(0) $\sim$ 時間(t)の關係	(36)
(b) 歪力消失現象	(38)
(c) 可塑性範圍に於ける歪力消失現象	(40)
〔4〕 要 約	(42)
VI 動的荷重による實驗的研究(其の1)	(42)
〔1〕 概 説	(42)
〔2〕 實驗裝置	(44)
(a) 實驗方法の選擇	(44)
(b) ビェゾ水品による實驗	(45)
〔3〕 實驗結果	(47)
〔4〕 振動法による弾性特性の算定	(49)
(a) 一般論	(49)
(b) 本實驗に於ける特性	(52)
〔5〕 要 約	(56)
VII I章 $\sim$ VI章の結論	(57)

緒 言

近世の舗装工學に於けるアスファルト類の位置は其の特異な性質により頗る重要である。即ち舗装上層部にアスファルト單獨として使用され或ひは他の材料骨材との混和状態に於て使用されてゐる。斯る現狀はアスファルトの舗装材料として他の材料の有しない特性によるものである。例へば交通車輛に對する摩擦係數、衝擊減衰性、其の他彈性的諸性質に就き特異なる性質を有し、其の性質を利用せる事は明な事實である。然るに特に彈性的（力學的）性質に就て研究されたもの少く從て性質に不明な點が多い。一方舗装は直接氣溫の影響を蒙る事著しく本邦中央部に於ても路面溫度は $+30^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$ 程度の範圍に變る、斯る程度の溫度差にてもアスファルトは他の土木材料と異なり所謂可塑性より脆性範圍に變り溫度差に對する感應度が頗る高い。勿論現今舗装材料工學上針度試験、感應比、延性試験等により其の特性は種々試験研究されつゝあるも、其の實驗の困難なる爲めか、他の材料に就き行はれつゝある如き標準基本試験により彈性力學上の係數を測定したものが少い、特に所謂彈性係數に就ては研究されたものが無い、蓋し材料試験方法は目的の如何により定まるものであるから標準試験の無き事を以て必ずしも研究の不充分を云々するものでないが、少くとも路面舗装の設計に工學的方法を適用する場合頗る不便が多い。例へば車輪荷重強度は車輪種類、車輛速度等によりて異り、鐵車輪に對し 30 kg/cm^2 、ゴム車輪に對し 10 kg/cm^2 程度の荷重を及ぼすとするも、アスファルトは斯る強度の荷重に對し如何なる性狀を呈するや明かでない。殊に從來の靜荷重程度の低速度及び停止車輪による場合、車輛速度 36 km/時 即ち接觸時間 0.015 秒程度の高速度車輪による場合の兩者は自ら異り一層現象を複雑にする。以下述べる如く可及的に實驗方法を單純化し應力分布を明かにし、先づ實用上の目的を主眼とすれば溫度範圍 $+30^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$ に於けるアスファルトの特性を明かにする必要がある。本研究は斯る見地より道路舗装用アスファルトの各種力學的特性を實驗的に研究したものに於て、先づ第 I 章に於て實驗研究の範圍を吟味する。

I. 概 説

道路舗装用アスファルトの力學的特性を研究するに先づ第一如何なる荷重分布の下に各種の抵抗力を實測すべきやを考察する必要がある。從つて輪帶の路面上に於ける作用を解析闡明する必要があるも、路面が所謂彈性的狀態或は非彈性的狀態にあるやにより、殊に輪帶が回轉直線兩速度を有する時は、應力分布も種々異り其の概略と雖も簡単に記述する事は困難である。假りに一樣な應力の場合を考ふるもアスファルトの如き材料の呈する抵抗力は加ふる應力の狀況に依て著しく異なるものである。即ち歪力の大きさ、載荷速度の變化

に伴ふ歪力變化速度により或は高粘性液體の如く又は彈性體の如く變形するものである事は路面上に於て屢々經驗する所である。即ち路面上に於ける斯る兩極端の歪状態は停止せる車輪、高速度にて疾走せるゴム車輪に於て實現せるものであらう。最も一般の場合は兩者の中間に在るものである。斯く車輪の運動状態に應じ全く異なる性状を呈し殊に彈性的性状を呈する場合は車體の共鳴現象を伴ひ、殊にアスファルトの不完全彈性特性等により減衰振動を生じ力學上頗る興味ある現象を生ずる。

一方都市騒音問題等に關連せる部門に屬するもので材料の力學的特性に密接な關係を有す二三の重大な事項がある。即ち交通車輛により路面上に發生せる振動性現象は其の彈性的特性により惹起され、或る一定の速度を以て其の振動性勢力を散逸しつつ傳播し、周囲の工作物に影響を及ぼし、時に音響を伴ふ。斯る振動現象は一般に彈性係數 (E) により左右されるものである。茲に云ふ彈性係數とは單に歪應力に對する一關係といふ意味に解してをく、其の詳論は本研究により明かとなる。上述車輪による各種力學的現象及び彈性振動性勢力傳播の場合に於ても所謂内部抵抗により種々異なる個々の場合を得、材料内部抵抗は彈性的勢力を逸散せしむる特性によるもので、其の表示方法として大別し3種に分類する事が出来る。今假りに斯る内部抵抗の種類により物質を分類し i) Maxwell 物質¹⁾ ii) Voigt 物質²⁾ iii) Maxwell-Voigt 物質等と稱する。各々には應力と歪の間に特種の關係が成立つてゐる。今簡單に示すと、下記 (1), (2), (3) 式の如くなる、但し $\dot{\sigma}$: 應力, $\dot{\epsilon}$: 歪, t : 時間, β_0 , τ , η : 物質に特有な常數を示す。

$$i) \text{ Maxwell 物質}^* \quad \dot{\sigma} = \frac{1}{\beta_0} \left(\dot{\epsilon} - \frac{1}{\eta} \sigma \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$ii) \text{ Voigt 物質} \quad \dot{\sigma} = \frac{1}{\beta_0} \dot{\epsilon} + \tau \dot{\epsilon} \dots\dots\dots (2)$$

$$iii) \text{ Maxwell-Voigt 物質} \quad \dot{\sigma} = \frac{1}{\beta_0} \left(\dot{\epsilon} - \frac{1}{\eta} \sigma \right) + \tau \dot{\epsilon} \dots\dots\dots (3)$$

後章各論に於て上式の詳細に就き論するも、(1), (2), (3) 式の $\left(\frac{1}{\beta_0} \right)$, η , τ は通常の彈性係數粘性係數、固體粘性係數に相當するものである。各式の特性を述べれば、

(1) 式には一定の應力 (σ) 状態で歪 (ϵ) の無限に増大する特性がある。

(2) 式には歪 (ϵ) の應力 (σ) に直ちには伴はず後れる特性がある。

1) J.C. Maxwell: On the Dynamical Theory of Gases, Phil. Mag. 1868, 35. 133, Phil. Trans., 157, 52, 1867.

2) Voigt: Ueber innere Reibung fester Körper insbesondere der Metalle, Ann. Physik, Bd. 47, S. 671, 1892.

* 茲に云ふ Maxwell 物質, Voigt 物質は又 "elastico-viscous" "visco-elastic" と稱へらる。後者を Jeffreys は "firmo-viscous" と稱ふ。

(3) 式は (1), (2) 式の特性的共に現れる場合である。

(1) 式の極限の場合は液体であり、(2) 式は金属材料等固体に於ける振動現象に用ひられるもので通常容積粘性係数 (Voluminal solid viscosity, Normal solid viscosity) λ' 、及び定積粘性係数 (Equi voluminal, distortional solid viscosity) μ' 、を用ひ (2) 式の $(\gamma \dot{\epsilon})$ の項に對應し、 $\lambda' \frac{\partial e}{\partial t}$ 、 $\mu' \frac{\partial \phi}{\partial t}$ を用ふ、但し e ; 容積歪、 ϕ ; 定積歪を示す。(1) 式は一般に所謂 Maxwell の歪力消失現象を示すものである。

以上の 3 種の物質の力學上の特性は全く異なるものである。

一方舗装用アスファルトの路面上に於ける状況を考察するに上述分類の各異なる物質として存在する、即ち振動的現象に對しては外荷重に應じ異なるも $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ (E ; 弾性率、 ρ ; 密度) の一定値を有し自己振動を發生する場合あるも、載荷速度の減少又は應力強度増加に伴ひ斯る弾性的特性は次第に消失し、靜的荷重に於ては可塑性を顯著に示し高粘性流をなす。之れ明かに Voigt 物質より Maxwell 物質に轉化せるものである。斯くの如き状態なれば其の力學的特性を研究するには少くとも荷重の 2 變數、即ち載荷速度、強度とアスファルトの特性との關係を明かにする必要がある。

以下實用上の便宜から其の條件を 2, 3 分類する。載荷速度、方向性等により分類する事が出来る。即ち

方向性に就て $\left\{ \begin{array}{l} \text{(i) 單一方向的のもの (靜荷重によるもの)} \\ \text{(ii) 反復方向的のもの} \left\{ \begin{array}{l} A \text{ 自己振動} \\ B \text{ 強制振動} \end{array} \right. \end{array} \right.$

の 2 種を考ふに (ii) は主に週期的現象にて、又載荷速度として外力振動數を (f) とすれば供試體の寸法等により (A) 供試體が自己振動状態に入る場合、(B) 強制振動状態に入る場合とに上表の如く分類する事が出来る。

荷重の大きさに従つて變形量も荷重條件により種々異なるものでアスファルトに於ては頗る重要なものである、下記の 3 種に便宜上分類する、

變形量に就て $\left\{ \begin{array}{l} \text{(i) 共振、非共振状態に於ける音波又は類似のエネルギー傳播に對する弾性特性} \\ \text{(ii) 路面上に於ける振動等一般工學的現象の程度の變形量に對する弾性的特性} \\ \text{(iii) 靜荷重に於ける永続變形} \end{array} \right.$

以上の 3 分類によればアスファルトの路面上の特性は主として (ii), (iii) の状態に於けるものである。(i) の場合も材料學的に考察すれば頗る重要なものであるが本研究は特に(i)を省略す。

斯くの如く載荷速度及び變形量より判斷し道路舗装用アスファルトの力学的特性を明かにせん爲め問題を2分し、研究を進めた。即ち

静的荷重による研究。 動的荷重による研究

に分ち實驗的に其の性狀を検討した。後述の如くアスファルトの力学的特性を明瞭に理解する爲め、一見アスファルト類似の力学的特性を持つと考へられてゐる水硝子に就き實驗した結果をも參考として添附す。兩者は可塑性の點より類似せる如く見ゆるも或る種の材料力學上の特性(歪力消失現象等)に於て全く異なる性狀を呈するもので兩者を對比する事は頗る有意義である。

更に本研究に於ては實驗方法の意義を可及的分析考察し實驗方法が如何に試料を Voigt 物質又は Maxwell 物質として取扱ふかを吟味した。Maxwell 物質としての實驗に於ても Maxwell 歪力消失現象の測定し得る場合と否との理由をも明かにし道路舗装用アスファルトを各種の方向より考察し、其の性狀を明かにし將來の研究方向及び主要點をも吟味する事が出來た。

II. 静的荷重による實驗的研究

(1) 一般的考察

第I章に述べた如く舗装用アスファルトの静荷重状態に於ける抗力を明かにするには變形量を測定しI章 Maxwell 物質性狀式に代入し粘性係數として斯かる材料の可塑係數を求めらるゝ必要がある。斯かる材料の可塑的流れを伴ふ場合には各種形式の實驗方法が用ひられてゐる。可なり多數あるも2, 3 代表的のものを表示すれば第1表の如きものを得。

可塑性物質に對する最近の研究に就き考察するに、G. Ungar³⁾は半球形の可塑計(plastometer)を考案し、容器内の流れの状態を研究した。H. Umstätter⁴⁾も圓錐形可塑計(plastometer)を考案し且つ一般可塑的物質の粘性係數(η)を論じ溫度との關係を考察し、溫度 50°C, 35°C に於て夫々 7.05×10^3 , 2.97×10^3 (C.G.S.) を得、且つ實驗も相當嚴密に行はれたが溫度範圍大略 52°C~34°C にて道路舗装用材としては不充分である。其の他 Pochettino⁵⁾は溫度範圍を 9°C~50°C, 34°C~80°C, 80°C 以上の3階段に分ち、各範圍に

3) Georg Ungar: Plastometrische Untersuchungen an hochkonsistenten Substanzen, (I) Kolloid-Zst., 69, H. 1, 1934, s. 30. (II) Kolloid-Zst., 70, H. 3, 1935, s. 77.

4) H. Umstätter: Zustandänderung zäher Systeme VIII; die Temperaturabhängigkeit der Viskosität der Asphalte, Kolloidst Beihefte, Bd. 39, H. 5-7, 1934, s. 264. VII; Erweiterungen der Theorie auf fester Körper, Kolloid-Beihefte, Bd. 37, H. 7-9, 1932, S. 287.

IX; Viskosität und Elastizität, Kolloid-Zst., 1935, Bd. 70, H. 2, S. 174-Hinshelwood Leipziger Vorträge 1928, 52; Hückel Leipziger Vorträge 1929, 93.

5) Pochettino: Nuovo Cimento; 8, 1914, 77.

Hatschek: Die Viskosität pechartiger Körper; Viskosität der Flüssigkeit.

第 1 表

Th. Schwedoff ⁶⁾ (1889);	ゼラチン凝固物の粘性
Obermayer ⁷⁾ (1877);	パラフィン並行六角形の扭り、壓縮による粘性實驗
H. Glaser ⁸⁾ ;	樹脂〜ターペタン油混和固形物の圓筒内に於ける流れと Poiseuille 法測との關係
G. F. C. Searle ⁹⁾ ;	回轉扭り測器による高粘性物質粘性の研究
F. T. Trouton ¹⁰⁾ ;	ビッチに對する剪應状態直壓縮状態に於ける粘性係数を夫々 μ , λ とし前者の値は水平梁の懸垂變形より求め $\lambda = 9.6 \times 10^7$ (C.G.S.), $\mu = 3.2 \times 10^7$ (C.G.S.) 16°C を得、 $\mu = \frac{1}{3}\lambda$ の成立つ事を明かにす
Boris Weinberg ¹¹⁾ ;	ビッチ、パラフィン、アスファルト等は勿論鉛岩鹽等に對し種々實驗方法を吟味した、其の内アスファルト粘性係数は $(1.4 \sim 4 \sim 8.1) \times 10^{10}$ (C.G.S.) (18°~15°C) 1.2×10^8 (C.G.S.) 50°C である

於て夫々回轉圓筒法、ストーク落球法、毛細管を用ひ實驗しビッチに就き粘性係數 $\eta = 2.31 \times 10^{10}$ (C.G.S.) (90°C), $\eta = 1.19 \times 10^8$ (C.G.S.) (99.9°C) を得、彈性係數として $E = 720$ (C.G.S.) 9.8°C を得たと報告されてゐるが原著によらず詳細不明である。飯田氏¹²⁾はビッチ様物質の粘性〜彈性 (viscoelastic と原著者稱す) 的性質を實驗的に研究し一種の彈性扭り載荷器を用ひ平衡状態に至る過程より判斷し例へばビッチに就き溫度 19°C に於て $\eta = 7.57 \times 10^{11}$ (C.G.S.) 其の他剛性係數をも測定されてゐるが同論文は明かに第 I 章の材料分類によるに Voigt 物質としての取扱ひの様である。且つ溫度範圍は約 19°C~80°C である。

鋪装上靜荷重による現象は稍々趣を異にし Maxwell 物質としての性状を明かにする事を必要とするもので全く別個の意義を有すもので抵抗係數としての記號 (η) により其の意義を混同せざる事を要す。此點は各論と本研究の進むに従ひ一層明瞭となる。

更にアスファルトの可塑性の正規性 (粘性係數の物質常數にて應力状態に無關係なる事) に関し B. Manning¹³⁾ が溫度 30°C~110°C の範圍に於てタール、アスファルトの粘性係數 η を研究し、タールは正規性液體なるも、アスファルトは前者と異り構造粘性を示すと

- 6) Th. Schwedoff (1889): J. de Physique, 1889, 341 (B. Weinberg 後掲 (8)).
- 7) Obermayer: Sitzber. Wien Akad., 75, 1877, 665.
- 8) Heinrich Glaser: Ueber die innere Reibung Zäher u. plastisch-fester Körper und die Gültigkeit des Poiseuilleschen Gesetzes, Ann. d. Physik, Bd. 22, 1907, 694.
- 9) G.F.C. Searle: A Simple Viscometer for very Viscous Liquids, Proc. Camb., Phil. Soc., 16, 600, 1912.
- 10) F.T. Trouton, E.S. Andrews: On the Viscosity of pitch-like Substances., Proc. Phys. Soc. London, 19, 1903-1905.
- 11) Boris Weinberg: Some Results of experimental Studies of Substances having considerable internal Friction, Ind. J. Phys. 1, 1926-1927, 279.
- 12) 飯田敬事: Experiments on the Visco-elastic Properties of Pitch-like Materials (I), 東京帝大地震研究所彙報 13, 1, 1935, p. 198.
- 13) B. Manning: Viscosity of Pitch, Nature 30, 1933, 1009.

報告してゐる。C.U. Pittman, R.N. Traxler¹⁴⁾, は Bingham¹⁵⁾ 等の毛細管式可塑性計を用ひアスファルトに就き温度 $15^{\circ}\text{C}\sim 130^{\circ}\text{C}$ の範囲に於て實驗し $\eta=4\times 10^7\sim 9.1\times 10^2$ (C. G.S.) の値を得、且つ温度關係をも考察した。一方一般に土木材料用アスファルトの試験に用ひられてゐる針度 (P) と粘性係數と如何なる關係にあるやを明かにするには針端より試料内部に於ける應力分布を知り且つ針の運動狀態を知れば粘性係數より推測する事が出来る。R.N. Traxler, C.U. Pittman, Burns¹⁶⁾ は針度 P (100 gr 5") と前論文¹⁷⁾ の粘性係數 (η) とを比較し種々の温度の實驗結果より $\dots\eta$ (C.G.S.) $=5.13\times 10^6/P^{1.93}\dots$ なる實驗式を求めてゐるが各實驗結果には上式と相當偏差がある。針度として荷重開始よりの時間 (0~5") を採らず最後に近き時間を適當に定め採れば後章アスファルトの粘性の正規性なる事を考慮に入れば一層合理的に針度 (P) ~ 粘性係數 (η) の關係を定める事が出来る。勿論斯くすれば針度の意義が現行試験法の與へるものとは自ら異なる事明かである。

以上は各研究家のアスファルト類の可塑性に對する實驗的研究の現状である。舗装用アスファルトの可塑性に對する傾向は之を推測し得るも靜的荷重狀態に於ける路面上の工學的要素に就き欠ける所が多い、例へば温度範圍も高温度の研究あるも攝氏 10° 以下のもの無く荷重強度との關係も明かにされてゐない、且つ實驗方法に關しても深く吟味したものが無い。

依て著者は下記の如き事項に研究の主眼點をおきつゝ、アスファルトの可塑性 (粘性係數) を實驗的に研究した。

(1) 舗装用アスファルトは正規性粘性物質なるや、即ち粘性係數が應力の値に無關係な物質常數であるかを吟味する。

(2) 粘性係數~温度關係の理論及實驗的考察

(3) 本研究は温度範圍を大略路面上温度を標準として差當り攝氏 $-5^{\circ}\text{C}\sim +35^{\circ}\text{C}$ とした。

(4) 本研究の温度範圍、荷重範圍に於て採用した實驗方法が材料の Maxwell 物質としての上記粘性係數を測定せるものなるやを吟味し、更に Maxwell 歪力消失現象有無との關係、進んで若し Voigt 物質としての特性の作ふ場合との關係をも詳細に論じた。

以上の外荷重の値、載荷方法の詳細は次節に述べるも有要な上記の諸點を實驗的に明か

14) C.U. Pittman; R.N. Traxler: Rheological Properties of Asphalts. I. Effect of Temperatures, Physics, 5, 1934, PP. 221-224.

15) E.C. Bingham: On Plasticity and Fluidity, 1924.

16) R.N. Traxler, C.U. Pittman, E.B. Burns: Rheological Properties of Asphalts, II, Discussion of Penetration-Viscosity Relationships, Physics, 6, No. 2, 1935, 58.

17) R.N. Traxler, C.U. Pittman, E.B. Burns: 前掲 (16).

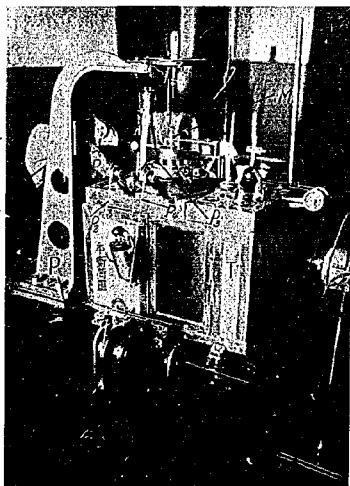
にする事が出来た。

〔2〕 実験装置、実験方法並に試料

本節に用ひる実験方法としては II 章〔1〕節の検討より判断し材料の Maxwell 物質としての粘性係数を可及的一定せる剪應力の分布の下にて実験する必要がある、又簡単な載荷法による事が望ましい、斯かる見解の下に実験装置方法を選択した。

(a) 実験装置 Maxwell 物質としての粘性を明かにする爲め略、Searle¹⁸⁾ の用ひた実験装置に準じたが懸垂法及び載荷方法として試料に純然たる扭力能率を與へる様改良した。装置の主要部は 2 個の同心圓筒を用ひ内外兩圓筒の間隙に一定の高さまで試料を装入し外部圓筒を固定し内部圓筒は弱き磷青銅のストリップにて吊される。外荷重により一定の純然たる扭力のみを内部圓筒に與へ、該圓筒の回轉角速度を測定し後述の數式に従つて必要なる粘性係數を得る。

内外兩圓筒の半径を可なり相等しくすれば兩圓筒間の試料内の應力分布を可なり一様の



寫眞第 1

ものとなし得るを以て¹⁹⁾此種の実験装置としては簡單なる且つ最も合理的のものである。

寫眞第 1 は本研究實驗装置を示すものである。T は恒温水槽にて實驗中所定溫度に 0.2°C の精度に一定に保ち 1°C の場合は水のみ使用、-5°C の場合は氷及び食鹽を使用した。其他 $P_1 \dots P_6$ の滑車等の記號は附圖に於けるものと同一である、 P_1, P_6 滑車には平衡荷重、 P_2, P_4 滑車にはスプリング秤を経て有效荷重を加ふ。第 1 圖、第 2 圖は本裝置の平面圖及び垂直斷面圖を示す。圖示の如く明かであるが簡單に記號を説明すれば、

A; 装入せる試料

C_1 ; 固定外圓筒、半径 4 cm.

C_2 ; 内部圓筒、半径 3 cm.

M; 反射鏡にて光點を 1 m 隔て置かれたる回轉ドラム上に結ばしめる。

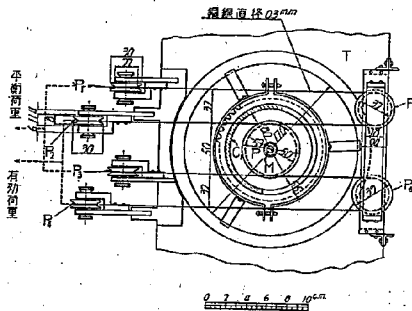
S; 磷青銅ストリップ (厚さ 5/100 mm, 幅 83/100 mm)

18) G.F.C. Searle: 前掲 (6)

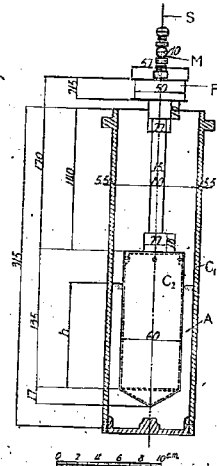
19), 20), 21) 島田八郎: 道路舗装用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究 (第 2 報) 土木試験所報告 第 29 號。

P_1 ; 直径 5 cm 圓筒にて扭力率をうける. $P_1 P_3$; $P_2 P_4$ は 2 組の滑車にて $P_1 P_3$ は平衡用荷重を傳へ, $P_2 P_4$ は有効荷重を傳へ $P_5 P_6$ 滑車を経て切線的に P 圓筒に荷重を加ふ.

h ; 内部圓筒に對する試料の深さにて第 2 圖にその位置を示す. 實驗操作は簡單にて, 今 $P_1 P_3$ に吊せる鋼線 (直径 27/100 mm) に加はる荷重を P' , $P_2 P_4$ に吊せる



第 1 圖



第 2 圖

方の荷重を P'' とすれば圓筒 P の圓周には完全な扭力率を與へ, 其の外, 力の合力は零である.

荷重による力率 $M = (P'' - P') / (M \text{ の直径} / 2) = P \times 2.5 \text{ kg. cm}$ である, 斯かる荷重の下に 1 m 隔てる光點を M にて反射し C_2 圓筒の回轉を 1 m 隔てる回轉ドラム上に結ばしめ實驗を行つた.

(b) 實驗方法竝に數式 實驗方法の操作は裝置の部に説明した如く要するに同心二圓筒間内の材料の可塑的流れを測定するものであるから粘性係數の數値に差異あるも形式的には全く著者の試みた²⁰⁾瀝青乳劑の場合と類似せるもので詳論は今省略するも内部圓筒に一定の扭力力能率 M を與へる時 C_1 , C_2 兩圓筒の壁と試料間に滑り無き時 M は試料内に分布された各種の應力と釣合ふ. 今實驗方法の意義を吟味する爲め第 I 章 (1), (2) 式より變形し (4), (5) 式を得, β_0 の代りに一般の形 β と書換ふ,

$$\text{Maxwell 物質} \quad \dot{\sigma} = \frac{1}{\beta} \left(\dot{\epsilon} - \frac{1}{\eta} \sigma \right) \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\dot{\epsilon}}{\beta} = \dot{\sigma} + \frac{1}{\tau_1} \int_0^t \dot{\sigma} dt \dots \dots \dots (4)$$

$$\dot{\sigma} = \frac{1}{\beta} \dot{\varepsilon} - \frac{1}{\tau_1} \sigma \dots \dots \dots (1)'$$

Voigt 物質 $\dot{\sigma} = \frac{1}{\beta_0} \dot{\varepsilon} + \gamma \dot{\varepsilon} \dots \dots \dots (2)$

$$\dot{\sigma} = \frac{1}{\beta} (\dot{\varepsilon} + \tau_2 \ddot{\varepsilon}) \dots \dots \dots (5)$$

但し σ, ε : 應力, 歪 $\dot{\sigma}, \dot{\varepsilon}$ 應力歪の時間微分, $1/\beta$: 弾性係数に相當するもの γ : 固體粘性係数 η ; (可塑) 粘性係数 τ_1, τ_2 ; $[t]$ のデメンションを持つものにて (6) 式の關係を有す

$$\frac{\tau_1}{\beta} = \eta, \quad \gamma = \frac{\tau_2}{\beta} \dots \dots \dots (6)$$

$1/\beta_0$ は説明の便の爲め第 I 章に於て $1/\beta$ の代りに用ひた實數係數である。以上の $\dot{\sigma}, \dot{\varepsilon}, \dots, 1/\beta \dots$ 等は一般に複素數を示すもので實數値との關係は後章振動的現象に就て説明するも本章靜的荷重の場合は總て實數と解し置くも差聞へ無く、一方 (6) 式等の各係數は全く同じ狀態に於て測定せる値なる事を要するものである事を特に附記す。 τ_1 : は Maxwell の歪力消失の時間常數, τ_2 : は振動現象に於ける減衰作用を示す常數であり、 $\tau_1 = \infty, \tau_2 = 0$ が理想的彈性體を示す。

本裝置の如きは靜荷重下にて且つ一定の扭力率 M を與へ相當長き時間測定を繼續するものであるから (4) 式の右邊第 2 項積分の上限は大となる。若し試料の τ_1 が零に近いものであれば η, β の値如何に拘らず相當時間經過すれば $\frac{1}{\tau_1} \int \dot{\sigma} dt$ の項が顯著に現れて来る。即ち

$$\dot{\varepsilon} \propto \int \dot{\sigma} dt \quad \text{又は} \quad \dot{\varepsilon} \propto \sigma$$

で示され比例常數を適當にとる事により

$$\eta \dot{\varepsilon} = \dot{\sigma}, \quad \gamma \dot{\varepsilon} = \sigma \dots \dots \dots (7)$$

となる。形式的に斯かる特別の場合は Maxwell 物質も Voigt 物質も同一となるも其の意義は非常に異なるものである。兩者の抵抗性が混同され易いのは此の理由によるものである。或る種の物質にては $\tau_2 \propto \infty$ にて有限の値を持ち且つ $\tau_1 = 0$ に近き場合がある、斯る場合本實驗にては、 $\dot{\varepsilon}$ の一定値に達するまでは、Maxwell-Voigt 物質としての特性を現してをるが $\dot{\varepsilon}$ 一定に達せし後は (7) 式の内 Maxwell 物質としての粘性係數を與へる變形のみが顯著に現れる。Maxwell 物質として、更に一つの特性は歪力消失現象を伴ふものであるが此の現象たるや $\tau_1 = 0$ なる Maxwell 物質の極限なる場合は寧ろ歪力消失速かにて明瞭に實測する事が出來ず、反つて (τ_1) の値の有限の場合には明瞭に實測する事が出來る。此の特性は該物質が更に Voigt 物質としての特性を發揮しをるや否とは全く無關係である勿論物質の兩特性の有無、程度は個々の場合異なるものである。

後節實驗部と對照する爲め (4) 式による實驗中に於ける歪力消失現象に就き簡単に述べ

んに、…… $t=0$ に於て歪を ε_0 (常数) とすれば (1) 式の解は

$$\tilde{\sigma} = \left(\frac{\varepsilon_0}{\beta_0} \right) e^{-\frac{t}{\beta_0}} \dots\dots\dots (8)$$

となる、 e 器に従ひ時間の経過中物質中に蓄積し得る應力の減少を來たすものである、斯る現象は歪増大中に於ても行れるもので且つ ε_0 として採るべき値は Maxwell 物質の定義に厳密に従へば弾性的歪に相當し複素数歪の實數部を示すが後述實驗の結果によれば (ε_0) としては可塑性部による虚數部をも含む一般複素数歪を採らねばならない事が分る。斯く相當論すべき問題あるも形式的に本實驗中には (8) の如き歪力消失現象が観測されるものである。

以上の見解により本實驗裝置方法を考察するに物質の Voigt 特性の有無に關らず Maxwell 物質としての可塑性を測定してゐる。兩性の測定に於ける現れ方は荷重狀況及び時間的相互關係によるもので更に厳密に相互の關係を明かにするには彈性波の傳播速度及び振動減衰の分散を明かにすればよい。後章に 1, 2 斯る點に就き實驗結果を基として論ず。以下靜荷重實驗に於ける數式を述べる。

試料の裝入程度、其の他種々の狀況により異なるも外荷重による扭力力率は試料抗力と (9) 式で示す如く釣合ふと假定す、(7) 式参照)

$$a\theta + K = M = PD' \dots\dots\dots (9)$$

但し、 θ : 内部圓筒に固定せる反射鏡の回轉角 (第 1, 2, 圖参照) にて扭力變形量に比例す。 K : は試料及び荷重に及び應力分布等による抗力にて θ に比例する項以外のものを示す、最も單純の場合には ($k\theta$) と置く。 M : P は有効荷重、 D' は圓筒 (P) の半徑を示すものである (1 章第 2 圖参照)。

上式を用ひ實驗結果を考察するに實驗裝置により屢述べた様に其の意義全く異なるものである、今假りに $K=k\theta$ と置けば解として

$$\theta = \frac{M}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{M}t} \right) \dots\dots\dots (10)$$

を得るも (10) 式は Voigt 物質の一つの特性を實測せるもので任意の荷重による扭力力率を與へた場合 Maxwell 物質に於て常に成立せず、故に本實驗裝置による如き場合 (10) 式は成立しない。本實驗に於ては K = 常数なる範圍にて且つ (9) 式の各項の意義は (7) 式左側のものである。

以上の如く本實驗に於ける抗力の數値の取扱ひは全く粘性流の場合と同一である。即ち粘性流の式²¹⁾を用ひ直ちに計算する事を得。

1 in (a) 隔てたるスケール上の振れ (s) より直ちに回轉角速度

$$\dot{\theta} = \frac{a\dot{\theta}}{dl} = \omega = \frac{s}{2a} \dots\dots\dots (11)$$

を得。(9)式より直ちに(12),(13),(14)式を得。

$$M - K = M' = 4\pi h' \eta \left(\frac{r_a^2 r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} \right) \omega_i \dots\dots\dots (12)$$

$$G = r \frac{\partial \omega}{\partial r} = \frac{2r_a^2 r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \frac{1}{r^2} \omega_i \dots\dots\dots (13)$$

$$G_m = \frac{\int_{r_i}^{r_a} \left(r \frac{\partial \omega}{\partial r} \right) dr}{r_a - r_i} = + \frac{2r_a r_i}{r_a - r_i^2} \omega_i \dots\dots\dots (14)$$

但し r_i , r_a : 内部圓筒外部圓筒半径 3 cm, 4 cm, r : 半径, ω_i , η : 内部圓筒回轉角速度
(11) 式, 及び Maxwell 物質範圍に於ける粘性係數, M' : 有効扭力率近似的に實驗結果
をも参照し M と等しいと置く。 G , G_m : 試料内の速度傾度及び其の平均値にて一般に,
應力 $= \eta G \dots\dots$ の關係にある。 h' : 試料有限深さにて第 2 圖に説明せる h と密接な關係
にあり其の關係は後述端部影響の項に述べる。

以上の如く形式的には簡單化せる數式。實驗操作により材料の可塑性(粘性係數)を求め
る事が出來た。常に Maxwell 物質の特性である τ_i 値の他の表現である歪力消失現象を
も考慮に入れた實驗した。歪力消失現象の測定し得ない場合と雖も Maxwell, Voigt 物
質の意義の相違を誤らない様注意した。

(c) 端部影響 上述(12)式を用ひ實驗結果を代入するに際して h' の値を明かにす
る必要がある。 h' は I 章第 2 圖の試料深さ h に端子影響の修正項を加ふべきである。
若し本實驗の荷重, 溫度範圍に於て下記(15)式にて示す事が出來れば頗る簡單である。

$$h + h'' = h' \dots\dots\dots (15)$$

h'' は修正値であるが、常數なるや否やを吟味し其の値を定める、先づ第 2 圖 h に 3 種の値

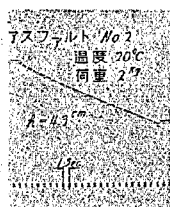
第 1 表

實驗番號	No. 1	No. 2	No. 3
h	4.3 cm	7.3 cm	9.3 cm

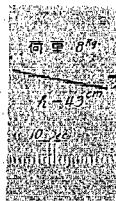
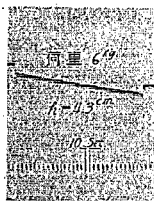
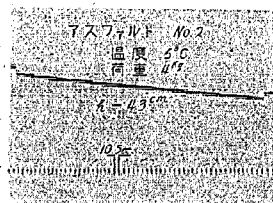
溫 度 5°C, 20°C

を與へた。第 5 圖の上部に之を示すも、表示すれ
ば第 1 表の如し。試料としてはアスファルト No.
2 を使用した(アスファルトを端部修正値の如き標
準試験に使用した理由粘性係數の正規性によるも
ので其の詳細は後節を参照されたし) 實驗方法は

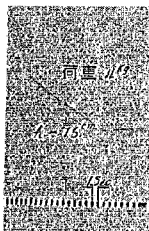
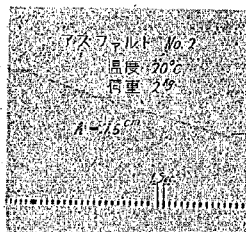
全く一般の場合と同様にて(詳しくは實驗結果の部参照) 所要の溫度 5°C, 20°C に一定時
間保ち、靜荷重(P)を加へ變形~時間(光點移動量(s)~ t , 即ち回轉角 θ ~ t) 曲線を、回
轉ドラム上に寫した。寫真第 2, 第 3 は實驗番號 No. 1, No. 2 に對する、 s ~ t 曲線で
ある。 $[a]$ は各々溫度 20°C, $[b]$ は溫度 5°C に對する結果である。靜荷重は 3, 4 種用ひ
た即ち $\dots\dots P=2; 4; 6; 8; 10$ kg $\dots\dots$ を載荷した。No. 3 實驗は後述實驗結果の部に取選
めて報告する s ~ t 曲線(θ ~ t)の形狀其他特性に關する事は後述するも今此處に單に端



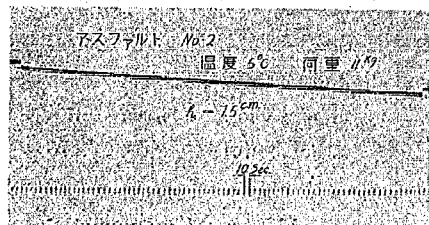
写真第 2 [a]



写真第 2 [b]



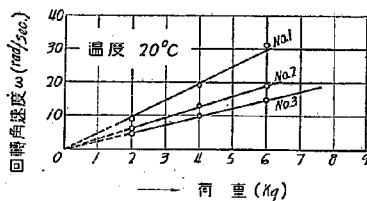
写真第 3 [a]



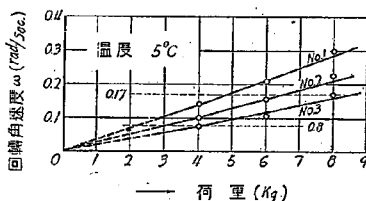
写真第 3 [b]

部影響 h'' を求める方法のみを記述す。

與へられた荷重 (P , 即ち扭力率) に対する $\theta \sim t$ 曲線より, 回轉角速度一定となりし $\omega (= \frac{d\theta}{dt})$ と P の關係を求む。



第 3 圖



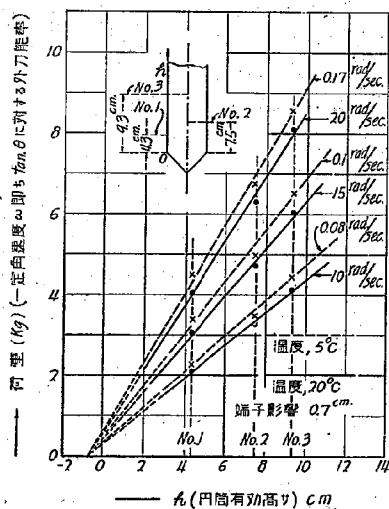
第 4 圖

第 3 圖, 第 4 圖は $\theta \sim t$ 曲線より求めた温度 20°C , 5°C に於ける ω (一定) $\sim P$ 曲線である。試料深さ異なる No. 1, No. 2, No. 3 の各実験に於て, 本実験荷重範囲に於て $\omega \sim P$ 関係が全部直線的に出てゐる事が各実験結果から判断される。粘性係数 $\sim$ 荷重関係が頗る簡単になる。端部修正値 h'' を求める爲め第 3, 第 4 圖より或る一定角速度 (ω) に對應する荷重 (P) を No. 1, No. 2, No. 3 の各場合に就き求める。例へば

温度 20°C に對し, $\omega = 20; 15; 10; \text{rad/sec}$,

温度 5°C に對し, $\omega = 0.17; 0.1; 0.08; \text{rad/sec}$.

に對應する P を求め, 第 5 圖に斯く求めた P と試料深さ (h) との關係を示す。同圖に示された實測點 $\bullet \times$ は夫々温度 20°C , 5°C に對するもので略直線上に來り各直線は原



第 5 圖

點 $\circ$ に非らざる一點に交る。交點は第 (15) 式の修正値 h'' を與へるもので本実験により $h'' = 0.7 \text{ cm}$ を得。以上の 3 種の試料深さ h の異なる実験より本研究の温度荷重範囲に於てアスファルトに就ては全く (12) 式の條件を満足する状態が成り立つ事を明かにすると同時に端部修正値 h'' を一義的に定める事が出来た。以下諸実験に於ては (15) 式の代りに (15') 式で與へられる h' を用ふ。

$$h + 0.7 \text{ cm} = h' \dots\dots\dots (15')$$

(d) 試料 本研究の試料とし現今道路舗装用材として使用されつゝあるものに就き即ち各種硬度のアスファルト 3 種, 稍、硬質のタール 1 種に就

き其の特性を調べた。アスファルトは製造者に於て針度 40; 100; 150; と稱せるものなれども本実験後測定せしに第 2 表の如き値を得た、タールは八幡製鐵所製のものにて第 3 表の如きものである。各試料は硬さ順に No. 1; No. 2; No. 3 (以上アスファルト) No. 4 ……と稱へる事とした。

第 2 表 試料アスファルト、針度表

針 度	34	68	144	>300
本 研 究 試料番號	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4

第 3 表 試料タール表

比重	軟化點	引火點	燃焼點	エングレー粘度數
1.215	25°C	133°C	148°C	80°C: 28.8, 100°C: 7.7, 120°C: 3.2,

III. 實驗結果に就て

(1) 一般的事項

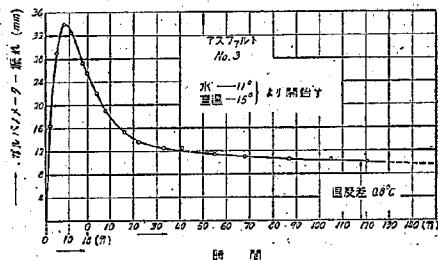
(a) 實驗條件 第 II 章 [2] 節 (d) 項の 4 種の試料に就き II 章 [2] 節の裝置、操作により實驗し、光點移動量 (s) ~ 時間關係より同轉角速度 (ω) ~ 荷重 (P) 關係を求め Maxwell 物質としての可塑性即ち粘性係數 (η) を求めたものである。實驗條件下記の如し。

溫度; $-5^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ の範圍に於て 5°C 置きに變ず

荷重; 扭力率を與ふ荷重とし有効荷重を $P=2; 4; 6; 8; \text{kg}$ と變ず

試料有効深 h ; 各實驗毎の裝入深さ h に 0.7 を加ふ ((15') 式)

アスファルトは一般に溫度に對する感應性頗る大なれば恒温水槽は特に注意し常に $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以上の精度に溫度を一定に保つ、然るにアスファルトは溫度擴散率 0.001~0.0008 (C.G.S.) 程度²²⁾なれば試料が一定の溫度に達するには可なり長時間を要す、本研究に於ては各實驗毎に銅~コンスタンタン熱電對を用ひ一端を恒温槽内に他端を試料内可及的内部圓筒に近く尖端を挿入し、ガルバノメーターの振れよりアスファルト試料内の溫度狀況を推測した。第 6 圖は其の一例を示すものである。總ての場合全く類似の傾向を示す、第 6 圖は室溫度 15°C の時、恒温水槽

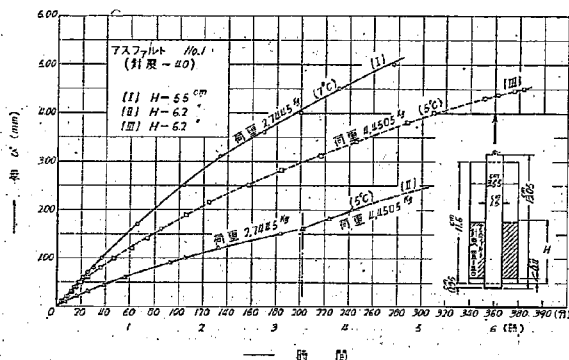


第 6 圖

22) 島田八郎; アスファルト及混和物の溫度擴散率に關する研究 (未發表)

を約 10 分を費し 11°C に下けし時一旦ガルバノメーターは温度差に應じ振れ更に内部アスファルトの温度低下するに従ひ振れの減少する有様を示す。遂に温度差零に到るべきであるが事實相当小なる温度差以下は低下するに非常なる時間を要す。通常水槽所要温度に達してより 3 時間後に実験を開始した。試料温度は恒温水槽温度と $0.8^{\circ}\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ 程度の差を有す。 0.8°C は最も悪き場合で通常 0.5°C 以下であつた。

(b) 試験圓筒壁に於ける滑り 上述 (a) 項に実験條件特に温度に關する事を述べたが、更に重要な事は同心圓間に裝入された試料の眞鍮製圓筒の壁に於ける滑りの有無である。第 II 章〔2〕節 (14) 式は滑りの無き事を假定したものであるから一應實驗的に確めを



第 7 圖

く事が望しい。今内部の見得る爲め内徑 3.65 cm、高さ 11.6 cm の硝子製圓筒を用ひ内部に直徑 1.5 cm の眞鍮製圓棒を挿入し一定の温度に保ちつゝ圓棒を引掛け變形量を調べ、特にアスファルトとの接觸部の状況を吟味した。第 7 圖は其の試験結果を示すものでアスファルトは最も硬きものを用ひ温度 5°C とし約 4 kg で引上げた。伸び～時間の關係は約 6 時間繼續實驗によるも伸び速度は漸次減少する傾向を示し本研究の場合と、異なるも今此問題に深く立入らない事とする。兎に角アスファルトと各容器壁の接觸面の間に滑りの全く無き事を確めた。

〔2〕 實驗結果、特に變形～時間 ($\delta \sim t$) の關係

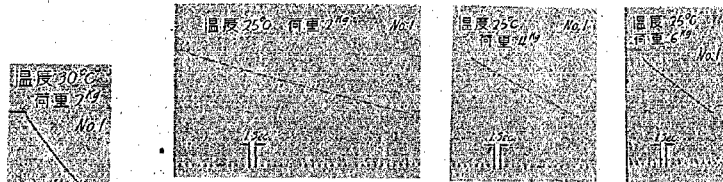
第 II 章〔2〕節に述べた如く本章〔1〕節 (a) に示せる各温度、荷重 (タールの場合のみ荷重 1 kg, 1.5 kg をも用ひた) の下に光點移動量～時間 ($\delta \sim t$) を回轉ドラム上プロマイドにとる。試料は第 II 章〔2〕節に説明せしものにて裝入深さ h は第 4 表に示す如し。

第4表 各実験に於ける
・試料深さ h

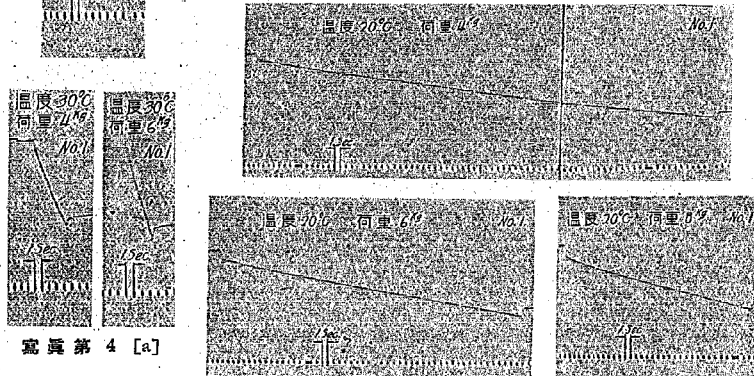
試料番 號	h (cm)
アスファルト.....	No. 1 8.6
	No. 2 9.3
	No. 3 10.0
タール.....	No. 4 10.6

但し有効高さは之に 0.7 cm を加ふ

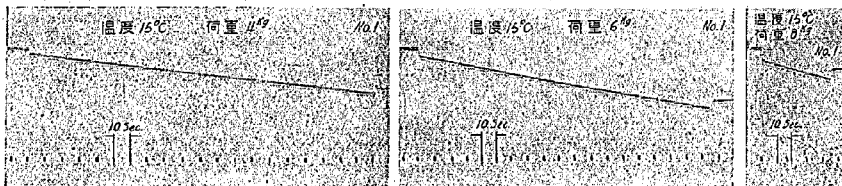
今便宜上試料番號を以て實驗番號をも兼ねしむる
 事とする。寫眞第4; 5; 6; 7; はアスファルト No. 1;
 No. 2; No. 3; タール No. 4 に對する光點移動を
 示すもので縦軸は移動量横軸は時間を示し、圖示曲
 線の無數の小目盛に刻めるは 1mm の移動に相當
 す。實驗溫度、荷重は寫眞内に記入して置いた、數
 多き故下記の様分類しをく。



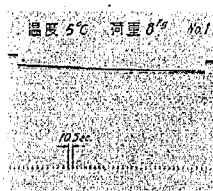
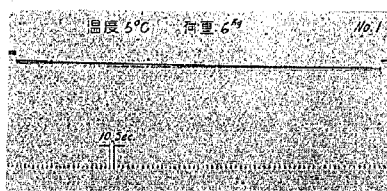
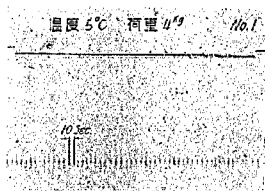
寫眞第4 [b]



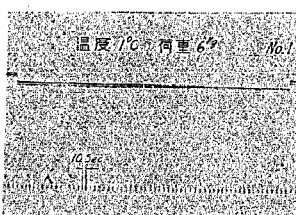
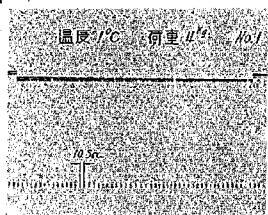
寫眞第4 [c]



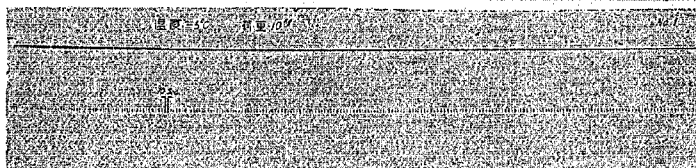
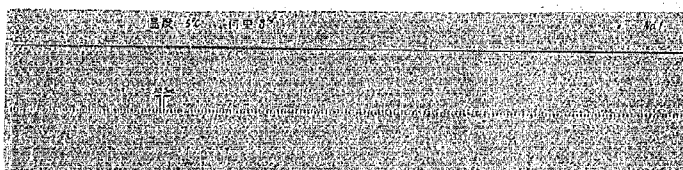
寫眞第4 [d]



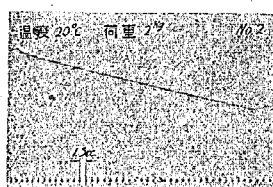
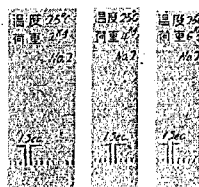
寫真第 4 [e]



寫真第 4 [f]

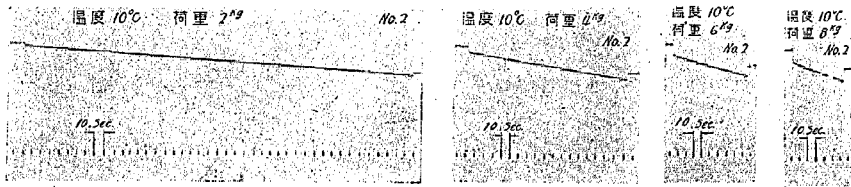


寫真第 4 [g]

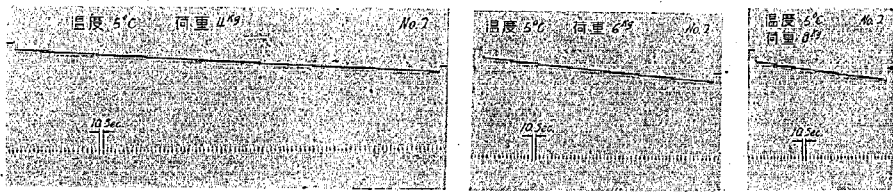


寫真第 5 [a]

寫真第 5 [b]



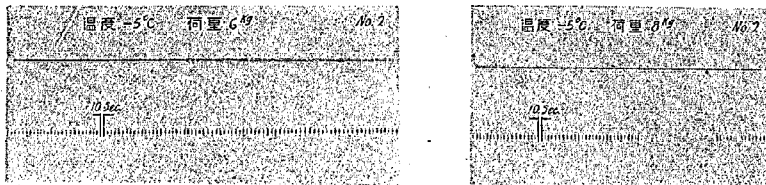
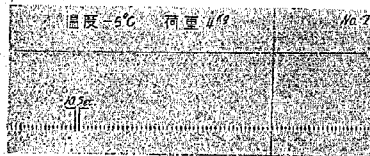
写真第 5 [c]



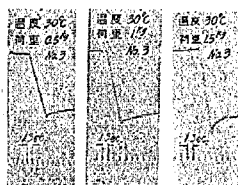
写真第 5 [d]



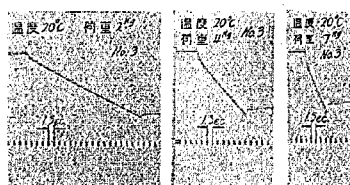
写真第 5 [e]



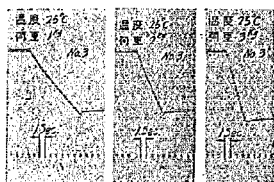
写真第 5 [f]



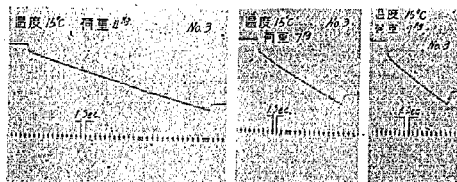
寫真第 6 [a]



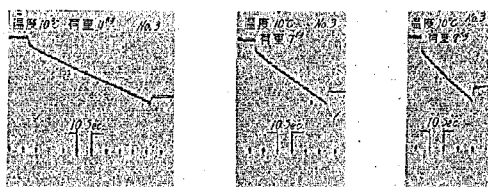
寫真第 6 [c]



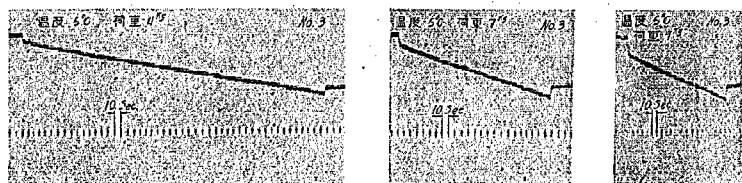
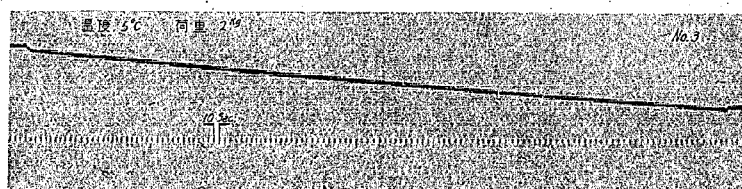
寫真第 6 [b]



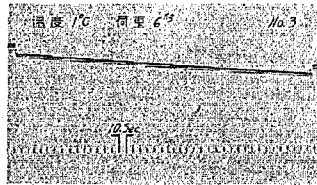
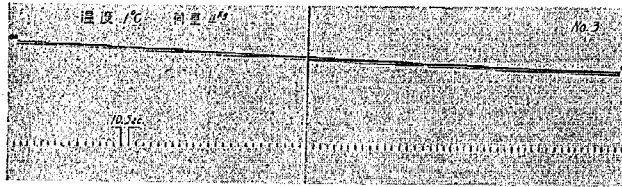
寫真第 6 [d]



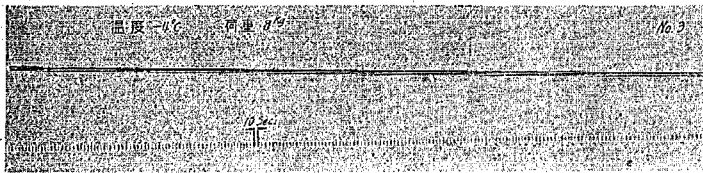
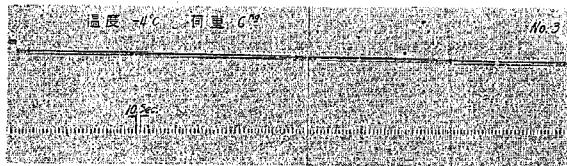
寫真第 6 [e]



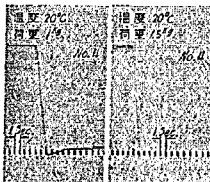
寫真第 6 [f]



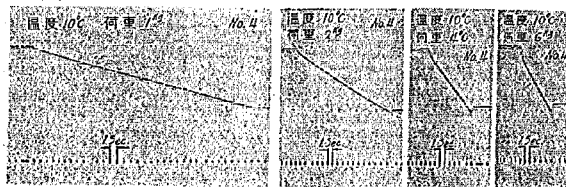
写真第 6 [g]



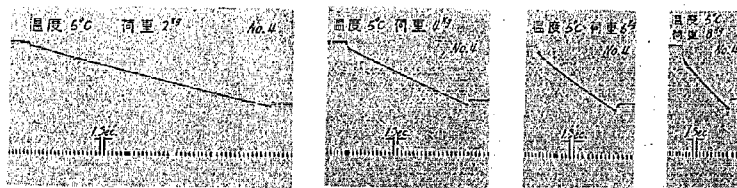
写真第 6 [h]



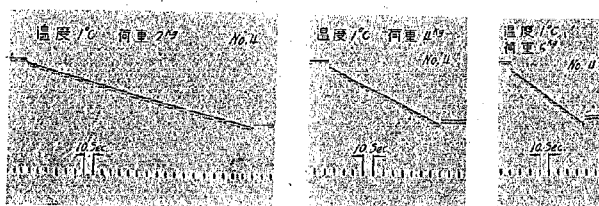
写真第 7 [a]



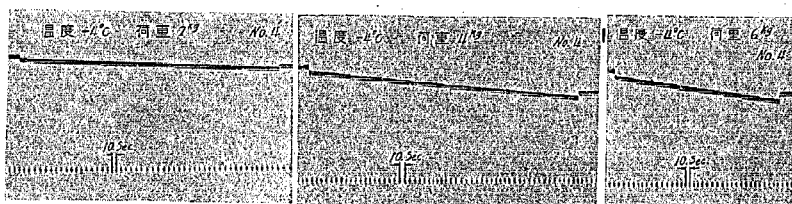
写真第 7 [b]



写真第 7 [c]

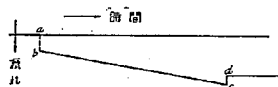


写真第 7 [d]



写真第 7 [e]

写真 [a]…[g] 等は各温度毎に取纏めた。温度及び荷重は各写真を参照されん事を希望す。以上の $\theta \sim t$ 関係は總て全く同じ傾向を示せるもので主要部分は直線と見做し得、温度荷重に拘らず第 8 圖の如き簡單な形式に従つてゐる。振れ (θ) は、写真中載荷初期極く僅少時曲線をなすもの一二あるも、大多數は時間と共に直線的に増大せるもので載荷と同時に急激に ab の振れを生ず、此部分は實驗装置に伴ふ彈性的變形と試料の有する彈性的變形*の合計を示すもので ab の振れは荷重に略比例してゐる (*後節に詳論し弾性係數をも推定する) ab に続く振れ bc 部は上述の如く直線で、變形が c 點に進みし時荷重を取去れば急激に振れは戻り cd 部を示す。 cd 部も ab 部と同じ様に大體荷重に比例してゐるが ab に比較し少い、此點

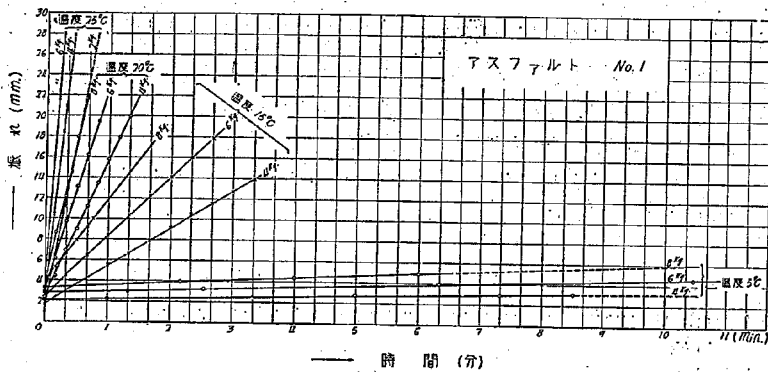


第 8 圖

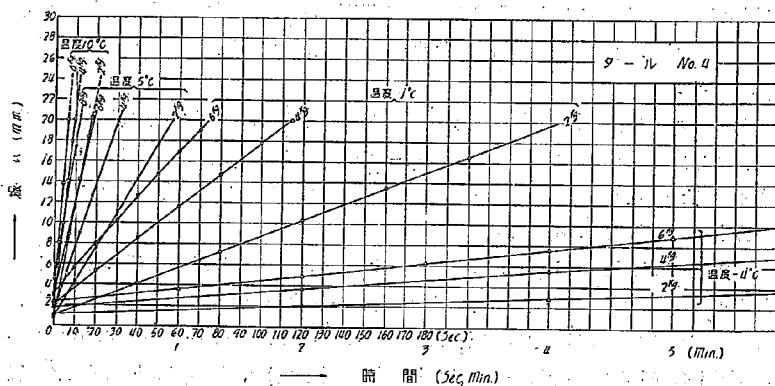
は弾性的変形の歪力消失現象に關聯せるものと推測するも其の關係を量的に明瞭にする事が出来なかつた。本節に於ては第 II 章〔2〕節及び本章〔1〕節に従ひ bc 部のみの變形を考察した。

アスファルトに於ては又荷重を繰返し加へる時其の變形に對する抗力即ち粘性係數も其の都度相當異なるもので、其の影響を可及的に除かねばならない、本實驗は毎回一旦軟化點附近まで徐々に溫度を上昇せしめ更に徐々に冷却し所要の溫度とし實驗せしもので、斯くて履歴的影響を除去する事を得た。

$\theta \sim t$ 關係は上述寫眞第 4; 5; 6; 7; より明かであるが溫度及び荷重と變形との關係を總括的に明瞭にする爲め今或る試料に對する結果の一纏めにせしものを示す。各試料に就き試みたが此處には試料中最も硬きアスファルト No. 1; 及びタール No. 4; の場合即ち寫眞第 4, 第 7 の全關係を夫々第 9 圖, 第 10 圖に示す、但し第 9 圖に於ては溫度 1°C , -5°C は變形量僅少に過ぎ 30°C は過大に過ぎ三者の變形は記入を省略した。試料 No. 4 は軟質の爲め本實驗裝置では 10°C 以上に於て實驗出來ず、第 10 圖も 10°C まで記入してある。斯くの如く常に荷重に對し處女狀態を保ちつゝ實驗すれば第 9, 10 圖に明かなる如く $\theta \sim t$ 關係は可なり溫度、荷重に對し規則的に變化してゐる事が分る。他の 2 種のものも全く同様である。以上實驗より得たる $\theta \sim t$ 關係より道路舗装用アスファルトの靜的荷重に對する力学的特性の重要なものを明かにする事が出來た、以下詳細に述べらる。



第 9 圖



第 10 圖

〔3〕可塑性(粘性係数)の正規性

本研究の實驗方法的論説更に上述〔2〕節の $\theta \sim t$ 關係を考察するに試料の Maxwell 物質としての粘性係数の研究を對照とせる事明かであるが、アスファルト類の粘性係数 (η 又は τ_1) が其の應力分布狀況により異なるか、即ち η が物質の常數であるか 應力等其の荷重による函数で示し得るかを明かにする必要がある。アスファルトの斯る構造粘性 (structure viscosity) の有無は實用上より見るも靜荷重の程度に應じ見掛上の抗力の變化の有無を示すもので頗る重要な事項である。一方理論的方面より見るも材料の本質に關連し重要な資料を呈供するものである。著者は鋪裝用瀝青乳劑に就き此種特性に關し詳論²³⁾した、アスファルト、タールに就き斯る點に關する B. Manning²⁴⁾の研究あるも詳しく原論文に接しをらず詳細不明であるが、タールは粘性正規的であるがアスファルトは反つて構造粘性を示すと述べてゐる。然るに特に粘性正規性に關し述べてゐないが、Taxler²⁵⁾、Umstätter²⁶⁾はアスファルトの實驗結果の取扱ひにその正規性を假定してゐる。斯る状態であるから總ての試料に就き詳細に吟味した。

23) 島田八郎：道路鋪裝用瀝青乳劑に關する基本的研究 (第 2 報)，(第 3 報) 土木試験所報告第 29，30 號

24) B. Manning；前掲 (13)

25) C.U. Pittman, C.N. Traxler etc.：前掲 (14)

26) H. Umstätter：前掲 (10)

先づ上記〔2〕節に得た $0 \sim t$ 関係をもととし第 8 圖の曲線中 bc 部に相當する部分より
 回轉角速度 $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ を求め、各試料各温度に於ける $\omega \sim$ 荷重 (P) 關係を求めた。

第 11 圖, [a], [b], [c], [d]……No. 1 試料

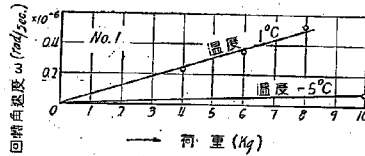
第 12 圖, [a], [b], [c]……No. 2 試料

第 13 圖, [a], [b], [c]……No. 3 試料

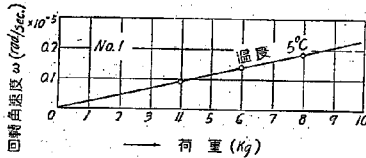
第 14 圖, [a], [b], [c]……No. 4 試料

に對する $\omega \sim P$ 關係である、各實驗の温度は圖中に記入した、實測點は○點にて示す。圖面の意味は明瞭なれば之を省略するも○點は實驗の誤差範圍に於て全部原點を通る直線上にある。

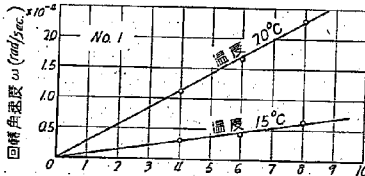
此直線關係よりして本研究範圍の温度荷重に對して $\omega \propto P$ の成立ち、從つて第



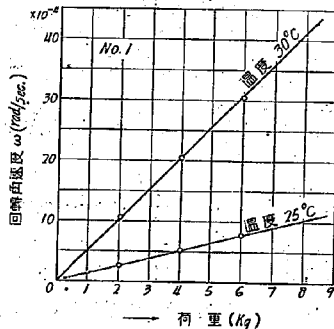
第 11 圖 [a]



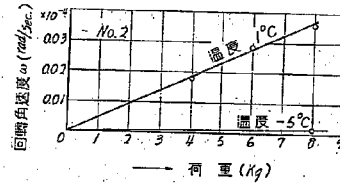
第 11 圖 [b]



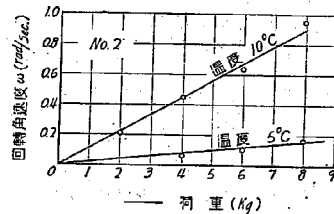
第 11 圖 [c]



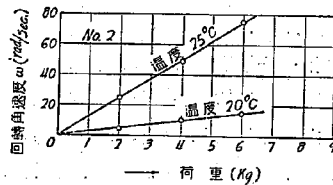
第 11 圖 [d]



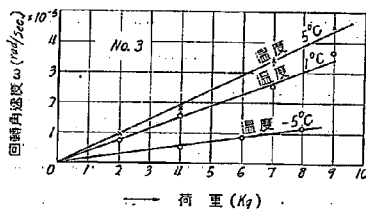
第 12 圖 [a]



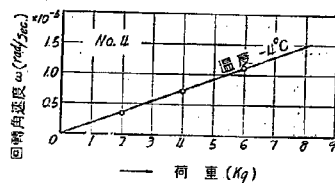
第 12 圖 [b]



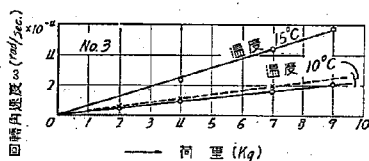
第 12 圖 [c]



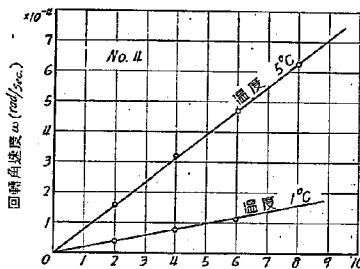
第 13 図 [a]



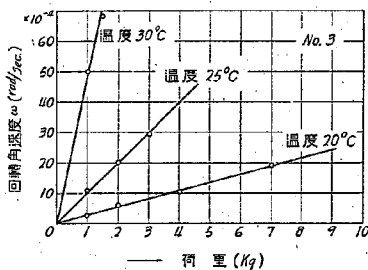
第 14 図 [a]



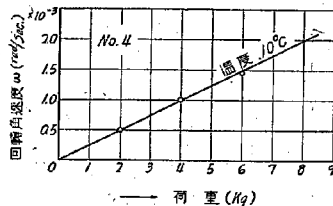
第 13 図 [b]



第 14 図 [b]



第 13 図 [c]



第 14 図 [c]

II 章 (7) 式の實數式 $\gamma\tilde{\sigma}=\tilde{\epsilon}\dots$ と比較するに (13) 式により試料内の速度傾度略一定なる爲め、アスファルトの粘性は應力に拘らず物質常數とし與へられる事が明かとなつた。即ちアスファルトは可塑性(粘性)に關しては正規性である。上記 Umstätter 等の假定と一致してゐる。

斯かる正規性が明かとなつた以上 II 章 (12) を其の儘適用し粘性係數 (η) を求め得。第 11 圖~14 圖等より一義的に求める事が出来る。(12) 式の h' , r_0 , r_1 等の値は既に第 III 章 [2] 節第 4 表, II 章 [2] 節 (a) に述べた。第 5 表は斯くして得た粘性係數 (η) 表である。 η はアスファルトにても試料により非常に異り殊に温度に對する感應度の頗る大なる事を知る。次節に温度と η との關係を詳細に研究せん。

第 5 表

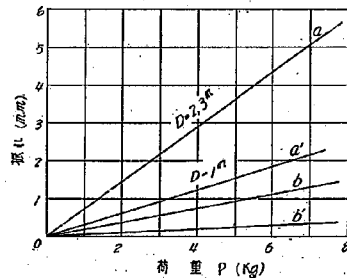
(道路舗装用アスファルト及びタール可塑性(粘性係数)一覧表 η C.G.S. dyne sec/cm²)

温度 試料 番號	-5°C	1°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
アス ファ ルト	No. 1	2.53×10^{11}	3.27×10^{10}	8.91×10^9	—	2.61×10^8	7.15×10^7	1.58×10^6
	No. 2	1.30×10^{11}	8.68×10^9	1.89×10^9	3.57×10^8	—	1.60×10^7	3.25×10^6
	No. 3	—	—	4.68×10^8	7.76×10^7	2.84×10^7	6.61×10^6	1.92×10^5
タール No. 4	9.06×10^8 (-4°C)	8.53×10^7	2.14×10^7	6.78×10^6	—	—	—	—

第1章にアスファルトの針度に関し少し述べたが、今粘性の正規性を明かにする事が出来た。兩者の比較値を求める場合實測方法の意義を考察するに便となつた。本研究開始の當初アスファルトは相當著しい構造的粘性を持つものと推測してゐたが全く豫期しない正規性を實驗荷重範圍で得た。此點は一方粘性係数の絶対値は小であるが著しい構造的性をもつ瀝青乳劑と對比する時頗る興味深く感ぜられ、實用使用者も研究者も深き注意を拂ふべきである。

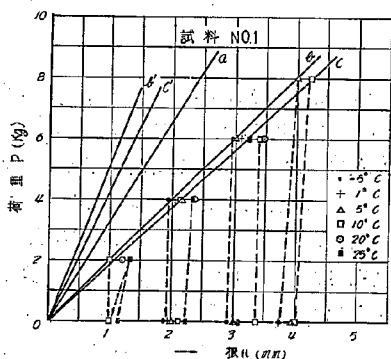
〔4〕 靜的實驗による彈性率

本章第〔2〕節第8圖の一般 $\theta \sim t$ 關係の載荷と同時に發生する振れ ab に相當する變形中より實驗裝置の彈性的變形を ab 部より引去る事を要す。本實驗は最初 $\theta \sim t$ 實驗を行ふ際に第2圖 M 反射鏡の外に内部圓筒 C_2 の上端にも他の反射鏡を取附け兩者の振れの差異を求むべきであつたが、圓筒 C_1 との空隙僅少にて測定不可能であつた。稍、正確を缺くも簡便法を用ひ圓筒 C_2 に固定せる圓棒(直徑15mm)の振れとし、該圓棒のボス部に他の一つの反射鏡(M')を著け C_2 部の一端を旋盤のチャックにて水平に固定し II 章〔2〕節に説明せし載荷方法により純然たる扭力率を加へ、2つの反射鏡(M, M')による光點の振れを夫々讀取つた。反射鏡ランプスケール距離 $D=2.33$ m である。荷重 $P, 2.72$ kg; 6.85 kg とし、振れは M, M' に對し夫々 2 mm, 5 mm 及び 0.4 mm, 1.3 mm を得た。2分載荷後完全に元に戻るから裝置の部分の彈性的變形は完全と見做し得。圓筒 C_2 の一端を固定して扭力率を加へても、裝置細長き形狀なれば僅の載荷の不正にても撓みを生ず、斯かる影響無き事を次ぎの如く明かにした。即ち反射鏡 M の固著せる端の中心に旋盤の“うしろ中心”を

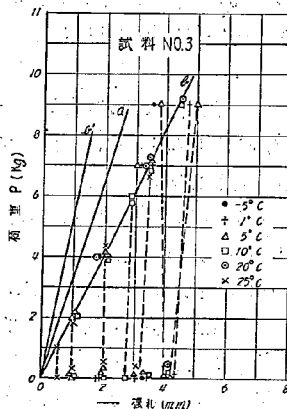


第 15 圖

常て M 位置の撓みを全く除き実験するも全く同じ振れ (θ) を得た。第 15 圖は實測點を示すもので (a), (b) は M , M' 反射鏡による振れ (θ) $\sim P$ の直線關係式で (a'), (b') は上記距離 $D=2.33$ mm を他のアスファルト實驗の場合と同一に $D=1.00$ m に對し換算せるものである。載荷及び取外しは衝撃を避け靜に試みたが手動式であつた事等に原因されてか無衝撃で行ふ事困難にて各、の實驗に於て稍、不正確であつたが寫眞第 4, 5, 6, 7 等より第 8 圖の ab , cd 部に相當するものを得た、その内試料 No. 1, No. 3 に對するものゝ結果を圖示する。第 16 圖, 第 17 圖は求めた振れ $\sim$ 荷重關係である。第 16 圖に就き説明するに、點 $\bullet$, $+$, Δ , $\square$ 等は -5°C , 25°C に於ける實驗結果の ab (第 8 圖) 振れと P 荷重の關係にて略、原點を通る眞線上に分布してゐる、唯溫度差相當あるも振れ $\sim P$ の關係が誤差の範圍程度で同一になつた事は注目すべき事で更に精度大なる實驗を試み確める事を要する問題である。更に荷重を取去る時の振れの戻りも略、荷重に比例するもので同



第 16 圖



第 17 圖

圖横軸上 ($P=0$ として) に之を示す如く最初の變形より小である。歪力消失現象と関連し頗る重要なものである。 ob , oc 直線は振れ $\sim$ 荷重の直線範圍を示す。 oa は [2] 節に述べた如く、彈性變形中測定器具の部分によるもので、第 15 圖 oa' に相當するものである、 ob' , oc' 直線は $(ob-oa)$ ($oc-oa$) を示すもので該直線の傾きを以て彈性係数を推測する事が出来る。第 17 圖は全く同様の關係を試料 No. 3 に就き示せるものである。第 16, 17 圖より彈性係数を求める時の比例常數は (12) 式を用ひ、回轉角速度 (ω) の代りに扭り角歪を粘性係數 η の代りに剛性率 (N) を用ふ、試料深さ h' 其の他に關しては全く同様に考ふ。Poisson 比 (σ) は測定せざりしも $=0.45$ 位と假定しヤング彈性率 (E) をも $E=$

2(1+ σ) N にて求めをく、第 6 表は斯くして求めたものゝ表である。

アスファルトは後に述べるが II 章〔2〕節 (b) に述べた Maxwell 物質としての歪力消失時間常数 τ_1 略々零に近く、Voigt 物質としての静的実験より静的荷重による弾性係数を、實測する事は出来ない。此點は石炭、水硝子等の静的実験と大いに異なるものである。

上述の如く求めた弾性係数は後節動的荷重による実験結果と比較對照すべきである。通常アスファルトは簡単に弾性なく可塑物質であると稱して居るのは、弾性無き事を意味せず時間常数 τ_1 の非常に小なる事を示すものである。

〔5〕 可塑性 (粘性係数) と温度との關係

著者²⁷⁾は瀝青乳劑粘性係数の研究に於て、物質の粘性係数と温度との關係に就き詳細に其の基本的特性を明かにした。其の際粘性係数 η と温度との關係式に 2 つの代表的のものを得た、

$$\eta = B e^{a/T} \quad \eta = B T e^{a/T}$$

前者は液體的組織を、後者は固體的組織を有する場合の關係式である。理論的考察實驗的結果に就き論じた。本研究のアスファルト、タール類に關する温度に關する研究は第 II 章〔1〕節に述べた各種研究に斷片的に述べられてゐるが温度範圍が攝氏 30°C 以上のものにて、其の内比較的組織的研究である、Umstätter,²⁸⁾ Pittman & Traxler²⁹⁾ の研究も斯かる温度範圍である、且つ粘性係数 η と温度關係式も Rechatelier³⁰⁾ 又は A. N. Andrade³¹⁾ 式類似のものが多い。今其の詳細は省略するも第 5 表の如き相當廣範圍に變る粘性係数と温度との關係を明かにする事は理論上、實用上必要である。

道路舗装用アスファルトは實驗温度範圍に於ても第 5 表の如く η (C. G. S. poise) は $2.53 \times 10^{11} \sim 3.69 \times 15^5$ の範圍に變つてゐる、單一式で粘性係数~温度關係を示す事は頗る困難のことと思ふも以下述べる如く温度との關係を考察し二三重要な結果を得た。

第 5 表より粘性係数 η の對數 $\log \eta$ に絕對温度 ($t + 273^\circ = T$) との關係を求めらる爲め

第 6 表 道路舗装用アスファルトの静的弾性係数
(温度 $-5^\circ \sim 25^\circ \text{C}$)

試料	係数 N ; dyne/cm ²	E ; dyne/cm ²
No. 1	1.08×10^7	3.11×10^7
No. 3	1.01×10^7	2.90×10^7

27) 島田八郎：道路舗装用瀝青乳劑に關する基本的研究 (第 3 報) 土木試験所報告第 31 號

28) H. Umstätter：前掲 (10)。

29) C. U. Pittman, C. N. Traxler etc. 前掲 (14)。

30) H. Le Chatelier：Sur la Viscosité du Vêre. Compt. rendus, 179, 1517, 1924。

31) E. N. Da C. Andrade：A Theory of the Viscosity of Liquids, Part I. Phil. Mag., vol. 17, No. 112, 497, 1934, Part II, Vol. 17, No. 113, 698, 1934。

第7; 8; 9; 10 表を得. 各表は試料 No. 1; No. 2; No. 3; No. 4; に對するもので, $\log \eta$, $(\log \eta - \log T)$ が表示してある.

第7表 (アスファルト粘性係数 η ~ 温度表) No. 1

t	T	$1/T$	$\log T$	$\log \eta$	$\log \eta - \log T$
-5°	268°	3.73×10^{-3}	2.428	11.4099	8.981
1°	274°	3.65×10^{-3}	2.437	10.5145	8.077
5°	278°	3.59×10^{-3}	2.444	9.9498	7.5058
10°	288°	3.47×10^{-3}	2.459	8.4166	5.9576
20°	293°	3.41×10^{-3}	2.467	7.8540	5.387
25°	298°	3.35×10^{-3}	2.474	7.1972	4.723
30°	303°	3.30×10^{-3}	2.481	6.5969	4.1159

第8表 (同上) No. 2.

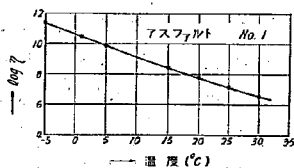
t	$\log \eta$	$\log \eta - \log T$
-5°	11.114	8.686
1°	9.94	7.500
5°	9.28	6.832
10°	8.55	6.10
20°	7.20	4.74
25°	6.51	4.04

第9表 (同上) No. 3.

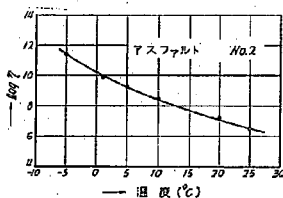
t	$\log \eta$	$\log \eta - \log T$
5°	8.67	6.13
10°	7.89	5.46
15°	7.45	4.99
20°	6.81	4.35
25°	6.28	3.809
30°	5.56	3.086

第10表 (タール粘性係数 η ~ 温度表) No. 4

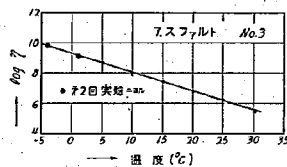
t	$\log \eta$	$\log \eta - \log T$	$\log \log \eta$	$\log(\log \eta - \log T)$
-4°	8.95727	6.52757	0.95192	0.81371
1°	7.9311	5.4934	0.89933	0.73981
5°	7.3298	4.8858	0.86320	0.68886
10°	6.8318	4.3798	0.83448	0.64137



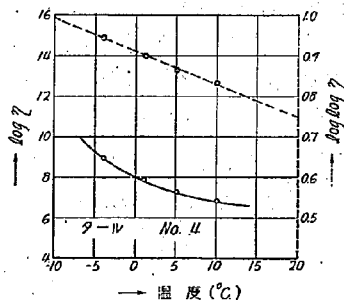
第18圖



第19圖



第20圖



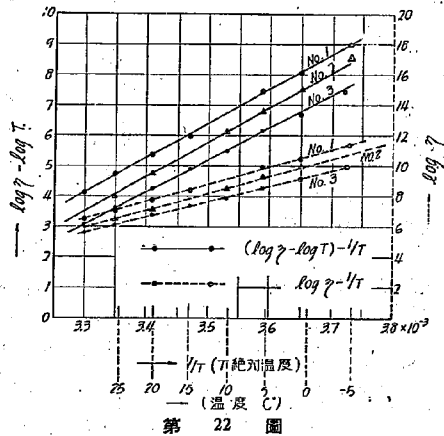
第21圖

先づ第 7~10 表より $\log \eta \sim$ 温度 (t) の関係を求める。第 18; 19; 20; 21 圖は試料 No. 1; No. 2; No. 3; No. 4; に対する $\log \eta \sim t$ 関係を示す全部平滑な曲線上にあり且つ略、直線に近きも上方に稍、凹である。特に No. 4 タールに対するものは彎曲大である。

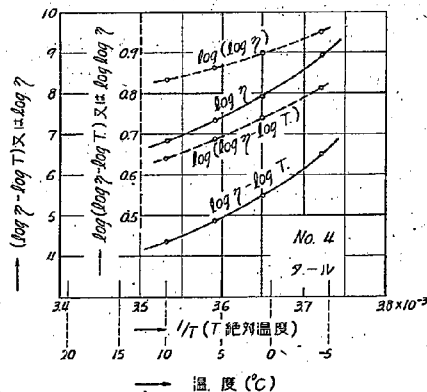
$\log \eta \sim t$ 関係より兩者に下記の関係が成立つ様である。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{アスファルト;} & \log \eta = A - Bt. \\ \text{タール;} & \log \log \eta = A - Bt. \end{array} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

タールに対しては第 21 圖點線部より明かなる如く $\log \log \eta$ が t (温度) と直線的関係にある如く見ゆ。(17) 式の如く表示するも元來 $\log \eta \sim t$ 関係は上方凹形の傾向を示してゐるから更に進んで適切な形式を考察してみる。瀝青乳劑の場合と全く同様に絶対温度 (T) との関係を求めてみる。上述の第 7 表~10 表より $\log \eta \sim 1/T$ 関係, $(\log \eta - \log T) \sim 1/T$ 関係を求む。第 22 圖, 第 23 圖は, アスファルト, タールに対する上記の関係を示すものである。第 22 圖を見るに實驗結果はアスファルト 3 種に於て $\log \eta \sim 1/T$, $(\log \eta - \log T) \sim 1/T$ 共に直線の上にある。即ち實驗結果は少くとも 2 種の形式で示し得, 2 式の優劣を定める事は出来ないが, 本章 [3] 節にアスファルトの粘性係数の正規性を明かにした。一方瀝青乳劑に於ける研究による速度傾度無関係粘性係数 η_{∞} , エングラー粘性係数 η_E が夫々 e^{At} , $T e^{At}$ にて示される



第 22 圖



第 23 圖

事を知つた³²⁾兩者を比較するに、アスファルトの粘性係数は本実験範囲で $10^{11} \sim 10^2$ の程度であり、乳剤の η_0 は同温度範囲で $1 \sim 0.1$ 程度であり、絶対値は兩者差異頗る大であるが、アスファルトの力學的特性は特に粘性の正規性に關して、乳剤の η_0 と全く同一であるから、アスファルト可塑性 (粘性係数) も Be^{At} , BTe^{At} の内前者をとる方妥當である。

$$\eta = Be^{At} \dots \dots \dots (18)$$

今 (18) 式にて示し得るものとして、第 22 圖より (18) 式の常數 A , B を各試料に就き計算す、第 11 表に之を示す。 $\eta = BTe^{At}$ も第 22 圖に示す様形式的には正しきも上述の

第 11 表 (アスファルト
粘性係数) $\eta = Be^{At}$

試料	常數 B	A
No. 1	1.018×10^{-32}	1.137×10^4
No. 2	2.703×10^{-31}	1.11×10^4
No. 3	6.494×10^{-28}	1.01×10^4

如く (18) 式で之を示す事とする。タールに就ては種々 $\eta \sim t$ の關係を闡明せんと試みたが (18) 式の様な式では示す事出来ない。常數 A が温度の函數で、温度の上昇に伴ひ η は (18) 式に示すより減少度が少い。斯くタールが (18) 式に従はないのはアスファルトと其の組織の異なる爲めである元來 (18) 式は分子格子の機構を簡単に假定せるものであるが著者は電媒恒數の實驗³³⁾

を行つた時 アスファルトに比しタールは電媒恒數大 (アスファルト、タール電媒恒數夫、= 2.0; 2.9) にて分子變極能率が大であつた。斯かる分子の活力 (activity) の爲め温度により相互關係が影響を受け従つて、粘性の温度による關係がアスファルトに於ける場合よりタールの場合感應性が大で A に其の傾向が表れてゐると考へ得。實驗式としては (17) 式

$$\log \log \eta = A - Bt \dots \dots \dots (17)$$

が最も適してゐる様である。

以上の如く道路鋪装用アスファルト、タールは履歴により非常に影響を蒙り且つ温度による感應度も頗る大であるが可塑性 (粘性係数) と温度との關係を明かにする事が出来た。

IV. 結 論

以上第 I 章より、第 III 章の研究より道路鋪装用アスファルト等の力學的特性の研究に於ける基本的性狀を明かにし、材料力學上の特性としての Maxwell 物質、Voigt 物質の意義と實驗觀測値との關係を明かにし、靜的荷重動的荷重實驗の區別、必要性を詳細に論じ特に靜的荷重狀態の研究を行ひ、靜荷重に對する性狀より見たるアスファルト類の力學的特性を明かにする事が出来た。以下二三重要な結果を列擧すれば下記の如し、

32) 島田八郎：道路鋪装用瀝青乳剤に關する基本的研究 (第 3 報)。

33) 島田八郎：タール乳剤に關する研究 (第 2 報)

- (1) 道路舗装用アスファルト 類の荷重に対する抗力を分析し実験方法により測定される 2 種の特性に就き考察し、即ち Maxwell 物質及 Voigt 物質としての抗力を別個に求める必要ある事を明かにす。
- (2) 舗装用材料として上記特性中前者の力学的特性を明かにする爲め静荷重実験を行ふ。
- (3) 各種静荷重実験装置の意義を吟味し舗装上に於ける静荷重の性状に等しき条件を與ふ (Maxwell 物質としての) 本実験装置の意義を明かにした。
- (4) 本研究は總て恒温の下に扭力力率に対する粘性抗力を求む。
- (5) 静荷重下に於ける可塑 (粘性係数) 性を、温度範囲 $-5^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ に於て、硬中軟質 3 種のアスファルト、タールに付き測定し、粘性係数として大略 $10^{11} \sim 10^6$ (C.G.S. poise) の値を得。載荷扭力率は 3, 4 種變じた。
- (6) 實驗温度、扭力力率範圍に於て、アスファルト、タール共に粘性に就き完全なる正規性を示し、少しも異常性を示さず。
- (7) Maxwell 物質としての可塑性 (η) は求め得たが Maxwell 歪力消失現象 (Relaxation) は少しも認められず、時間常數 $\tau_1=0$ と推論される。
- (8) 静的本實驗に於ては Voigt 物質としての固體粘性に基因する現象は現れない。
- (9) アスファルト針度 P のものに對し下記の如き粘性係數 $\eta_{25^{\circ}\text{C}}$ (C.G.S. poise), 25°C , を得。

P	34°	68°	144°	>300 (タール)
$\eta_{25^{\circ}\text{C}}$	1.58×10^7	3.25×10^6	1.92×10^6	

- (10) 變形～時間の關係の彈性的變形部よりアスファルトの静的荷重扭力力率により剛性係數 N ; (ポアソン比を假定し) ヤング彈性率を得。

試料針度 P	34°	144°
剛性率 N ; dynes/cm ²	1.08×10^7	3.11×10^7
ヤング彈性率 E ; dynes/cm ²	1.01×10^7	2.9×10^7

- (11) 可塑性 (粘性係数) η と温度 ($t^{\circ}\text{C}$) との關係を考察し、アスファルトに於ては形式的には $\eta = Be^{At}$ 又は $\eta = TB e^{At}$ にて示し得る事を明かにし一方力學的粘性正規性を考慮に入れ $\eta = Be^{At}$ を探る。($T = t + 273$) タールに於ては温度に対する感應度アスファルトより大にて上式 A は温度の函數となるも形式的には、 $\log \log \eta = A - Bt$... 式にて示し得る事を明かにす。

以上の如く舗装用アスファルトに静的扭力力率を加へた場合に於ける最も主要なる可塑的特性を、繰返し荷重材料疲勞の現象を除き、實用上必要な温度荷重範圍に於て明にした。

且つ静荷重に對する弾性的特性をも明かにし、静的荷重に對するアスファルトの性状を材料力學的に論ずる事が出來た。

更に鋪裝材として明かにすべきは第 I 章に述べし如く動荷重下に於ける性状特に自己振動狀態に於ける抗力弾性的特性である。斯かる場合 I 章, II 章〔1〕に述べし如く Voigt 物質としての固體粘性を呈するは勿論時間的關係により上述研究せし可塑性粘性をも伴ふものである。斯かる振動狀態に關するものは章を更めて論ず。

以上の外第 I 章に述べた理由により續章として水硝子に關する實驗結果をも併せて報告する。静荷重に就きアスファルトの性状と比較し、頗る重要な結果を與ふ。

V. アスファルトと水硝子の可塑性より見たる差異に就て

〔1〕 一般的考察竝に試料

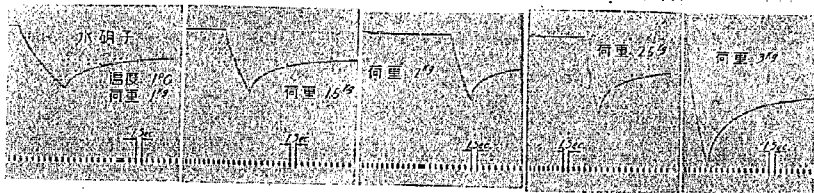
最初第 II 章 アスファルトの實驗に際し II 章〔2〕節 (c) の試料裝入に於ける端部影響 (H') を定める時即ち測定器のカリブレーションの際アスファルトの粘性正規性不明なれば同じ程度の高粘性物として水硝子を選択し標準物質として使用せんとした。最初 M. P. Volarovich, D. M. Tolstoi³⁴⁾ の K_2SiO_3 , Na_2SiO_3 等の粘性 (但し温度は高いが) の正規性なる報告により之を用いた。特に純粹の物を使用せず、市販の珪酸ソーダを使用した。純粹なるものは分子式 $Na_2O \cdot 3SiO_2$ であるが本實驗使用のものは比重; $25^\circ 1.707$ 水分 44.32% 珪酸 37.04% アルカリ其の他 18.64% (西川技師測定) の程度にて相當不純物を混入してゐる。斯かる爲めか實驗結果は豫期と全く相反しアスファルトの場合とは全く異なる力學的特性を示した。例へば (1) 見掛上構造粘性の如き現象が著しく現れた、(2) Maxwell 物質の一つの特性である歪力消失現象が著しく明瞭に現れ (8) 式 $\sigma = -\frac{\tau_0}{\beta_0} e^{-\beta_0 t}$ に於ける歪力消失常数 (τ_1) を求める事が出來た……詳細は以下節に分ち論ずるも斯くの如く顯著なる特性を示した、本報告のアスファルトの力學的特性とは一見關係なく考へられるも兩者の特性の差異は互に理解を助けアスファルトの静的荷重下の性状を知る上に必要である、且つ土木材料の一部として使用されつゝある現狀なれば取極めて報告す。

〔2〕 實驗方法竝に結果

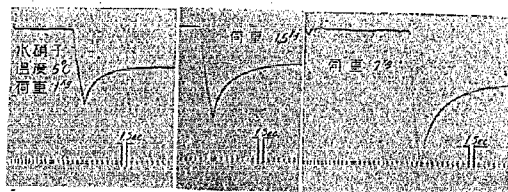
本實驗方法は全く第 II 章〔2〕節と同様である、試料は第 25 圖に示す如く試料深さ $h=7.0$ cm まで入れ、温度は $1^\circ C$, $5^\circ C$, $10^\circ C$ の 3 種とし、第 1 圖, 2 圖の圓筒 (P) に對する扭力率用荷重とし、 $P=1; 1.5; 2; 4$ kg …の 3 種を加ふ。寫眞第 8; 9; 10 は各温

34) M. P. Volarovich, D. M. Tolstoi: The Viscosity of the Binary Systems, $Na_2B_4O_7 - B_2O_3$ and $Na_2BO_2 - NaPO_3$ in the fused State., J. of Soc. Glasstechnol., Vol. 18, No. 71, 1934, Sept., p. 201.

度に対する變形による光點移動 (s) ~ 時間 (t) 即ち回轉角 (θ) ~ t の實測曲線で回轉ドラム上のプロマイドに寫せしものである。全體の傾向は第 III 章 [2] 節アスファルトの場合



写真第 8



写真第 9



写真第 10

の寫眞第 4~7 と全く異なるものである。寫眞は光點を 1000 mm 距離にあるドラム上に寫せしもので曲線を切れる小刻みは 1 mm 振れを示す。總て第 24 圖の如き振れを與へてゐる、第 8 圖と相對照すれば其の力学的特性の全く異なる事が分る。即ち第 24 圖によるに扭り力率を加ふと同時に a 點より連續的に振れ (變形 θ) が發生し、 ac の如く曲線をなし徐々に増加す、 c 點は荷重を取去る時にて c より cd に従つて非常に多く戻る。第 8 圖と第 24 圖とを對比すれば第 12 表の如きものを得。



第 24 圖

第 12 表

第 24 (水硝子)	第 8 圖 (アスファルト)
a 點... (a より連續的に振れを増す ab なし。 abc 範圍... (b 點近く ac 間は曲線に従ひ振れを増す) c 以上... (c より變形量を多く戻す cd は ac 類似の曲線をなす。 c 停止時間... (停止時間と cd 戻り量の間に密接な関係がある)	(a より急激に弾性的變化あり、 ab 存在す。 (bc は直線的に振れを増す) (ab よりは稍小なれども略々同じ程度の弾性戻りあり) (停止時間と cd 戻り量の關係少し)

〔3〕理論的考察

(a) 變形 (θ) ~ 時間 (t) の關係 第 24 圖の $\theta \sim t$ 關係を見るに若し材料に Maxwell 物質としての粘性抵抗のみ働くとするれば形式的に考察して變形の各位置に於て粘性係數一定でなく滯膏乳劑³⁵⁾の粘性研究に於ける様に構造粘性とも見ゆるも、乳劑の場合の回轉圓筒法による實驗とは試料内の運動狀況を異にしている。第 II 章〔2〕節 (9) 式 ($a\dot{\theta} + K = M$) の K に $M\theta$ とおく、實驗方法はアスファルトの場合と同一靜的方法であるが物質の特性により Voigt 物質としての抵抗も著しく現れ即ち Maxwell-Voigt 物質としての特性を示し、載荷開始に近き時間に於ては (10) 式 $\theta = \frac{M}{k}(1 - e^{-\frac{k}{a}t}) \dots$ の特性が著しい。例へば寫眞上振れ 20 mm (1000 mm 距離に於て) に至れば本實驗方法の本來の原理により第 II 章〔2〕節 (b) に述べた (4) 式 Maxwell 物質の第 2 項 $\frac{1}{\tau_1} \int \tilde{\sigma} dt$ の影響が著しく顯れて來ると解すべきである。第 24 圖 ac 曲線部は後に述べる如く扭りの實驗にてよく述べられてゐる様な Voigt 物質として遂に平衡状態に達するものと異なるものである。同じ實驗方法による第 8 圖 (アスファルトの特性) 第 24 圖 (水硝子の特性) の 2 種の典型的變形 ~ 時間關係を示すは物質の τ_1 の値によるものである、即ち

- (A) アスファルト型; τ_1 値極度に小なる場合。
 (B) 水硝子型; τ_1 値測定し得る程度の有限なる場合

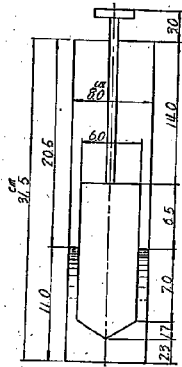
の如く主として本實驗方法にては $\frac{1}{\tau_1} \int \tilde{\sigma} dt$ の項として其の特性を判斷する。第 24 圖 ac 部をみるに $\frac{1}{\tau_1} \int \tilde{\sigma} dt$ の影響は τ_1 の有限なる爲め極めて徐々に加算され最初は Voigt 物質の特性より進み Maxwell ~ Voigt 範圍に移り、遂に Maxwell 物質の可塑性變形のみとなる。今物質の歪による硬化等なきものとすれば第 24 圖 ac の $t=0$ の極限の場合は第 II 章〔2〕節 (10) 式より得た結果を適用する事が出来る。同 (10) 式より、

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{M}{a} e^{-\frac{k}{a}t} \dots \dots \dots (19)$$

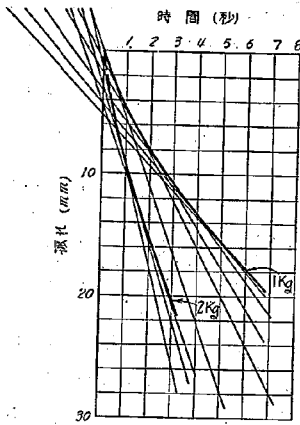
$$(\dot{\theta})_0 = \omega_0 = \frac{M}{a} \dots \dots \dots (20)$$

(19), (20) を得。 $(\dot{\theta})_0$ よりして Voigt 物質としての粘性係數を a より II 章 (12) 式の常數を用ひ計算する事が出来る。(19) 式で示す様完全なる Voigt 物質では回轉速度 $\dot{\theta}(\omega)$ の對數 $\ln \omega$ と時間 t とは直線的になるべきである。今寫眞第 8, 9, 10 等より變形中の角速度を求め得。第 26 圖は其の内湿度 1°C に對するものゝ荷重 $P=1\text{ kg}, 2\text{ kg}$ による寫眞第 8 を特に擴大して得たる $\theta \sim t$ 曲線に該曲線に切する直線群を引き切點より時間 (t)

35) 島田八郎: 道路鋪裝用タール乳劑に関する研究 (第 2 報及第 3 報)。

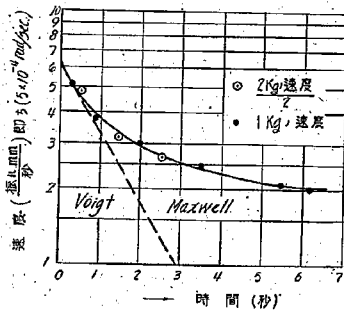


第 25 圖

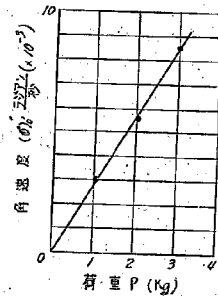


第 26 圖

及び對應する角速度 ($\dot{\theta}$) の關係を求め得. 第 27 圖は新しく求めた $\dot{\theta} \sim t$ 關係である. $\circ$ 點は 2kg に對するもので實驗値を 2 分し記入した $\bullet$ 點は荷重 1kg に對するものである. $\bullet, \circ$ 點は全く同一の平滑な曲線の上であり $\dot{\theta}$ は徐々に變じて, 5, 6 秒にて一定値に達してゐる. 第 27 圖より 2 つの重要な結論を得.



第 27 圖



第 28 圖

- i) 荷重 1 kg 相當變形, 及び速度 (ω) は一定にて正規性を示し構造性と考へる事は不適當である.
 - ii) $t=0$ に於ける $\dot{\theta}_0 (= \omega)$ の値として約 3.0×10^{-3} rad/sec. を得.
- (i), (ii) の結果は更に全く別に獨立に寫眞第 8 より $t=0$ に於ける $(\dot{\theta})_0$ を測り確めた. 第 28 圖は荷重 $P=1$ kg; 2 kg; 3 kg; に對する値で, $(\dot{\theta})_0 \sim P$ 關係は直線的であり $P=1$ kg

に對應し $(\dot{\theta})_0 = 2.9 \times 10^{-3}$ rad/sec を得, (i), (ii) の信頼し得る事を更に確めた.

今 $(\dot{\theta})_0 = 2.9 \times 10^{-3}$ rad/sec……に對し (19) 式より對數をとり

$$\ln 0 - \ln\left(\frac{M'}{a}\right) = -\frac{k}{a}t \dots\dots\dots(21)$$

とおき第 26 圖より $\ln \dot{\theta} = 0$, $t = 2.9'$ を得,

$$\frac{k}{a} = 2.02 \dots\dots\dots(22)$$

更に (20) 式より荷重による扭力率 M' 及び $(\dot{\theta})_0$ 値より a を得, 一方試料深さ $h = 7.0$ cm とし第 II 章 [2] 節に述べた如く, 有効深さ $h' = 7.7$ cm に對し (12) 式の常數を用ひ, a に相當した粘性係數を求む. 即ち… 4.38×10^5 (C.G.S.) …を得. 此の値は本實驗結果の理論的考察により Voigt 物質としての固體粘性にて第 II 章 (2), (6) 式の記號によれば γ にて示されるものである. (22) 式より更に, γ に對應し剛性係數 (N) 更にポアソン比を假定する事により, ヤング彈性率 (E) を得. 固體粘性に對する Maxwell 物質としての粘性係數 (η) は後節に述ぶるも今取纏め第 13 表に示す.

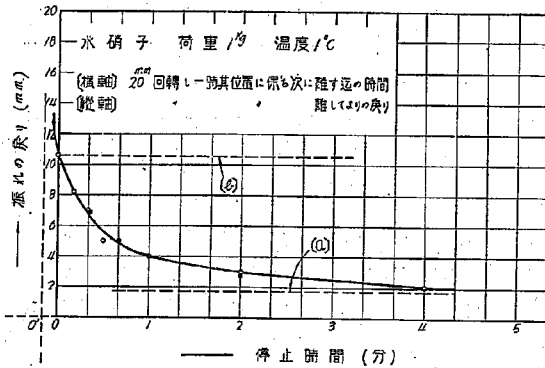
第 13 表 Maxwell~Voigt 物質としての水硝子特性表

剛 性 率 N : 8.85×10^5 (C.G.S.)	} 靜荷重による實驗
ヤング彈性率 E : 2.56×10^6 (ポアソン比 0.45 と假定す)	
固 體 粘 性 γ : 4.38×10^5 (C.G.S.)	
可 塑 粘 性 η : 11.7×10^5 ,,	

斯くの如く水硝子は歪消失時間常數 (τ_1) が有限の値を有する事によりアヌファルトとは異なる性状を示すもので兩者比較對照すれば得る所多し, 水硝子に於て τ_1 の有限なる事は一方歪力消失現象直接の實驗よりも之を推定する事を得.

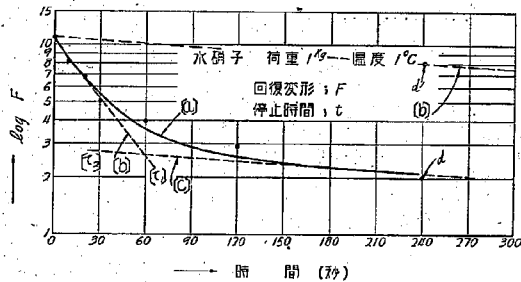
(b) 歪力消失現象 本章 [2] 節の實驗結果を見るも第 24 圖の如く, 荷重を取去れば c 點の戻り著しく [3] 節 (a) によるも水硝子は歪力消失時間定數 (τ_1) の有限なる事を知る. 本節では直接歪力消失現象を測定し時間定數 τ_1 の値を求めたものである.

即ち最初 [2] 節の實驗操作中に於て, 振れ 20 mm に達せし時急激に荷重を取外すと同時に回轉を固定し一定時間停止狀態を續け, 固定を解く, 斯くして停止時間と停止時間後の戻り量との關係を求むるに第 29 圖に示す如くなる. 横軸は停止時間, 縦軸は振れ 20 mm に對する戻りを示すものである. 載荷後振れ 20 mm に至るまで 8 秒を経過す, 同圖 0'0 は 8' 秒を示す同圖より明かなる如く停止後直ちに測定すれば戻りは 11 mm もあり, 1 min 後なれば 4 mm に減少し更に 4 min. に至れば戻りは略一定値に近く, 即ち戻り能力は時間と共に著しく減少し來る事を示す. II 章 [2] (1) 式 (6) 式より考察するに, $\dot{\sigma} = \frac{1}{\beta_0} \dot{\epsilon} - \frac{1}{\tau_1} \dot{\sigma}$,
 …(1) $\frac{\tau_1}{\beta_0} = \eta$ …(6) 但し, $\left| \frac{1}{\beta_0} \right| = E$ 彈性率を示すとす, 今 (1) 式が停止操作開始後の物質



第 29 圖

内に成立つとする，時間 (t) を停止開始より計る． $\xi_0 = \text{一定}$ ， $\tau_1 = \text{一定}$ として解けば (8) 式と同様の解 $\tilde{\sigma} = \left(\frac{1}{\beta_0} \tilde{\xi}_0 \right) e^{-t/\tau_1} \dots$ を得，歪力消失現象が (1) 式に従ふとするも実験の事實を説明する爲め今の場合， $\left(\frac{\tilde{\xi}_0}{\beta_0} \right)$ を如何にとるべきかは相當注意すべき事柄である．上



第 30 圖

式による σ に戻り量が比例するものとし假りに F と置き， $F = F_0 e^{-t/\tau_1}$ の式に就き戻り量 F と停止時間 t の關係を考察す．第 29 圖より $\log F \sim$ 時間 (t) の關係を求む，第 30 圖中・點は之を示すもので $\log F$ は t に直線的關係はなく，〔a〕曲線に従つてゐる同曲線に沿つて切線を求め τ_1 の變り方を吟味するに τ_1 は漸次増大し遂に或る一定値に近く事を知る．今停止時間 0 秒，4 分前後に於ける τ_1 を求むるに切線〔b〕，〔c〕の傾きを測定すればよい，即ち

$$0 \text{ 秒}; \tau_1 = [\tau_1] = 43.6'' \quad 4 \text{ 分}; \tau_1 = [\tau_2] = 710'' \dots \dots \dots (24)$$

を得，一方 Maxwell 物質の特長としては $\tau_1 = 0$ 液體にて τ_1 の増大に伴ひ彈性的となる

$\sigma''b$ 直線: 上記變形に實驗裝置の彈性特性による變形 ($\mathcal{E}''$) を加算せし振れ (第 31 圖参照).

$\mathcal{E}''$: 實驗裝置彈性變形による振れ.

$\mathcal{E}_v$: 本章本節 (a) 等に説明せる Voigt 物質としての變形による振れ.

$\mathcal{E}_v = \mathcal{E}_{\text{das}} - \mathcal{E}_v'$ にて $\mathcal{E}_{\text{das}}$ は $\sigma'a$ にて與へられ, $\mathcal{E}_v'$ は修正値.

$\mathcal{E}_m$: Maxwell 物質としての變形によるものにて, t の大なる値に對する σ に並行す, 最初 $\sigma''c$ 直線に並行すると假定するも Maxwell 物質範圍の變形に於ても Voigt 物質特性存在する場合には圖示の如くなる.

$\sigma''c$ 直線: 理想的 Maxwell 物質變形~時間關係.

$\mathcal{E}'_{mv}$: Maxwell 物質範圍に於ける Voigt 物性による修正値.

を示すものとすれば下記 (23) 式の成立つ事は第 31 圖より明かである,

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{das}} - \mathcal{E}_v' + \mathcal{E}_m + \mathcal{E}'_{mv} + \mathcal{E}'' \dots \dots \dots (23)$$

(23) 式の各變形の意義は第 II 章 [2] 節及び本章 [3] 節 (a) 等により明かなれば説明を略すも, 第 31 圖より $\mathcal{E}$ の t の増大に伴ひ Maxwell 物質範圍に入る事を知る. 即ち II 章 (4) 式の意味に於ける歪力消失時間常數 τ_1 (一定値) の存在する事を明かにし得. $\mathcal{E}_v = \mathcal{E}_{\text{das}} - \mathcal{E}_v'$ は上記 (a) に於ける如く固體粘性係數 η 及び剛性率を與へるものである.

$\mathcal{E}_m$ ~時間 (t) 關係より回轉角速度として $\dot{\theta} = 1.09 \times 10^{-3}$ rad/sec を得, 従つて II 章 (12) 式の常數等を用ひ可塑粘性係數 (η) を得.

$$\eta = 11.7 \times 10^5 \text{ (C.G.S.) } (1^\circ\text{C}) \dots \dots \dots (25)$$

若し假りに本節 (b) の Voigt 物質としての剛性率 $N = 8.8 \times 10^5$ (dyne/cm²) を適用すれば II 章 (6) 式 $\tau_1/\beta_0 = \eta$ 即ち今の場合 $\tau_1 = \eta/N$ にて

$$\tau_1 = 1.32'' \dots \dots \dots (26)$$

を得. 斯く (b) 項に求めし變形停止の場合の τ_1 (24) 式と頗る値を異にす. 今斯る粘性係數 η と通常の剛性率より計算される τ_1 にて歪力消失時間常數を示す事は妥當を缺くものである即ち (12) 式の $\frac{1}{\tau_1} \int \sigma dt$ 項の τ_1 は (b) 項歪力消失現象より (24) 式の如く求めたものなる事を要する事と考ふ. 若し $\tau_1 = \eta/N$ にて示すとすれば同じ狀態に於ける η , N の測定値を用ふべきである. 以上の如く時間常數 τ_1 も物質の變形狀態等により異なるものであり, 殊に τ_1 の常數可變の場合は重要な特性を示すものである. 將來一層深く研究し其の真相を闡明すべきものである.

本實驗裝置による靜荷重下に於ける水硝子の性狀を明かにする事を得た. 以下其結果を [4] 節に要約す.

〔4〕 要 約

水硝子を實驗裝置のキャリブレーションに使用せんと試みし事は目的を達する事能はざりしが水硝子の靜的扭力率の下に於ける特性より、アスファルトの場合と種々比較對照し、一般物性の力學的性質の重要な Maxwell 物質、Voigt 物質としての性質を、アスファルト、水硝子にて直接に比較し、兩者の關係を明瞭にする事が出来た二三主要な結果を列挙す。

- (1) 水硝子は其の變形に就き正規性である。(荷重と直線の關係にある事)。
- (2) 水硝子はアスファルトに比し、Voigt 物質にて本實驗に於て其の特性を明瞭に示す。
- (3) 變形 (θ) ~ 時間 (t) 關係は Voigt $\rightarrow$ Maxwell-Voigt $\rightarrow$ Maxwell 物質範圍に移動す。
- (4) アスファルトの靜荷重實驗としての意義を第 III 章の検討に附加して明瞭にする事を得、鋪裝用材の靜荷重下に於ける實驗として最も合理的なる事を更に明かにす。
- (5) 靜的荷重下溫度 1°C に於ける水硝子の固體粘性係數 (Voigt) γ 、粘性係數 (Maxwell) η 、剛性率 (N) を得。(1°C) $\gamma = 4.38 \times 10^6$ (C.G.S.), $\eta = 11.7 \times 10^5$ (C.G.S.), $N = 8.8 \times 10^5$ (C.G.S.) 従つて $\tau_1 = \eta/N = 1.32''$, $\tau_2 = \gamma/N = 0.45''$ を得るも上記 τ_1, τ_2 値は (6) 項により妥當を缺く。
- (6) アスファルト歪力消失時間常數 $\tau_1 = 0$ と推論され水硝子の歪力消失時間常數は (5) 項の τ_1 に非らずして變形戻り量と停止時間の關係より推測し (24) 式の如く $\tau_1 = 43.6'' \sim 710''$ の範圍に停止時間の増大と相伴ふ事を明かにす。
- (7) 歪力消失時間常數として單に $\tau_1 = \eta/N$ より定義する事は少くともアスファルトに於て適用する事は出来ない。
- (8) アスファルトの如き $\tau_1 = 0$ に近き物質の Voigt 物質としての固體粘性は斯る靜的實驗にては求むる事が出来ない。是非動的荷重による實驗によらねばならない。

以上の如く水硝子の靜的實驗はアスファルト類の靜的荷重に於ける實驗の意義及び其の現れる性状を明かにする上に必要な資料を提供した。

VI. 動的荷重による實驗的研究 (其の 1)

〔1〕 概 説

第 I 章及び第 II 章〔2〕節に道路鋪裝用材料としてのアスファルト等の力學的性状を明かにするには振動中の各種彈性的の係數を明かにすべきを述べ、其の實驗方法の種別等を鋪裝工學の立場より又物性物理學の立場より分類し論じた。其の際 2 種の抵抗性即ち固體粘性係數、及び粘性係數の意義及び測定方法を詳論し靜荷重實驗結果より第 III 章、第 V 章〔4〕節に述べた如くアスファルトの如き歪力消失現象の著しいものには ($\tau_1 = 0$) 特に動的實驗の必要な事を力説した。

舗装工學上第一に必要な特性はアスファルト類にて形成された路面等の振動状態に於ける弾性的特性と減衰作用とである。高速度(従つて振動数の大なる場合をも意味す)衝撃力に對する強制振動状態も重要であるが先づ路面の自己振動に於ける性状を明かにする必要がある。

即ち第 II 章 [1] 節の分類に従へば Voigt 物質としての 2 つの特性係数 ($1/\beta$, τ , 一般に複素数にて實数部は弾性係数, 固體粘性係数に相應するもの) を自己振動数 (f) 及び應力 (又は歪) の振幅の函數として測定し明かにする事が必要である。

靜的荷重下に於ける弾性係数は第 III 章 [4] 節に測定する事を得たが未だアスファルトに關する振動法による弾性的研究は無い。

一方材料の立場より見るも實用上よりするも振動状態により弾性的特性が如何に變るかを理論的に考察し, アスファルトの實驗値と比較對照する事を要す。一般材料實驗に於て靜的弾性係数 (E_s) は振動状態に於ける弾性係数 (E_k) との間には必ず $E_k > E_s$ の關係あるものとされてゐる。之れ後述の如く Voigt 物質として振動の際に於ける特長である。日下部博士の岩石の實驗, J.Eccles 及び J.H.C. Thompson³⁶⁾ のゴムの實驗, 妹澤博士の金屬材料 2, 3 の實驗³⁷⁾ 其の他等多くの研究は斯る結果を示してゐる。

固體粘性係数 (τ) も振動数により著しく變るもので未だ實驗的に確實な結果には達してゐないが金屬に於ける Hettwer³⁸⁾ の非振動法による $\tau = 7.5 \times 10^{15}$ (8°C) (C.G.S.) 低振動法による Iokibe 及び Sakai³⁹⁾ による $\tau = 25.8 \times 10^8$ 35°C (C.G.S.), 超振動法による Quimby⁴⁰⁾ の $\tau = 1650$, 20°C (C.G.S.) を見るも, 著者瀝青乳劑の粘性係数⁴¹⁾ に述べし靜的範圍内の影響の外 Voigt 物質としての振動数による影響を多く蒙つてゐる, 其の他 W. Philippoff⁴²⁾ の研究等をもみるも其の傾向が分る。斯く振動状況により減衰作用著しく異る

36) J.C. Eccles, J.H.C. Thompson: An Investigation of the Visco-elastic Properties of Rubber, Proc. Royl. Soc., 1935, 148 A, 171.

37) K. Sezawa, K. Kubo: Measurement of solid Viscosity of Metals thro' flexural Vibration of a Bar Apparatus, 1934, 東大磁研 89 號 7 卷 8 冊 昭和八年。

38) F. Hettwer: Ueber die innere Reibung einiger Metalle, Wien Ber., II (a), 1934, 15, 1925.

39) Iokibe, Sakai: The Effect of Temp. on the Modulus of Rigidity and on the Viscosity of solid Metals. Phil. Mag., Vol 42, 1921, 115

40) S.L. Quimby: On the experimental Determination of Viscosity of vibrating Solids, Phys. Rev., 25, 1925, 559.

41) 島田八郎: 道路舗装用瀝青乳劑に關する研究 (第 3 報) 前掲。

42) W. Philippoff: Dynamische Untersuchungen an Kolloidsystemen I; Grundlagen und Methode zur Untersuchung der mechanischen Eigenschaften von Lösungen hochmolekularer organischer Verbindungen.

II; Messungen der dynamischen Zähigkeit von Zelllösung u. Aufstellung einer Dispersionsformel, Phy. Zst., 35, 1934, Nr. 22, s. 900.

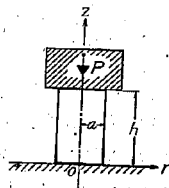
E. Madelung, S. Flügge⁵⁰⁾; B. Gutenberg, H. Schlechtweg⁵¹⁾; W. Philippoff⁵²⁾等のものもあるもアスファルトは温度によつては可なり大なる抗力を有し且つ不透明物體であるから上記何れの方法も使用する事が出来ない。

それ故第一階程の試験とし通常壓縮試験に使用される如き圓嚢を用ひ、急激に且つ速度零にて荷重を加へ載荷に續く圓嚢自己振動の状態に於て、彈性的性狀を實驗的に研究した。實驗方法原理は簡單なれども一方實施に際し頗る困難ありしも直接に振動中に於ける彈性係数を求め且つ減衰傾向をも明かにする事が出来た。

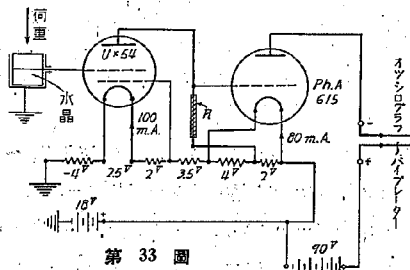
(b) **ピエゾ水晶による實驗** 供試體は直径約 2 cm, 高さ 2 cm の圓嚢を試料より作り約 10°C に 4 時間以上保ち手早く之れをピエゾ水晶の上に置き試料下部とピエゾ部上部を幅 1 mm の環にて固定し試料の上方に空所無き様荷重 (P) を保持し急激に速度 (v) = 0 の條件の下に該荷重 (P) を供試體に加ふ。試料は折かる條件の下に自己振動をなす。試料は振幅を減少しつゝ遂に停止す、勿論此の際 Maxwell 物質としての可塑性も作用するものであるが本報告は其の内 Voigt 物質の特性の見地より論じた、此點に尙研究の餘地がある。

本振動の際荷重 P の下面とピエゾ水晶上面とは常に相離れる事なく振動す。此の際供試體下面は振動各状況に應じ、應力をピエゾ水晶に壓縮力として傳ふ、ピエゾ水晶は壓縮力により上下面に電荷 $\pm(q)$ を生ずる如く結晶軸に應じて切斷せるもの 2 枚 $-q$ 面を組合せ使用す。第 32 圖は供試體と荷重の關係を簡單に示せるもので圖示の如く自明なれば説明を略す。

第 33 圖は測定器の原理を示すものである、電氣的増幅率其の他電氣回路に關する事は全部省略するも全體の操作のみ説明す。



第 32 圖



第 33 圖

- 50) E. Madelung, S. Flügge: Ueber Visko-elastizität, Ann. d. Physik, 5, Folge, Bd. 22, H. 2, 1935.
 51) B. Gutenberg, H. Schlechtweg: Viskosität und innere Reibung fester Körper. Physikal. Zst., 31, J., Nr. 16, S. 744.
 52) W. Philippoff: 前掲 (42).

使用器：電磁オシログラフ（横河製作所製），同バイブレーター，

H 號；自己振動周期 1/1000 秒．ビエゾ水晶壓力器（横河製作所製）

真空管：UX-54, Ph. A, 615 號．

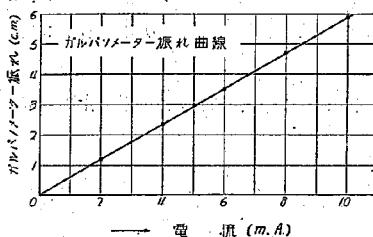
電池：B 電池，90 V．A 電池，18 V にて適當の電氣抵抗を配置し第 33 圖の如き電壓配置を得．

上述説明せる如く 2 枚の水晶片の間に荷重により生じた電荷は其の電氣容量に應じた電壓を真空管 UX-54 のグリッドに及ぼし，從つて電位差の變化を來し從つて UX-54 出力を變ず，更に真空管 Ph. A 615 により増幅された出力を外部に送る，今直ちに電磁オシログラフ H 號バイブレーターに連結し其の振れを同轉ドラム上に寫す．實驗中アース，電氣漏れ等困難あるも水晶に加はる應壓力 (f)，又發生電荷 (q) とオシログラフにて測定される振れ (d) の間にある直線的關係の成立つ範圍を利用す．即ち

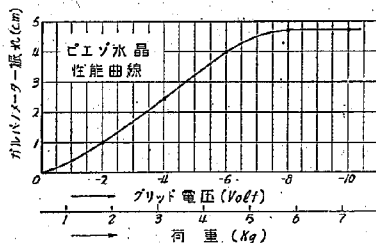
$$q = K_1 f, \quad d = K_2 q, \quad d = K_1 \cdot K_2 f \dots\dots\dots (27)$$

の關係で比例數 $K_1 K_2$ の常數なる範圍を定める，今便宜上 (27) 式の q, f は試料面積等の全體に對する總和を示すものとする．

K は通常一定とされてゐるが今 (27) 式の最後の關係の係數 K_1, K_2 の常數範圍を特に調べる，第 34 圖は使用バイブレーター振れ (d) と電流 (i) の關係にて當然直線的に正しい．



第 34 圖



第 35 圖

第 35 圖はバイブレーター振れ (d) と、真空管 UX-54 のグリッドに加へし電位差の關係を示すもので，ビエゾ水晶の“リード”に電位 ($-V$) を與へし時の性能曲線を示すもので， $(-2V) \sim (-6V)$ の間で直線的である．寫眞第 11 は直接求めた同轉ドラム上に寫せし振れ (d) と加電壓 ($-V$) との關係を示す，第 35 圖は寫眞第 11 より求めたものである，($K_1 K_2$) 係數を定めるには一方ビエゾ水晶に加へた壓縮力との關係を明かにする必要がある．載荷装置として高田技師⁵³⁾使用のものを拜借し，ビエゾ水晶に荷重 (P) を加へ

53) 高田昭：東京山手赤土の彈性的地質に関する試験 (其の一)，内土試報第 20 號．

つゝバイブレーター振れ (d) を求めた、 $P \sim d$ の関係は全く ($-V$) $\sim d$ の関係と一致した。即ち、荷重 P ；約 2 kg $\sim$ 5 kg の範囲にて振れ (d) $\sim$ 荷重 (P) 関係の直線的なる事を知る。即ち (27) 式の各比例定数の常数なる事を明かにす。以上の“カリブレーション”によりビエゾ水晶に加はる壓力に對しては：—

1. $\sim$ 5 kg 位、振れ (d) に對しては；—

1 cm $\sim$ 4 cm 範圍……に於ては振れ變化は荷重變化と直線的關係にある事を明かにす。實驗狀態に應じ適當な電氣容量を入れ常に振れ (d) $\sim$ 荷重 (P) の關係に於て本バイブレーター回路にては振れ (d) 1 cm $\sim$ 4 cm の範圍に調節し使用すれば可なる事を知る。

[3] 實驗結果

實驗は回轉ドラム上に寫せる振れ (d) と時間的經過との關係である、横軸に時間座標をとり、50 周の交流波形を畫く、縦軸は振れを示すものでビエゾ水晶に加はる壓力を示す。試料としてはアスファルトの外、ゴムを全く同形に仕上げ用ひた。アスファルトは溫度に對する感應度頗る大なるも特に恒溫室内で行はず (b) に述べし如く行ふ。實驗條件下記に如し。

アスファルト；

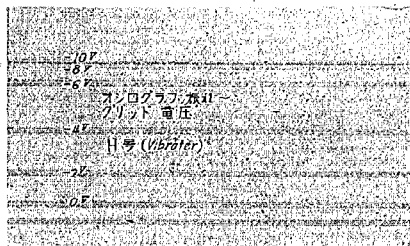
荷重 $P=3.77$ kg
(溫度約 10°C)

ゴム；

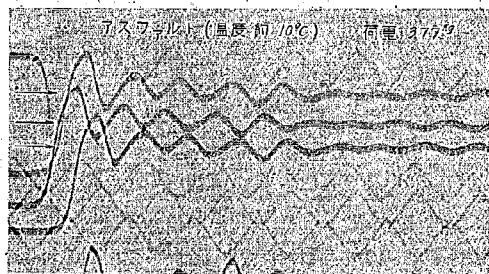
荷重 $P=2.55$ kg
(溫度、室溫約 20°C)

各實驗は 3, 4 回試みたもの

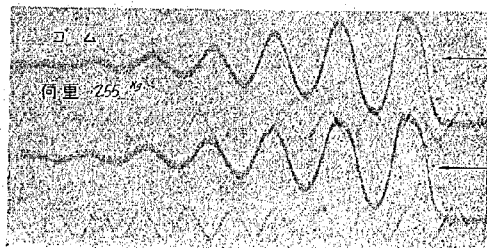
である。寫眞第 12, 第 13 はアスファルト、ゴムの場合の振れ (d) $\sim$ 時間 (t) 曲線のド



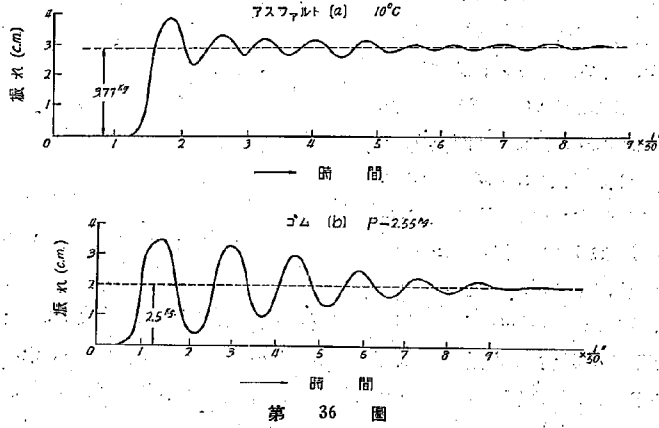
寫眞 第 11



寫眞 第 12



寫眞 第 13



第 36 圖

ラム上に寫せるものである。各圖實驗曲線は全部同じ傾向の曲線を示すもので減衰振動を示してゐる、載荷開始と同時に靜荷より大なる振幅を示し漸次減衰を示してゐる、多くの實驗より代表的のものを求めると第 36 圖 [a], [b] の如き者を得、今振動現象停止せし時の振幅を 36 圖 [a], [b] より求めれば

アスファルト; 2.95 cm

ゴム; 2.0 cm

にて一方第 35 圖 振れ (d) ~ 荷重 (P) 曲線より判斷するも約 2.5 kg, 3.60 kg 程度に相常し實驗の正しき事を示す。本實驗は單に電磁的に荷重を零速度にて加へしも未だ裝置に不充分の點あり、常に正しき減衰曲線を示さず大體寫眞第 12, 第 13 程度の精確さで實驗を行つた。且つ、室内で行ひし爲め試料の固體粘性の外、取付け部に於ける勢力散逸その他空氣の抵抗の加算せるものが減衰作用に附加されてゐる、第 36 圖 [a], [b] より見る

第 14 表
アスファルト、ゴム減衰振動 1 週期表 ($\times \frac{1}{500}$ 秒)

波 番 號	1	2	3	4	5	6	7	平均
アスファルト實驗	8.2	8.2	7.4	7.5	8.3	8.2	8.3	8.0
ゴ ム //	16.	15.5	15.	14.5	14.5	15.	15.	15.

に週期は各波長に正確に一定ならざるも上記第 14 表の程度の偏差にて下記の計算には平均値をとる。

以上の如く本實驗により、直壓縮振動實驗に於けるアスファルト、ゴムの振動週期を測定することを得た。

〔4〕 振動法による弾性特性の算定.

(a) 一般論 第 II, 第 III 章に静荷動によるアスファルトの性状を明かにし第 V 章水硝子に於ける研究と比較対照し I 章, II 章〔2〕節 (b) に於ける抗力より見たる分類中主として Maxwell 物質の常数を理論的實驗的に明かにした, 屢述べし如く振動現象中の Voigt 物質の常数を明かにする本章實驗結果を考察せん爲めに, Maxwell, Voigt, Maxwell-Voigt の 3 種の物質が角速度 (ω) の運動状態にある場合應力 $\tilde{\sigma}$, 歪 $\tilde{\epsilon}$ の関係が如何になるやを考察する, 記號の證明は第 II 章〔2〕節 (b) と同じにて一般の場合常に複素數を示す.

$$\text{Maxwell 物質: } \tilde{\sigma} = \frac{1}{\beta} \dot{\tilde{\epsilon}} - \frac{1}{\tau_1} \tilde{\sigma} \dots\dots\dots(1)'$$

$$\text{Voigt 物質: } \tilde{\sigma} = \frac{1}{\beta} (\dot{\tilde{\epsilon}} + \tau_2 \dot{\tilde{\epsilon}}) \dots\dots\dots(5)$$

$$= \frac{1}{\beta} \tilde{\epsilon} + \gamma \dot{\tilde{\epsilon}} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Maxwell-Voigt 物質: } \tilde{\sigma} = \frac{1}{\beta} \left(\dot{\tilde{\epsilon}} - \frac{1}{\eta} \tilde{\sigma} \right) + \gamma \dot{\tilde{\epsilon}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\eta = \frac{\tau_1}{\beta}, \quad \gamma = \frac{\tau_2}{\beta} \dots\dots\dots(6)$$

の各式の變數が總て $e^{-i\omega t}$ を含むとする. $i = \sqrt{-1}$, ω : 回轉角速度にて, $\omega = 2\pi f$, $= \frac{2\pi}{p} \dots\dots(28)$, f : 振動數 p : 週期

とすれば (1'), (2) (3) 式は下記 (29) (30) (31) 式となる.

$$\text{Maxwell 物質} \quad \frac{\tilde{\sigma}}{\tilde{\epsilon}} = \beta = \beta_0 \left(1 + \frac{i}{\tau_1 \omega} \right) \dots\dots\dots(29)$$

$$\text{Voigt 物質} \quad \frac{\tilde{\sigma}}{\tilde{\epsilon}} = \beta = \beta_0 \left(\frac{1}{1 - i\omega\tau_2} \right) = \beta_0 \frac{1 + i\omega\tau_2}{1 + \omega^2\tau_2^2} \dots\dots\dots(30)$$

Maxwell-Voigt 物質

$$\frac{\tilde{\sigma}}{\tilde{\epsilon}} = \beta = \beta_0 \frac{1 + \frac{i}{\omega\tau_1}}{1 - i\omega\tau_2} = \beta_0 \left\{ \frac{\left(1 - \frac{\tau_2}{\tau_1} \right)}{1 + \omega^2\tau_2^2} + i \frac{\left(\frac{1}{\omega\tau_1} + \omega\tau_2 \right)}{1 + \omega^2\tau_2^2} \right\} \dots\dots\dots(31)$$

一般に弾性波等の速度は複素數弾性率 $\left(\frac{1}{\beta} \right)$ により左右され, 今 ρ = 密度とすれば (32) 式にて與へられる.

$$\text{弾性波速度} \propto \sqrt{\frac{\text{弾性率}}{\rho}} \propto \sqrt{\frac{1}{\beta\rho}} \dots\dots\dots(32)$$

(29)~(31) 式により振動現象中の弾性率の絶対値 (E_K) と静的弾性率 $E_S = \left(\frac{1}{\beta_0} \right)$ の關係, 固體粘性係數 (γ), 可塑 (粘性係數) η 等一般力学的特性を示す係數の分散性が與へられる. 本研究は裝置の關係上粘性係數等の分散性は論ぜず E_K , E_S の關係のみを考察す. 上式より複素數の絶対値を求むれば (33), (34), (35) 式の如き關係を得,

$$E_K = E_S \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\tau_1 \omega}\right)^2}} \dots\dots\dots (33)$$

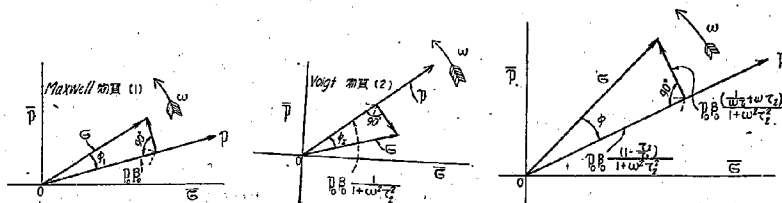
$$E_K = E_S \cdot \sqrt{1 + (\tau_2 \omega)^2} \dots\dots\dots (34)$$

$$E_K = E_S \cdot \frac{1}{1 + \omega^2 \tau_2^2} \sqrt{\left(1 - \frac{\tau_2}{\tau_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega \tau_1} + \omega \tau_2\right)^2} \dots\dots\dots (35)$$

上式の關係は後節實驗結果より彈性係數算定の際使用するも振動狀態に於て、

Voigt 物質にては $E_K > E_S$ 、Maxwell 物質にては $E_K < E_S$

となる。斯る事は應力～歪曲線を求むるも明かに知ることが出来る。兩種物質共に彈性履歴曲線を畫くものである。



第 37 圖 [a]*

第 37 圖 [b]*

第 37 圖 [c]*

第 37 圖 [a] [b] [c] は週期的振動に於ける應力 $\sigma(\theta)$ 歪 $\epsilon(\theta)$ 關係を同轉ベクトル式に示せるもので θ は θ 、 ϵ ……ベクトルの有効成分を示すもので直角坐標の x, y 軸成分に相當す。斯る記號によれば θ 、 ϵ 相互間の相差 (ϕ) は容易に求めらる、下記 (36) (37) (38) 式を得。

$$\tan \phi_1 = \frac{1}{\tau_1 \omega}, \quad \sin \phi_1 = \frac{1}{\sqrt{(\tau_1 \omega)^2 + 1}}, \quad \cos \phi_1 = \frac{\omega \tau_1}{\sqrt{(\tau_1 \omega)^2 + 1}} \dots\dots\dots (36)$$

$$\tan \phi_2 = \omega \tau_2, \quad \sin \phi_2 = \frac{\omega \tau_2}{\sqrt{1 + (\omega \tau_2)^2}}, \quad \cos \phi_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega \tau_2)^2}} \dots\dots\dots (37)$$

$$\tan \phi_3 = \frac{\left(\frac{1}{\omega \tau_1} + \omega \tau_2\right)}{1 - \frac{\tau_2}{\tau_1}} = \frac{1 + \omega^2 \tau_1 \tau_2}{\omega(\tau_1 - \tau_2)}, \quad \sin \phi_3 = \frac{1 + \omega^2 \tau_1 \tau_2}{\sqrt{\omega^2(\tau_1 - \tau_2)^2 + (1 + \omega^2 \tau_1 \tau_2)^2}}$$

$$\cos \phi_3 = \frac{\omega(\tau_1 - \tau_2)}{\sqrt{\omega^2(\tau_1 - \tau_2)^2 + (1 + \omega^2 \tau_1 \tau_2)^2}} \dots\dots\dots (38)$$

* 第 37 圖、第 38 圖の記號は應力歪 σ, ϵ の代りにベクトル記號として θ, ϵ ……を、其の絶對値として θ_0, ϵ_0 ……を；有効成分として θ, ϵ ……を使用す、論說に於ても便宜上同様記號を用ふ。

應力 $\mathfrak{P}$, 歪 $\mathfrak{E}$ の相差角 (ϕ) を知れば一屈應中に試料の爲す仕事の量即ち, 1 サイクル毎に消費されるエネルギーを計算する事が出来る. 第 38 圖は屈應曲線を示すもので, 1 サイクル毎の上記消費エネルギー (A) は直ちに求め得, 即ち (第 38 圖参照)*

$$A/1 \text{ サイクル} = \int_0^p \mathfrak{P} d\mathfrak{E} \dots\dots\dots (39)$$

積分上限は週期 (p) である. (39) 式の實数部は下記に示す如くなる.

$$d\mathfrak{E} = -i\omega |\mathfrak{E}| dt = -i\omega \mathfrak{E}_0 \cdot dt$$

$$\therefore A = \int_0^p |\mathfrak{E}| \sin(\omega t + \phi) |\mathfrak{P}| \cos(\omega t) dt$$

$$= \frac{\omega \mathfrak{E}_0 \mathfrak{P}_0}{2} \int_0^p \{\sin(2\omega t + \phi) + \sin \phi\} dt = \pi \mathfrak{E}_0 \cdot \mathfrak{P}_0 \sin \phi \dots\dots\dots (40)$$

(40) 式に上式 (36), (37), (38) 式の ϕ を代入すれば各物質に於ける A を求め得.

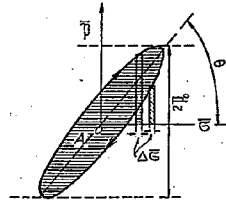
$$\text{Maxwell 物質: } \mathfrak{E}_0 = \mathfrak{P}_0 \cdot \beta_0 \sqrt{\tau_1^2 \omega^2 + 1} \cdot \frac{1}{\tau_1 \omega}$$

$$A = \pi \mathfrak{P}_0^2 \frac{\beta_0}{\tau_1 \omega} \dots\dots\dots (41)$$

$$\text{Voigt 物質: } \mathfrak{E}_0 = \mathfrak{P}_0 \beta_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \tau_2^2 \omega^2}}$$

$$A = \pi \mathfrak{P}_0^2 \beta_0 \frac{\tau_2 \omega}{1 + \tau_2^2 \omega^2} \dots\dots\dots (42)$$

$$\text{Maxwell-Voigt 物質: } \mathfrak{E}_0^2 = \mathfrak{P}_0^2 \beta_0^2 \frac{\left(1 - \frac{\tau_2}{\tau_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega \tau_1} + \omega \tau_2\right)^2}{(1 + \omega^2 \tau_2^2)^2}$$



第 38 圖

* 第 38 圖 の弾性屈應曲線ループの $\mathfrak{E}$ 軸に對する傾き θ は容易に求め得るも参考の爲め附記すれば次ぎの如し, ループ上任意の一點の座標を $\mathfrak{E}$, $\mathfrak{P}$ とし $\mathfrak{P}$, $\mathfrak{E}$ の絶對値を $\mathfrak{P}_0$, $\mathfrak{E}_0$ とすれば

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_0 \cos \omega t, \quad \mathfrak{P} = \mathfrak{P}_0 \cos(\omega t + \phi) \dots\dots\dots (1)$$

$$t \text{ を消去すれば } \left(\frac{\mathfrak{P}_0}{\mathfrak{E}_0}\right)^2 \cos^2 \phi - 2 \frac{\mathfrak{P}_0}{\mathfrak{E}_0} \mathfrak{E} \cos \phi + (\mathfrak{P})^2 = (\mathfrak{P}_0)^2 \sin^2 \phi \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式は橢圓を示し, 第 38 圖の傾き θ は (3) 式で與へられること明かである.

$$\tan 2\theta = \frac{2 \frac{\mathfrak{P}_0}{\mathfrak{E}_0} \cos \phi}{\frac{\mathfrak{P}_0^2}{\mathfrak{E}_0^2} - 1} \dots\dots\dots (3) \quad (3) \text{ 式を (3) 種の物質に適用すれば (4) 式の如くなる,}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Maxwell 物質: } 2\theta = \tan^{-1} a (\tau_1 \omega)^2 \\ \text{Voigt 物質: } 2\theta = \tan^{-1} \frac{2}{(\tau_2 \omega)^2} \\ \text{Maxwell-Voigt 物質: } 2\theta = \tan^{-1} \frac{2\omega^2 (\tau_1 - \tau_2)^2}{(1 + \omega^2 \tau_1 \tau_2)^2} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$A = \pi \beta_0^2 \beta_0 \frac{1 + \omega^2 \tau_1 \tau_2}{\tau_1 \omega_1} \cdot \frac{1}{1 + \tau_2^2 \omega_2^2} \dots (43)$$

斯くの如く振動数 $f \left(= \frac{\omega}{2\pi} \right)$ に應じ弾性ヒステリシス損失は異なるもので Maxwell 物質にては (τ_1, ω) の減少するに伴ひ A は増大するが Voigt 物質にては (τ_2, ω) の増加に伴ひ A は一旦増し後減少する、従つて強制振動の場合は勿論、自己振動の場合界限條件により種々異なるも (後述参照) 振動数 f に應じ上述せる傾向の減衰作用がある。斯かる強制振動の場合、自己振動中の減衰に関する研究は重要なものなれども、本研究に於ては主として弾性係数に関する事柄を實驗的に闡明し、減衰振動の一例として本實驗の場合を後に計算する。上述の如く振動中に於ける弾性係数、各種の抗力を明かにする事を得、アスファルトの如き Maxwell 物質の性狀大なるものが Voigt 物質としての振動をなす場合如何に基本的研究の必要なるかを明かに理解することが出来た。

(b) 本實驗に於ける特性 [2] 節 [3] 節に説明せる如き實驗條件に従ふ算式を下記の如く求め得。[2] 節 (a) 第 32 圖により説明す。アスファルトは第 III 章説明せし如く重力消失時間常數 $\tau_1 = 0$ なれども振動狀態にては Voigt 物質の性狀を呈す ($E_K > E_v$) 其れ故 (a) (2) 式に従ふ。

荷重質量: P , 供試體半径: a , 高さ: h , ζ : z 軸方向變位, ρ : 密度, γ : Voigt 物質の (固體) 粘性係数, γ' : 空氣等による抵抗係数, $\bar{\sigma}$: 應力, $\bar{\varepsilon}$: 歪……とすれば下記の如き關係式が成立つ、

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} &= \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial z} + \gamma' \frac{\partial \zeta}{\partial t} \\ \bar{\sigma} &= \frac{1}{\beta} (\bar{\varepsilon} + \tau_2 \dot{\bar{\varepsilon}}), \text{ 實數をとれば } E \frac{\partial \zeta}{\partial z} + \gamma \frac{\partial^2 \zeta}{\partial z \partial t} \end{aligned} \right\} \dots (44)$$

但し茲に云ふ $\zeta, \bar{\sigma}, \bar{\varepsilon}$ 等は供試體の斷面積に對する平均値を示すもので斷面各點の各種の應力歪の成分との關係は 2, 3 の假定の下に求め得るも今之を述べるを略し單に平均値を扱ふ。(44) 式より (45) 式を得。

$$\rho \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 \zeta}{\partial z^2} + \gamma \frac{\partial^2 \zeta}{\partial z \partial t} + \gamma' \frac{\partial \zeta}{\partial t} \dots (45)$$

$$\rho \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 \zeta}{\partial z^2} + \gamma \frac{\partial^2 \zeta}{\partial z \partial t} \dots (45)'$$

今 [2] 節に述べた實驗にては空氣抵抗を明瞭に區別し求むる事困難なれば式の上にては省略し (45)' 式を解く事とする。

$\zeta = A e^{i(fz - \omega t)} \dots$ と置く、 A : 常數, f : 波長係數, $\frac{2\pi}{f} = \lambda$ 波長、にて境界條件より定まるものである、 ω : 複素數回轉角速度, $i = \sqrt{-1} \dots$ を示し、 $\zeta = u(z), \phi(t) \dots$ の如く規

準函数で表し得る場合とす, (45)' 式より振動条件及び解を得, 即ち

$$\omega^2 \rho - \gamma f^2 \omega + E f^2 = 0$$

振動發生条件: $\gamma^2 f^4 - 4 \rho E f^2 < 0$ 即ち

$$\gamma = E \tau_2 \quad \therefore \left(\frac{E}{\rho} \right) \tau_2^2 - \frac{4 \pi^2}{f} < 0$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \therefore \pi v_0 \tau_2 < \frac{2 \pi}{f} < \lambda \dots \dots \dots (46)$$

且つ $\omega = \frac{\gamma f^2}{2 \rho} \pm i \sqrt{\frac{E f^2}{\rho} - \left(\frac{\gamma f^2}{2 \rho} \right)^2}$

$$\therefore \zeta = A e^{-\frac{\gamma f^2}{2 \rho} t} \cdot e^{\pm i \sqrt{\frac{E f^2}{\rho} - \left(\frac{\gamma f^2}{2 \rho} \right)^2} t} \dots \dots \dots (47)$$

式を見るに完全弾性體は Voigt 物質の $\tau_2 = 0$ の極限であり τ_2 増大すれば遂に振動停止するに至る. 今の場合求める解は上記 ζ の實數部をとればよい.

$$\therefore \zeta = A e^{-\frac{\gamma f^2}{2 \rho} t} \cos \left\{ \sqrt{\frac{E f^2}{\rho} - \left(\frac{\gamma f^2}{2 \rho} \right)^2} \times t \right\} \cdot (c_1 \sin f x + c_2 \cos f x) \dots \dots \dots (48)$$

今基本振動のみを取扱ふ, 常數 f , c_1 , c_2 等は境界条件 (49) 式により定まる即ち

$$\left. \begin{aligned} (1) \quad z=0: \quad \zeta &= 0 \\ (2) \quad z=h: \quad \int_0^S E \left(\frac{\partial \zeta}{\partial z} \right) dz &= -P \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} \\ E \frac{\partial \zeta}{\partial z} &= -\frac{P}{\pi a^3} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = -P_0 \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (49)$$

但し, S は供試體斷面積を示す, 今近似的に計算するに一般に f は小なる數にて運動が非振動でなければ (48) 式 $\cos$ の變數の第 2 項を省略し (49) 式の条件より f を下記 (50) 式の如く求め得,

$$\cot f h = (f h) \frac{P_0}{\rho h} \dots \dots \dots (50)$$

(50) 式より求めた f を (48) 式に代入し變位 ζ を求め得, [2] 節に述べしビエゾ水晶にて測定される壓力は $\int_0^S E \left(\frac{\partial \zeta}{\partial z} \right) dz = -P \dots \dots$ に應ずものである. 以下主に週期を考慮に入れ計算する, 先づ (50) 式の h , P_0 , ρ 等を本實驗に使用した供試體及び實驗条件より表示すれば第 15 表の如きものを得,

第 15 表

	h (高さ)	a (半徑)	ρ 密度	P'	P_0	$\frac{P_0}{\rho h}$
アスファルト	1.9 cm	0.9 cm	1	3.77 kg	$1.22 \times 10^3 \text{ gr}$	0.794×10^3
マ	1.9 cm	0.95 cm	0.92	2.55 kg	$0.91 \times 10^3 \text{ gr}$	0.598×10^3

(50) 式により ($f h$) 即ち f を求めれば, [3] 節實驗の週期 (p) より彈性率を求め得, 即ち

第 16 表

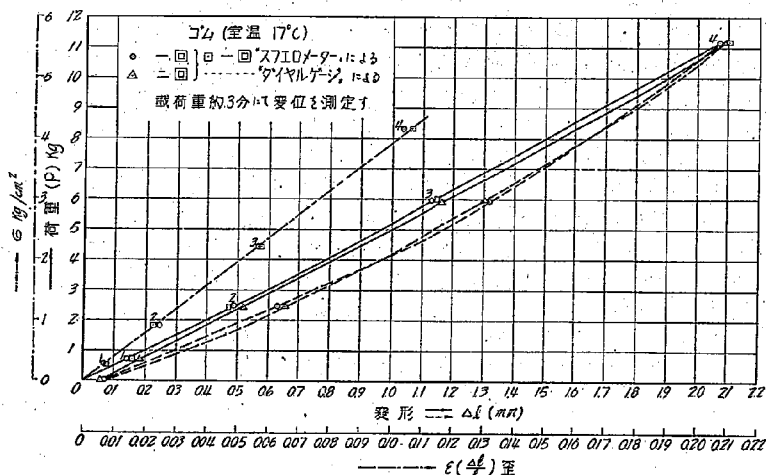
	fh (度)	fh (ラジアン)	f	ρ	E dyne/cm ²
アスファルト	2°21'	0.0355	0.019	8/500 ^μ	4.28×10^8
ゴム	2°20'	0.041	0.020	15/500 ^μ	8.9×10^7

$E = \frac{4\pi^2 \rho}{f^2 \rho^2}$ 此等の数値を第 16 表に示す。一方斯る壓縮試験に於ては軸方の壓縮に伴ひ半徑方向の膨張變形あり、運動勢力増大するものにて週期は理想の場合より増大し、従つて弾性率は小さく測定される。今の場合可なり試料扁平にて斯る影響大なりと想像される。假りに週期の増大率を $1:1 + \frac{i\sigma\pi^2 f^2}{4h^2}$ (但し σ : ポアソン比, r : 半徑, h : 高さ, $i=1$ 基本振動の場合)……とし供試體の條件を入れば約 1:1.06 程度となる、今其の影響を省略した。

第 16 表に求めた弾性率 E は振動状態に於けるもので (33), (34) 式の記號によれば E_k を示す

アスファルト	$E_k: 4.28 \times 10^8 \text{ dyn/cm}^2$	振動週期 8/500 ^μ
ゴム	$E_k: 8.9 \times 10^7 \text{ dyne/cm}^2$	振動週期 15/500 ^μ

* ゴムの静荷重による弾性率は下記の如く測定した。第 III 章 [2] 節 (b) のオツシログラフ振れ〜荷重試験に使用せし装置により荷重—變形關係を求む。図示の如き曲線となる。載荷後約 3 分毎に變形を更に載荷したものである。變形は、ダイヤルゲージ、と スフェロメーターを使用した、最初第 1 回荷重に於ける變形より弾性率 E_0 を算定した。



第 39 圖

然るに静的荷重によるアスファルト、ゴムの弾性率 E_s は第 III 章〔4〕節により下の如し

$$\begin{cases} \text{アスファルト} & E_s: 3 \times 10^7 \text{ dyne/cm}^2 \text{ 静的實驗} \\ \text{ゴム} & \mu^* & E_s: 3.8 \times 10^7 \text{ dyne/cm}^2 \text{ 静的實驗} \end{cases}$$

本章〔1〕節に述べし如く $E_s > E_s$ 。……にて (33) (34) 式と比較すれば Voigt 物質と假定せるアスファルトの性狀の正しきを知る。斯くの如くして振動中の弾性率を求める事が出来た。更に (34) 式よりアスファルト、ゴムの Voigt 物質として時間常数 τ_2 を計算する。但し $\tau_2 = 0$ は完全弾性體の場合を示し材料特性中重要なものである。(34) 式中 ω に $\frac{2\pi}{p}$ を代入し計算す。

$$\begin{cases} \text{アスファルト: } \tau_2 = 3.68 \times 10^{-2} (\text{秒}), \gamma = 11 \times 10^5 \text{ dyne sec/cm}^2 (\text{温度約 } 10^\circ\text{C}) \\ \text{ゴム} & \mu: \tau_2 = 1.06 \times 10^{-2} (\text{秒}), \gamma = 4.04 \times 10^5 \text{ dyne sec/cm}^2 (\text{室温}) \end{cases}$$

一般に振動現象に於て (47) 式の減衰項 $e^{-\frac{\gamma}{2p}t}$ は重要なもので工作物の振動、衝撃力傳播等に常に考慮に入れられてゐる。上式に下記の如き週期 (p) の關係 $p = 2\pi \frac{1}{\sqrt{E/\rho}}$ を代入すれば (51) 式を得。即ち

$$\frac{1}{e} \left(\frac{\gamma}{E} \right) \cdot \frac{4\pi^2}{p^2} \cdot t \quad \frac{1}{e} \left(\frac{\gamma}{E} \right) \cdot \frac{4\pi^2}{p^2} \cdot t \dots\dots\dots (51)$$

(51) 式により減衰振動に於ける τ_2 の意義明かである。Voigt 材としての振動中に於ける $\tau_2 \left(= \frac{\gamma}{E} \right)$ が各種の材料で測定されてゐる。金属材料としては實驗比較的容易の爲め〔2〕節に述べた如く多くの研究あるも、土木建築材料に就き斯る研究は僅少にて著者等間の爲めか 2, 3 地震振動に於ける圓柱振動より $\tau_2 \left(= \frac{\gamma}{E} \right)^{54)}$ を算定されしものあるのみである。斯る方面の研究はアスファルトのみならず土木建築材料全般にわたり必要である。ゴムに就ては J. Eccles⁵⁵⁾ の實驗あるも

$$E_s = 1.19 \times 10^7 \text{ (C.G.S.)} \quad 1.30 \times 10^7 \text{ (C.G.S.)}$$

の 2 種のゴムにて減衰より先づ τ_2 を求めしものにて時間常数 τ_2

$$\tau_2 = 28 \times 10^{-4} (\text{秒}) \quad \tau_2 = 6 \times 10^{-4} (\text{秒})$$

……を得てゐるが後述第 17 表と比較するに又他の材料と比較するに可なり減衰性小さきものであつた。著者の實驗は上述の如く $\tau_2 = 1.06 \times 10^{-2}$ (秒) 程度である J. Eccles の結果とは可なり異つてゐる (空氣抵抗をも含む) 第 17 表の順序よりすれば τ_2 の小なる方可ならんが、静的實驗の結果ではあるが著者は又第 V 章に於て水硝子の Voigt 物質とし

54) 末廣恭二: On the damped transversal Vibration of prismatic Bars, 末廣論文集, 1934, P. 331.

55) J. C. Eccles: 前掲 (36) * 前頁に在る

ての特性をも求める事が出来た、即ち： $\tau_2=4.5 \times 10^{-1}$ 秒を得た。

今道路舗装用アスファルト、及び水硝子の Voigt 物質としての性状を理解し減衰振動に於ける特性を明かにする事が出来た、一般材料學の立場より $\tau_2 (= \frac{\gamma}{E})$ の程度を洞察する爲め、2, 3 各種材料の $\tau_2 (= \frac{\gamma}{E})$ を表示する。第 17 表に示す。

第 17 表 二三重要材料の固體粘性係數 (γ), Voigt 物質時間常數 $\tau_2 (= \frac{\gamma}{E})$

材 料 名	固體粘性係數 $\gamma (\frac{\text{dyne} \cdot \text{sec}}{\text{cm}^2})$	弾 性 率 $E (\frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2})$	時 間 定 數 $\tau_2 = \frac{\gamma}{E} (\text{sec})$	實 験 者 及 び 方 法
鐵	5×10^8	20.5×10^{11}	2.5×10^{-4}	本多博士 ⁵⁶⁾ 振り振動法 妹澤博士 ⁵⁷⁾ 撓み振動法
銅	1.0×10^7	—	0.28×10^{-4}	
眞 鍮	1.35×10^7	—	0.19×10^{-4}	
ヂ ュ ラ ル ミ ン	0.75×10^7	—	0.13×10^{-4}	
アルミニウム	0.65×10^7	—	0.09×10^{-4}	
煉瓦, コンクリート 構造物	—	—	$1.85-4.28 \times 10^{-3}$	末廣, 谷口, 田中博士 ⁵⁸⁾ 衝突構造物の振動減衰率より求む
道路舗装用アスファルト (約10°C)	11×10^5	$\begin{cases} 3 \times 10^9 (E_a) \\ 4.28 \times 10^8 (E_b) \end{cases}$	3.7×10^{-2}	島田 四端壓縮振動法
ゴ ム (27~17°C)	4.04×10^5	$\begin{cases} 3.8 \times 10^8 (E_a) \\ 8.9 \times 10^7 (E_b) \end{cases}$	1.06×10^{-2}	
水 硝 子 (1°C)	4.38×10^5	$8.85 \times 10^8 (E_a)$	4.5×10^{-1}	島田 静荷重法

第 17 表によれば舗装材料用のアスファルトは振動現象に對し相當大なる減衰作用を呈することが分る。ゴムは更に其の作用の大なる事が分り、水硝子に至れば τ_2 増大し漸次 Voigt 物質の弾性振動特性を失ふに至る。金屬材料より此等の値を列擧する事により相互の關係が明かになつた。Voigt 物質としてアスファルトの斯く振動減衰作用のコンクリート等に比し大なる事は舗装工學上重要な特性の一つである。

〔5〕 要 約

本章に於てはアスファルト類の如き道路舗装用材に於ては振動中の弾性的特性を明かにする必要を述べ、一般物質の弾性的特性の振動數による影響を考察し、Maxwell, Voigt, Maxwell-Voigt 物質に於ける此等の特性を明かにし、履歴損失等を述べ一方直壓縮振動實驗を供試料自己振動週期の下に行ひ、結果を各種の式に適用しアスファルトの振動性状に

56) K. Honda, S. Konno: On the Determination of the Coeff. of nominal Viscosity of Metals, Phil. Mag. vol. 42, p. 115, 1921.

57) 妹澤克能: 前掲 (37).

58) 末廣恭二: 前掲 (54).

關する有要なる 2, 3 の結論を得。舗装上に於ける振動減衰を支配する物質常数をも定め所謂乗心地の意義を舗装材の固體粘性係數 (γ) と彈性係數 (E) の比により比較考察し、斯る見地より見たる舗装材としてのアスファルトの位置を明かにした。今本章に試み得た 2, 3 の結果及び主要なる事項を列挙すれば下記の如くなる。

- (1) 振動状態に於ける各種材料の性状を吟味す。
- (2) 實驗法として直壓縮自己振動を用ひ、ビエゾ水晶により壓力を電荷に變じオッシログラフを使用し彈性的性状を研究す。
- (3) 振動状態に於ける彈性率 (E_k) と靜荷重による彈性率 (E_s) との差異を明かにし、 $E_k > E_s$ と振動數 (f) との關係式の内 Voigt 物質に關する式 $E_k = E_s \sqrt{1 + (\tau_2 \omega)^2}$ を舗装用アスファルトの實驗結果に適用した。
- (4) アスファルト、ゴムの振動状態に於ける彈性率 E_k : 4.28×10^8 dyne/cm², $E_s = 8.9 \times 10^7$ dyne/cm² を得。
- (5) アスファルト、ゴムの E_k , E_s 彈性係數及び振動週期の關係より固體粘性係數 (γ) 及び Voigt 物質時間定數 $\tau_2 \left(= \frac{\gamma}{E} \right)$ を求む。

アスファルト	$\gamma = 11 \times 10^3$ dyne sec/cm ²	$\tau_2 = 3.7 \times 10^{-2}$ 秒
ゴム	$\gamma = 4.04 \times 10^5$ dyne sec/cm ²	$\tau_2 = 1.06 \times 10^{-2}$ 秒
- (6) 時間定數 τ_2 の一般減衰振動現象に對する意義よりして各種材料の τ_2 値に就き考察し相互關係を明かにす。
- (7) 以上の如く Voigt 物質としての道路用アスファルトの力学的特性を明かにす。
- (8) 將來アスファルト類の力学的研究に對する指針を得。

以上の如く振動中のアスファルトの性状を明かにした。本研究はアスファルトに對し溫度關係稍々明確を缺くが第一段階として試みたもので將來此の點を明かにしたい。更にアスファルトの如き所謂可塑性物質の力学的性状を明かにするには、基本的研究の必要なる理由を明かし、アスファルトのゴム、コンクリートに對し如何なる位置にあるかを減衰振動上明かにした。其の他水硝子の Voigt 物質としての性状をも明にし附記する事が出來た。

VII. I 章~VI 章の結論

本報告は道路舗装用アスファルトの各種力学的特性を明かにせんと試みたものであるがアスファルトは一般金屬材料等に比し彈性的性質の不完全なる爲め研究に多くの困難を伴ふものである。斯る見地より先づ舗装材として研究を要すべき重要な部門に就き分類し、荷重状態を 1) 靜的荷重 2) 動的荷重に 2 分し主として工學的立場より彈性的特性を研

究した。アスファルトの力學的特性の研究に關し物質を Maxwell, Voigt, Maxwell-Voigt の3物質に分類し各特性が實驗上如何に表れるやを吟味した。研究の結論は各部門の結論第IV章, V章〔4〕節, VI章〔5〕節に詳細に要約記述せし故、今再び繰返す事を避け、2, 3の點に就き簡単に述べる。水硝子に關する靜荷重による實驗結果をも報告し、可塑性物質の特性を明かにする上に重要な結果を得た。即ち靜的實驗に於て Maxwell-Voigt 物質の特性を得、更に動的振動に於ける Voigt 物質時間定數 τ_2 の比較に重要な結果を得た。

アスファルトに關しては靜的荷重下に於ける Maxwell 物質としての可塑粘性係數の各種の特性、歪力消失現象に關する事柄、更に彈性係數をも測定する事を得、Maxwell 物質としての特性を明かにする事を得た。一方振動狀態に於ける彈性的特性を研究し Voigt 物質としての彈性率 (E_s)、固體粘性係數 (γ) をも得、減衰振動に於ける重要な材料の定數 $\tau_2 \left(= \frac{\gamma}{E} \right)$ を明かにし、アスファルト以外の物質に就てもゴム、水硝子の斯かる特性を測定し相互の關係を一層闡明する事を得た。

詳細の結論は各章結論を参照されん事を希望するも以上の各章の研究によりアスファルトが靜的及び動的荷重に對し如何なる力學的性狀を呈するやを明かにする事を得、鋪裝材料としてのアスファルトの位置を力學的特性より明かにする事を得た。一方本研究により將來鋪裝工學の立場よりするも純然たる材料學の立場よりするも如何なる方向の研究が此種材料に對して必要であるかを推論し一つの新しき視野を展開せしむる事を得た。

〔附記〕 本研究に當り所長物部博士を始め所員の御指導御援助に俟つ所多し、一方本研究實驗及び整理に關しては山本仁雄君の努力による所頗る多し茲に錄して深く感謝する次第である。

停止波に就て

横 田 周 平

内 容 梗 概

水路に於て射流より常流に移行する過渡的部分に現はれる停止波に就き解析的にその存在を證明せんと試みたものである。水力學的に嚴密な證明は非常に困難なるを以て二三の概念的に承認し得る假定を設け計算を簡單ならしめ求め得た波長と實驗室に於ける實際の波長とを比較して大體一致した結果を得た。

目 次

I 停止波	(1)
〔1〕 停止波	(1)
〔2〕 停止波の實例	(1)
II 計 算	(2)
〔1〕 基礎方程式	(2)
〔2〕 假 定	(3)
〔3〕 解 法	(4)
〔4〕 變數の置換	(5)
〔5〕 積 分	(6)
〔6〕 波 長	(7)
〔7〕 實驗水路に於ける停止波	(7)
〔8〕 修正計算	(9)
〔9〕 數値計算	(11)
III 結 論	(12)

I. 停 止 波

〔1〕 停 止 波

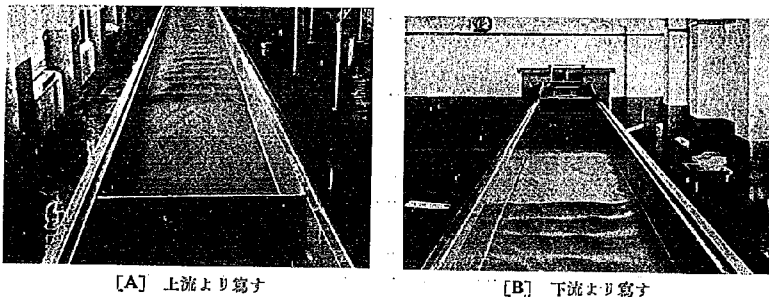
停止波は定流に現はれる一種の波で波形は進行波或は定常波と異なり空間に固定して時間的に變化せず水分子は固定せる波形に従つて振動しつつ流下するものである。射流より常流への過渡的現象の一例として跳水現象があるが此れは水路下流に何等かの障害を設け背水の影響を與へた場合に起るものであつて一樣な矩形水路に何等障害なき場合には射流と常流との間に停止波を生じ波形は全勢力が限界水深に相應する最小全勢力に近づくまで続くものである。

〔2〕 停止波の實例

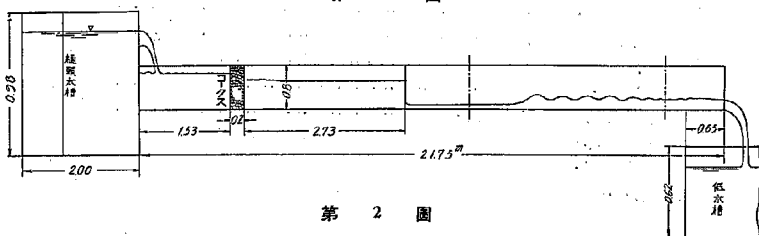
一般の河川に於ても急流部にあつては屢々停止波の存在を見受けるが底の不均一或は粗度の異なる爲に形は不規則で波の數も數個を出でない。然しながら實驗室に於ては簡単に

明瞭な停止波を数多く得る事が出来る。

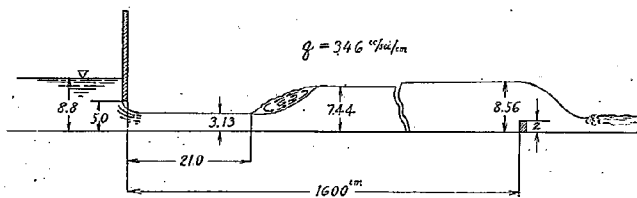
第 1 圖は本試験所赤羽分所に於ける 80 cm 鋼製水路に於ける停止波の寫眞であり第 2 圖はその水路中心の縦断面圖である。波の位置、波長、波高等は流量及び間隙の一定なる限り決して移動或は變化しない。即ち定流である。水路下端に高さ約 2 cm の障壁を設けた場合には第 3 圖に示す如き跳水現象が得られる。



第 1 圖



第 2 圖



第 3 圖

II. 計 算

〔1〕 基礎方程式

$$\frac{1}{2}(u^2 + v^2) + g\eta + \frac{p}{\rho} = \text{定数} \dots\dots\dots (1)$$

(2)

$$\int_0^y u_\eta d\eta = q = \text{定数} \dots \dots (2)$$

u_η : 底より η なる高さの水分子の水
平流速

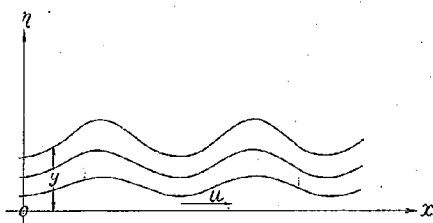
v_η : 底より η なる高さの水分子の鉛
直流速

η : 底より鉛直上向に取る距離

y : 底より水面までの高さ

q : 単位幅當りの流量

g : 重力の加速度



第 4 圖

(1) 式は運動方程式であり、定流なるに依り Bernoulli の定理に従ひ各流線に付き成立する。(2) 式は連続方程式であり、同時に流量の一定なる事を表はす。

〔2〕 假 定

(1), (2) の基礎方程式より一般的に解く事は非常に困難なるを以て次の如き假定を設け計算を簡単にする。

u_η は η に無関係と假定する。即ち或る断面に於ける水平流速を u とすれば

$$u_\eta = u$$

水面に於ける水分子の鉛直流速 v_y はその断面の平均鉛直流速 v に近きものと假定する。

即ち
$$v_y = v = \frac{1}{y} \int_0^y v_\eta d\eta$$

水分子の鉛直加速度を無視すれば

$$\frac{p}{\rho} = g(y - \eta)$$

$$\therefore g\eta + \frac{p}{\rho} = gy$$

實際の場合にあつては鉛直加速度を無視し得ざる爲に壓力水頭に對し後節に述べる如く補正を要するも數式の取扱は同一なるを以て、先づ簡單なる場合の解を求める。以上の假定より (1), (2) の方程式を平均流速に對する式に變換すれば

$$\frac{1}{2g}(u^2 + v^2) + y = H \dots \dots \dots (1')$$

$$u y = q \dots \dots \dots (2')$$

(1') 式は一般の勢力線式 $H = y + \frac{u^2}{2g}$ に鉛直流速に對する流速水頭 $\frac{v^2}{2g}$ を加へたものである。

實際の波形は内部摩擦、水路の粗度等に依る勢力損失の爲減衰するも以下の所論に於ては損失を無視し勢力線の高さ H は各断面に於て不變と假定する。

〔3〕 解 法

前節 (1'), (2') 式に於て u, v, y は夫々 x のみの函数である。(2') 式を x につき微分すれば

$$u \frac{dy}{dx} + y \frac{du}{dx} = v_y + y \frac{dv}{dx} = 0$$

假定に依り

$$v_y = v$$

$$\therefore v = -y \frac{du}{dx}$$

又 (2') 式より

$$u = \frac{q}{y}$$

$$\therefore \frac{du}{dx} = -\frac{q}{y^2} \frac{dy}{dx}$$

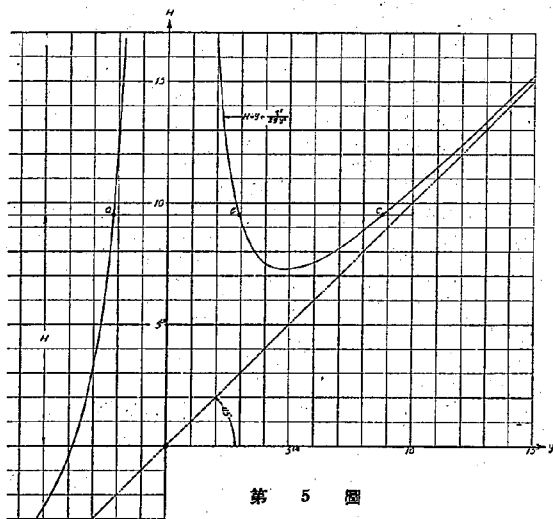
$$\therefore v = \frac{q}{y} \frac{dy}{dx} \dots \dots \dots (3)$$

此等の値を (1') 式に代入すれば

$$\frac{q^2}{2gy^3} \left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\} + y = H$$

或は

$$\int \frac{dx}{\sqrt{\frac{q^2}{2g}}} = \int \frac{dy}{\sqrt{-y^3 + Hy^2 - \frac{q^2}{2g}}} \dots \dots \dots (4)$$



第 5 圖

根號内の三次方程式を零と置きたるものは勢力線式であり此の三根を a, b, c とすれば第 5 圖に於ける 3 點 a, b, c に相當する。 b は射流水深, c は常流水深を表はす。

従つて (4) 式右邊の分母を因數分解すれば

$$\int \frac{dx}{\sqrt{\frac{x^3}{2g}}} = \int \frac{dy}{\sqrt{-(y-a)(y-b)(y-c)}} \dots\dots\dots (5)$$

但し

$$a < 0, \quad c > b > 0$$

(4), (5) 式の右邊は適當に變數を變換する事に依り第一種楕圓積分に歸する事が出来る。

従つて y, u, v は x の楕圓函數として表はし得る。

[4] 變數の置換

$$y = \frac{P+Qt}{1+t} \dots\dots\dots (6)$$

$$\therefore dy = \frac{Q-P}{(1+t)^2} dt \quad \text{と置けば}$$

$$\begin{aligned} & \int \frac{(Q-P)dt}{\sqrt{-(1+t)\{(P-a)+(Q-a)t\}\{(P-b)+(Q-b)t\}\{(P-c)+(Q-c)t\}}} \\ &= \int \frac{(Q-P)dt}{\sqrt{-\{(P-a)+(P+Q-2a)t+(Q-a)t^2\}\{(P-b)(P-c) \\ & \quad + [(Q-b)(P-c)+(P-b)(Q-c)]t+(Q-b)(Q-c)t^2\}}} \end{aligned}$$

t の係数を零ならしむる如き P, Q の値を求むれば

$$P+Q-2a=0, \quad (Q-b)(P-c)+(P-b)(Q-c)=0$$

即ち

$$P=a+\sqrt{(b-a)(c-a)}, \quad Q=a-\sqrt{(b-a)(c-a)}$$

此の値を上式に代入すれば

$$\int \frac{-2dt}{\left(\sqrt{c-a}+\sqrt{b-a}\right)\sqrt{(1-t^2)}\left\{\left(\frac{\sqrt{c-a}-\sqrt{b-a}}{\sqrt{c-a}+\sqrt{b-a}}\right)^2-t^2\right\}}$$

$$1 > k = \frac{\sqrt{c-a}-\sqrt{b-a}}{\sqrt{c-a}+\sqrt{b-a}} > 0 \quad \text{と置き } t = kw \quad \text{と置換すれば}$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{\frac{x^3}{2g}}} = \frac{-2}{\sqrt{c-a}+\sqrt{b-a}} \int \frac{dw}{\sqrt{(1-k^2w^2)(1-w^2)}} \dots\dots\dots (7)$$

(6) 式に P, Q, t の値を代入すれば置換式は

$$y = \frac{P+Qkw}{1+kw} = \frac{\{a+\sqrt{(b-a)(c-a)}\} + \{a-\sqrt{(b-a)(c-a)}\} \frac{\sqrt{c-a}-\sqrt{b-a}}{\sqrt{c-a}+\sqrt{b-a}} w}{1 + \frac{\sqrt{c-a}-\sqrt{b-a}}{\sqrt{c-a}+\sqrt{b-a}} w} \dots\dots\dots (8)$$

となり

$$y = b \text{ に対し } w = 1$$

$$y = c \text{ に対し } w = -1 \quad \text{を得る.}$$

即ち射流水深 b 、及び常流水深 c の間を往復すると見做される停止波の各状態は (7) 式の楕圓積分に於て $w = -1, w = 1$ の間で表はされる。

〔5〕 積分

第 4 圖に於けるが如く射流水深 b に相等する箇所を原點に選べば (4), (7) より

$$\begin{aligned} \int_0^x \frac{dx}{\sqrt{\frac{q^3}{2g}}} &= \int_b^y \frac{dy}{\sqrt{-y^3 + Hy^2 - \frac{q^3}{2g}}} = \frac{-2}{\sqrt{c-a} + \sqrt{b-a}} \int_1^w \frac{dw}{\sqrt{(1-k^2w^2)(1-w^2)}} \\ &= \frac{2g}{\sqrt{2g}(\sqrt{c-a} + \sqrt{b-a})} = A \\ &= \int_0^1 \frac{dw}{\sqrt{(1-k^2w^2)(1-w^2)}} = K \end{aligned}$$

と置けば

$$\begin{aligned} \frac{x}{A} &= \int_0^w \frac{dw}{\sqrt{(1-k^2w^2)(1-w^2)}} - \int_0^1 \frac{dw}{\sqrt{(1-k^2w^2)(1-w^2)}} \\ &= \int_0^w \frac{dw}{\sqrt{(1-k^2w^2)(1-w^2)}} - K \end{aligned}$$

或は

$$\int_0^w \frac{dw}{\sqrt{(1-k^2w^2)(1-w^2)}} = \frac{x}{A} + K$$

Gudermann に依る楕圓函數を導入すれば

$$w = \operatorname{sn}\left(\frac{x}{A} + K\right) \dots\dots\dots (9)$$

(9) 式を (8) 式に代入すれば y を x の函數として求め得た事となる。

即ち

$$y = \frac{P + Qk \operatorname{sn}\left(\frac{x}{A} + K\right)}{1 + k \operatorname{sn}\left(\frac{x}{A} + K\right)} \dots\dots\dots (10)$$

従つて

$$u = q \frac{1 + k \operatorname{sn}\left(\frac{x}{A} + K\right)}{P + Qk \operatorname{sn}\left(\frac{x}{A} + K\right)} \dots\dots\dots (11)$$

$$v = \frac{qk(P - Q) \operatorname{cn}\left(\frac{x}{A} + K\right) \operatorname{dn}\left(\frac{x}{A} + K\right)}{A \left\{ 1 + k \operatorname{sn}\left(\frac{x}{A} + K\right) \right\} \left\{ P + Qk \operatorname{sn}\left(\frac{x}{A} + K\right) \right\}} \dots\dots\dots (12)$$

但し

$$\operatorname{sn}^2 x + \operatorname{cn}^2 x = 1, \quad \operatorname{dn}^2 x + k^2 \operatorname{sn}^2 x = 1$$

$$\frac{d}{dx} \operatorname{sn} x = \operatorname{cn} x \operatorname{dn} x$$

〔6〕波 長

以上で方程式 (1'), (2') は解かれた事となる。\$sn(x, k)\$; \$cn(x, k)\$; \$dn(x, k)\$ は夫々實數及び虚數の 2 種の周期を有する周期函数であり、實周期は \$4K\$; \$4K\$; \$2K\$ である。従つて (10) 乃至 (12) 式より停止波の波長として次式を得。

$$\lambda = 4AK \dots \dots \dots (13)$$

但し

$$A = \frac{2g}{\sqrt{2g}(\sqrt{c-a} + \sqrt{b-a})}$$

$$K = \int_0^1 \frac{dw}{\sqrt{(1-k^2w^2)(1-w^2)}} = \int_0^{\pi/2} \frac{d\phi}{\sqrt{1-k^2\sin^2\phi}}$$

$$= \frac{\pi}{2} \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 k^2 + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 k^4 + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 k^6 + \dots \right\}$$

$$0 < k = \frac{\sqrt{c-a} - \sqrt{b-a}}{\sqrt{c-a} + \sqrt{b-a}} < 1$$

〔7〕實驗水路に於ける停止波

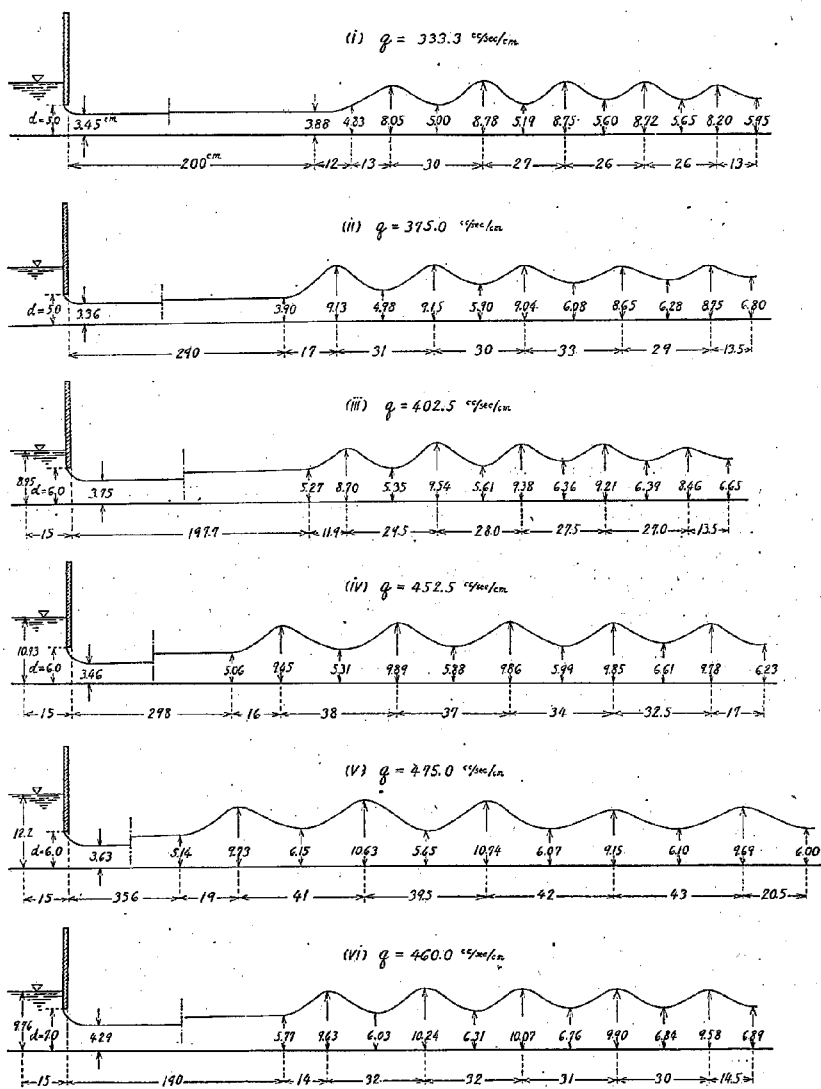
幅 80 cm, 長さ約 20 m の鋼製水路に於て 6 種の場合に就き得たる停止波の水路中心に於ける縦斷圖を示せば第 6 圖の如し。

極小水深 \$b'\$, 極大水深 \$c'\$, 波長 \$\lambda'\$ の各平均値及び流量 \$q\$ と此の流量に對する限界水深 \$y_c\$ 間隙 \$d\$ を表示すれば第 1 表の如し。

第 1 表

	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)
\$b'\$ cm	5.48	6.01	6.07	6.00	6.16	6.57
\$c'\$ cm	8.50	8.92	9.06	9.77	9.99	9.88
\$\lambda'\$ cm	26.20	30.30	27.80	35.00	41.30	31.30
\$q\$ cc/sec/cm	333.30	375.00	402.50	452.50	475.00	460.00
\$y_c\$ cm	4.76	5.24	5.49	5.93	6.13	6.00
\$d\$ cm	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00

第 6 圖及び第 1 表より歸納せられる停止波の一般的性質に就ては結論に於て述べる事とし本節に於ては極小水深 \$b'\$ が常に限界水深より大であつて \$b', c'\$ の値は前述の勢力線式 \$H = y + \frac{q^2}{2gy^3}\$ に於ける射流及び常流の兩水深と見做し得ない事に着目する。定流に於ては各斷面の全勢力は一定なるべきである。然るに實際の極小, 極大兩水深に相當する全勢力水頭は上述勢力線に依れば第 7 圖に於て \$b'B, c'C\$ で表はされ極小水深 \$b'\$ に相等する全勢力は \$c'\$ のそれに比して非常に小である。



第 6 圖

流量 q は堰により測定し水面の高さは水面測定器により測定せるものであり、従つて極小、極大兩水深に於ける流速水頭は相等正値なるものと見做し得る。其故に上述の誤謬は主として水分子の鉛直加速度を無視し位置水頭及び壓力水頭の和を等速定流の場合の如く底より水面までの高さ y に等しと假定せる事に基くものである。

〔8〕 補正計算

本節に於ては水分子の鉛直加速度を考慮し停止波の場合に適應し得べき勢力線の近似式を導き、此れに依りて實際の極小、極大兩水深より波長を求むべき計算式を算出する。

各水分子の徑路を追跡すれば第4圖に示せる如くであつて略正弦曲線と假定し得。

即ち
$$\eta = B + C \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \dots\dots\dots (14)$$

時間に就き微分し

$$v_\eta = \frac{d\eta}{dx} \frac{dx}{dt} = 2\pi C \frac{u}{\lambda} \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \dots\dots\dots (15)$$

$$\frac{dv_\eta}{dt} = -4\pi^2 C \frac{u^2}{\lambda^2} \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} + 2\pi C \frac{u}{\lambda} \frac{du}{dx} \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \dots\dots\dots (16)$$

$\frac{du}{dx}$ は非常に小であつて $\frac{u}{\lambda}$ に比して省略し得る。従つて (16) 式は次の如くなる。

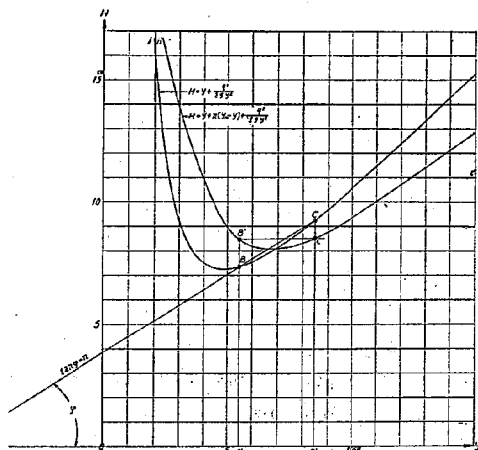
$$\frac{dv_\eta}{dt} \div -4\pi^2 C \frac{u^2}{\lambda^2} \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \dots\dots\dots (17)$$

$$(14) \text{ 式より極大水深は } x = \left(\mu + \frac{1}{4}\right)\lambda$$

$$\text{極小水深は } x = \left(\mu + \frac{3}{4}\right)\lambda$$

の位置にある。但し μ は零又は正負の整数である。

(15) 式より極大、極小兩水深の際に鉛直速度は零である。



第 7 圖

(17) 式より水分子の鉛直加速度は極大水深の際に極小値を、極小水深の際に極大値を採る。換言すれば極大水深に於ては水分子は鉛直下向きに $4\pi^2 C \frac{n^2}{\lambda^3}$ なる加速度を受ける。即ち表面に近き水分子は底に近き水分子の爲に下向の力を受ける。逆に表面に近き水分子は底に近き水分子に重力に抗して上向の力を與へてゐる事となる。従つて底部に於ける壓力水頭は y より小である。従つて極大水深に於ける位置水頭及び壓力水頭の和の平均値は水面の高さ y より小でなければならぬ。同様の推論により極小水深に於ては位置水頭及び壓力水頭の和の平均値は y より大である。

以上の所論より勢力線式 (1') を次の如く簡単に補正する。

$$\frac{1}{2g}(n^2 + v^2) + y + n(y_m - y) = H \quad \dots\dots\dots (18)$$

極大、極小兩水深の中間に位置水頭及び壓力水頭の和の平均値が水面の高さ y に等しい點が存在する。此の水面の高さを y_m とする。 n は 1 より小なる正數である。 n は極大、極小兩水深に於ける全勢力が相等しい事より求められる。 y_m は H の値を射流より停止波に移る直前の射流水深より算定する事に依り求められる。即ち (18) 式に於て $y = b', c'$ に於て夫々 $u = \frac{q}{b'}, \frac{q}{c'}$; $v = 0$ なるを以て

$$\left. \begin{aligned} \frac{q^2}{2gb'^3} + b' + n(y_m - b') &= H \\ \frac{q^2}{2gc'^3} + c' + n(y_m - c') &= H \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$(19) \text{ 式より } n = 1 - \frac{q^2}{2g} \frac{b' + c'}{b'^3 c'^3} \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$\left. \begin{aligned} y_m &= \frac{1}{n} \left\{ H - (1-n)b' - \frac{q^2}{2gb'^3} \right\} \\ &= \frac{1}{n} \left\{ H - (1-n)c' - \frac{q^2}{2gc'^3} \right\} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (21)$$

(1') 式の代りに (18) 式を用ひ (18), (2') 式を解けば (4) 式と同様に

$$\int \frac{dx}{\sqrt{2g \frac{q^2}{1-n}}} = \int \frac{dy}{\sqrt{-y^3 + \frac{H - ny_m}{1-n} y^2 - \frac{q^2}{2g(1-n)}}} \quad \dots\dots\dots (22)$$

(22) 式右邊根號内の y に關する三次式に $y = b', y = c'$ として代入すれば (19) 式に依り零となる。即ち b', c' は三次方程式

$$-y^3 + \frac{H - ny_m}{1-n} y^2 - \frac{q^2}{2g(1-n)} = 0 \quad \text{の二根である。}$$

他の一根を a' とすれば $-a' = b' + c' - \frac{H - ny_m}{1-n}$

$$(21) \text{ 式より } \frac{H - ny_m}{1-n} = b' + \frac{q^2}{2g(1-n)b'^3}$$

$$=c' + \frac{q^2}{2g(1-n)c'^2}$$

(20) 式より

$$\frac{q^2}{2g(1-n)} = \frac{b'^2 c'^2}{b' + c'}$$

$$\therefore -a' = \frac{b'c'}{b' + c'} > 0 \quad \dots\dots\dots (23)$$

従つて (22) 式は (5) 式と同様な形に導かれる。

$$\int \frac{dx}{\sqrt{\frac{q^2}{2g(1-n)}}} = \int \frac{dy}{\sqrt{-(y-a')(y-b')(y-c')}} \quad \dots\dots\dots (24)$$

(24) 式を解けば y, u, v に對し (10), (11), (12) の各式と全然同形の解を得る。波長は

(13) 式と同様に

$$\lambda = 4AK$$

但し

$$A = \frac{2q}{\sqrt{2g(1-n)}(\sqrt{c'-a'} + \sqrt{b'-a'})}$$

或は (19) 式の n の値を代入して

$$A = \frac{2b'c'}{\sqrt{b'+c'}(\sqrt{c'-a'} + \sqrt{b'-a'})} \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$K = \frac{\pi}{2} \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2} \right)^2 k^2 + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \right)^2 k^4 + \dots \right\} \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$0 < k = \frac{\sqrt{c'-a'} - \sqrt{b'-a'}}{\sqrt{c'-a'} + \sqrt{b'-a'}} < 1 \quad \dots\dots\dots (27)$$

〔9〕 數値計算

A, K は (25), (26), (27) 式により a', b', c' に依り表はされ a' は (23) 式により b', c' より得らる。従つて波長は極小極大兩水深より直ちに求められる。第 1 表に於ける b', c' の値を用ひ第 6 圖に示す 6 種の場合につき a', k, A, K, λ を計算すれば第 2 表に示す如くなる。

第 2 表

	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)
a' cm	-3.330	-3.590	-3.630	-3.720	-3.810	-3.950
k	0.054	0.066	0.067	0.083	0.067	0.069
K	1.577	1.578	1.578	1.582	1.578	1.578
A cm	3.750	4.140	4.240	4.360	4.460	4.590
λ cm	23.700	26.100	26.800	27.600	28.200	29.000
λ' cm	26.200	30.300	27.800	35.000	41.300	31.300

λ は計算値, λ' は實測値である。

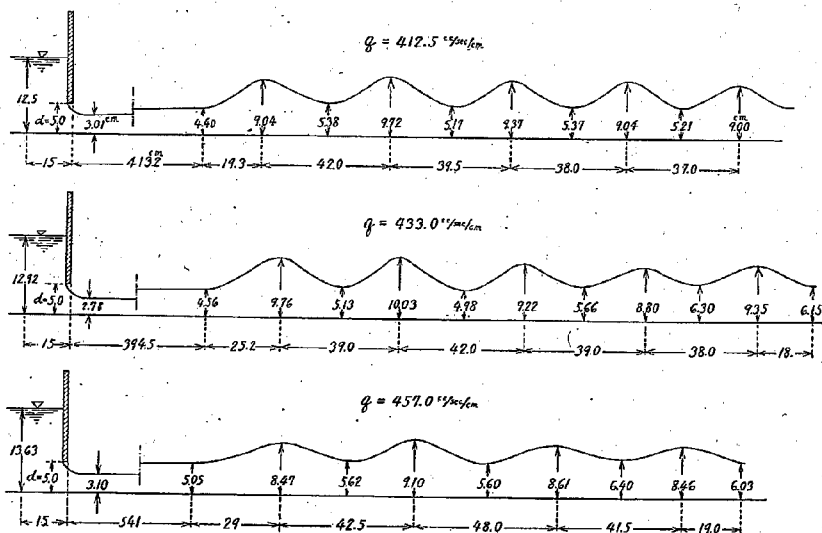
第 2 表に於て直ちに明らかなる如く k の値は常に 0.1 より小である故 K の値は $\pi/2$ に近く實際に k を算出する事なく $K \approx 1.58$ と假定する事が出来る。従つて波長は次式で與へられる。

$$\lambda = 4KA = 6.32A$$

又第 2 表 (ii), (iv), (v) の場合に於ける波長の計算値は實際の値と相當懸隔があるが此等の場合は第 6 圖に見る如く全て (i), (iii), (vi) の場合に比較して射流部が長く最初の数個の波長は大であるが次第に短縮し計算値に接近してゐる。(第 8 圖参照) 一定流量に對し間隙を出来るだけ大きく取り射流部を短縮し波形を齊一にした場合に波長は最小で計算値と略一致する。

III. 結 論

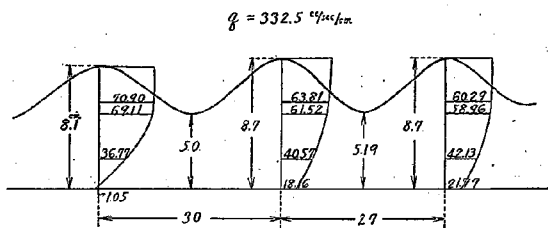
射流より停止波に移る過程は跳水現象と類似してゐるが後者にあつては下流に障壁等を設け強制的に水面を上昇せしめてゐるに反し停止波は一定の流量に對し間隙 d 及び水路の粗度に關する固有の現象である。第 6 圖及び第 8 圖に示す如く、 d を不變とし流量を増加すれば射流部の長さが次第に増大し波形は不均一となり波長は最初大であつて次第に短縮される。



第 8 圖

射流より停止波に移る過程は次の如く説明する事が出来る。最初速度分布の一様な射流は水路の粗度の爲底部は次第に減速され従つて徐々に速度分布の變化による水深増大と粗度及び内部摩擦に起因する勢力損失に相等する水深増大を來す。速度分布の變化は流體の内部抵抗の爲一定の限度があると推定し得る。其故に底部が甚だしく減速される時は平均速度は急に減小し水深は増大する。然しながら第5圖の勢力線圖に見る如く射流部に於ては水深の僅かな増大は大なる勢力損失を伴はなければならないが此の場合徐々に水深を増加せしめるだけ勢力を消耗し得ない爲に餘分の勢力は表面の水分子を重力に抗して鉛直方向に跳ね上げるに使用される。此の際流體の連続性は彈條と同様の作用を及ぼし一旦跳ね上げられた表面に近き水分子は再び引き下けられるが平衡の状態を通り過ぎる爲に再び跳ね上げられる。

極小水深に於ける水平速度は略、均一であるが極大水深に於ては假定と反し底部の流速は非常に小であり、第9圖に示す如く明瞭に渦を認められる所もある。波頂は上下に相當



第 9 圖

變動し猶表面渦を生ずる場合もあり流速を正確に測定し得なかつたが大體圖の如く分布するものと認められた。

射流部の長さは跳水現象にあつては背水の影響に因つて左右されるも停止波の場合は流量及び間隙を一定とすれば水路の粗度のみの函数と見做し得るを以て實驗室に於ける粗度測定之最も有力な手がかりの一つと思はれる。

補正せる勢力線式 (18)

$$\frac{1}{2\sigma}(u^2+v^2)+y+u(y_m'-y)=H$$

に於ける n, y_m の値の範囲を實際の場合に就き (20), (21) 式に依り求むれば

$$n \doteq 0.6, \quad \gamma_m \doteq 1.15 \gamma_0$$

但し γ は限界水深を表はす。此等の値を最初より假定すれば H 及び q を與へられ、一般的に極大、極小兩水深及び波長を算出する事が出来る。

土木試験所出版圖書

報告

- 第一號 {路面及勾配が周車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告} 大正十四年 三月發行
 第二號 {瀝青質材料並瀝青質混合物に關する研究第一報} 大正十五年 一月發行
 第三號 {「グアイアログ」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扭力試験報告} 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、石材類標準試験方法} 同 十月發行
 *第九號 {急硬性「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、高知縣黒瀬川産砂に關する試験、多摩川産砂利及砂に關する調査、石材類試験成績} 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)} 昭和三年 三月發行
 道 路 橋 樑 動 試 驗
 *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、瓦斯爐及穀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} 昭和四年 一月發行
 第十三號 {ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試験、橋梁用墩板強度試験、舊橋鐵材の腐蝕に關する調査、鋪裝用鐵鐵ブロック磨耗試験} 同 五月發行
 *第十四號 {瀝青乳劑及ビチ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 {北上川降開式轉動堰模型試験、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} 昭和五年 二月發行
 *第十六號 {路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第二)} 同 五月發行
 瀝青滲透ブロック鋪裝試験、工事用石材試験成績
 *第十七號 {路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第三)} 同 五月發行

- *第十八號 { 混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試験、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驗成績 } 昭和五年十月發行
- *第十九號 { 路面構造の運輸經濟に及ぼす影響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 { 東京山手線土の彈性的性質に關する試験(一)、基礎の沈下試験、國道鐵筋混凝土桁橋標準設計案 } 昭和六年六月發行
- 第二十一號 { 背水曲線の一般的解法、單鉸拱の振動に關する理論並に實驗、瀝青鋪裝の構造に關する試験、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、瀝青乳劑試驗成績 } 同 十二月發行
- 第二十二號 { 地震時土壓の實驗的研究、混凝土鋪裝縱目用エラストイト試験、高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試験、基礎の沈下量算定法(第二)、新土壓計算圖表 } 昭和七年五月發行
- 第二十三號 { 簡易鋪裝に關する實地比較試験、鋼矢板試験、大和川筋龜ノ瀨地に關する調査(第一) } 同 七月發行
- 第二十四號 { 道路の背向曲線の設計に就て、阻柱に關する試験、乳劑の粘度に就て、府縣道鐵筋コンクリート桁橋標準設計案、碎石の磨損率に關する一試験、三陸津浪調査報告、本邦產鋪裝用石材(附錄) } 昭和八年六月發行
- *第二十五號 { 本邦鋪裝用タールの性質に就て、横溢流渠流量試驗、擁壁の安定増大に關する一提案及之に關する試験、砂利層の支持力に關する試験(第一報)、鋼矢板試験(續)、ユタニツト・バイブ試験 } 同 十一月發行
- 第二十六號 { 地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法、田中村調節池溢流渠に關する水理試験、瀝青鋪裝切取試驗體の性質、道路鋪裝用瀝青乳劑の性状に關する基本的研究(第1報)、自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其一) } 昭和九年三月發行
- 第二十七號 { 道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て、津浪の災害軽減に關する模型試験、津浪の變形の理論、三陸津浪調査報告(追加)、自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其二)、瀝青透入マカダムに關する試験(第一報) } 同 六月發行
- 第二十八號 { 地震動による土堰堤の變形、鉛着鋼引張試驗用小型驗片、國產瀝青乳劑試驗成績、骨材及び類似材料の靱性に關する研究、鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的並に耐震的設計(1) } 同 十月發行
- 第二十九號 { 矢板擁壁の控板に作用する力に關する試験、瀝青縱目材試驗成績、南洋材カボール並にターペンタインの物理的諸性質に關する試験、道路鋪裝用瀝青乳劑の性状に關する基本的研究(第2報)、阪神地方沿岸風水害調査報告 } 同 十二月發行
- 第三十號 { 道路鋪裝用瀝青乳劑の性状に關する基本的研究(第3報)、續口狀河口に於ける水流に就て、下關海峡の潮流に關する模型試験、基礎の基本的研究(第1報)、溢流堤下洗冲刷防止に關する一試験、國道鐵筋板桁橋標準設計案 } 昭和十年四月發行
- 第三十一號 { 土砂の安定強度試験、本邦鋪裝用タールの性質(其のII)、道路鋪裝用タール乳劑に關する研究(第1報)、擁壁裏込の土壓軽減の效果に關する試験、浦戸港々口の潮流に關する試験(第1報) } 同 八月發行

第三十二號

〔本邦道路橋の重量、道路舗装用タール乳剤に関する研究、河川彎曲部に於ける水流に就て、タールとアスファルトとの混合物の舗装材としての性質、タール舗装と水稻の發育との關係、ポर्टランドセメントの凝結後に於ける溶解物のPHに就て、王泊堰堤の漏水の温度及水素イオン濃度〕

昭和十一年十一月發行

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(増補)

昭和三年三月發行

第六回國際道路會議に關する報告書

昭和七年四月發行

土木工事用材料標準試驗方法

昭和七年十二月發行

本邦道路橋輯覽 第三輯

昭和十一年十一月發行

(*印は殘部なし)

昭和十一年三月二十日 印刷

昭和十一年三月二十五日 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

電話大塚(86)自3101番
至3103番

印刷者 井上源之丞

東京市本所區麩橋一丁目二十七番地ノ二

印刷所 凸版印刷株式會社本所分工場

東京市本所區麩橋一丁目二十七番地ノ二