

No. 66 ~ 70

土木試験所報告

第六十六號

木材割製試験片の形状とこれが試

験成績に及ぼす影響に就いて……………内務技師 青木 楠男…(1)
内務技手 鈴木 倫虎

コンクリート洗ひ分析現場試験標

準方法案の作製に就いて……………内務技師 一木 保夫…(25)

路面の色光反射に關する試験並に

燈火管制への寄與……………内務技師 島田 八郎…(35)

堰堤の溢流係數に關する模型實驗……………囑 託 山本 弘之…(75)

鐵筋コンクリート片持版の載荷試

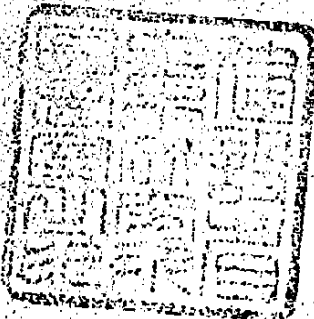
験並に之に基く設計示方……………内務技師 齋藤 義治…(93)
内務技師 一木 保夫
内務技手 池田 克己

堰堤の溢流係數に關する模型實驗

(追報)……………内務技師 佐藤 清一…(113)
囑 託 山本 弘之

5105
4860

昭和十七年十一月



内務省土木試験所

37

木材割裂試験片の形状とこれが 試験成績に及ぼす影響に就いて

内務技師 青 木 楠 男
内務技手 鈴 木 倫 虎

目 次

I 緒 言

- [1] 木材の割裂性..... (1)
[2] 木質と割裂性..... (2)

II 割裂試験方法

- [3] 試験方法の種類..... (2)
[4] 試験片の形状..... (3)
[5] 割裂強度..... (3)

III 割裂試験片の形状に関する考察

- [6] 試験片の総裂状況..... (5)
[7] B.S.S. 割裂試験片に関する Coker の實驗..... (5)
[8] B.S.S. 割裂試験片と材料研究會試験片との比較..... (6)

IV 著者の實驗

- [9] 比較試験片の形状..... (7)
[10] No. 1 試験片實驗成績..... (7)
[11] No. 2 試験片實驗成績..... (11)
[12] No. 3 試験片實驗成績..... (13)
[13] No. 5 試験片實驗成績..... (17)
[14] No. 4 試験片實驗成績..... (18)

V 總 括

- [15] 割裂點の偏倚..... (21)
[16] 試験片の形状と割裂強度..... (22)
[17] 木質偏倚並に割裂強度より見たる試験片の比較..... (23)
[18] 割裂面の相違による割裂強度の變化..... (23)
[19] 材料の比重と割裂強度..... (23)
[20] 割裂試験載荷方法..... (23)

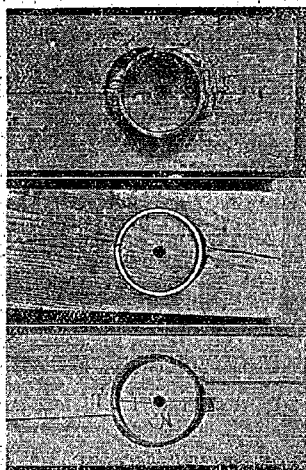
I 緒 言

[1] 木材の割裂性

多くの木材が其繊維の方向に裂け易い性質を有することは周知の事柄であつて、屋根等に使用される楠板、折

箱曲物に使用される割板、桶、樽類の材料たる寸甫、樽丸、桶丸等總べて木材の割裂性を利用したものであるが、この割裂性の大きなることは構造用材として木材を利用する場合には、木材の剪断強度の低い事と共に、木材

圖一 輪形デュベル使用接手の端部に生じた龜裂



の最大弱點として各種の困難の原因をなすものである。

釘打ちにあつての割裂は、輪形デュベル使用の場合接手端部に生じ易い龜裂等總べて木材割裂性の大きなることに基因してをる。

[2] 木質と割裂性

材種に依つて割裂性に大小のあることは當然であり、同種にありても割裂の方向、含水量の多寡、温度の高低等に依つて其大きを異にする。今日まで木材の割裂性について調べられてをることを要約すると次の様になる。

(a) 木材繊維に平行方向の割裂性は年輪に切線方向のものと半徑方向のものとに區別されるが、輪線を多数に有する材種では切線方向の割裂性が半徑方向のものより低い。

(b) 割裂性の大小は主として木材繊維に直角方向の引張強度に左右される。しかもこの場合の應力は繊維に於ける局部應力である。

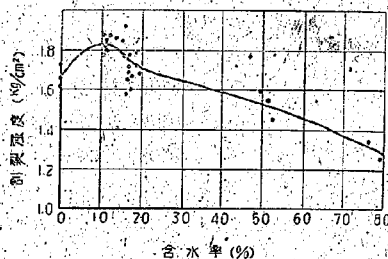
(c) 一般に剛性の大きなる、硬質の材種ほど割裂性は低い。

(d) 節其他木材繊維の不均等は割裂性を著しく低下せしめる。

(e) 温度高きほど割裂性は大となる。

(f) 一般に割裂性はある一定の含水率の時に最大値を示す。Stoy 氏の實驗では含水率約 10% の時最大値を現してをる。

圖二 木材含水率と割裂強度との關係



II 割裂試験方法

[3]. 試験方法の種類

木材の割裂性の試験方法として行はれて來たものに 2 種類ある。一つは角柱狀の試片の木口面へ楔を押し込み割裂時の荷重の大きと楔の壓入深とを求めこれをもつて割裂性の大小を判斷したもの、一つは 圖-3 に示す角形試片を用ひ、これが切込み部を引き擴げて割裂時の荷重の大きを比較するものである。今日では後者の方法を用ゆる場合多く。

P : 割裂時の荷重 (kg)

a : 割裂面の幅員 (cm)

A : 割裂面の面積 (cm²)

とするとき

$$\text{割裂強度} = R = \frac{P}{a} \text{ (kg/cm)}$$

$$\text{又は} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

にて示してをる。

[4] 試験片の形状

前掲切込み部の引き廣げによる割裂試験片の形状には大體獨乙系のものゝ英米系のものがある。圖-3 (a) は Nördlinger による獨乙型のもの、(b) は英國標準規格 (B.S.S.) 及米國材料試驗協會 (A.S.T.M.) の採用せるもので、(c) は本邦材料研究會が、昭和14年3月に決めた形で大體英米系に類似してゐる。

[5] 割裂強度

以上各國とも割裂試験方法に一定の規程を決定してはゐるが、これら試験結果の發表されたものは比較的少く殊に本邦産木材に關するものは極めて稀である。[1] に説きたるが如く木材接手強度上から見て極めて重大視せらるべき割裂強度が未だ充分に討究されてゐぬ事を遺憾とするものである。表-1 乃至表-5 は割裂強度の二三の例である。

圖-3 割裂試験片の形状

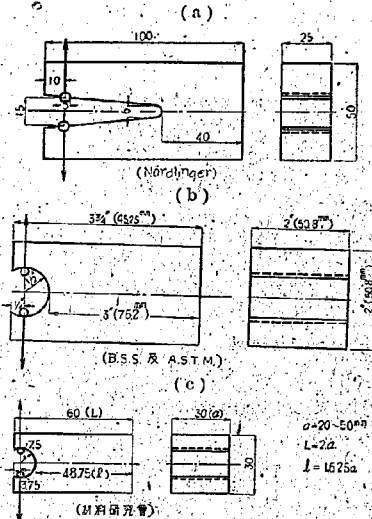


表-1 Stoy 氏による割裂強度試験成績 (Kollmann に依る)

材 種	單 位 重 量 g/cm³	含 水 率 %	割 裂 強 度 kg/cm²	割 裂 面	材 種	單 位 重 量 g/cm³	含 水 率 %	割 裂 強 度 kg/cm²	割 裂 面	
Fichte A		0	1.66		Fichte C		14.4	1.87		
		11	1.82		15		2.45			
		11.5	1.85		Fichte D {	15	2.31			
		15	1.77			Oregon pine	0.665	13	2.21	柱 目
		17	1.72				13	2.77	板 目	
		51	1.53				Fichte B {	0.705		17
78	1.30	17	6.44	板 目						
Fichte B	0.385 0.417	12	2.00		柱 目					
		12.8	2.58	板 目						

表-2 U.S. For. (1918) に於ける割裂強度試験成績 *

材 種	單位 重量	含水率		割裂強度 (kg/cm)		材 種	單位 重量	含水率		割裂強度 (kg/cm)	
		g/cm ³	%	柱目	板目			g/cm ³	%	柱目	板目
Abies concolor	0.437	156	25.9	33.4	Acer saccharum	0.643	57	67.2	91.6		
Abies lasiocarpa	0.321	47	23.2	23.8	Betula lutea	0.631	72	52.5	51.3		
Larix laricina	0.553	52	29.8	23.4	Celtis occidentalis	0.576	50	52.4	77.9		
Picea engelmannii	0.350	45	10.7	24.1	Fagus atropunidea	0.669	61	60.0	94.1		
Pinus contorta	0.415	44	25.4	25.0	Fraxinus americana	0.640	38	59.5	61.8		
Pinus lambertiana	0.336	123	30.0	33.8	Gleditsia triacanthos	0.750	53	98.6	109.0		
Pseudotsuga taxifolia	0.458	32	24.8	22.7	Nyssa aquatica	0.545	121	40.5	67.9		
Taxodium distichum	0.513	79	20.8	27.5	Platanus occidentalis	0.626	81	47.3	75.9		
Thuja occidentalis	0.315	55	26.4	24.8	Quercus alba	0.704	58	63.2	81.6		
Tsuga canadensis	0.394	129	30.0	27.0	Ulmus pinesceno	0.639	57	71.0	75.7		

* 關谷文彦著、木材強弱論に據る。

表-3 スマトラ産材割裂強度試験成績*

材 種	最 小	比 重	含水率	割裂強度	材 種	最 小	比 重	含水率	割裂強度
	大 小	($\times 100$)	%	kg/cm ²		大 小	($\times 100$)	%	kg/cm ²
ブナ	最 小	78.0	89.8	5.00	メランチ・メフ	最 小	64.6	88.8	7.26
	大 小	76.4	82.9	4.09		大 小	58.0	27.2	4.89
	平 均	77.0	80.4	4.52		平 均	60.6	30.3	6.15
ステンテ	最 小	59.6	25.9	7.59	メランチ・プテ	最 小	48.7	26.4	4.81
	大 小	53.3	16.3	4.11		大 小	44.6	22.1	4.38
	平 均	57.3	23.2	6.17		平 均	45.3	24.7	4.65
メランチ	最 小	75.5	28.9	6.80					
	大 小	65.5	23.9	4.90					
	平 均	73.0	26.8	5.99					

* 材料試験所彙報第87號、森三郎氏による。最小割裂面積(5.0 $\times$ 7.5=37.5 cm²)

表-4 滿洲産闊葉樹割裂強度*

材 種	含水率 平均 (%)	比 重 平均	割裂強度(kg/cm)				材 種	平 均 含水率 (%)	平 均 比 重	割裂強度(kg/cm)			
			最 大	最 小	平 均	平 均				最 大	最 小	平 均	平 均
オノノラカンパ(鴨)	10.4	0.946	142	100	121	カウライ	{(吉) 9.6 0.738	112	41	76			
						ミズナラ	{(海) 10.0 0.668	107	49	73			
オノメグスリ	{(吉) 9.6 0.763	174	58	116									
	{(海) 8.0 0.707	97	72	86									
オノメグスリ	{(鴨) 8.9 0.702	130	32	68		ナリハニレ	{(吉) 9.8 0.616	84	48	60			
							{(海) 10.3 0.545	94	40	64			
コノノラ(海)	8.4 0.717	121	81	98			{(鴨) 8.4 0.601	84	64	74			
イタヤカヘデ	{(吉) 11.4 0.722	104	55	64		オホミノニレ	{(吉) 10.2 0.562	61	42	50			
	{(海) 9.0 0.718	141	60	97			{(鴨) 7.6 0.635	75	42	45			
テウセン	{(吉) 9.1 0.735	181	20	75		オヒヨウニレ	{(吉) 8.8 0.534	82	39	64			
ミネバリ	{(海) 8.2 0.732	128	54	101			{(海) 8.3 0.576	83	40	67			
							{(鴨) 8.0 0.604	46	24	37			
ヤチダモ	{(吉) 9.2 0.688	98	56	79		マンシウ	{(吉) 8.9 0.466	71	23	46			
	{(海) 9.8 0.655	89	24	66		グルミ	{(海) 9.6 0.492	76	30	51			
							{(鴨) 8.8 0.540	39	21	33			
モンゴリナフ	{(吉) 9.9 0.744	120	54	79									
	{(海) 8.8 0.666	99	80	92									
	{(鴨) 9.9 0.742	89	44	66		ハルニレ	{(吉) 8.8 0.536	97	33	61			
マンシウ	{(吉) 9.2 0.629	161	39	98			{(海) 10.1 0.483	74	55	63			
カヘデ	{(鴨) 7.9 0.634	37	24	30		キハダ	{(吉) 7.9 0.603	59	34	45			

備考 滿鐵鐵道研究所試験報告第191號(昭和13年6月)「滿洲産闊葉樹の強度試験報告」に依る。
試験片 $L=95$, $t=76$, $a=50$, $\gamma=12.5$ mm, 割裂面板目, (吉)吉林産, (海)海林産, (鴨)鴨綠江産

表-5 滿洲産針葉樹割裂強度*

材 種	産 地	含水率 %	氣 乾 比 重	割 裂 強 度 (kg/cm)	材 種	産 地	含水率 %	氣 乾 比 重	割 裂 強 度 (kg/cm)
テウセンヤツ	秦 陽	12.4	0.459	34.9	テウセンハリモミ	秦 陽	13.2	0.477	22.9
	冷 山	11.0	0.410	25.6					
	三 性	11.3	0.408	24.0	エゾマツ	秦 陽	11.2	0.441	29.9
	蘭 洲	11.9	0.439	30.8	樺 太	秦 陽	11.7	0.430	34.3
テウセンモミ	鴨 綠 江	11.4	0.394	32.4	ダウシラベ	秦 陽	10.7	0.394	25.7
	秦 陽	10.7	0.394	30.5	ダフリカカラマツ	甲列克得	13.0	0.586	40.3
	冷 山	11.4	0.369	23.6	テウセンカラマツ	鴨 綠 江	11.9	0.537	41.0
	鴨 綠 江	10.9	0.388	28.8	樟 子	松 黑 河	12.2	0.444	29.9
		12.0	0.393	34.8	米	松 黒 河	11.7	0.515	33.8

備考 滿鐵鐵道技術研究所發行、布施忠司著「土木工用滿洲産木材に就いて」(昭和15年5月)に依る。
試験片 $L=93$, $t=76$, $a=50$, $\gamma=12.5$ mm

III. 割裂試験片の形状に関する考察

[6] 試験片の龜裂状況

獨乙系の試験片に於ても英米系のものに於ても試験片の割裂は切込みの尖端に發生することを期待したものであることは勿論であり、獨乙系試験片はこの點に於て何等の困難を起さざるものと考へるが、英米系の試験片に於ては其龜裂が切込みの尖端に發生せず側部に起る機會の頗る多きことをこれが缺點としてをる。

圖-4 は著者が材料研究會の試験片を用ひ層材につき柾目、板目、追柾の3種について行つた試験片の龜裂状況である。

今切込の中央と割裂點とが切込圓の中心に含む角を割裂偏倚角 α とすると、これが平均値は柾目試験片にて $\alpha=16^{\circ}30'$ 、追柾試験片にて $\alpha=31^{\circ}50'$ 、板目試験片にて $\alpha=43^{\circ}0'$ に達してをる。

然らばこの割裂の偏倚が如何なる原因によつて生ずるか、この問題については B.S.S. の試験片形状に就いて行つた E. G. Coker の實驗報告がある。

[7] B.S.S. 割裂試験片に関する Coker の實驗*

E. G. Coker¹⁾ 教授が圖-5 に示した割裂試験片に就いて光弾性實驗によつて求め得た結果を要約すると次の

圖-5 B.S.S. 割裂試験片切込部の應力分布圖

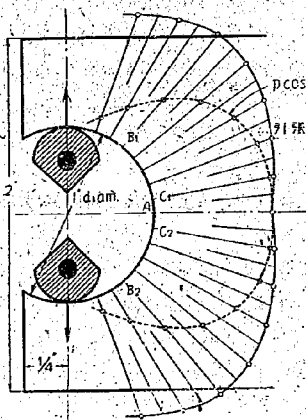
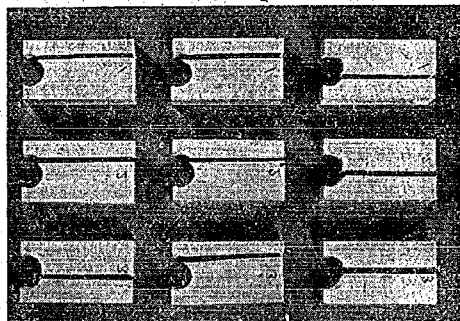
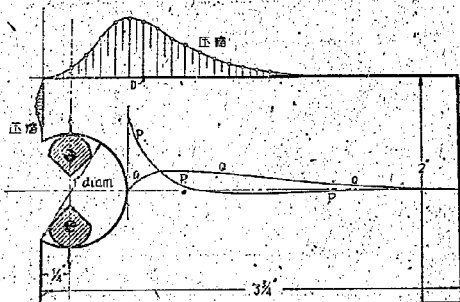


圖-4 層材割裂試験片の龜裂状況



(A) (B) (C)
割裂面 板目 追柾 柾目

圖-6 B.S.S. 割裂試験片中心線上應力分布圖



如くである。

(1) 切込部圓周に沿ひての纖維應力 p は偏倚角 $\alpha=60^{\circ}$ の B_1 及び B_2 にて最大である。(圖-5)

* Proceeding of the Royal Society, Series A, Vol. 128, August 5, 1930

圖-7 長さを短縮せる割裂試験片に於ける應力分布図

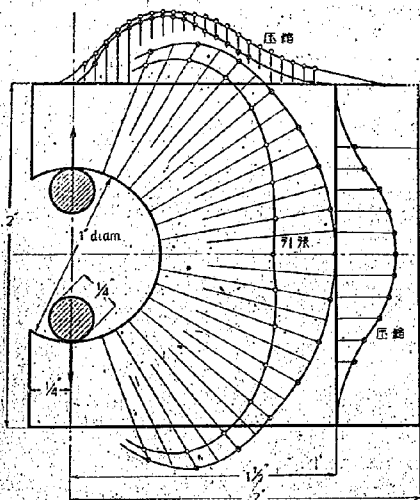
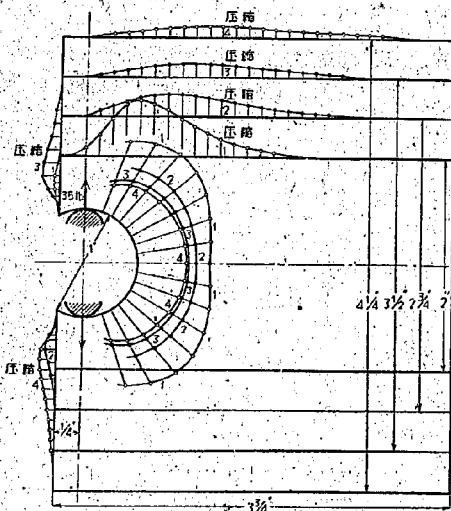


圖-8 高さを増大せる割裂試験片に於ける應力分布圖



して見たいと思ふ。

先づ切込部半徑 r と試片の高さ a との関係を見るに、

(2) 繊維應力の木繊維に直角方向の應力 ($P \cos^2 \alpha$) は $\alpha = 10^\circ$ の C_1 又は C_2 にて最大である。(圖-5)

(3) 割裂試験片の龜裂が試片中心線上に起
らざる理由は(1)(2)の結果によつて充分證明
せられる。

(4) 試験片中心線上のこれに直角方向の應力は、切込線維にて最大の引張を示しこれより急激に減少し、やがて輕微なる壓縮を示すに至り試片の右端部は切込部に龜裂の發生するまで殆ど遊びの状態に置かれてをる。(圖-6)・

(5) 試片の右端を $1\frac{1}{2}$ 吋まで切落しても切込部圓周、並に試片上下縁邊の應力分布には原形の場合と著しい變化は認められない。(圖-7)

(6) 試片右端を2時切落した場合切込部圓周接線應力は試片中心線上にて最大となりこの形状のものを割裂試験に於ては龜裂が中心線に生ずる可能性の大なることが推定される。(圖-7)

(7) B.S.S. 試験片の高2吋を漸次増大することによつても長 3/4 吋を漸次減少して行つた場合と類似の傾向が認められ、高 3/4 吋に達すると切込部周囲に最大繊維應力が中心線に發生する。但しこの場合中心部より應力の減少度は極めて微々たるものである。(圖-8)

(8) 切込部圆弧の半徑を短縮することが又前掲の諸項の場合と同様の効果を生ずべきも半徑の短縮は曲試験装置の取付上に種々な困難を齎らす恐れがある。

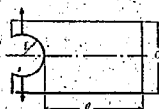
[8] B.S.S. 割裂試験片と材料研究會試験片との比較

兩試験片とも同一系統のものに属してゐるが、これらを(7)に示した Coker 教授の試験結果に鑑み、其試片の長さ、高さ並に切込部圓弧半径の相互關係から見て切込部圓周の最大線維應力の偏倚を生ずべき傾向の大小如何を比較

	B.S.S.	材料研究會
r	$\frac{1}{2}$ "	7.5 mm
a	2"	30 mm
$\frac{a}{r}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

にて兩者全く同一の條件にある。

圖-9



次に試験片長 l と試片高 a との關係を見るに

	B.S.S. (A.S.T.M.)	材料研究會
l	8"	48.75 mm
a	2"	30 mm
$\frac{l}{a}$	1.5	1.625

にて材料研究會のものが、B.S.S. のものに比して更に長さ大に過ぐるの感がある。

IV 著者の實驗

[9] 比較試験片の形状

著者が木材接手試験に引き続き行ひたる割裂強度試験に於て材料研究會の標準試験片を用ひ、これが龜裂發生が試片の中心線上に起らざる事實に鑑み、これが形状の變更を試みんがため Coker 教授の實驗結果等を參考とし比較試験片として選定した形状は圖-10の5種であつた。

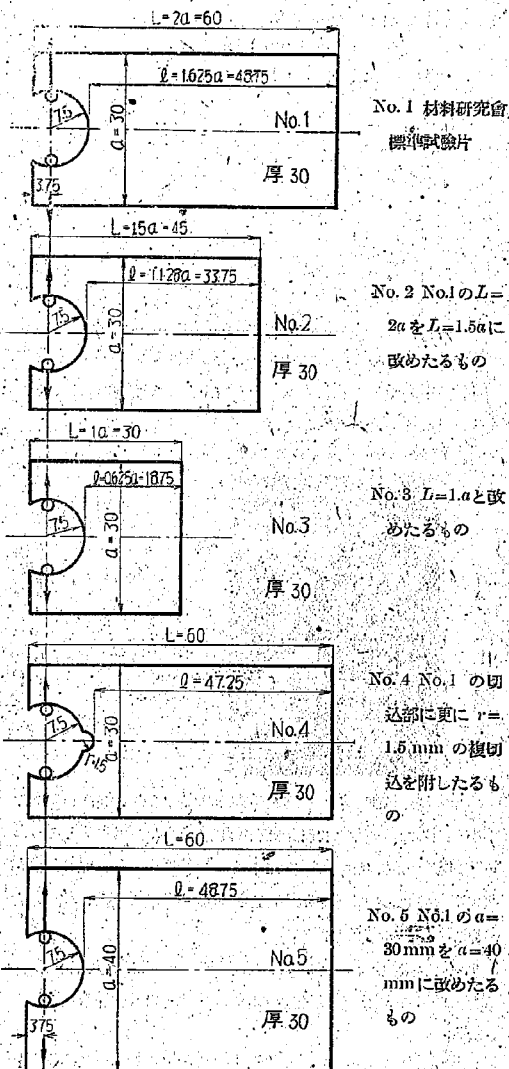
以下はこれらの試験片に就いて行つた實驗成績の比較である。

[10] No. 1 試験片實驗成績

(a) 光弾性實驗 先づ No. 1 試験片について光弾性實驗により終極應力及主應力線の測定を行つた。試片にはフェノライト板を用ひ大きさは割裂試験片の實大、厚さは 5 mm とした。

圖-11 は實測の等傾曲線、圖-12 はこれを基とした主應力線である。これによると切込圓部に近く 3 箇の特異

圖-10 割裂試験比較試験片の形状



點の存在することがわかり、切込部兩側の突出部に曲げ作用が大きく働いてゐることが推定され、これが切込部圓周の中心線をはなれて引張線維應力が大きく發生し、試片の内側部には壓縮線維應力の發生が推定される、

圖-11 No. 1 試片等傾曲線

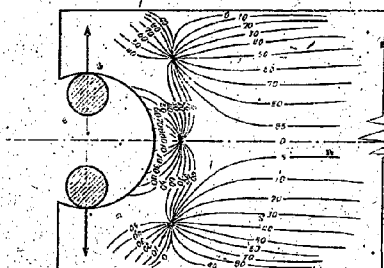


圖-12 No. 1 試片主應力線

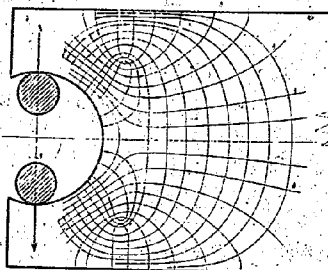
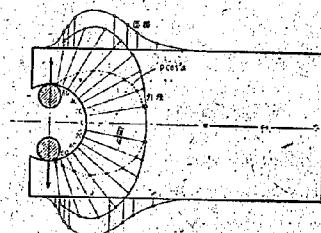


圖-13 の等明曲線に於て上述の關係は明瞭に認められ、これ等を基とした圖-14 の線維應力分布圖に於て切込圓周にて中心線より偏倚角 $\alpha = 55^\circ$ 附近に最大線維應力が起り、これが木材繊維に直角方向の分力又 $\alpha = 10^\circ$ にて最大となることがわかる。

圖-13 No. 1 試片等明曲線



圖-14 No. 1 試片線維應力分布圖



(b) 實物試験 No. 1 割裂試験片を用ひての實物試験には材種として、檜、樟、杉、松、朴、桂、樺、米松等を使用した、何れも材料研究會標準試験法の指示するところに従ひ割裂面の柾目、追征、板目のものにつき各 3 個の試片を採つた。表-6 はこれらの割裂強度、並に割裂偏倚角 α を示したものである。偏倚角 α は試片の表面によつて著しい相違を示すことがある、追征にてはこの傾向が殊に顯著であつた。表-6 に示す値は主にこれら兩面の平均偏倚角である。

表-6 に示された成績に基いて先づ實物試験に示された龜裂發生箇所の偏倚角と、光弾性實驗にて求められた切込部圓周の最大線維應力發生點の偏倚角 55° 及試験片木質繊維に直角方向分力の最大點の偏倚角 10° との比較を試みた。

割裂試験片の龜裂は木質繊維に沿つて發生するが故に、試片を假りに均等質なりと假定した場合龜裂は繊維に直角方向の分力の最大點に發生すべきものとも考へられるが、一面又この分力に比して遙かに大なる値を有する切込部圓周線維應力を思ふとき龜裂の最初のきつかけはこれが最大應力點に生ずべきものとも考へられ、然としない。加ふるに木質は決して均等でなく各部が其質を異にしてゐるが爲に龜裂の發生も應力分布の關係と木質の局部的弱點の位置とに支配せらるゝものとも考へねばならぬ。

表-6 No.1 試片割裂試験成績

材 種	割 裂 面	試片番號	気乾比重	年 輪 幅 (mm)	含 水 率 (%)	割裂強度 (kg/cm)	割 裂 角 度		
							表	裏	平 均
楡	柁 目	1		1.4	10.6	21.0			9 0
		2		2.0	10.1	21.7			22 0
		3		1.3	11.2	21.7			22 30
		平均	0.400	1.5	10.6	21.5			17 50
	追 柁	1		1.4	10.5	27.3			17 30
		2		1.2	10.0	24.7			10 30
		3		1.4	13.3	25.3			44 30
		平均	0.400	1.3	11.3	25.7			24 10
	板 目	1		2.0	10.1	36.0			70 0
		2		2.0	10.6	39.3			48 0
		3		1.4	10.7	35.0			55 0
		平均	0.400	1.8	10.5	36.8			57 40
樺	柁 目	1		3.0	11.5	24.0			27 30
		2		3.0	10.9	28.0			17 0
		3		3.0	10.9	28.3			5 0
		平均	0.403	3.0	11.1	26.8			16 30
	追 柁	1		2.2	11.1	30.0			29 30
		2		2.2	10.4	28.3			25 30
		3		3.3	10.4	24.7			40 30
		平均	0.403	2.6	10.6	27.7			31 50
	板 目	1		2.0	11.2	40.0			55 0
		2		2.0	11.1	44.0			60 30
		3		2.2	10.6	42.3			23 30
		平均	0.403	2.1	11.0	42.1			43 0
杉 ₁	柁 目	1				15.0	5° 0	24° 0	14 30
		2				17.0	32 0	13 0	22 30
		3				16.0	18 0	19 0	18 30
		平均				16.0			18 30
	追 柁	1				17.0	32 0	12 0	22 0
		2				17.0	50 0	4 0	23 0
		3				20.0	64 0	13 0	38 30
		平均				18.0			27 50
	板 目	1				24.0	33 0	39 0	61 0
		2				25.3	38 0	54 0	46 0
		3				28.7	56 0	32 0	44 0
		平均				26.0			50 20
杉 ₂	柁 目	1		2.0	14.6	16.3			29 0
		2		2.0	14.0	17.3			36 0
		3		2.0	14.1	17.3			27 30
		平均	0.350	2.0	14.2	17.0			30 50
	追 柁	1		4.0	13.6	20.7			6 0
		2		2.8	14.3	20.3			25 0
		3		2.5	14.5	17.7			39 0
		平均	0.350	3.1	14.1	19.8			23 20
	板 目	1		2.2	12.9	21.0			48 0
		2		2.2	13.6	20.7			62 0
		3		1.8	14.1	26.7			23 0
		平均	0.350	2.1	13.5	22.8			48 20

材 種	割 裂 面	試片番號	氣乾比重	年 輪 幅 (mm)	含 水 率 (%)	割裂強度 (kg/cm)	割 裂 角 度					
							表	裏	平	均		
松	証 目	1				20.0	36°	30'	13°	30'	27°	30'
		2				23.0	13	0	10	0	11	30
		3				23.0	21	0	23	0	22	0
		平均				27.7					20	20
	追 証	1				28.0	13	0	41	0	27	0
		2				31.0	34	0	-5	0	14	30
		3				34.0	34	0	28	0	31	0
		平均				31.0					24	10
	板 目	1				24.0	36	0	61	0	48	30
		2				34.7	79	0	29	0	54	0
		3				29.0	38	0	66	0	52	0
		平均				29.2					51	30
朴	証 目	1		2.5	11.1	38.0					65	30
		2		3.0	11.0	38.7					66	30
		3		2.5	11.5	38.7					70	30
		平均	0.477	2.7	11.2	37.8					67	20
	追 証	1		3.3	11.2	47.0					39	30
		2		2.3	11.0	45.3					67	30
		3		3.0	10.7	43.3					28	0
		平均	0.477	2.9	11.0	45.2					45	0
	板 目	1		2.8	11.0	61.3					17	30
		2		2.7	11.0	62.7					56	0
		3		2.2	10.6	61.0					57	0
		平均	0.477	2.6	10.9	61.7					43	30
樺	板 目	1				93.7	14	0	0	0	7	0
		2				90.7	50	0	47	0	43	30
		3				88.7	46	0	58	0	52	0
		平均				89.4					35	50
桂	証 目	1				37.0	76	0	48	0	62	0
		2				34.0	90	0	70	0	85	0
		3				41.0	75	0	73	0	74	0
		平均				37.3					67	0
	追 証	1				47.0	2	0	76	0	39	0
		2				46.0	5	0	75	0	40	0
		3				49.0	78	0	5	0	41	30
		平均				47.0					40	10
米 松	証 目	1		1.1	12.1	16.7					32	0
		2		1.4	12.1	16.7					40	0
		3		1.4	11.8	20.7					17	0
		平均	0.444	1.3	12.0	18.0					29	40
	追 証	1		1.7	11.7	20.3					15	0
		2		1.7	11.7	21.3					18	0
		3		1.6	11.1	22.0					34	0
		平均	0.444	1.6	11.5	21.2					22	20
	板 目	1		1.3	12.1	27.3					54	0
		2		1.4	11.6	23.3					52	0
		3		1.4	11.6	25.0					25	0
		平均	0.444	1.4	11.8	25.2					43	40

實際表-6に示した偏倚角を見ても特定の角度に於て特に龜裂を發したとは考へられない。圖-15は偏倚角の大きさにより割裂試片數を分類したもので15°~24°の間のものが最も多いがこれに對しての確定的な説明は出來ない。

次は材種と割裂面の相違による偏倚角の變化であるが圖-16に示した處によると軟材(松柏科)に於ては証

目に於て大體偏倚角最小であり、追征、板目と漸次増加するが、其
 大きさの材種による變化は甚だ僅少にして一二の例外を除けば征目
 にて $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 、追征にて $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、板目にて $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ の間に存

圖-16 No. 1 試験片に於ける
 材種と割裂面の相違
 に依る偏倚角の變化

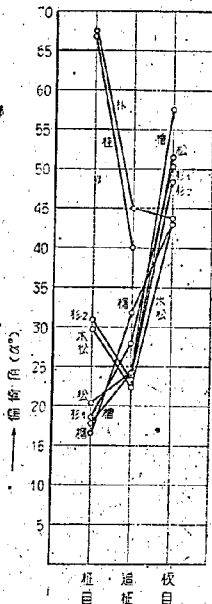


圖-17 No. 1 試験片の割裂面
 の相違に依る割裂強
 度の變化

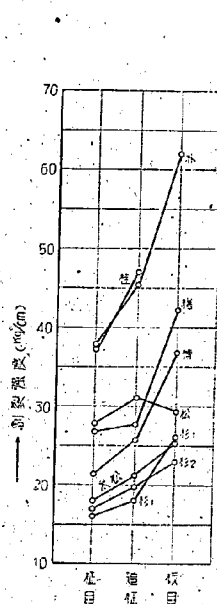
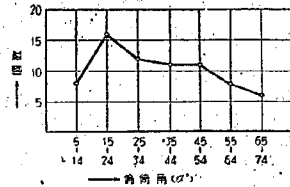


圖-15 試験片割裂箇所偏倚状況

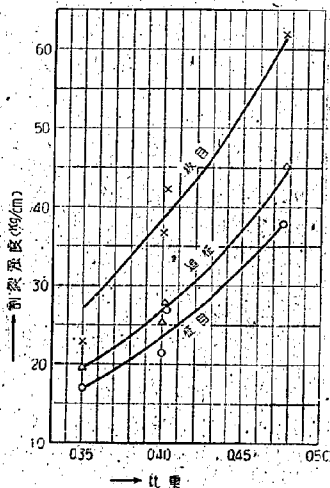


してをる。然るに朴、桂の如き硬材（闊葉樹）
 に於ては全く反對の傾向を示し征目に於て偏倚
 角最大となる。闊葉樹に對する資料少きを以て
 一般的の傾向を結論し得ざるも軟材と著しく特
 性を異にすることは疑ひ得ざる處である。

次に割裂面の相違による割裂強度の變化を求
 むるに圖-17 に示せるが或く各材種とも板目の
 割裂強度最大にして征目が最小、追征のものは
 多く兩者の中間に位してをる。

割裂強度の大小を比較するに朴、桂類の闊葉
 樹が松柏科類に比して斷裂強度大なることが窺
 える。この關係を氣乾比重の大小に結びつける

圖-18 木材氣乾比重と割裂強度との關係



と圖-18 が得られる。割裂強度以外の機械的性質が比重に支配せ
 られること大なる例に連れず割裂強度が比重の大きさに密接なる關
 係を有することが知られる。同様の關係が表-4 及表-5 に示した
 滿洲産木材に對しても明かに認められる。圖-19 はこれを圖示し
 たものである。

[11] No. 2 試験片實驗成績

(a) 光弾性實驗 圖-20 乃至 圖-22 は光弾性實驗にて求めら
 れた No. 2 試験片に對する等傾曲線、主應力曲線、及等明曲線で
 ある。これによつて No. 1 試験片に於ける $L=60$ を No. 2 試験片
 に於て $L=45$ に短縮した影響を見るに No. 1 試験片にて等傾曲線
 に現はれた 3 つの特異點は No. 2 試験片に於ても同様に認められた
 が其位置が試験片の中心軸に接近してきた。従つて切込部圓周の縁

図-19 満洲産木村の気乾比重と割裂強度との関係

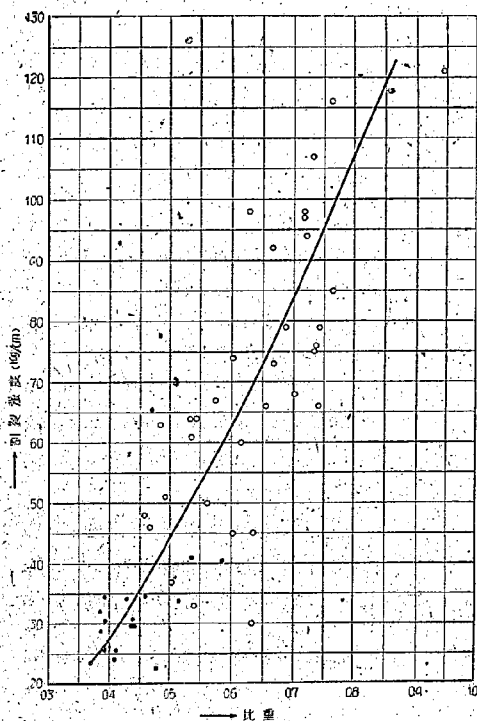
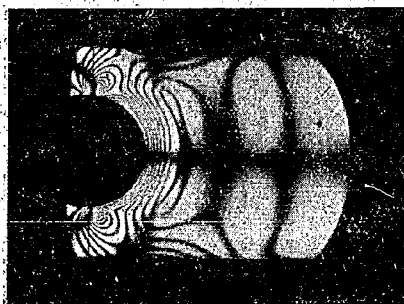


図-22 No. 2 試片等傾曲線



縦應力最大點が中心軸に接近することを期待したのであるが等傾曲線から求められた結果は其接近極めて僅少で最大應力點は中心軸より $\alpha=50^\circ$ 附近にある。但し應力度の變化は甚だしく、試片縦軸に直角の方向の分力の最大は中心軸上に存することがわかる。圖-23 はNo. 2 試片の等傾應力分布圖である。

圖-20 No. 2 試片等傾曲線

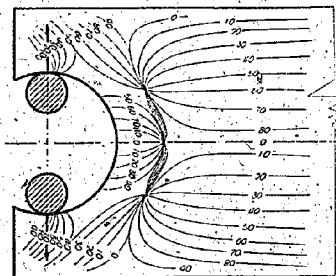


圖-21 No. 2 試片主應力線

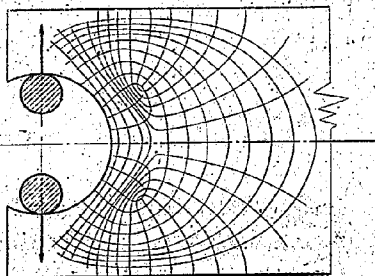
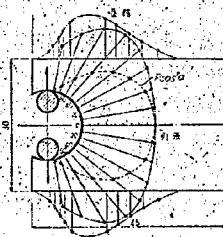


圖-23 No. 2 試片縦應力分布圖



(b). 貨物試験 本試片についての貨物試験は杉、松、米松、朴の4種材について割裂面板目の場合についてのみ行つた。実験の結果は光弾性試験の結果より推想せらるゝが如く長さ短縮の偏倚角遞減に對する効果はあまり認められなかつた。表-7 は其試験成績を示す。

表-7 の成績並に圖-24 に示す割裂状況よりこれを No.1 試片に於ける結果と對照するに、同種材、同一割裂面のものについては割裂偏倚角、割裂強度並に一二の例外を除けば其平均値は低下してゐる。偏倚角の幾分の減少は光弾性試験の結果からも想定せらるゝことであり、割裂強度の低下は試片の長の短縮が大きい影響してゐるものと信ずる。

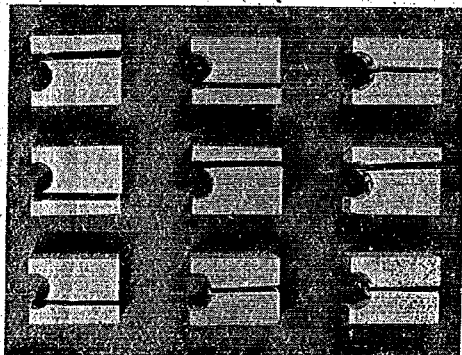
表-7 No.2 試片割裂試験成績

材 種	割 裂 面	試片番號	荷 重 (kg)	割裂強度 (kg/cm)	割 裂 偏 倚 角		
					表	裏	平均
杉	板 目	1	70	23.3	23°	10°	16° 30'
		2	70	23.3	72	71	71 30
		3	62	20.6	42	66	54 0
		平均		22.4			47 20
松	板 目	1	114	33.0	8	13	10 30
		2	94	31.3	59	54	56 30
		3	116	33.6	15	0	7 30
		平均		36.0			24 50
朴	板 目	1	116	33.6	27	27	27 0
		2	103	36.0	41	39	40 0
		3	117	39.0	74	52	63 0
		平均		37.9			43 20
米 松	板 目	1	60	20.0	51	67	59 0
		2	84	28.0	72	74	73 0
		3	77	35.6	16	0	8 0
		平均		24.5			46 40

[12] No.3 試験片試験成績

(a) 光弾性試験 圖-25 及圖-26 に示す等傾曲線並にこれによる主應力線によれば No.1 及 No.2 試片に現はれ

圖-24 No.2 試片割裂状況



杉

米松

松

た3つの特異點は試片中立軸に集合し切込部圓周の中立軸上以外の點に最大緣維應力を生ずべき原因が現れたるが如く見受けられる。

圖-27 及圖-28 に示す等明曲線並にこれによる緣維應力分布圖に明かなるが如く、割裂が中心線外に生ずべき原因たる最大應力の偏倚は除かれ、切込部の緣維應力及びこれが木質纖維に直角方向の分力共に最大値を試片の中心軸に持つことがわかる。

(b) 貨物試験 本試片での貨物試験には No.1 試片について用ひたと同様の材種及び割裂面を使用した。試験成績は表-8 の如くである。

圖-25 No. 3 試片等傾曲線

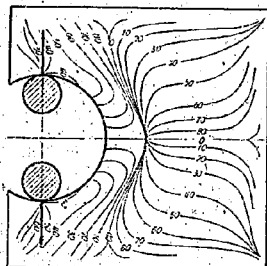


圖-26 No. 3 試片主應力線

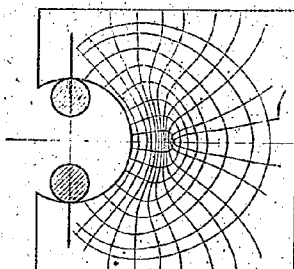


圖-27 No. 3 試片等明曲線



圖-28 No. 3 試片緣推應力分布圖

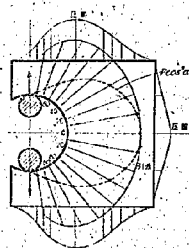


表-8 No. 3 試片割裂試驗成績

材 種	割 裂 面	試片番號	氣乾比重	年 輪 幅 (mm)	含 水 率 (%)	割裂溫度 (kg/cm)	割 裂 角 度		
							表	裏	平 均
櫟	柁 目	1	0.400	0.7	10.3	10.7			10° 30'
		2		0.7	11.5	12.3			22 0
		3		0.7	10.0	13.7			2 30
		平均		0.7	10.6	12.2			11 40
	追 柁	1	0.400	2.0	10.0	20.3			42 30
		2		2.0	11.0	20.3			40 0
		3		2.0	8.6	12.7			31 30
		平均		2.0	9.9	17.8			38 0
	板 目	1	0.400	0.8	10.3	21.7			11 0
		2		0.7	11.4	20.0			11 0
		3		0.8	13.9	23.7			11 0
		平均		0.8	11.9	21.8			11 0
櫟	柁 目	1	0.403	2.2	11.0	10.0			11 30
		2		2.4	12.5	10.0			22 0
		3		2.5	11.2	10.7			20 0
		平均		2.4	11.0	10.2			17 50
	追 柁	1	0.403	2.0	10.3	12.3			42 0
		2		2.0	10.7	16.7			13 0
		3		2.0	10.8	12.0			50 0
		平均		2.0	10.8	13.7			35 0

材 種	割 裂 面	試片番號	氣乾比重	年 輪 幅 (mm)	含 水 率 (%)	割裂強度 (kg/cm)	割 裂 角 度		
							表	裏	平 均
樺	板 目	1		2.4	12.5	25.3			2° 30'
		2		2.5	11.2	26.0			29 0
		3		2.5	11.0	25.3			31 30
		平均	0.403	2.5	11.6	25.5			21 0
杉 ₁	柱 目	1		2.8	14.1	8.7			18 0
		2		3.0	14.1	9.3			27 0
		3		2.0	14.1	6.7			13 0
		平均	0.350	2.6	14.1	8.2			19 20
	追 柱	1		3.3	12.3	12.7			27 0
		2		3.3	12.5	9.3			22 0
		3		3.5	12.5	12.3			27 0
		平均	0.350	3.4	12.4	11.4			25 20
	板 目	1		3.3	13.9	22.0			19 30
		2		3.3	12.5	17.3			7 0
		3		3.3	12.5	17.3			30 0
		平均	0.350	3.3	13.0	18.9			18 50
杉 ₂	板 目	1				16.3	8° 0'	13° 0'	10 30
		2				19.0	0 0	7 0	3 30
		3				18.3	6 0	6 0	6 0
		平均				17.9			6 40
松	板 目	1				23.0	6 0	5 0	5 30
		2				30.0	5 0	0 0	2 30
		3				23.6	0 0	3 0	1 30
		平均				28.9			3 10
朴	柱 目	1		3.0	11.2	20.3			2 30
		2		2.6	11.2	20.3			9 0
		3		2.6	11.2	21.7			32 0
		平均	0.477	2.7	11.2	20.8			11 10
	追 柱	1		3.0	11.2	31.0			31 0
		2		3.0	11.2	33.3			32 0
		3		3.0	11.2	30.7			29 0
		平均	0.477	3.0	11.2	31.7			30 40
	板 目	1		2.2	11.1	38.0			7 0
		2		2.4	11.1	35.7			8 0
		3		2.8	12.4	38.0			3 0
		平均	0.477	2.5	11.5	37.2			6 0
朴 ₂	板 目	1				31.0	5 0	13 0	9 0
		2				35.3	0 0	9 0	4 30
		3				32.6	0 0	0 0	0 0
		平均				33.0			4 30
米松 ₁	柱 目	1		2.0	11.2	13.0			29 0
		2		2.0	11.0	11.3			20 0
		3		3.0	10.1	9.7			25 0
		平均	0.444	2.3	10.8	11.3			24 40
	追 柱	1		2.8	11.1	9.0			17 0
		2		2.0	10.1	10.3			15 0
		3		2.0	11.2	11.0			12 0
		平均	0.444	2.3	10.8	10.1			14 40
	板 目	1		2.0	11.1	14.7			0 0
		2		2.0	11.1	16.0			11 0
		3		2.0	11.0	15.3			4 30
		平均	0.444	2.0	11.1	15.3			5 10

材 種	割 裂 面	試片番號	氣乾比重	年 輪 幅 (mm)	含 水 率 (%)	割裂強度 (kg/cm)	割 裂 角 度		
							表	裏	平 均
米松	板 目	1				19.6	7°	0'	10° 30'
		2				20.0	5	0	2 30
		3				15.0	10	0	5 0
		平均				18.2			5 20

圖-29 No. 3 試片の割裂箇所偏倚状況

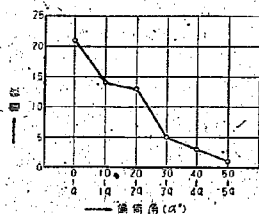


表-8に示した試験成績について先づNo. 3 試片に於ける割裂箇所の偏倚状況を見るに 圖-29に示す如く偏倚角が10°未満のもの最も多く、これを圖-15に示したNo. 1 試片の場合に比すとき遙かに優良な結果が現れてをることがわかる。

次に割裂面の相違による偏倚度の變化を見るに 圖-30に示す如くで殆ど各材種とも追征に於て最大偏倚を示してをる。これを圖-16に示したNo. 1 試片の場合に比べると甚しい傾向の相違が見受けられるが其原因としては

圖-30 No. 3 試片に於ける材種と割裂面の相違に依る偏倚角の變化

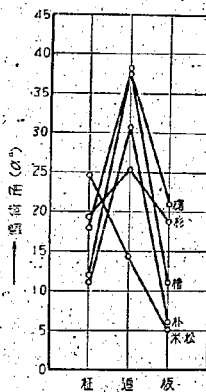


圖-31 No. 3 試片の割裂面相違に依る強度の變化

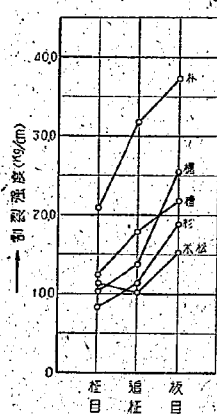


圖-32 No. 3 試片に於ける材種比重と割裂強度との關係

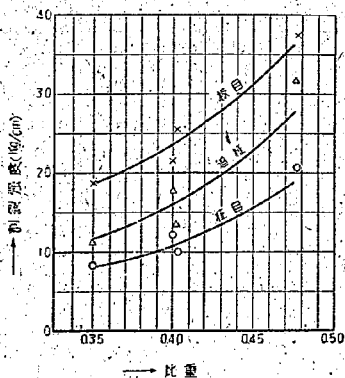
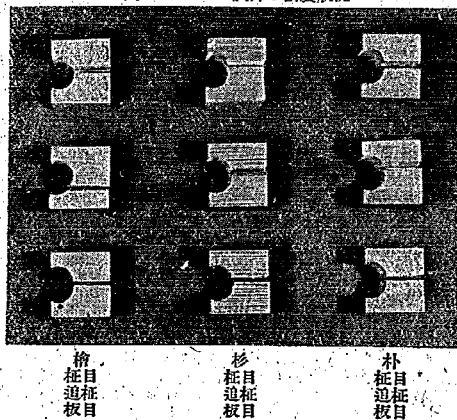


圖-33 No. 3 試片の割裂狀況



試験片形状の改變による繊維應力分布狀態の變化以外には考へられない。

割裂面の相違による割裂強度の變化は圖-31に示す如くであつて其大きさが征目、追征、板目の順序に増大してゐることは圖-17に示した No.1 試験片の場合と全く同様である。

材種の比重の變化による割裂強度の増減は、圖-32の如くであつて No.1 試験片の場合と全く同一傾向を示してゐる。

圖-33は No.3 試験片中主なるものゝ割裂状況である。

[13] No. 5 試験片實驗成績

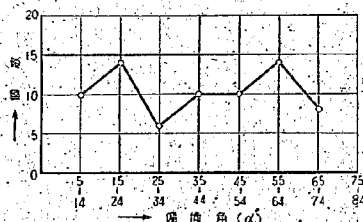
(a) 貨物試験 No.5 試験片は No.1 試験片の幅員 30 mm を 40 mm に擴大したものである。この方法によつて No.3 試験片に於ける試験片長の短縮と同様の効果の得らるべきことを豫期したものである。試験は主として貨物について行ひ光弾性實驗を行はなかつた。表-9 は其貨物試験成績である。使用材種は日本松、日本杉、米松、桂の4種、割裂面は板目、追征、征目の3種である。

表-9 No. 5 試験片割裂試験成績

材 種	割 裂 面	試験片番號	荷 重 (kg)	割裂強度 (kg/cm)	割 裂 面 偏 倚 角		
					表	裏	平 均
日 本 松	征 目	1	78	26.0	26°	28°	27°
		2	78	26.0	2	30	16
		3	69	23.0	6	24	15
		平均		25.0			19 20
	追 征	1	99	33.0	72	42	57
		2	92	30.7	63	10	39
		3	106	35.3	76	44	60
		平均		33.0			52
	板 目	1	138	46.0	70	60	55
		2	124	41.3	66	50	58
		3	102	34.0	44	52	48
		平均		40.4			53 40
日 本 杉	征 目	1	66	22.0	10	30	20
		2	54	19.7	2	24	13
		3	55	18.3	12	0	6
		平均		20.0			13 0
	追 征	1	58	19.3	16	10	13
		2	54	18.0	30	28	29
		3	56	18.7	14	16	15
		平均		18.7			19
	板 目	1	81	27.0	46	74	60
		2	90	30.0	44	63	56
		3	72	24.0	58	68	63
		平均		27.0			59 40
米 松	征 目	1	70	23.3	30	44	37
		2	62	20.7	34	36	35
		3	68	22.7	26	20	23
		平均		22.2			31 40
	追 征	1	50	16.7	20	20	20
		2	54	18.0	2	14	8
		3	60	20.0	18	22	20
		平均		18.2			16
	板 目	1	88	29.3	0	34	17
		2	114	38.0	40	63	54
		3	106	35.3	66	48	57
		平均		34.2			42 40

材 種	割 裂 面	試片番號	荷 重 (kg)	割裂強度 (kg/cm)	割 裂 面 偏 倚 角		
					表	裏	平 均
柱	柱 目	1	130	43.3	72°	66°	69°
		2	100	33.3	2	14	8
		3	108	36.0	58	68	63
		平均		37.5			46
	追 柱	1	134	44.7	22	68	45
		2	135	45.0	36	32	34
		3	122	40.7	44	36	40
		平均		43.5			39
	板 目	1	208	69.3	72	74	73
		2	180	60.0	66	28	47
		3	195	65.0	54	66	60
		平均		64.7			60

圖-34 No. 5 試片割裂箇所の偏倚状況



No. 5 試験片の試験成績に就いて見るに先づ其偏倚角であるが試片の厚さを増加した事によつて試片 No. 3 の示せる程度の減少の見らるべき事を豫想したのであるが、結果はこれに反し圖-34 に示すか如き不成績に終つた。圖に明かなるが如く偏倚角 15°~24° のものと 55°~64° のもの幾分多数なるが大體に於て各大きさのものが混交してをり試片 No. 1 の場合よりも不成績ではないかと考へられる。これは試片幅の増大による割裂強度の増加が主なる原因をなしてをると推察する。

偏倚角の割裂面の相違による變化は圖-35 に示す如くで、大體に於て板目が最大、柱目、追柱が材種によつて大小あること試片 No. 1 の場合に類似し、試片 No. 3 の場合とは大なる相違がある。

次に割裂面の相違による割裂強度の變化であるが、これは試片 No. 1 及 No. 3 の場合と同様、大體に於て柱目最小、板目最大、追柱が其中間に位してをる。

[14] No. 4 試験片實驗成績

(a) 光弾性實驗 本試験片は No. 1 試験片の圓形切込部の中央に更に複切込を設け、この點に應力集中を起さしめ試験片の割裂位置を中央に確保せんとしたものである。この複切込によつて應力分布の狀況が No. 1 試験片に比較して如何様に變化するかは圖-36乃至圖-39 の光弾性實驗結果から明かである。

先づ等傾曲線と主應力線とを見るに複切込附近に於て不明確な點を見るも其他に於ては No. 1 試験片の場合と

圖-35 No. 5 試片に於ける割裂面の相違に依る偏倚角の變化

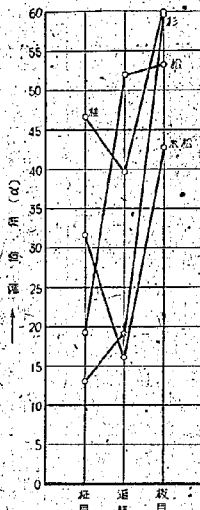


圖-36 No. 4 試片等傾曲線

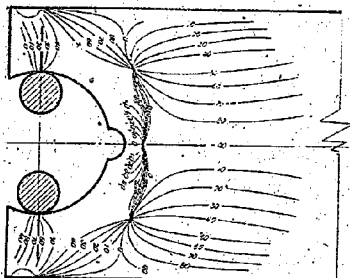


圖-37 No. 4 試片主應力線

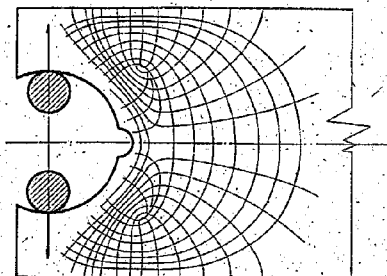


圖-38 No. 4 試片等閉曲線

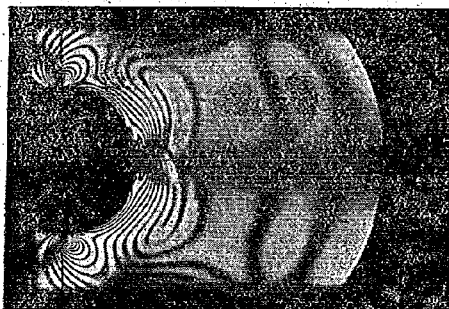
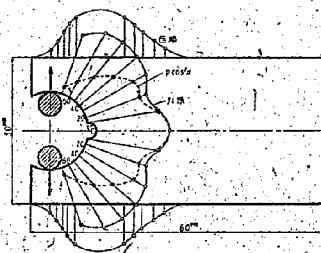


圖-39 No. 4 試片纖維應力分布圖



著しい変化は認められない。次に等閉曲線を見るに複切込部に高度のフリンジの発生が顕著であつて複切込を設けたる目的が充分達せられてをる。同圖によつて求めた纖維應力分布圖を見るに複切込部中央に於ける應力は主切込部の最大應力（發生點 $\alpha = 50^\circ$ ）に比較するとき幾分低きも、これらより木材纖維に直角方向の分力る求むるとき、複切込部中央に於て最大應力の發生せることがわかる。

(b) 實物試験 この試験に用ひた材種並に割裂面の種類は No. 1 及 No. 3 試験片の場合と全く同様である。試験成績は表-10 に掲げた如くである。

表-10 No. 4 試片割裂試験成績

材 種	割 裂 面	試片番號	氣乾比重	年 輪 幅 (mm)	含 水 率 (%)	割裂強度 (kg/cm)	割 裂 角 度		
							表	裏	平 均
杉	柱 目	1	0.400	2.0	10.1	15.7			60° 0'
		2		1.4	10.6	18.0			9 30
		3		2.0	10.6	18.7			3 30
		平均		1.8	10.4	17.5			4 20
	道 柱	1	0.400	1.3	10.6	20.7			9 0
		2		1.4	10.5	24.7			1 0
		3		1.3	10.4	20.7			8 0
		平均		1.3	10.5	22.3			6 0
	板 目	1	0.400	2.0	9.6	28.3			4 0
		2		1.4	10.0	29.3			4 0
		3		1.4	10.2	26.7			8 30
		平均		1.6	9.9	28.1			8 50

材 種	割 裂 面	試片番號	氣乾比重	年 輪 幅 (mm)	含 水 率 (%)	割裂強度 (kg/cm)	割 裂 角 度		
							表	裏	平 均
樺	柁 目	1		3.3	11.2	21.7			3° 0'
		2		3.3	11.6	20.0			0 30
		3		3.3	11.5	20.7			3 0
		平均	0.403	3.3	11.4	20.8			2 10
	迫 柁	1		2.4	11.5	31.3			26 30
		2		3.3	11.7	30.7			51 0
		3		3.7	11.0	35.3			12 30
		平均	0.403	3.1	11.4	32.4			30 0
	板 目	1		1.7	11.0	34.0			3 30
		2		1.9	11.1	30.0			3 0
		3		1.9	11.2	28.0			7 0
		平均	0.403	1.8	11.1	30.7			4 30
杉	柁 目	1		2.0	14.0	18.7			5 0
		2		1.8	11.8	12.7			4 0
		3		1.8	13.8	14.7			2 0
		平均	0.350	1.9	13.2	13.7			3 40
	迫 柁	1		2.5	14.6	15.3			5 0
		2		4.0	14.4	19.3			4 0
		3		4.0	13.8	21.7			23 0
		平均	0.350	3.5	14.3	18.8			10 40
	板 目	1		2.0	13.9	19.7			1 0
		2		2.1	13.0	20.7			5 0
		3		2.0	13.2	22.0			5 0
		平均	0.350	2.0	13.4	20.8			3 40
朴	柁 目	1		2.8	11.1	37.0			61 0
		2		2.8	11.4	25.3			4 0
		3		3.3	10.7	27.0			4 30
		平均	0.477	3.0	11.1	29.8			23 10
	迫 柁	1		2.4	11.0	38.7			5 0
		2		3.3	11.2	38.3			20 30
		3		2.0	10.4	43.3			5 30
		平均	0.477	2.6	10.9	40.1			10 20
	板 目	1		2.8	10.9	51.0			3 30
		2		3.0	11.3	37.0			0 0
		3		3.0	11.1	51.0			0 30
		平均	0.477	2.9	11.1	46.3			1 20
米 松	柁 目	1		1.4	11.5	14.7			0 30
		2		1.3	11.4	17.3			4 0
		3		1.4	11.6	16.0			0 0
		平均	0.444	1.4	11.5	16.0			1 30
	迫 柁	1		1.5	11.6	21.3			13 0
		2		1.6	11.7	20.3			20 0
		3		1.6	11.7	18.3			5 30
		平均	0.444	1.6	11.7	20.0			12 50
	板 目	1		1.3	11.6	14.7			5 0
		2		1.3	11.3	20.3			2 30
		3		1.4	11.5	18.7			5 30
		平均	0.444	1.3	11.5	17.9			4 20

前掲の試験結果を通覧するに全試片を通じて割裂偏倚角の顯著なる減少が認められる。圖-40 はこれを圖示したもので試片總數 45 中の 80% は 10° 以下の偏倚角を示し、圖-29 に示した試片 No. 3 の成績をはるかに凌駕してをる。

更に割裂面の相違による偏倚の變化を見るに各材種とも柁目、板目試片に於ける偏倚は殆ど 5° 以下に止つて

をり、追証の試片に於てのみ 10° 以上の偏倚を示し、其割裂面も甚しい不規則形を現はしてをるものが多い。圖-41 は割裂面の差異による偏倚角の變化を示したものである。

圖-40 No. 4 試片割裂箇所の偏倚状況

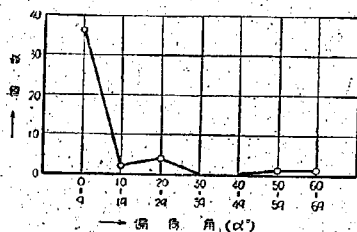
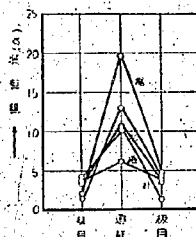


圖-41 No. 4 試片の割裂面の相違による偏倚角の變化



次に割裂面の差異と割裂強度との關係であるが圖-42 に示すか如く多くの材種に於てせん断強度が最小で板目強度が最大である。二の材種に於て追証強度の最大なるものが混じてをる。

各材種を通じて比重と割裂強度との關係は大體に於て圖-32 に示した No. 3 試片の場合と同様である。

圖-43 は No. 4 試片の代表的割裂狀況を示す。

圖-42 No. 4 試片の割裂面の相違による割裂強度の變化

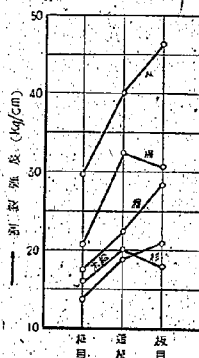
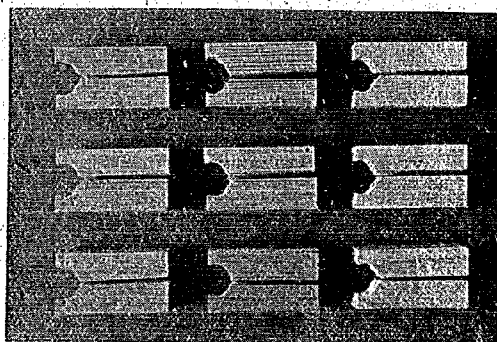


圖-43 No. 4 試片の割裂狀況



朴、杉、檜

V 總 括

前掲5種の試験片について行つた試験成績から次の様なことが要約される。

[15] 割裂點の偏倚

試験片の割裂を必ず圓形切込部の中央に發生せしむると云ふ事は木質の不均等性から見て困難であるが、これをなるべく中央部近く起さめんが爲には、先づ試験片は割裂試験荷重をうけた時其木材繊維に直角方向の繊維應力分布が中央部に於て最大であるが如き形状をもたねばならぬ。

この意味に於ては No. 1 試片の形状が充分満足出来るものでないことは圖-11 乃至 14. の應力分布狀況並に實物試験についての成績 圖-4, 圖-16 によつて明かである。

次に切込部の最大繊維應力を中央部に集中せんが爲に試片の長さを短縮せしめた No. 2 及 No. 3 試片について其實験成績を見るに、試片 No. 2 に於ては未だ充分に所期の目的を達するに至らぬ事、圖-20 乃至 23 の光弾性實驗結果並に 圖-24、表-7 の實物實驗成績によつてわかる。これに反して試片 No. 3 は光弾性實驗に於ても實物實驗に於ても極めて優良な結果を示してをる。(圖-25 乃至 29 参照)

切込部最大繊維應力を中央に生ぜしむる目的で試片の幅員を増加せしめたものが試片 No. 5 であるが、實物實驗の成績から見ると充分なる結果が求められなかつた。表-9 及 圖-35 が其成績を示してをる。

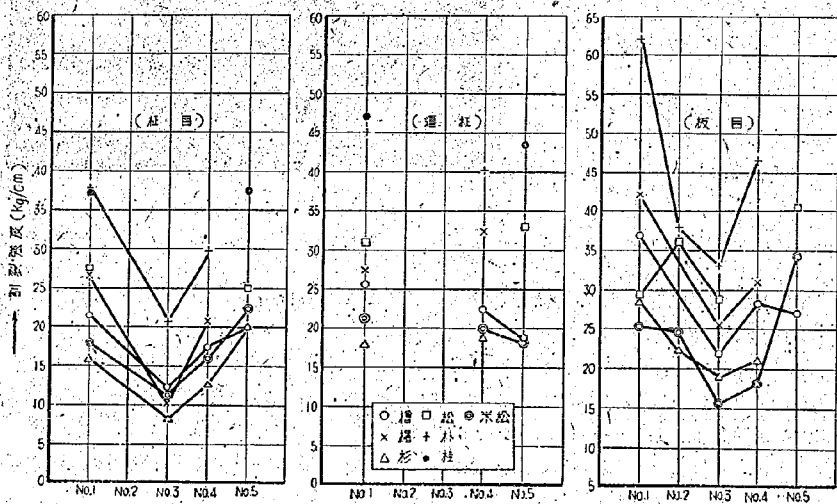
試片 No. 4 は No. 2, No. 3, 及 No. 5 と同様の目的を達成する爲に試片 No. 1 の圓形切込部の中央に更に複切込を設けたものであるが、これによつて中央部の繊維應力の増大を求めし、割裂龜裂の中央部發生を促進せしめた事は極めて顯著であつて 圖-26 乃至 41 は其結果を示したものである。

以上を要約するときこれら 5 種の試験片中割裂を中央に起さしむる目的に充分添ひ得るものとしては試片 No. 3 及 No. 4 を挙げる事が出来其他のものは割裂點偏倚の見地から割裂試験片として満足出来ぬ形狀を有するものと考へる。

[16] 試験片の形狀と割裂強度

現在一般に使用せられてをる割裂強度は割裂荷重を試験片の幅員又は割裂面の面積で除したものであることは [3] に説きたる如くであつて、この數値は試片の形狀寸法を離れては全然意味のないものである。従つて著者の行つた 5 種の試片に於ても實驗の結果に現はれた割裂強度は各々に違つた値を示してゐる。圖-44 は割裂面に別 5 種の試験片の示した割裂強度を表したものである。これによると厚さの最も大なる試片 No. 5 が最大の數値を示してをり、厚さの同一なる No. 1 乃至 No. 4 に於ては長さの最大なる No. 1 が最も大なる割裂強度を示し、長さの短縮するにつれ No. 2, No. 3 と強度は低下してゆき No. 3 は No. 1 の $\frac{1}{2}$ 程度の強度を示すに過ぎない。No. 4 は No. 1 と試片の長さは同一であるが複切込を有するもので其割裂強度は大陸 No. 2 程度のものと考へられる。

圖-44 試験片の種類による割裂強度の相違



[17] 割裂偏倚並に割裂強度より見たる試験片の比較

[15] に述べたところにより割裂點偏倚の最小なるものは試片 No. 3 及び No. 4 なることが明かになった。次に兩者の示す割裂強度を比較するとき可成の開きのあることがわかる。割裂強度のあまりに低きことは試験結果の影響を大ならしめるものであり、又材種による強度の相違を求むる上にも不便ことが多い。従つてなるべく割裂強度の大きく出る形で偏倚の少ないものを可とする。この意味から考ふるとき No. 4 試片が最も適性大なりと認める。殊にこの試片が現行の標準試験片に比べて單に複切込を設けるだけで他に形状寸法上の變更を要しない點も便宜である。

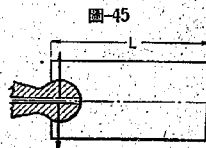
[18] 割裂面の相違による割裂強度の變化

試験片 No. 2 を除き他の各試験片は孰れも其割裂面に柾目、追柾、板目の 3 種を用ひた。今これら試験片の成績に現れた割裂面相違の影響を見るに、其強度に於ては各試片とも柾目強度が最小であり、板目強度が最大、追柾強度が兩者の中間に位してをる。この原因は主として髓線の存在に基くことは明かであつて、髓線の顯著な材に於てこの傾向は特に明瞭である。

次に試験片割裂點の偏倚度であるが偏倚傾向の著しい試験片 No. 1 及 No. 5 等に於ては割裂面の相違による偏倚の大小は甚だしく不規則であつて、材種により板目材、或は柾目材の偏倚が最大であつて、追柾材は多くの場合中間に位してをつた。然るに偏倚の傾向の少ない試験片 No. 3 及 No. 4 に於ては柾目材及追柾材に於ける偏倚は極めて僅少で、大なる偏倚を示すものは板目材に限られる状態であつた。孰れの種類の試片をとはず一般に板目材の割裂は断面不規則形にして所定の割裂面に斜交する階段状断面を示す場合が多い。従つてこれらの試片に就いて求めた所定の計算法による割裂強度に對しては幾分の疑ひをもたざるを得ない。

[19] 材料の比重と割裂強度

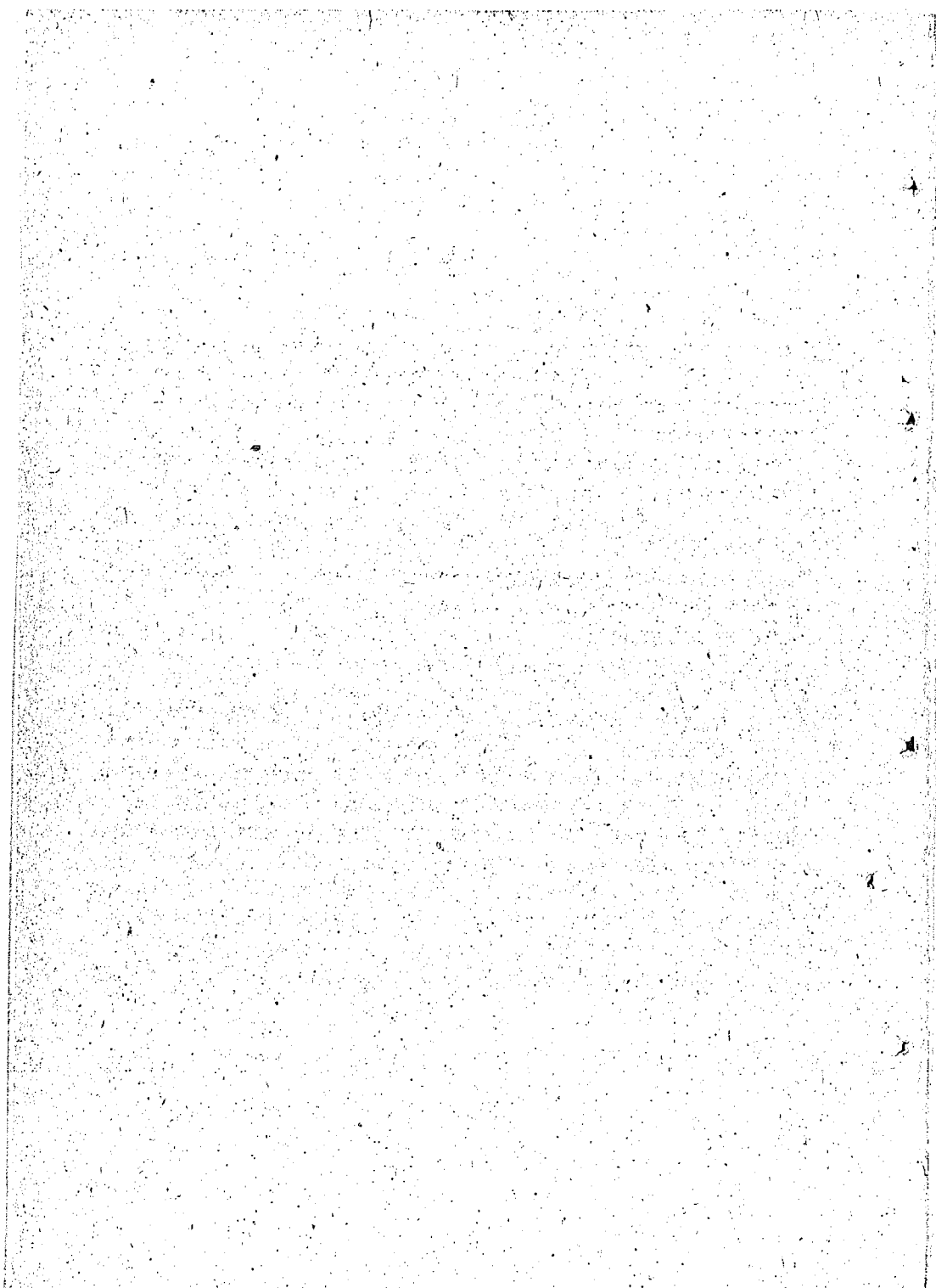
木材の割裂強度も亦他の諸強度と同様、材種を超越して木材の見掛比重の函數として表はさるべきものと考へるがこれが電式を求むるには資料の不充分さを感ずるものである。圖-18、圖-19 は兩者の關係を圖示したものである。



[20] 割裂試験載荷方法

本試験に於ては試片の載荷にすべて圖-10に示せるが如く集中荷重を用ひてをるが、試験の方法としては其外に圖-45に示す如き分布荷重による載荷方法があるわけである。この方法による時は割裂點の偏倚が起りにくく、割裂が多くの場合中央部に發生すべきことは其載荷状況からも推測せらるゝところであり、試験結果に現れたところも極めて良好である。併しこゝに基き疑問とせらるゝところは載荷金物と試片との接觸部の荷重分布状況であつて試片切込部の形状は木材の本质上乾燥其他の關係上試片製作後相當變形するものと考へねばならず、従つて載荷金物との接觸状況は試片毎に幾分づつの相違あるべく、荷重分布の一定を期することは不可能と信ずるその結果として荷重の割裂に及ぼす作用が試片毎に變化するのではないかを要するものである。

以上の如き理由から試片への載荷には集中荷重法をとり、試片の形状を割裂點偏倚の少きものとする最も適當なりと信ずるものである。



コンクリートの洗ひ分析現場試験

標準方法案の作製に就いて

内務技師 一 木 保 夫

要 旨

現場コンクリートの配合及び水量が規定通りになつてをり、その強度が豫定のものに達してゐるか否かを確かめる方法として従来現場コンクリートの強度試験を行つてゐるが、強度は材齢 28 日（或は少くとも 7 日）を待つて初めて判明するが故に、打込みの際に現場で直ちに配合及び水量を知る方法があれば、現場に於けるコンクリートの示方配合の確保が一層確實となり、之により強度の豫想に資するところ大である。依つてこの方法として現場に於けるコンクリートの洗ひ分析試験方法を茲に提案したのである。之に就き各條毎に解説を附して製案の主旨を明らかにし本案に基づいて行へる試験の例を述べた。

目 次

I 總 説	(1)
II コンクリートの洗ひ分析現場試験標準方法案並びに解説	(3)
III 本案に基づき行へる試験の例	(7)
IV 結 言	(8)

I 總 説

土木學會コンクリート調査委員會に於て堰堤コンクリート標準示方書の制定が企圖され目下原案に基づき審議を進めつつあるが、原案中に「コンクリート打ち」の章で「打込みコンクリートの品質検定」として、

コンクリート打込み中試料を採取し、強度、単位容積重量、配合及び水量等に就き試験を行ひその品質を検定すべし。試料の採取に就いては責任技術者の指示を受くべし。試験は「堰堤用コンクリートの壓縮強度試験標準方法」(案)(附録第 一 章)、「コンクリートの洗ひ分析現場試験標準方法」(案)(附録第 二 章)等によるべし。

と云ふ條項がある。

之等の試験方法案の作製を當試験所で受持つことになつたのであるが（當試験所からは高田、福島、一木各技師が委員會に加はつてゐる）、この内壓縮強度試験方法に就いては鉄筋コンクリート用コンクリートの場合の標準方法を基として、之に A. S. T. M. の “Standard method of making and storing compression test specimen of concrete in the field” (C 31—33) 及び “Standard methods of making compression tests of concrete” (C 39—33) を參考とし、更に堰堤コンクリートでは一般に粗骨材の大きさが大きいことと現場の實狀等を考慮して案を作製し、委員會で幾分の變更が加へられて委員會としての案は一題出来上つたのである。

併し洗ひ分析試験方法に就いては、鉄筋コンクリートの場合にも未だ之に類する試験方法は制定されてをらず、又現場で實際に之を行つた資料も少いために、外國文獻の調査並びに之に對して實驗を加へることが必要になつ

たのである。我國の現場ではたゞ堰原堰堤の工事に當つて、九州送配の材料試験室でこの試験を実施した例がある。

洗ひ分析試験の目的は、ミキサから排出された、又は型枠内に打込まれて未だ凝結を始めないコンクリートの配合及び水量を検定することがその本来の目的である。従つてその應用としては次のものが考へられる。

(1) コンクリートの均等性を確保する。即ち打込みコンクリートの配合不同の程度及び材料分俵の程度の範圍を決定し、之によつて現場に於けるコンクリートの示方配合の確保を一層確實ならしめる。

(2) セメント糊中の正しい水セメント比を求め、水セメント比と強度との關係を正確に求めることが出来る。従つて強度の調節を正確になし得る。

(3) 強度は材齡 28 日を待つて試験しなければ判明しないが、豫め水セメント比と強度との關係を求めておけば、コンクリート打ちの際に直ちに 28 日強度を想定することが出来る。

(4) 種々の型式のミキサ又は輸送装置等の能率を決定することが出来、之等の優劣を比較することが出来る。

洗ひ分析試験方法に就いて研究したのは米國の Iowa State College の W. M. Dunagan であつて (A. S. T. M., Proceedings, 1931), 要するに篩で洗ひ分けたコンクリート中の各固形物の絶対容積を測ればよいのであるが、之を測るには浮力の原理によるのが一番良いことを見出し、この方法によつて多くの試験を進めたのである。

浮力の原理による方法 (Buoyancy method) を採用した理由としては次のものが擧げられてゐる。

(1) この方法によれば凡ての試験操作が統一されて特別な器具を必要としない。

(2) 試験が簡單に然も正確に出来る。

(3) 水の蒸發の影響が入らないから、試験の時間を短縮することが出来る。

(4) 照査として骨材を乾燥して空氣中で重量を測ることが出来る。

(5) 試料の量の多い時は、幾つかに分けておいて別々に試験することが出来る。

(6) 比較的高價でない器具で試験して、相當に正確な結果が得られる。

以上の理由から Dunagan は浮力の原理による方法を提案したのであるが、A. S. T. M. の C-9 委員會 (委員長 Cloyd M. Chapman) で 1931 年に發表した「コンクリートの洗ひ分析現場試験標準方法案」もこの方法をそのまま採用してゐる。

併しながらこの A. S. T. M. の試験方法案は普通の鉄筋コンクリート用コンクリートを對象として作つたものであるから、壱塊コンクリートの如き粗骨材の大きなものに對しては特に次の事項を考慮しなければならない。

(1) 骨材が大きいから、代表的な試料を採るためには試料の量を増さなければならない。従つて試験器具も大きなものが必要である。

(2) 現場で行ふ試験であるから、試験の結果にあまり大きな影響を及ぼさない事項は總て省略し、出来るだけ試験を簡易なものにした。

Dunagan の研究と A. S. T. M. の試験方法案とを參考にして、之に上述の壱塊用の大きな骨材を使用したコンクリートを現場で試験するのであると云ふことを考慮して案を作り、之により試験を行つたのであるが、先づ本案とそれに対する解説を述べて製案の主旨を明らかにし、次に本案に従つて行へる試験の例を記して試験の順序を明瞭ならしめる。

II コンクリートの洗ひ分析現場試験標準方法案並びに解説

Dunagan の研究と A. S. T. M. の試験方法案とを参考にし、之に現場用の大きな骨材を使用したコンクリートを現場で試験するのであると云ふことを考慮して作製した案と之に對する解説を述べる。

第1條 總 則

現場に於て、未だ凝結を始めざるコンクリート中のセメント、細骨材、粗骨材及び水の量を洗ひ分析により試験するには、本標準方法(案)に依るべし。

解 説

本標準方法(案)は設備の整つた試験所に於ける如く比較的正確な操作をなし得ない現場の試験室に於て之を適用せんとするものである。従つて試験の結果にあまり大きな影響を及ぼさない事項は凡て省略し、試験を出来るだけ簡易化することに努めた。

本試験は要するに篩で洗ひ分けたコンクリート中に於ける各固形物の絶対容積を測るのであるが、之を測る方法としては Dunagan の推奨してゐる浮力の原理によることとした。A. S. T. M. の試験方法案でもこの方法を採用してゐる。水で洗ふのであるからコンクリートは凝結を始めてゐないものでなくてはならない。

洗ひ分析試験の本来の目的は、ミキサから排出されたコンクリート又は型枠内に打込まれて未だ凝結を始めないコンクリートの配合及び水量を検定することであるが、この應用としては次のものが考へられる。

- (1) コンクリートの均等性を確保する。
- (2) 水セメント比と強度との關係を正確に求め得る。之によつて材齢 28 日を持たずして、打込みの際に直ちに 28 日強度を略々豫知することが出来る。
- (8) 種々の型式のミキサ又は輸送装置等の能率を決定し又之等の優劣を比較する。

第2條 器 具

本試験に用ふる器具は次の如し。(圖-1 参照)。

- (1) 天秤(秤量 10 kg, 感度 1/1000 以上)。
- (2) コンクリート容器(容量約 7 l)。
- (3) 水槽。
- (4) 板篩 5 及び網篩 0.15
- (5) 洗ひ用容器

解 説

試験に使用する器具の主なるものを列記したのであるがこの外に攪拌用鉄棒、メスシリンダー等が必要である。

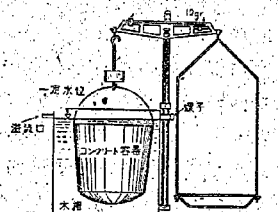
(1) に就いて

天秤の秤量を 10 kg と定めたのは、この程度のものが手頃だからである。天秤は 10 gr まで正確に讀み得ることが必要である。又同じ天秤で試料の空氣中重量と水中重量とを測り得る装置を具へてあることが必要である。圖-1 に示す様な装置とすれば便利である。

(2) に就いて

金屬製容器で、水中重量を測る場合に底面に氣泡の残ることを防ぐため、圖-1 に示す様に底に丸味を附けたものがよい。

圖-1. 試験器具



第5條の試験方法で述べる如く、この容器に約4lの試料を入れて空氣中重量を測り、之に約1.5lの水を加へて攪拌してから水中重量を測るのであるから、攪拌する場合に更に容器に相當の餘裕が必要である。それで約1.5lの餘裕をとつて容器の容量を約7lとしたのである。

(3)に就いて

水槽はコンクリート容器を完全に水中に入れて水中重量を測り得る大きさのものが必要である。圖-1の如く溢流口を設けるのがよい。

(4)に就いて

篩は JES 第238號 A 12 コンクリート骨材試験篩として規格されたもの、中板篩5と網篩0.15を使用する。

(5)に就いて

篩を通して洗ひ分ける場合、板篩5を通過した砂、セメント及び水を受ける金屬製の容器が必要である。

第3條 豫備試験

本試験を行ふに先立ち、使用材料に就き次の豫備試験を行ふべし。

(1) セメントの比重試験

(2) 細骨材の表面乾燥飽和状態に於ける比重試験

(3) 粗骨材の表面乾燥飽和状態に於ける比重試験

試験方法は夫々責任技術者の指示する方法に依るべし。

解 説

各材料の水中重量より空氣中重量を求める場合に比重が必要になつて来る。

(1)に就いて

セメントの比重はルシャテリ-比重瓶によつて測定する。

(2)に就いて

表面乾燥飽和状態と云ふのは、骨材粒の内部は水によつて飽和し表面は乾燥してゐる状態を云ふのである。

細骨材の表面乾燥飽和状態を得ることは普通の方法では非常に困難であるので、A. S. T. M. では C 128—39で、上面内徑 1½in、底面内徑 3½in、高さ 2½in の金屬製截頭圓錐形に、濕潤状態から順次表面が乾燥せる状態の細骨材を詰め、型を靜かに引上げ形がくづれるときを以て細骨材の表面乾燥飽和状態であると規定してゐる。C 128—39に規定された方法によれば細骨材の表面乾燥飽和状態に於ける比重は直接容易に測定することが出来る。

従來の方法によつて乾燥状態に於ける比重と吸水率が測定されたときには、之等より表面乾燥飽和状態に於ける比重を計算で出してもよいが C 128—39の方法による方が正しい結果が得られる。

乾燥状態に於ける比重と表面乾燥飽和状態に於ける比重とは、小數點以下2位の値が僅かに異なる程度が普通である。

嚴密に云へば、比重、吸水量の外に板篩5殘留量及び網篩0.15通過量の試験が必要であるが、之等は省略してよい。

(3)に就いて

粗骨材の表面乾燥飽和状態は得易いので、之より直接比重を測定することが出来るが、乾燥状態に於ける比重と吸水率とが分つてゐるときには之等から計算で出してもよい。乾燥状態に於ける比重と表面乾燥飽和状態に於ける比重とは小數點以下2位の値が僅かに異なる程度が普通である。

厳密に云へば、比重、吸水量の外に板篩 5 及び網篩 0.15 通過量の試験が必要であるが、之等は省略してよい。

第4條 試料の採取

- (1) 試料は責任技術者の指示する箇所の代表となるものを採取すべし。
- (2) 試料は、粗骨材の最大寸法を mm にて示せる数の 200 倍を gr にて表はせる重量以上を採取すべし。

解 説

(1) に就いて

試料を採取すべき箇所の選定及び試料の採取方法は責任技術者の指示に従ふべきであつて、檢定せんとするコンクリートを代表するのを採取しなければならない。

(2) に就いて

A. S. T. M. の案では試料の量を 3~4 kg と定めてゐるが、堰堤コンクリートの様な骨材の大きなものに對しては之では少な過ぎる。又試料の量は骨材の大きさによつて變へるのが妥當である。

粗骨材又は細粒混合骨材の篩分け試験の場合の試料の量は、最大寸法を mm にて示せる数の 100 倍を gr にて表はせる重量以上を採ることに定められてゐるが、骨材とコンクリートとの單位容積重量の差異を考慮して、洗ひ分析試験に於ては最大寸法を mm にて示せる数の 200 倍を gr にて表はせる重量以上とすることにしたのである。即ち重量で云へば骨材篩分け試験の場合の 2 倍であるが、容積で云へば約 1.3 倍程度である。

例へば粗骨材の最大寸法 80 mm の場合には 16 kg 以上、100 mm の場合には 20 kg 以上の試料を採る。

第5條 試験方法

試料の量に應じ、數回に分ちて試験を行ふべし。

試験の順序は次の如し。

- (1) 約 4 l の試料をコンクリート容器に入れ、コンクリートの空氣中重量を測定すべし。
 - (2) 容器に入れたるコンクリートに約 1.5 l の水を加へ、攪拌してコンクリート中の空氣を完全に排除し 2 分間以上靜置したる後、其の儘之を水槽中に吊下げてコンクリートの水中重量を測定すべし。
 - (3) 水中重量の測定を終れる試料は、板篩 5 及び網篩 0.15 にて洗ひ分析し、網篩 0.15 を通過せる材料は之を捨て、各篩殘留量の水中重量を前號と同様にして測定すべし。
- 洗ひ分析の際、骨材を流失せざる様注意すべし。
- (4) 檢算の必要ある場合には各篩に殘留せる骨材を乾燥し、空氣中に於ける重量を測定すべし。

解 説

天秤の秤量が 10 kg であるから、試料の量が多いときには數回に分けて試験しなければならない。

(1) に就いて

天秤の秤量が 10 kg であるから、1 回に試験する試料の量は約 4 l とした。

試料を數回に分けて試験する場合には、幾つかに分けた各々の試料の部分の空氣中重量を先づ測つておき、あとは水を加へてセメントの凝結を防ぎ順次に洗ひ分析試験を進めて行くのである。

(2) に就いて

攪拌に都合のよい様に、水を加へてからよく攪拌し、コンクリート中の空氣を完全に排除しなければならない。この空氣の排除が完全でないときは試験の結果に大きな誤差を生じて来る。

攪拌してからコンクリートの各材料が落着くまでの靜置時間は A. S. T. M. の案では 1 分間となつてゐるが、こゝでは試料の量が多いので試験の結果 2 分間とした。

次に容器の上端まで水を充たして之を水槽中に静かに吊下げコンクリートの水中重量を測定するのであるが、この場合容器の底或は側面に気泡が附着してゐると大きな誤差の原因となるので、気泡が附着しない様に十分注意しなければならない。これには容器の底及び側面を豫め水でぬらしておき、更に水槽中に入れてから手でこすつて気泡を完全に除く。

(3) に就いて

先づ試料を少しづつ板篩で水を注いで洗ひ分ける。板篩 5 を通過したものは別の容器に受け、更に之を網篩 0.15 で洗ひ分けセメントを完全に洗ひ流す。但し、検算のため各材料を乾燥して重量を測るときは、網篩 0.15 を通過したセメントもとつておかなければならない。板篩 5 に残留した粗骨材を容器に入れて (2) と同様に水中重量を測定し、次いで網篩 0.15 に残つた細骨材に加へて網篩 0.15 残留量の水中重量を測定する。かくして細骨材とセメントの水中重量が間接に測られるのである。

洗ひ分析の際、十分注意して、骨材を流失しない様になさなければならない。

(4) に就いて

各篩に残留した骨材及び網篩 0.15 を通過したセメント糊を乾燥して空気中の重量を測れば、正確な結果が得られ照会とすることが出来るが之には相當な時間を要する。

第 6 條 結果の計算

(1) 各材料の重量を計算するには次式に依るべし。

$$\text{セメントの重量} = \{ (\text{試料の水中重量}) - (\text{網篩 0.15 残留量の水中重量}) \} \times \frac{(\text{セメントの比重})}{(\text{セメントの比重}) - 1}$$

$$\text{細骨材の重量} = \{ (\text{網篩 0.15 残留量の水中重量}) - (\text{板篩 5 残留量の水中重量}) \} \times \frac{(\text{細骨材の比重})}{(\text{細骨材の比重}) - 1}$$

$$\text{粗骨材の重量} = (\text{板篩 5 残留量の水中重量}) \times \frac{(\text{粗骨材の比重})}{(\text{粗骨材の比重}) - 1}$$

$$\text{水の重量} = (\text{試料の空気中重量}) - \{ (\text{セメントの重量}) + (\text{細骨材の重量}) + (\text{粗骨材の重量}) \}$$

(2) 同一試料を數回に分ちて行ひたる試験の結果は各材料別に之を加算すべし。

(3) 必要ある場合には、粗骨材の板篩 5 通過量、細骨材の板篩 5 残留量、骨材の網篩 0.15 通過量等に就いての補正をなすべし。

解 説

(1) に就いて

第 5 條の方法によつて測定した各材料の水中重量から空気中重量を求める一般式は

$$\text{空気中重量} = (\text{水中重量}) \times \frac{(\text{比重})}{(\text{比重}) - 1}$$

である。セメント、細骨材、粗骨材の各々に就いて式を示したのであるが、茲に骨材の比重は豫備試験で求めた表面乾燥飽和状態に於ける比重を使用する。

網篩 0.15 を通過したものは總てセメントと見做し、板篩 5 を通過し網篩 0.15 に残留せるものは總て細骨材、板篩 5 に残留せるものは總て粗骨材と見做すのである。

嚴密に云へばセメントに就いては、細粗骨材の網篩 0.15 通過量 (－) の補正、細骨材に就いては粗骨材の板篩 5 通過網篩 0.15 残留量 (－)、細骨材の板篩 5 残留量 (+)、細骨材の網篩 0.15 通過量 (+) 及び細骨材の吸水量 (－) の補正、又粗骨材に就いては粗骨材の板篩 5 通過量 (+)、細骨材の板篩 5 残留量 (－) 及び粗骨材の吸水

量(一)の補正をしなければならないが、之等の補正量は總て省略してよい。

(2)に就いて

試料を數回に分けて試験する場合には、各々の部分に就いて、セメント、細骨材、粗骨材及び水の重量を求め、之等を加算して一試料に就いての最後の結果を求めるのである。加算は各材料の水中重量のまま加算しても、空氣中重量を出してから加算しても、結果は同じである。

(3)に就いて

省略した補正量の内、普通の場合比較的影響の大きなものは、粗骨材の板筋5通過量、細骨材の板筋5残留量及び細粗骨材の網篩0.15通過量である。普通の現場試験に於ては之等の補正量を省略してよいのであるが、更に正確な結果を得る必要のある場合には之等に就いての補正をしなければならない。骨材の吸水量の補正は殆んど影響がない程小さい。

第7條 報 告

(1) 前條の計算に依りて得たる結果は、之を重量配合比にて表はすべし。

(2) 水量はセメント水重量比又は水セメント重量比にて表はすべし。

解 説

試験の順序及び計算方法を一括して示すために試験の例を附する(Ⅱ参照)。

III 本案に基き行へる試験の例

試験の順序及び計算方法を一括して示すために、次に試験の例を示す。

試験に用いた装置は 圖-2 に示す如くで、天秤は秤量 10 kg, 0.5 gr まで読みをとることが出来る。

コンクリートの使用材料に就いての豫備試験の結果は次の如くである。

圖-2 試験装置

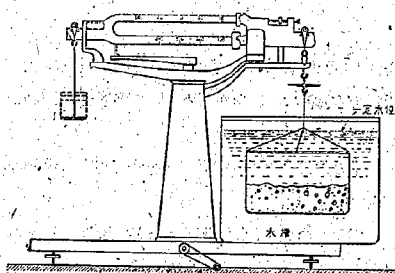


表-1 試験の結果(単位 gr)

	1	2	3	計
試料の空氣中重量	6670	7310	6720	20600
試料の水中重量	3830	4300	3050	12080
板筋5残留量の水中重量	2120	2470	2430	7020
網篩0.15残留量の水中重量	3800	3710	3540	10550

セメントの比重 3.10

砂の表面乾燥飽和状態に於ける比重 2.65

砂利の表面乾燥飽和状態に於ける比重 2.62

砂の板筋5残留量 4.0%

砂の網篩0.15通過量 0.2%

砂利の板筋5通過量 2.5%

砂利の網篩0.15通過量 0%

砂利の最大寸法は 100 mm である。

第5條の方法により試験せる結果は表-1の如くである。約 20 kg の試料を採り、之を3回に分つて試験した。

表-1の合計した水中重量より、第6條に依つて各材料の空氣中重量を計算する。

$$\begin{aligned} \text{セメントの重量} &= \{ (\text{試料の水中重量}) - (\text{網篩0.15} \\ &\text{残留量の水中重量}) \} \times \frac{(\text{セメントの比重})}{(\text{セメントの比重}) - 1} \\ &= (12080 - 10550) \times \frac{3.10}{3.10 - 1} = 2250 \text{ gr} \end{aligned}$$

細骨材の重量 = { (網篩 0.15 残留量の水中重量) - (板篩 5 残留量の水中重量) }

$$\times \frac{(\text{細骨材の比重})}{(\text{細骨材の比重}) - 1} = (10550 - 7020) \times \frac{2.65}{2.65 - 1} = 5669 \text{ gr}$$

$$\text{粗骨材の重量} = (\text{板篩 5 残留量の水中重量}) \times \frac{(\text{粗骨材の比重})}{(\text{粗骨材の比重}) - 1} = 7020 \times \frac{2.62}{2.62 - 1} = 11353 \text{ gr}$$

水の重量 = (試料の空気中重量) - { (セメントの重量) + (細骨材の重量) + (粗骨材の重量) }

$$= 20600 - (2259 + 5669 + 11353) = 1319 \text{ gr}$$

故に

$$\text{重量配合比} = 2259 : 5669 : 11353 = 1 : 2.51 : 5.03$$

$$\text{水セメント重量比} = \frac{1319}{2259} \times 100 = 58.4 \%$$

次に第 6 條 (3) に従つて、粗骨材の板篩 5 通過量、細骨材の板篩 5 残留量及び粗骨材の網篩 0.15 通過量に就いて補正を行ふときは次の如くである。

$$\text{セメントの重量} = 2259 - 5669 \times \frac{0.2}{100} = 2248 \text{ gr}$$

$$\text{細骨材の重量} = 5669 - 11353 \times \frac{2.5}{100} + 5669 \times \frac{4}{100} + 5669 \times \frac{0.2}{100} = 5623 \text{ gr}$$

$$\text{粗骨材の重量} = 11353 - 5669 \times \frac{4}{100} + 11353 \times \frac{2.5}{100} = 11410 \text{ gr}$$

$$\text{水の重量} = 20600 - (2248 + 5623 + 11410) = 1319 \text{ gr}$$

故に

$$\text{重量配合比} = 2248 : 5623 : 11410 = 1 : 2.50 : 5.08$$

$$\text{水セメント重量比} = \frac{1319}{2248} \times 100 = 58.7 \%$$

又、第 5 條 (4) に従ひ、各材料を乾燥して其の空気中重量を測定した結果は表-2 の如くである。但し網篩 0.15 を

表-2 乾燥後の重量 (単位 gr)

	1	2	3	計
板篩 5 残留量	3420	3970	3920	11310
板篩 5 通過網篩 0.15 残留量	1890	2000	1790	5680
網篩 0.15 通過量	—	—	—	2270

通過せる材料は、之を一總めにして重量を測定した。

表-2 より

$$\text{水の重量} = 20600 - (2270 + 5680 + 11310) = 1340 \text{ gr}$$

故に

$$\text{重量配合比} = 2270 : 5680 : 11310 = 1 : 2.50 : 4.98$$

$$\text{水セメント重量比} = \frac{1340}{2270} \times 100 = 59.0 \%$$

VI. 結 言

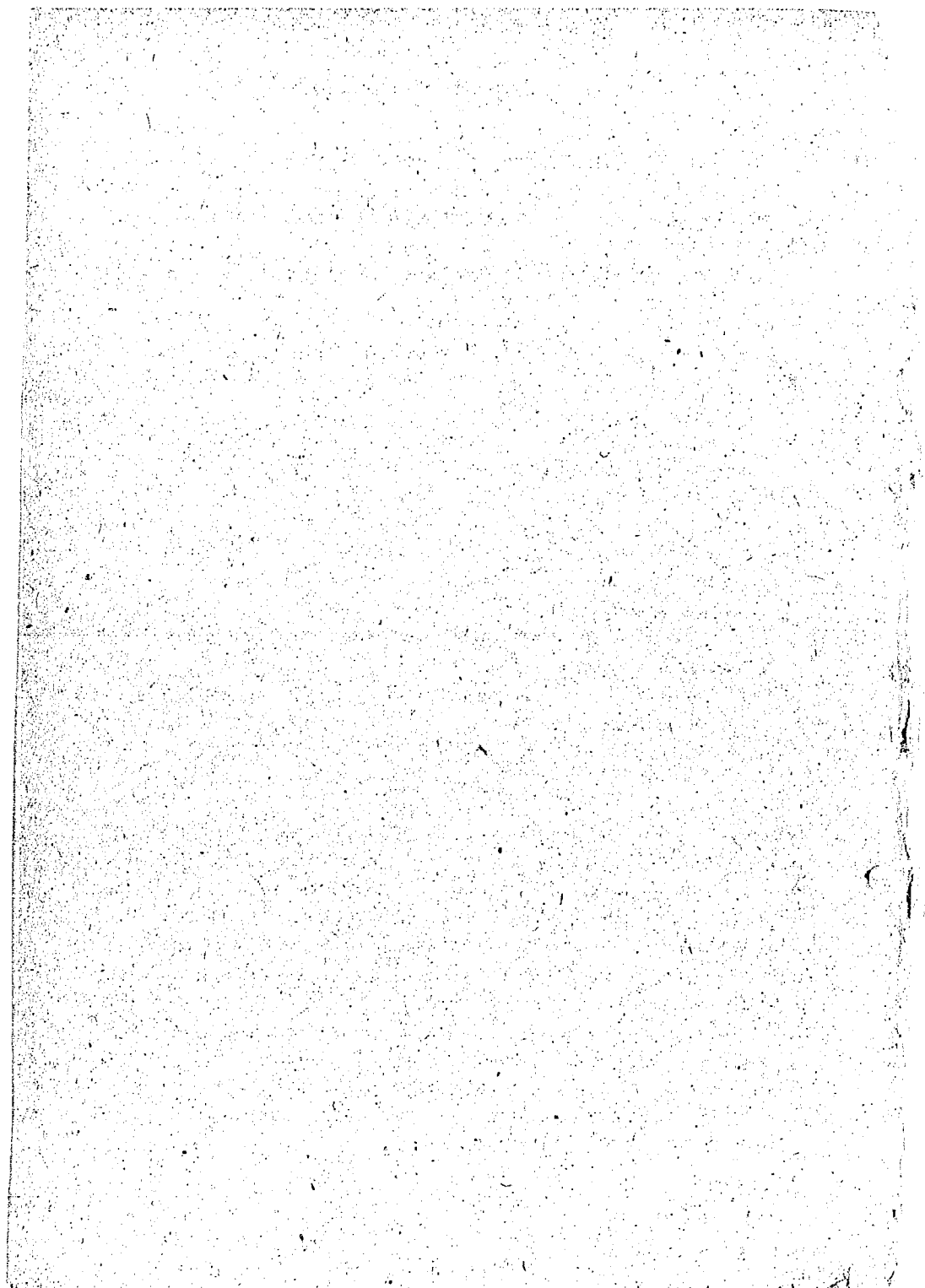
現場に於けるコンクリートの配合及び水量検定方法としてのコンクリートの洗ひ分析試験方法を提案し、之に對して解説を附し、提案の主旨を明らかにし、本案に基いて行へる試験の例を述べたが、之を結言すれば次の如くである。

(1) コンクリート洗ひ分析試験によつて、現場コンクリートの配合及び水量を知ることが出来る。従つて之により現場コンクリートの均等性を確保し、材齢 28 日を待たずして、打込みの際に現場で直ちに 28 日強度を

略々想定することが出来る。

(2) 洗ひ分析試験方法は、粗骨材の最大寸法を mm にて示せる数の 200 倍を gr にて表はせる重量の試料を採取し、浮力の原理により、各材料の水中重量を測定し、比重より空氣中重量を算出する。本案は廢堤用コンクリートの如き大きな粗骨材を使用したものを現場で試験することを特に考慮して製案したものであるが、小さな粗骨材を使用した場合にも勿論適用し得る。

(3) 試験を行はんとするときは、Ⅲに示した試験の例によれば、順序が明瞭に判る。



路面の色光反射に關する試験

並に燈火管制への寄與

内務技師 島 田 八 郎

目 次

I 緒 言	(1)
II 路面の光反射特性並に吸収性に就いて	(3)
III 實驗供試體並に實驗裝置	(4)
[1] 實驗供試體	(4)
[2] 實驗草定式並に實驗裝置の概要	(7)
[3] 實驗方法	(8)
IV 光反射實驗結果	(10)
[1] 乾燥狀態 (1:1.7 膠石コンクリート, 1:2.4 碎石コンクリート, 貧配合コンクリート, シートアスファルト)	(10)
[2] 流水及び濡潤狀態 (1:2.4 コンクリート, 貧配合コンクリート, トベカ式アスファルトコンクリート, シートアスファルト)	(20)
V 實驗結果に基く光反射特性	(38)
[1] 乾燥狀態	(38)
[2] 流水及び濡潤狀態	(38)
VI 要 約	(39)

I 緒 言

高速度交通の發達に關聯し街路照明の問題が論ぜられ夜間に於ける道路機能の充分なる利用並に交通事故防止の觀點より數多の研究が行はれ、道路照明に關する規準を吾人は一應得てゐる。此等の規準は路面種別によりても異なるもので本邦に於ける資料に就いて筆者も二三の研究を行ひ、從來一般に使用されてゐる白色光に對しては其の性狀を明かにした。本邦に於ける照明學會による道路(街路)照明規格案をみるに主要交通、商業、住宅街路に對する平均水平照度は夫々 3, 2, 1 Lux (ルクス) にて稍々低照度の感あるも諸外國の實例をみるも要するに眩輝等有害なる影響を防止しつつ經濟の許す範圍にて高照度を得んとする傾向を採つて來た。然るに最近戰爭様式の變遷に伴ひ必然的に從來の照明基準に全く別個の基準を更に加へる事が必要となつて來た。慣用されてゐる言葉を使用するならば、燈火管制時に於ける道路照明の問題である。現在燈火一般に關し既に燈火管制規則により其の要綱が定められ、警戒管制(甲、乙)空襲管制時に於ける燈火條件其の他遮光條件等が規定されてゐる。従つて街路照明と一般燈火管制との問題は具體的には警戒管制時に於けるものを論ずれば良い。更に緊急時に於けるものは夜間自然天空照度とも密接な關係を有するし、且つ交通問題以外防空上自衛の問題に關聯するものである。今燈火管制規則中一般街路燈類の光の秘匿に關する部を抜萃するに 表-1 の如し。

表-1 (燈火管制規則第一號抜萃)

種 類	管 制 管 制		遮 光 條 件
	乙	甲	
街路燈類 街路燈 橋梁燈 (橋梁標示燈を除く) 其他之に類する燈火(省略す) 註. 隧道内の燈火及街路の一部を成す廣場の照明燈を含む	減光且遮光 街路面 100 平方 米に付 1.5 燭光 以内, 1 燈 16 燭 以下とすること	消燈 但し追進に消燈し 得る處置を講じた るものは許可を受 け最大照度を 0.15 「ルクス」以下に減 光し且遮光して殘 置することを得	消 燈 光原の下端より 遮光具の下端に 引きたる線が光 原の下方に向ひ 且水平面と 20 度 以上の角をなす こと

其の他特種のものとして、諸種の標識燈、交通信號燈が透視距離として 500 m 以下が認められ、更に透視距離確認距離と標識燈の形式、光度等の關係が研究され、此種の問題と關聯し色光の大氣中の透過率並に透視に關する特性に就き考察されてゐる。此等の研究は、要するに實際上近距離に於て大なる照明能力を有し遠距離に對し減衰大なる色光を得るとすれば、襲撃し來る敵飛行機に對しては燈火による目標を興へる事少く、一方交通用照明としては有効に利用し得る事となる。斯かる見地よりして色光に關する二三の研究結果を引用す。以下諸家の研究によるものは勿論、色光による光源を對照として論ぜられたものである。然るに交通照明としての其の性能を判定するには、必然的に此等色光と路面との關係が第一義的に解決さるべきものとなる。

本研究は此種の問題に一應の解答を得んと試みたものである。

Ricco 法則によれば發光面に對する角度即ち視角 1 分以下の場合該面の輝度と面積の乘積を以て光度を示し得るもので、斯かる條件の下に實驗されたもの多く、尚 Ricco によるに視角小なる場合絕對暗黒中に光源を認識し得る爲めには網膜上に於て光源による照度が $0.002 \times 10^{-6} \text{ Lx}$ 以上なる事を必要とすると云はれてゐる。又實際上路空上透視範圍の實驗より P. J. Boun (は路面の認められない爲めには路面の輝度平均 $3.4 \times 10^{-8} \text{ Sb}^*$ 以下なる事を要すと述べてゐる。石川安太郎氏の研究による透視距離と視角の關係をみると視角 2 分(?)—80 分範圍に於ける透視制限輝度を 1.5×10^{-7} — $1.75 \times 10^{-9} \text{ Sb}$ と得てゐる。此等の數字は量的に可成り確認されてゐる。從つて此等の數値を基準とすれば、路面の反射係數並に反射特性に應じて許さるべき路面の照度が定まる。例へば路面平均輝度 $8 \times 10^{-7} \text{ Sb}$ とし完全擴散面の如き反射特性を有し該反射率を 15 % とすれば、許容さるべき照度は約 0.15 Lx となる。色光に關する透視距離と光度等の關係に就ては竹山説三、内田幸夫兩氏並に山内二郎、岡松正泰兩氏等の研究あり。例へば光覺の刺激閾とし竹山氏等は白色、赤色、綠色に對し夫々 $2.7 \times 10^{-8} \text{ Lx}$, $7.5 \times 10^{-8} \text{ Lx}$, $1.3 \times 10^{-8} \text{ Lx}$ を得てゐる。山内氏等は色光の可視限度とし白色、赤色、綠色青色等の光度比を 1:3:0.4:0.3 と得てゐる。兩者は略々類似の値を示してゐる。其の後山内氏等は上記の比率に二三の訂正を加へられ、可視限度として白色、赤色、綠色、青色に就き 1:10:0.9:0.4 の値を得た。Arndt も此等の色光に就き可視光度比として 1:15:1/4:1/4 の値を得てゐる。數値は實驗者により稍々異なるも傾向は在來一般に認められてゐた結果と一致せるもので K. S. Weaver の研究にも其の一端を窺ひ知り得。

蓋し上記最近の防空照明上の實驗にては透視距離を種々變化し試みられた點に特長がある。

* Sb (ステルプ) は輝度の單位燭/單位面積 $= \text{C}/\text{cm}^2$ である。尚輝度 B, 光の發散又は反射面 dS, 観測方向光度 dI, dS 面法線と観測方向との角度 θ との間には $B = \frac{dI}{dS \cos \theta}$ の關係があり、完全擴散面に於ては發散光束密度 L (Lambert, Lx/cm^2) と輝度の間には $1L = \frac{1}{\pi} \text{C}/\text{cm}^2$ の關係がある。

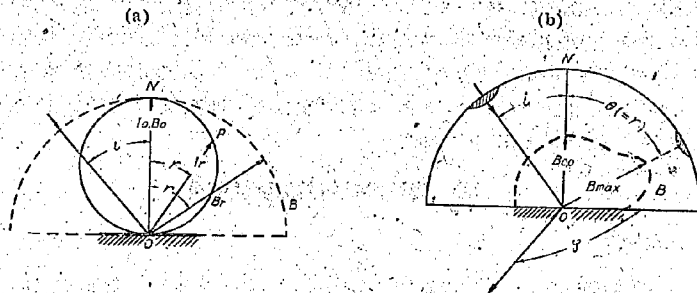
要するに色光は其種類により可視限度に可成の差異を有するもので青色系は其の小なる分類に屬する事が分る。更に大氣中の透過率の大小により遠距離よりの透視に及ぼす影響が著しく異なるものと推測さるも此點に關し筆者試問の爲め色光の差異を判斷と論ずる事はざるも、假令引用した山内、石川諸氏の論文に就き關聯せる二三の結果を見るに綠色系（青色系）の場合に透視距離の増加に伴ひ可視光度が増加してゐる。此等の現象は空氣の分子又は空氣中の細塵水滴等塵埃質の爲めの光の散亂現象による結果と解し得。又 2km 透視距離に於ける透過率測定によるも色による差異の殆ど無き事を山内氏等の報告は報じてゐる。更に室内及び野外實驗的環境條件を厳密に與へ研究する事も必要である。以上手近に繰讀し得る研究の結果等によるも色光の近距離可視限度並に透率により推察するに、青色系の防光的に有利なりと推測す。實際上は資材、其の他經濟的の問題を伴ふも少くとも色光の差異により防光照明に影響する所あるものゝ如し、本邦燈火管制規則中警戒管制甲中に最大照度 0.15 ルクスとあるは、該法の適用上より云ふも若し特種の色光を使用する場合路面の該光に對する反射特性を明かに知り置く必要がある。白色光に就いては筆者既に路面の乾燥流水兩狀態に於て反射特性を試験し其の特性を明かにした。本試験は其ほに就き類似の試験を行ひ二三異なる色光に對する鋪裝路面の光の反射に關する特性を明かにせるもので之により色光照明使用の場合に於ける利用判斷の一資料を得んと試みたものである。

II 路面の光反射特性並に吸収性に就いて

元來道路照明の基準としては投下光量の利用價值より道路路面の種別が論ぜられてゐた。その著しきものとし、例へばコンクリート系並にアスファルト系鋪裝に就き考察すればよい。其の後高照度への變遷に伴ひ、路面に於ける輝度が重視さるに至り高速自動車交通の發達普及に伴ひ其の傾向は著しく増大するものである。一方燈火管制時に於ける低照明の場合に於ても類似の問題が起る。殊に暗夜路面が流水狀態にある場合豫期せざる光の反射率増大を呈す事あるは想像に難くない事である。即ち道路路面の乾燥及び流水狀態又は濡潤狀態に於ける光の反射特性を明かにをく事は頗る緊要の事である。其の詳細は既に報告せるを以て省略するも其の内實用を主眼とし二三重要な特性を明かにせんとした。即ち、

- 1) 路面の反射に關する其の廣散性を吟味し整反射の傾向の分布を明かにし、路面の輝度の観點より其の差異を論ず。
 - 2) 總括的に照明工學上使用されてゐる所謂利用率 (Coefficient of Utilization) に相當する能率値を定す。
 - 3) 1), 2) 項の特性は總て道路の乾燥潤潤狀態並に流水狀態により著しく異なるもので差異を明かにす。
- 上記の特性を數量的に指示する爲め本報告に使用せる反射特性に對する用語の一、二を説明す。其の詳細は筆

圖-1 反射光線の特性



者前論文を参照され度し。

図-1 (a) (b) は完全擴散面及び非擴散面に於ける反射狀況の一を示すもので入射光及び反射面の垂直線を含む面に於けるもので (a) は反射方向に拘らず常に輝度一定にて光度は $I_r = I_0 \cos \theta$ に従ひ分布せる完全擴散面の場合で (b) は輝度一様ならず B 曲線の如く分布してゐる。斯く反射方向により偏倚せるもので一般には球面座標 (θ, φ) にて與へられる方向により異なるもので下記 (1) 式で完全擴散反射より偏倚せる程度を示す場合がある。(Halbertsma)

$$\sigma = \frac{\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} B(\theta, \varphi) \cos \theta \sin \theta d\theta}{\pi B(0,0)} \quad (1)$$

但し $B(\theta, \varphi)$; θ, φ 方向の輝度, $B(0,0)$; $\theta=0, \varphi=0$ 方向輝度……を示す。σ は 1~0 の値をとる, 1 は完全擴散反射, 0 は整反射の場合を示す。實驗上半球面上に於ける反射分布を測定する事は困難にて本實驗にては總て入射光線と反射面垂直線を含む半面内に於けるものを測定し反射面の擴散化の比較に充つ。

等價完全擴散反射率; 完全擴散反射面にて測定方向 (x) に拘らず反射率等しき場合反射面の照度 $B(x)$ と輝度 $B(C/cm^2)$ より容易に反射率 ρ_d を (2) 式の如く求め得。

$$\rho_d = \frac{\pi B \cdot 10^4}{E} \quad (2)$$

非完全擴散反射の場合は測定方向により輝度異なるものなるも該方向の輝度に相當する πB^* なる光束を假定し照度との比率を (2) 式より求め之を等價完全擴散反射率 η_{Ed} と稱ふ。(3) 式は此等の反射率及び輝度の關係を示す。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\eta_{Ed} \cdot E}{10^4} &= \pi B^* \\ \frac{\eta_d \cdot E}{10^4} &= \pi B^* + \left(\frac{\eta_{Ed} \cdot B^2}{\pi} \right) \sin \theta_1 \cos \theta_1 d\theta_1 d\varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

但し B は輝度分布中完全擴散反射によるものと見做し得る部分, θ_1, φ_1 は輝度分布偏倚せる方向, E は常に面の水平照度 (入射垂直照度 $\times \cos i$) を示す。反射面の光度は方向により異なるもので常に $B \cos \theta$ ($B \cos \theta$) に従つて變る。上記の反射率 η_{Ed} を用ふる時反射面が完全擴散面に近き反射傾向をとる場合には η_{Ed} は利用率の意味に於ける反射率に近き値をとり勿論 1 より小なれども整反射的傾向をとる場合には 1 より大なる値をもとり得。後者の場合利用率の意味の反射率 η_d の値を得んには是非輝度分布曲線を求め所在範圍を明かにしをく必要がある。

道路面は常に非完全擴散反射的傾向をとるものなれば入射光線の方向の變化に應じ輝度分布を測定し輝度分布曲線を求め等價完全擴散反射率を算定する必要がある。殊に特定方向に於ける異常反射を警戒する爲めには頗る重要な係數である。一方降雨中の如き路上流水狀況を呈す場合には第の如き整反射を示し輝度著しく増大するもので別同の反射率を測定しをく事を必要とす。本實驗に於ては上記諸性質の鋪裝種別並に表面狀況に依る影響は勿論の事、色光の差異による影響をも明かにす。

III 實驗供試體並に實驗裝置

[1] 實驗供試體

参照: “路面の光反射に關する試驗並に之に基く道路照明基準に就いて” 土木試験所報告, 30 號。

機に白色光にて試験せる場合、試験室内並に野外にての結果は全く同じ傾向を示したるに鑑み、今回は鋪装路面より切り取りし試料を用ひ野外試験は省略した。試料は東京府二階堂技師*の格別なる御厚意によるもので各種鋪装の大部分を蒐集し得、表面の狀態により二三特種のもの試験を行はず、試験せし試料に就き主として表面狀態に基き下表の如く分類す。其の他の事項は別に記載す。

コンクリート系 (C)

試料番號	試料名	表面狀況
No. 2	1:2:4 碎石コンクリート	施工後時の経過僅少の爲め、表面はセメントペースト分離せる如く、粗面を示してゐる。(道路中央部)
No. 3	1:1.7 膠石コンクリート	未だ磨損による膠石コンクリートの特長を示さざるも表面には骨材の分離せるものがある。
No. 4	1:1.7 膠石コンクリート	No. 3 と同じものなるも、路端の爲めか、骨材の露出程度 No. 3 のものに比較して少い。
No. 8	1:2:10 碎石コンクリート	施工後、五年経過せる爲めか表面磨損され、骨材が顯れてゐる。No. 2 の場合と比較せよ。

アスファルト系 (A)

試料番號	試料名	表面狀況
No. 9	トベカ式アスファルトコンクリート	表面に 3mm 級の大きな骨材が散見してゐる。
No. 14	シートアスファルト	表面に稍々小さな凸凹が刻れてゐる。路端資料なれば歩行の爲めか。
No. 11	シートアスファルト	道路中央試料なれば表面平滑である。(コンクリートの本資料の場合と趣を異にす)

上記資料に就き採取位置並に施工年月等を参考の爲め記載して置く。

No. 2

種別	コンクリート鋪装
形 状	基礎 1:4:8 (砂利) 厚 13.5 cm 上層 1:2:4 (碎石) 厚 1.5 cm
施工場所	花原區中延町 8 丁目地内
施工年月	昭和 15-12-3
採取年月	昭和 16-7
採取位置	中央

No. 3

種別	膠石コンクリート鋪装
形 状	基礎 1:3:6 コンクリート 厚 15 cm 上層 1:1.7 膠石コンクリート 厚 6 cm
施工場所	杉並區和泉町地内
施工年月	昭和 6-11
採取年月	昭和 16-7
採取位置	中央

* 特に鋪装採取資料を提供されしもので銘して厚く感謝の意を表す。

No. 4

種 別	膠石コンクリート舗装
形 状	基礎 1:3:6 コンクリート厚 15 cm 上層 1:1.7 膠石コンクリート厚 6 cm
施工場所	杉並區和泉町地内
施工年月	昭和 6—11
採取年月	昭和 10—7
採取位置	路端

No. 8

種 別	貧配合コンクリート舗装
形 状	1:2:10 碎石コンクリート厚 15 cm
施工場所	杉並區高圓寺 自一丁目 至二丁目地内
施工年月	昭和 10—8
採取年月	昭和 16—7
採取位置	中央

No. 9

種 別	トベカ式アスファルト コンクリート舗装
形 状	基礎 1:3:6 コンクリート厚 15 cm 上層 トベカ式アスファルト コンクリート 厚 5 cm
施工場所	渋谷區 自福山町 至代々木富ヶ谷町地内
施工年月	昭和 14—12
採取年月	昭和 16—7
採取位置	路端

No. 14

種 別	シートアスファルト舗装
形 状	基礎 1:3:6 コンクリート厚 15 cm 上層 シートアスファルト厚 15 cm
施工場所	渋谷區幡ヶ谷 自原町 至笹塚町地内
施工年月	昭和 10—11
採取年月	昭和 16—7
採取位置	路端

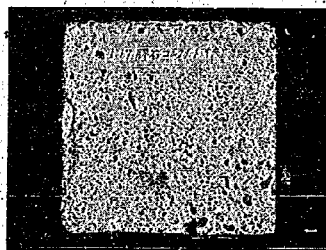
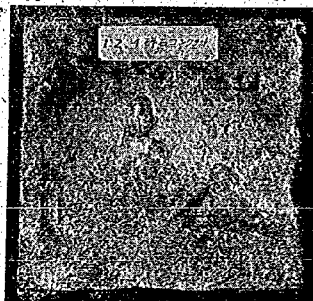
No. 11

種 別	シートアスファルト舗装
形 状	基礎 1:3:6 コンクリート厚 15 cm 上層 シートアスファルト厚 7 cm
施工場所	渋谷區幡ヶ谷 自原町 至笹塚町地内
施工年月	昭和 10—11
採取年月	昭和 16—7
採取位置	中央

此等の供試験の寫眞を掲げ表面判断の資料とす。

寫眞—1 舗装可光反射試験資料

C

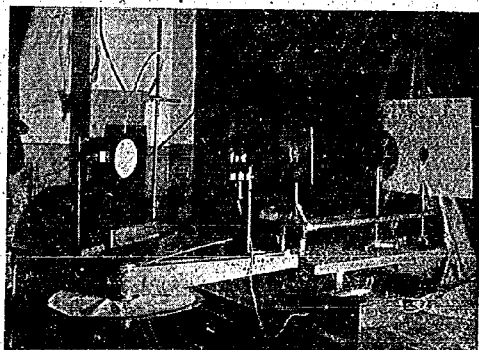




【2】 實驗算定式並に實驗裝置の概要

詳細は省略するも 寫眞-2 に示す如く供試體は受光面を垂直となし廻轉軸を含む隙スペクトロメーター式目盛り付き廻轉臺上にのせ、マツダ 500 C. P. 活動寫眞映寫用電球を焦點距離 (f) 7cm. のアポクロマトレンズにて可及的に平行光線ならしめ黒ビロード布にて覆ひ圓形 (直徑 12cm) の部分のみに投光し入射角 (θ) を變じつゝ、中心より約 31cm 距離に直徑 35mm の受光面を有する堰解光電池又は同じ程度の有效受光面を有する光電管にて反射角 (ϕ)

寫眞-2



(7)

を變じつゝ反射光束を測定す。此等の關係を圖-2に示す。

今回圖Cなる環層光電池上の平均照度を E_0 、入射光束に垂直面の平均照度を E_m 、aを受光面半径とすれば下記

(4) 式にて反射率 η_{Ed} を求め得。

$$E_0 = \left[E_m \frac{a^2}{p_1 \cdot p_2} \right] \cos r_1 \cos i_1 \eta_{Ed} \dots \dots \dots (4)$$

但し η_{Ed} は等價完全擴散反射率に相當するものである。

(4) 式は反射輝度分布が擴散性を有する場合にて流水状態の如く壁反射の場合は簡単に (5) 式にて反射率 η_r を求め得。

$$\frac{E_0}{E_0'} = \eta_r \dots \dots \dots (5)$$

但し E_0 、 E_0' は反射光及び入射光の測定部距離に於ける照度とす。 E_0 値より光度 I_0 の分布従つて又輝度分布 $B(\theta)$ を也容易に求め得。

[3] 實驗方法

使用環層光電池の性能は前回可成り詳細に調査せるを以て省略するも略々肉眼と同様の比感度を有するものである。今回は環層光電池の外に光電管を使用しガルバノメーターの振れにて測光す。本實驗にて色光にする場合光度減少し使用環層光電池にては實驗困難の場合、上記光電池を通常行はれてゐる方法に據り一段増幅した。特に説明を要せざるも結線圖のみ圖-3に示す。

使用光電管はマツダセシウム (C_s) 真空光電管 (P. G.-65-V.) にて、カリウム光電管と濾光板の組合せの場合の如く比感度曲線は視感曲線と一致せず、青色側に比感度大値存在す。此點不充分なるも供試體反射面に於て分散現象無きものとして測光に使用した。環層光電池は受光面直徑 3.5 cm、光電池は直徑約 3.2 cm の窓を有する箱には圖-4の如く覆ひしものなるを以て光源よりの距離と感度との間に二乗逆比例の成立する範圍に測定範圍

圖-3 光電管使用の場合の結線圖

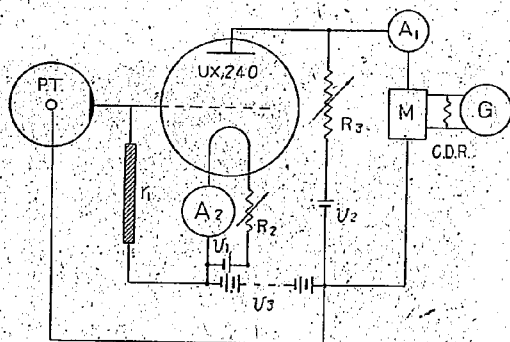
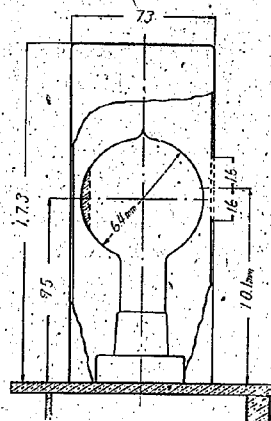


圖-4 光電管カバー

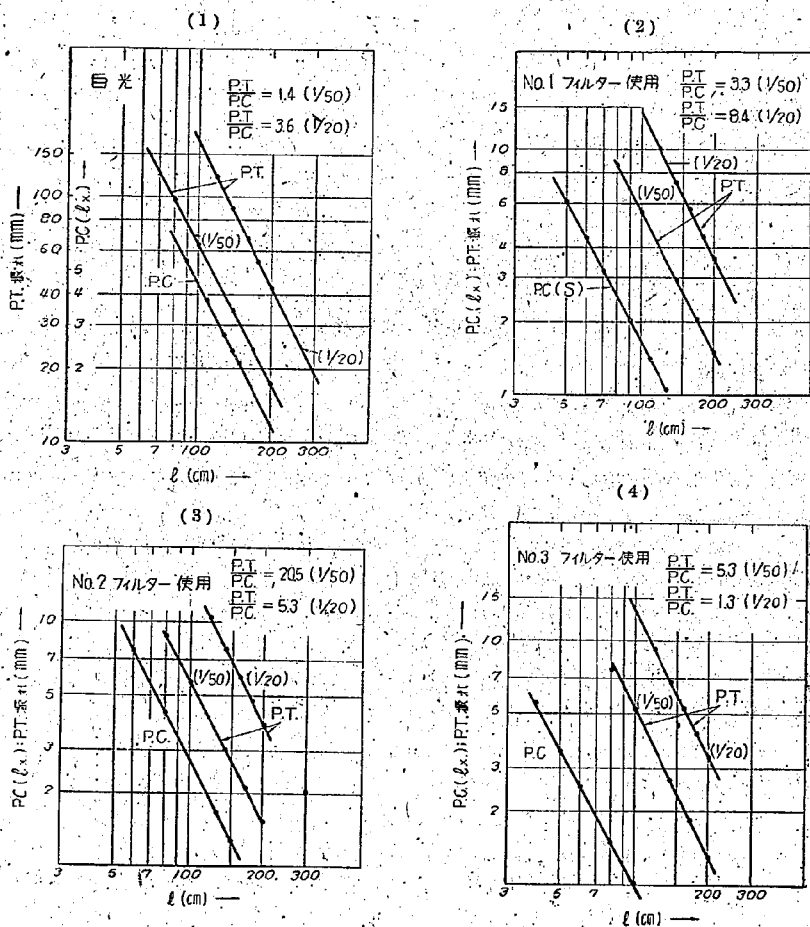


圖が存在する必要がある。距離と帳層光電池照度 (L_x) と光電池使用の場合に於ける電流計感度 (cm) の關係を吟味す。電流計使用の場合は電流計スケール距離一定 (約 1 米) とし感度を $1/20$, $1/50$ と調節し使用する。圖-5 の標れを示す直線に $1/20$, $1/50$ の數字あるは此意味である同圖に示す如く本實驗範圍では常に二乗逆比例の關係が成立つてゐる

使用色光: ゼラチン紙フィルターの赤橙緑青の 4 色のものを使用す特に透過光線特性を調査せず大體下記の如きものとして取扱つた。

フィルター色	假定波長	記 號
赤	677 mμ	No. 1
橙	607 "	No. 2
綠	523 "	No. 3
青	474 "	No. 4

圖-5 光電管及び帳層光電池感度比較



、圖-5 に示す試験結果よりして、電流計振れ (mm) 数と照度* (lx) の比率を電流計倍率 1/20, 1/50 の場合に就き求めんに下記の如く兩者同様の傾向にある。

電流計振れ (mm)/照度

色相 ガルベ 倍率	白光	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
1/50	14	33	20.5	53	45
1/20	33	84	53	130	116

但し此等の値は光電管増幅電池電壓其の他些細の變化により變るものであるが或一の實驗中は變動無き事を必要とする。

又擴散反射率の測定に際し (4) 式より $\eta_{E.R.}$ を誘導せんに環光電池及び光電管に使用の場合共に受光面の距離等を厳密に指示する事困難にて、從つて算出されて來る反射率 $\eta_{E.R.}$ が異なるものである。光電管及び光電池を用ひた場合に算出される反射率を夫々 $\eta_{E.H.T.}$, $\eta_{E.P.C.}$ とし、 $\eta_{E.P.T.}/\eta_{E.P.C.}$ 比を求めるに、1 より小である。即ち光電管の場合有效測定部が指示距離より後方にある。從つて $\eta_{E.P.T.}$ は小さく算出される事となる。但し其の影響が全く幾何學的の配置關係によるものなれば色光の種類に拘らず一定となる筈である。實驗中屢々此等關係を吟味する必要がある。

IV 光反射實驗結果

[1] 乾燥狀態

一定の入射角 (i) にて投光し受光面の反射光度 (I_r) を測光角 (r) を變じつゝ測定する。光電池又は光電管により照度 E_0 を求め反射光度 I_r の概略値は $E_0 \times$ (試料中心～光電池又は光電管中心距離)² より求め得 (4) 式は試料受光面照度 E_m 一様としての計算値であるが實際は、其都度偏倚値を記入せるも、2~4 % 前後の變動があるも一様と見做した。以下各種科に就き試験結果を述べる。光源により平均垂直照度 E_m を常に測定した。

白光での實驗の場合入射角を 0° より 75° まで種々變じ實驗せるも色光に種類あれば入射角の變化を減じ、其の傾向を明かにする事とした。實驗は擧に述べし試料總てに就き行はざるも茲に終了せし若干のものに就き報告す。此等により色光の影響及び擴散性特性等は推測し得。

(1) 1:1.7 膠石コンクリート (No. 3)

膠石コンクリートなれども可成り粗面を呈す。入射角 $i=0^\circ$ のみ實驗す。

實驗結果下記に如し。(距離 $P_1, P_2=33\text{cm}$, $a=6\text{cm}$, (4) 式參照)

白光 光電池使用

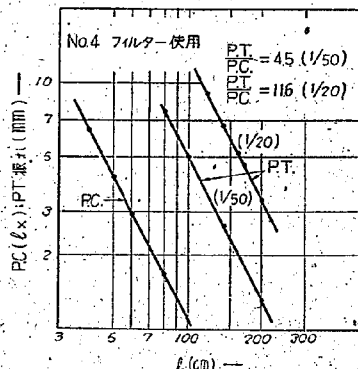
$$E_m = 3.9[S_{100}]^{**} = 241, \text{ lx}$$

入射角 (i) = 0° 測定照度 E_0

* 實際測定せし照度は茲に示せしもの 3 倍である測定器の都合上其の儘記載す。

** $[S_{100}]$ $[S_{10}]$ 等の數字は測定器の目盛の倍數を示すものであるが、實際カリブレーションの結果により換算す。

(5)



測定角 (r)	+15°	+30°	+45°	+60°	-15°	-30°	-45°	-60°
$E_C(L_X)$	3.0	2.54	2.05	1.35	2.95	2.5	1.95	1.3

No. 1 フィルター使用

$$E_m = 14.6[S_{10}]^* = 119.7 L_X$$

入射角 $i = 0^\circ$ 測定照度 E_C

測定角 (r)	+15°	+30°	+45°	+60°	-15°	-30°	-45°	-60°
$E_C(L_X)$	1.07	0.93	0.72	0.5	1.07	0.93	0.7	0.5

No. 2 フィルター使用

$$E_m = 23.7[S_{10}] = 218.9 L_X$$

入射角 $i = 0^\circ$ 測定照度 E_C

測定角 (r)	+15°	+30°	+45°	+60°	-15°	-30°	-45°	-60°
$E_C(L_X)$	1.94	1.67	1.34	0.88	1.94	1.66	1.3	0.9

白光; 光電管 (P.T.)

プレート電圧

$$V_p = 135 \text{ v}$$

グリッド電圧

$$V_g = 0$$

フィラメント電流 $i_f = 0.2 \text{ A}$

先づ II 章 [3] 節に述べた光電管感度振れ (mm) と光電池照度 (L_X) との比率を求め、 $P.T./P.C. = 16$ (カルバ倍率 1/50), 試料面よりの距離 $P_1, P_2 = 36 \text{ cm}$.

$$E_m = 2.49[S_{100}] = 255 L_X$$

入射角 $i = 0^\circ$ 測定照度 E_C (振れ mm)

測定角 (r°)	+15°	+30°	+45°	+60°
$E_C(\text{振れ mm})$	24.7	21.5	17.2	11.3

No. 1 フィルター使用

同様、光電管及び光電池感度比 $P.T./P.C. = 22(\text{mm}/L_X)$ を求め、

$$E_m = 17[S_{10}] = 183.4 L_X$$

入射角 $i = 0^\circ$ 測定照度 E_C (振れ mm)

測定角 (r)	+15°	+30°	+45°	+60°
$E_C(\text{振れ mm})$	18.6	16.6	13	8.5

No. 2 フィルター使用

* 前頁脚註参照

同様、光電管及び光電池感度比 $P.T./P.C.=22(\text{mm.}/L_X)$ を求む。

$$E_m=0.25[S_{100}]=759 L_X$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_o (振れ, mm)

測定角 (r)	+15	+30	+45	+60
E_o (振れ mm)	19.4	16.5	13.5	9.2

No. 3 フィルター使用

光電管及び光電池感度比 $P.T./P.C.=55(\text{mm.}/L_X)$ (ガルバ倍率 1/50) を求む。

$$E_m=7.6[S_{10}]=62.3 L_X$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_o (振れ, mm)

測定角 (r) $^\circ$	+15	+30	+45	+60
E_o (振れ mm)	16.5	14.5	11.0	7.2

No. 4 フィルター使用

光電管及び光電池感度比 $P.T./P.C.=47(\text{mm.}/L_X)$ ガルバ倍率 1/50, を求む。

$$E_m=10.1[S_{10}]=82.8 L_X$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_o (振れ mm)

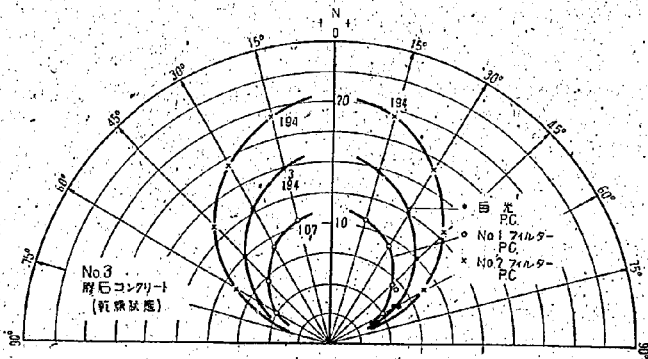
測定角 (r) $^\circ$	+15	+30	+45	+60
E_o (振れ mm)	16.2	13.6	1.07	0.67

念の爲め No. 3, No. 4 フィルター使用の場合は実験三回反復せるも実験誤差範囲にて一定の結果を得。

此等の結果より容易に等価完全散反射率を算定し得るも先づ輝度分布を求めん爲め反射光度分布を圖示す。

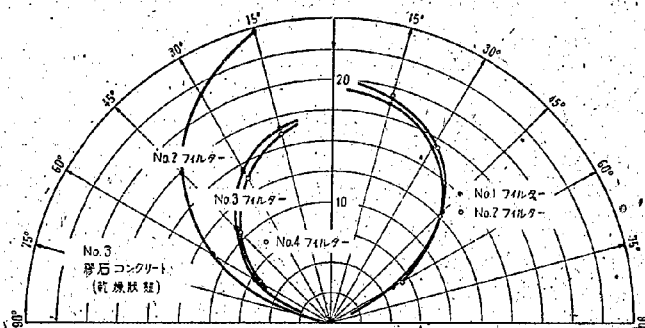
絶対値の比較の爲めならず分布を知らん爲めの故に測定値を其の儘に記入す。圖-6 (a) の測點に 1.94:1.07 等

圖-6(a) 1:1.7 膠石コンクリート反射光度分布



の如き記入は該點の座標が $1.94:1.07 L_x$ なる反射測定照度 E_c を示すものである。圖-6 (b) の場合は E_c をガルバノメーター振れ (mm) にて表示せるものである。反射測定角による分布は色光如何に拘らず略々完全擴散反射を爲すものゝ如く反射率算定には (4) 式を其の値適用し得るものである。

圖-6 (b)



反射測定角 30° に對する測定照度 E_c より (4) 式から等價完全擴散反射率 η_E を算定す。但し光電池による場合既に前章にて述べし如く幾何學的形狀の爲め算定 $\eta_{E,P.T.}$ は光電池の場合より小さい。光電池の場合の値 $\eta_{E,P.O.}$ との比率は路々一定値を示すべきで、逆に $\eta_{E,P.T.}$ より $\eta_{E,P.O.}$ 値を算定し得。

下記表中、括弧内のものは斯くの如くして得たものである。

No. 3; 珪石コンクリート/等價反射率 η_E ($i=0^\circ$, $r=30^\circ$)

色光	η_E	$\eta_{E,P.O.}$	$\eta_{E,P.T.}$	$\eta_{E,P.O.}/\eta_{E,P.T.}$
白 光	31	22	1.44	
No. 1 フィルター	34	24	1.40	
No. 2 フィルター	33	23	1.43	
No. 3 フィルター	(28.4)	20	—	
No. 4 フィルター	(22.7)	16	—	

細に白色光にて實際せし場合には珪石コンクリートは可成り非擴散性を示せしも本試料は施工後新しく表面未だ粗狀を呈してある。反射率値は一般コンクリート系のものと同程度のものである。色光による影響は著しからざるも青色系統に於て反射率減少する傾向を示す。

(2) 1:2:4 珪石コンクリート (No. 2)

實驗結果下記の如し。

(距離 $P_1, P_2=36$ cm, $a=6$ cm. (4) 式参照)

No. 2 裏面とは鋪裝面の反對側をセメントペーストにて金鍍仕上げせし面を云ひ、汚點少く目粗度少きものである。光電池のみにて實驗す。

白光

$$E_m = 28.2 \pm 0.3 [S_{10}] = 231.4 L_x$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_c

測 定 角 (r°)	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c (L_x)$	1.9	1.66	1.32	0.92	0.4	1.87	1.58	1.27	0.88	0.36

$$E_m = 28[S_{10}] = 229.6 L_x$$

入射角 $i = 80^\circ$, 測定照度 E_c

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_c(L_x)$	0.94	0.93	1.02	1.07	0.87	0.56	0.94	0.9	0.75	0.35

No. 1 フィルター

$$E_m = 8.9 \pm 0.2[S_{10}] = 73 L_x$$

入射角 $i = 0^\circ$, 測定照度 E_c

測定角 (r°)	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.7	0.6	0.5	0.33	0.14	0.7	0.58	0.47	0.33	0.14

$$E_m = 9.0 \pm [S_{10}] = 73.8 L_x$$

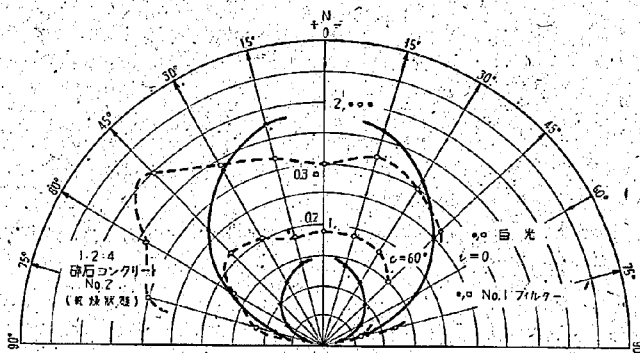
入射角 $i = 60^\circ$, 測定照度 E_c

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.3	0.32	0.34	0.4	0.34	0.3	0.33	0.3	0.27	—	0.12

No. 3, No. 4 フィルター

の場合も全く同様に測定せしめるので以下省略するも測定照度 E_c による分布のみ取極め図示す。

図-1 1:2:4 碎石コンクリート反射光度分布



No. 2 裏面は特にセメントペーストにて仕上げしめので反射率も増大し且反射特性も完全拡散性に近い。實測値並に反射照度分布は省略し計算せる等価散反射率の一部を No. 2 の場合と共に取極め表示す。

No. 2 1:2:4 碎石コンクリート等価

反 射 率 $\eta_E\%$

入 射 角 (i°)	0°		60°			
	15°	30°	0°	30°	45°	60°
白 光	30.9	20.1	29	37	48	55
No. 1 フィルター	35.7	33.5	29.5	38	55	66
No. 2 フィルター	32.4	31.7	31	41	54	71
No. 3 フィルター	28.7	26.8	29.5	37.5	60	69
No. 4 フィルター	26	24	24	34	44	78

No. 2 裏面 $\eta_E\%$ 表 (入射角 $i=0^\circ$)

色 光	測定角 (r°)	15°	30°
白 光		52	45
No. 1 フィルター		53	43
No. 2 フィルター		51	44
No. 3 フィルター		51	45
No. 4 フィルター		45	40

本資料の裏面は可成り大なる反射率を有するものである。

(3) 貧配合コンクリート (No. 8)

入射角 $i=0^\circ, 60^\circ$ の2種とす。

實驗結果下記の如し。

(距離 $T_1, P_2=30$ cm, $a=6$ cm (4) 式参照)

光電池使用

白先

$$E_m + 27.6[S_{10}] = 226.3 Lx.$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_0

測 定 角 (r°)	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_0(Lx)$	1.52	1.3	1.0	0.73	0.34	1.5	1.26	0.95	0.72	0.34

No. 1 フィルター

$$E_m + 9.0[S_{10}] = 77.9 Lx.$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_0

測 定 角 (r°)	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_0(Lx)$	0.54	0.48	0.35	0.29	0.14	0.53	0.47	0.34	0.28	0.13

No. 2 フィルター

$$E_m + 16.4[S_{10}] = 134.5 Lx.$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_0

測 定 角 (r°)	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_0(Lx)$	0.94	0.8	0.67	0.48	0.27	0.93	0.78	0.65	0.46	0.25

No. 3 フィルター

$$E_m + 7.9[S_{10}] = 64.8 Lx.$$

入射角 $i=0^\circ$ 測定照度 E_c

測定角 ($^\circ$)	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.42	0.35	0.3	0.23	0.13	0.43	0.33	0.3	0.22	0.13

No. 4 フィルター

$$E_m = 8.9[S_{10}] = 72.6 L_X$$

入射角 $i=0^\circ$ 測定照度 E_c

測定角 ($^\circ$)	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.45	0.34	0.30	0.2	0.12	0.42	0.33	0.27	0.2	0.1

(距離 $P_1, P_2 = 36 \text{ cm}$, $a = 5.7 \text{ cm}$ (4) 式参照)

白光

$$E_m = 27.1[S_{10}] = 222.2 L_X$$

入射角 $i=60^\circ$ 測定照度 E_c

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_c(L_X)$	0.73	0.74	0.85	1.0	0.95	0.72	0.73	0.7	0.6	0.3

No. 1 フィルター

$$E_m = 8.73[S_{10}] = 71.6 L_X$$

入射角 $i=60^\circ$ 測定照度 E_c

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_c(L_X)$	0.25	0.26	0.3	0.35	0.35	0.33	0.26	0.25	0.2	0.12

No. 2 フィルター

$$E_m = 15.9[S_{10}] = 130.4 L_X$$

入射角 $i=60^\circ$ 測定照度 E_c

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_c(L_X)$	0.46	0.49	0.54	0.72	0.73	0.68	0.46	0.43	0.35	0.17

No. 3 フィルター

$$E_m = 7.8[S_{10}] = 64.0 L_X$$

入射角 $i=60^\circ$ 測定照度 E_c

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_c(L_X)$	0.25	0.26	0.3	0.34	0.36	0.35	0.25	0.23	0.2	0.11

No. 4 フィルター

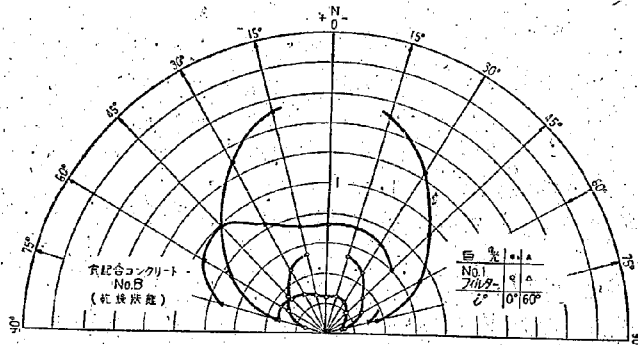
$$E_m = 8.9[S_{10}] = 73.0 I_{X.}$$

入射角 $i=60^\circ$ 測定照度 E_c

測定角 ($^\circ$)	$\pm 0^\circ$	$\pm 15^\circ$	$\pm 30^\circ$	$\pm 45^\circ$	$\pm 60^\circ$	$\pm 75^\circ$	-15°	-30°	-45°	-75°
$E_c(I_{X.})$	0.25	0.26	0.3	0.35	0.34	0.3	0.26	0.23	0.2	0.12

此等の實測値より反射光度分布を求め得、圖-8 に白光及び No. 1 フィルターの場合に就き入射光方向夫々 $i=0^\circ, 60^\circ$ に對する反射光分布を示す。其の他の色光に就ても略々類似の傾向を示すものなれば省略す。 $i=60^\circ$ に對しては壁反射的傾向を混ざるも擴散性反射面と見做し得、尙算定せる等價擴散反射率と測定角との關係を下記に表示す。

圖-8 貧配合コンクリート反射光度分布

表 (No. 8) 貧配合コンクリートの等價擴散率 η_E

色光	入射角 (i°) 測定角 (α°)	0°		60°		
		30°	60°	30°	60°	75°
白光		24	23	32	62	90
No. 1 フィルター		25	25	35	72	130
No. 2 フィルター		25	24	34	80	145
No. 3 フィルター		24	22	45	96	180
No. 4 フィルター		22	19	37	74	120

本試験によるも入射角 $i=0^\circ$ に對しては色光の差による影響殆ど無く、 $i=60^\circ$ に對しては白色の場合一番小なる η_E を示してゐる。

(4) シートアスファルト (No. 14)

入射角 $i=0^\circ$ のみ試験す。

試験結果下記の如し。

(距離 $P_1, P_2=36$ cm, $\alpha=6$ cm (4) 式参照)

光電池使用

白光

$$E_m=3.7[S_{100}]=324.6 L_X.$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_e

測定角 ($^\circ$)	+15	+30	+45	+60	-15	-30	-45	-60
$E_e(L_X)$	1.52	1.3	1.07	0.77	1.45	1.2	0.95	0.72

No. 2 フィルター

$$E_m=24\pm 0.2[S_{10}]=195.8 L_X.$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_e

測定角 ($^\circ$)	+15	+30	+45	+60	-15	-30	-45	-60
$E_e(L_X)$	0.93	0.85	0.7	0.53	0.9	0.74	0.65	0.47

光電管使用 条件光電池の場合と同じ。

プレート電圧 $v_p=135$ v, グリッド電圧 $v_g=0$, フィラメント電流 $i_f=0.24$

白色

$$E_m=3.71[S_{100}]=325.5 L_X.$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_e (振れ, mm)

測定角 ($^\circ$)	+15	+30	+45	+60
E_e (振れ, mm)	17.6	15.6	13.1	9.6

但し P.T/P.C.=16 (mm/ L_X) とす。

No. 1 フィルター

$$E_m=11.5[S_{10}]=94.3$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_e (振れ, mm)

測定角 ($^\circ$)	+15	+30	+45	+60
E_e (振れ, mm)	13.2	11.3	9.9	7.5

但し P.T/P.C.=38 (mm/ L_X) とす。

No. 2 フィルター

$$E_m=20.5\pm 0.5[S_{10}]=166.1 L_X.$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_0 (振れ, mm)

測定角 (r°)	+15	+30	+45	+60
E_0 (振れ, mm)	13.8	12.5	10.5	7.8

但し, P.T./P.C. = 23 (mm/ L_X) とす.

No. 3 フィルター

$$E_m = 8.5 \pm 0.2 [S_{10}] = 69.7 L_X$$

入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_0 (振れ, mm)

測定角 (r°)	+15	+30	+45	+60
E_0 (振れ, mm)	10.7	9.7	8.2	5.5

但し, P.T./P.C. = 59 (mm/ L_X) とす.

No. 4 フィルター

$$E_m = 13.1 [S_{10}] = 107.4 L_X$$

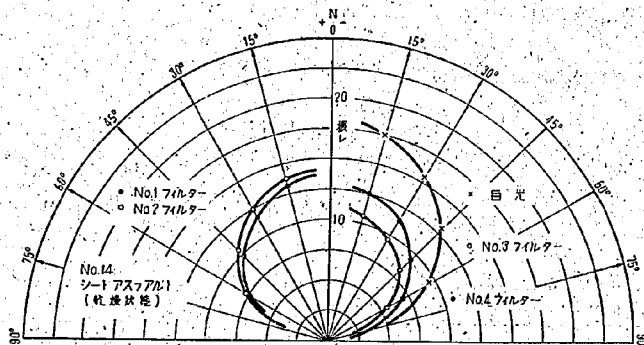
入射角 $i=0^\circ$, 測定照度 E_0 (振れ, mm)

測定角 (r°)	+15	+30	+45	+60
E_0 (振れ, mm)	12.6	11.4	9.5	7.1

但し, P.T./P.C. = 50 (mm/ L_X) とす.

此等の結果より反射光度分布を圖示するに 圖-9 (a), (b) の如く垂直投下光に対しては略々擴散反射性を呈す. 従つて容易に等價擴散反射率 η_B を算定し得.

圖-9 シートアスファルト反射光度分布



光電池, 光電管使用の場合の反射率 $\eta_{B-P.C.}$, $\eta_{B-P.T.}$ は前者大きく兩者の比は本實驗では 1.28 となり, 算定値正確なる $\eta_{B-P.C.}$ を必要に應じ算定した. 下表括弧内のものは斯くして得たものである.

No. 14; シートアスファルト等価反射率 η_E ($i=0^\circ$, $r=30^\circ$)

色 光	η_E	$\eta_{E.P.O.}$	$\eta_{E.P.T.}$	$\eta_{E.P.O.}/\eta_{E.P.T.}$
白 光	17	13	1.23	
No. 1 フィルター	(17)	14	—	
No. 2 フィルター	17	14	1.23	
No. 3 フィルター	(12)	10	—	
No. 4 フィルター	(10.5)	8.6	—	

以上の如く乾燥状態に於ける路面の各色光に対する反射状況を明かにした。殊にアスファルト系の場合白光以外のものでは測光器の感度少くシートアスファルトの入射角 $i=0^\circ$ 場合のみ試験せし其の後資材の關係上試験に頓挫を來せるを遺憾とす。元來舗装の光反射の特性は塵埃散布状態等により一般に白色化し著しく變化するものなるも其の定性的趨勢は本試験結果より推定し得。

[2] 流水及び濕潤状態

流水状態に於ては路面上の水膜の厚さにより反射率異なるも、一般に完全整反射を爲すもので、反射率 η_r は既に説明せし如く $\eta_r = E_r/E_o$ 式により簡単に算定す。入射角 $30^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ と一定値を與へ測定角 (r) を變じつゝ實驗す。流水量は反射率 (η_r) を最大に與ふる様調節した。反射率 η_r は Fresnel の式の示す傾向をとり入射角の大なる方著しく増大するものである。濕潤状態とは流水試験後未だ表面乾燥せざる間に試験を行ひしもので、反射傾向は乾燥状態のものに近き程廣散性整反射をする。以下實驗結果を列挙す。

(1) 1:2:4 コンタリット (No. 2, 路端)

入射角 $i=30^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ の3種とす。

實驗結果下記の如し。

(距離 $P_1, P_2=36$ cm, $\alpha=5.5$ cm)

光電池使用

入射角 $i=30^\circ$ に就き實驗す。

白光

$$E_m = 26.0 \pm 0.3 = 218.3 Lx, \quad E_o = 184$$

流水状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_r(Lx)$	0.7	1.52	2.4	0.84	0.33	0.12	0.7	—	0.34	0.34	0.13

濕潤状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_r(Lx)$	0.85	0.9	1.04	0.83	0.53	0.25	0.8	—	0.6	0.33	0.15

No. 1 フィルター

$$E_m = 9.0 \pm 0.2 [S_{10}] = 81.2 \quad E'_c = 70.4$$

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.32	0.7	0.93	0.98	0.2	0.1	0.3	—	0.25	0.13	0.06

漏洩状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.37	0.45	0.5	0.37	0.29	0.14	0.34	—	0.27	0.16	0.07

No. 2 フィルター

$$E_m = 18.2 \pm 0.3 [S_{10}] = 149 L_x \quad E'_c = 128 L_x$$

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.53	0.84	1.87	1.16	0.85	0.25	0.53	—	0.40	0.26	0.1

漏洩状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.5	0.8	0.85	0.73	0.5	0.3	0.55	—	0.40	0.28	0.13

No. 3 フィルター

$$E_m = 8.7 \pm 0.2 [S_{10}] = 71.4 L_x \quad E'_c = 62 f_{Lx}$$

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.2	0.43	0.73	0.34	0.13	0.1	0.17	—	0.13	—	—

漏洩状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.25	0.28	0.32	0.3	0.2	0.13	0.2	—	0.15	—	—

No. 4 フィルター

$$E_m = 10.3 \pm 0.2 [S_{10}] = 84.5 L_x \quad E'_c = 73 L_x$$

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.2	0.4	0.85	0.4	0.12	0.07	0.2	—	0.13	—	—

湿潤状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.25	0.3	0.32	0.28	0.15	0.1	0.2	—	0.13	0.1	—

更に入射角 $i=60^\circ$ に對するものを記載す。

白光

$$E_m = 20.2 \pm 0.3 = 215.6 L_X, \quad E'_c = 18.0[S_{10}] = 131.6 L_X$$

流水状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-75
$E_c(L_X)$	0.44	0.45	0.5	0.1	6.6	2.37	0.45	0.13

湿潤状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-75
$E_c(L_X)$	0.45	0.5	0.66	1.2	3.1	2.4	0.45	0.15

No. 2 フィルター

$$E_m = 18.5 \pm 0.2[S_{10}] = 135.3 L_X, \quad E'_c = 10.8 \pm 0.1[S_{10}] = 88 L_X$$

流水状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-75
$E_c(L_X)$	0.3	0.32	0.4	0.92	3.24	1.55	0.3	0.1

湿潤状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45
$E_c(L_X)$	0.32	0.34	0.44	0.8	1.95	1.55	0.3	0.3	0.2

No. 1 フィルター

$$E_m = 8.8 \pm 0.2[S_{10}] = 72.2 L_X, \quad E'_c = 5.1 \sim 5.5[S_{10}] = 44.3 L_X$$

流水状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.2	0.24	0.63	0.65	1.6	0.6	0.2	0.2	0.15	—	—

湿潤状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.23	0.25	0.3	0.6	1.4	0.6	0.2	0.23	0.15	—	—

No. 3 フィルター

$$E_m = 7.4 \pm 0.1 [S_{10}] = 60.7 L_X, \quad E'_c = 4.53 \sim 4.67 [S_{10}] = 37.9 L_X$$

流水状態

測定角 (°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_c(L_X)$	0.14	0.16	0.2	0.45	1.22	0.55	0.14	0.14	0.1	—

湿潤状態

測定角 (°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45
$E_c(L_X)$	0.15	0.2	0.25	0.4	0.67	0.6	0.16	0.14	0.1

No. 4 フィルター

$$E_m = 8.6 \pm 0.1 [S_{10}] = 70.5 L_X, \quad E'_c = 5.18 \sim 5.37 [S_{10}] = 43.3 L_X$$

流水状態

測定角 (°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45
$E_c(L_X)$	0.15	0.15	0.16	0.47	1.35	0.33	0.13	0.12	—

湿潤状態

測定角 (°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45
$E_c(L_X)$	0.15	0.17	0.23	0.47	1.03	0.7	0.14	0.13	—

更に入射角 $i=75^\circ$ に對するものを記載す。

白光

$$E_m = 25.3 \pm 0.2 [S_{10}] = 207.5 L_X, \quad E'_c = 15.9 \sim 16.0 [S_{10}] = 132.2 L_X$$

流水状態

測定角 (°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	0.25	0.2	0.2	0.25	1.14	6.4	0.2	0.15	0.15	0.15

湿潤状態

測定角 (°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	0.27	0.2	0.27	0.36	1.15	4.1	0.2	0.17	0.2	0.3

No. 1 フィルター

$$E_m = 8.4 \pm 0.1 [S_{10}] = 68.9 L_X, \quad E'_c = 5.3 \sim 5.2 [S_{10}] = 43.5 L_X$$

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	—	—	0.12	0.15	0.50	2.14	0.12	—	—	—

湿潤状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15
$E_c(L_X)$	—	—	0.12	0.2	0.56	1.25	0.12

No. 2 フィルター

$$E_m = 15.4 \pm 0.2 [S_{10}] = 126.3 L_X, \quad E_c = 9.7 \sim 9.9 [S_{10}] = 80.4 L_X$$

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	0.15	0.15	0.2	0.3	0.74	5.1	0.13	0.13	0.13	0.13

No. 3 フィルター

$$E_m = 7.0 \pm 0.1 [S_{10}] = 57.4 L_X, \quad E_c = 36.1 L_X$$

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75
$E_c(L_X)$	—	0.1	0.12	0.16	0.46	2.2

湿潤状態

測定角 ($^\circ$)	+30	+45	+60	+75
$E_c(L_X)$	0.12	0.2	0.45	1.2

No. 4 フィルター

$$E_m = 8.1 \pm 0.1 [S_{10}] = 66.4 L_X, \quad E_c = 5.0 \sim 5.15 [S_{10}] = 41.8 L_X$$

流水状態

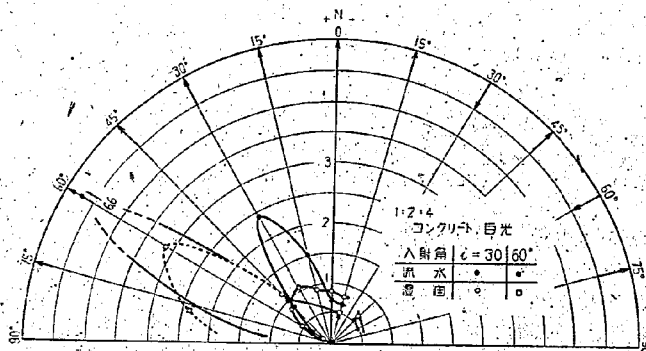
測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75
$E_c(L_X)$	—	—	—	—	0.25	2.33

湿潤状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75
$E_c(L_X)$	—	—	—	0.13	0.4	1.06

流水の場合は勿論整反射を爲すものであるが黒色系のものに比較し幾分擴散性を伴ふものであるが、これは實驗値を参照すれば明かである。圖-10'に一二の場合の反射配光曲線を示す。(白光以外省略)

圖-10 1:2:4 コンクリートの流水, 濕潤状態に於ける反射光度分布



又入射角 (i) の増大に伴ひ整反射率 r_r の増大する事は他種舗装の場合と類似の傾向をとるもので下記に各入射角に対する整反射率 r_r 表を掲ぐ。黒色系に比し r_r 値其のものも少い。

 r_r 表 1:2:4 (砂利) コンクリート, 流水状態

色 光	入射角 ($i=r$) 測定角		
	30°	60°	75°
白 光	1.5	5.1	4.9
No. 1 フィルター	1.3	3.6	4.9
No. 2 フィルター	1.5	3.7	6.3
No. 3 フィルター	1.2	3.2	6.1
No. 4 フィルター	1.16	3.1	5.6

(2) 貧配合コンクリート (No. 8)

入射角 $i=60^\circ, 75^\circ$ の2種とす。

實驗結果下記の如し。

(距離 $P_1, P_2=36$ cm, $\alpha=5.5$ cm (4) 式参照)

光電池使用

白光

$$E_m = 27.6[S_{10}] = 226.3 \text{ Lx}, \quad E_c = 17.9[S_{10}] = 146.0 \text{ Lx}.$$

入射角 $i=60^\circ$, 測定照度 E^0

流水状態

測定角 (i°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_c(\text{Lx})$	0.34	0.34	0.45	0.6	8.3	0.2	0.4	0.36	0.31	0.13

濕潤状態; 實測値省略す。配光曲線参照

No. 1 フォルター

$$E_m = 7.3[S_{10}] = 60.0 L_X, \quad E'_0 = 4.6[S_{10}] = 37.7 L_X.$$

入射角 $i = 60^\circ$ 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_0(L_X)$	0.12	0.12	0.14	0.25	2.27	0.15	0.13	0.13	0.1	0.06

濕潤状態; 實測値省略す。配光曲線参照

No. 2 フォルター

$$E_m = 13.5[S_{10}] = 110.7 L_X, \quad E'_0 = 8.5[S_{10}] = 70.1 L_X.$$

入射角 $i = 60^\circ$ 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_0(L_X)$	0.2	0.2	0.27	0.34	4.25	0.3	0.2	0.2	0.14	0.09

濕潤状態; 實測値省略す。配光曲線参照

No. 3 フォルター

$$E_m = 7.0[S_{10}] = 57.4 L_X, \quad E'_0 = 4.3[S_{10}] = 34.9 L_X.$$

入射角 $i = 60^\circ$ 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_0(L_X)$	0.08	0.08	0.13	0.17	2.15	0.2	0.08	0.08	0.06	0.05

濕潤状態; 實測値省略す。配光曲線参照

No. 4 フォルター

$$E_m = 7.6[S_{10}] = 62.3 L_X, \quad E'_0 = 4.9[S_{10}] = 40.2 L_X.$$

入射角 $i = 60^\circ$ 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_0(L_X)$	0.07	0.07	0.1	0.14	2.46	0.1	0.08	0.08	0.07

濕潤状態; 實測値省略す。配光曲線参照

更に入射角 $i = 75^\circ$ の場合を記述す。(距離 $P_1, P_2 = 36$ cm, $a = 5$ cm (4) 式参照)

白光

$$E_m = 27.9[S_{10}] = 228.8 L_X, \quad E'_0 = 17.9[S_{10}] = 146.3 L_X.$$

入射角 $i=75^\circ$ 測定照度 E .

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	0.27	0.2	0.2	0.24	0.34	20.2	0.2	0.15	0.14	0.2

濕潤状態; 實測値省略す. 配光曲線参照

No. 1 フィルター

 $E_m=8.0[S_{10}]=65.6 L_X$. $E'_c=5.1[S_{10}]=41.7 L_X$.入射角 $i=75^\circ$ 測定照度 E_c .

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	0.1	0.1	0.11	0.13	0.2	6.0	0.07	0.07	0.07	0.09

濕潤状態; 實測値省略す. 配光曲線参照

No. 2 フィルター

 $E_m=15.4[S_{10}]=126.3 L_X$. $E'_c=9.6[S_{10}]=78.9 L_X$.入射角 $i=75^\circ$ 測定照度 E_c .

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	0.13	0.13	0.2	0.26	0.43	11.4	0.12	0.1	0.08	0.1

濕潤状態; 實測値省略す. 配光曲線参照

No. 3 フィルター

 $E_m=7.3[S_{10}]=59.9 L_X$. $E'_c=4.6[S_{10}]=37.1 L_X$.入射角 $i=75^\circ$ 測定照度 E_c .

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	0.07	0.08	0.1	0.13	0.26	5.2	0.06	0.06	0.05	0.05

濕潤状態; 實測値省略す. 配光曲線参照

No. 4 フィルター

 $E_m=8.2[S_{10}]=67.2 L_X$. $E'_c=5.1[S_{10}]=41.6 L_X$.入射角 $i=75^\circ$ 測定照度 E_c .

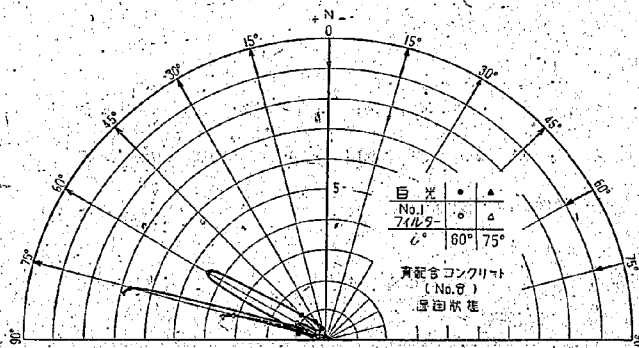
流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_x)$	0.06	0.06	0.07	0.07	0.1	5.85	0.05	0.06	0.04	0.04

濡潤状態: 實測値省略す。配光曲線参照

本試験に於ける濡潤状態には未だ水膜の存在せる爲め可成り著しき整反射的傾向を示してゐる。實測値省略せるも下記 圖-11 により其の傾向を知り得。

圖-11 貧配合コンクリート (No. 8) 濡潤状態に於ける反射光度分布



流水状態に就ては全く整反射をなすもので下記に其の反射率 η_r を示す。

η_r 表 貧配合コンクリート、流水状態

入射角 ($i=r$) 測定角	60°	75°
色 光		
白 光	5.6	13.8
No. 1 フィルター	6	14.4
No. 2 フィルター	6	14.5
No. 3 フィルター	6.8	14
No. 4 フィルター	6.1	14.1

(3) トベカ式アスファルトコンクリート (No. 9)

入射角 $i=30^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ の3種とす。

実験結果下記の如し。

(距離 $P_1, P_2=36$ cm, $a=6$ cm) (4) 式参照)

光電池使用

白光

$$E_{01}=24.7[S_{10}]=202.5 \text{ Lx.} \quad E_{02}=15.5[S_{10}]=120.5 \text{ Lx.}$$

入射角 $i=30^\circ$ 測定照度 E_c

流水状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.13	0.35	3.2	0.3	0.1	0.06	0.13	0.1	0.05	0.03

湿潤状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.25	0.53	0.7	0.5	0.27	0.13	0.2	0.12	0.07	0.03

No. 1 フィルター

$$E_m = 7.9[S_{10}] = 65.6 L_X, \quad E'_c = 5.04[S_{10}] = 41.3 L_X.$$

入射角 $i=80^\circ$ 測定照度 E_c

流水状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.08	0.14	1.1	0.12	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05	0.02

湿潤状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.1	0.2	0.27	0.18	0.13	0.1	0.1	0.1	0.05	0.03

No. 2 フィルター

$$E_m = 14.8[S_{10}] = 121.3 L_X, \quad E'_c = 9.4[S_{10}] = 77.6 L_X.$$

入射角 $i=30^\circ$ 測定照度 E_c

流水状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.13	0.3	1.93	0.2	0.12	0.1	0.12	0.1	0.07	0.05

湿潤状態

測定角 (r°)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-45	-60	-75
$E_c(L_X)$	0.2	0.3	0.47	0.34	0.2	0.15	0.17	0.1	0.1	0.02

No. 3 フィルター

$$E_m = 7.2[S_{10}] = 59.1 L_X, \quad E'_c = 4.5[S_{10}] = 36.8 L_X.$$

入射角 $i=30^\circ$ 測定照度 E_c

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.05	0.13	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.01	0.01

濡潤状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.1	0.14	0.2	0.15	0.1	0.03	0.07	0.06	0.04	0.01

No. 4 フィルター

$$E_m = 7.9[S_{10}] = 64.8 L_x, \quad E'_c = 5.05[S_{10}] = 41.6 L_x.$$

入射角 $i = 30^\circ$ 測定照度 E_c

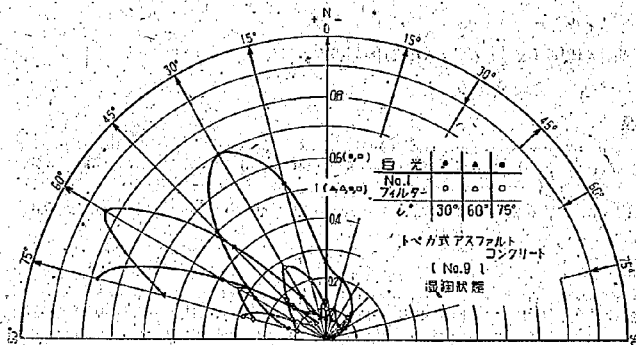
流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.08	0.15	1.2	0.14	0.1	0.07	0.08	0.06	—	—

濡潤状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-45	-60	-75
$E_c(L_x)$	0.1	0.16	0.27	0.17	0.1	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05

図-12 トベカ式アスファルトコンクリート濡潤状態に於ける反射光度分布

更に入射角 $i = 60^\circ$ に對する反射光度分布を吟味す。(距離 $P_1, P_2 = 36 \text{ cm}$, $a = 5.5 \text{ cm}$ (4) 式参照)

白光

$$E_m = 25.4[S_{10}] = 203.4 L_x, \quad E'_c = 16.0[S_{10}] = 131.2 L_x.$$

入射角 $i=60^\circ$ 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	+15	-30	-45	-75
$E_0(L_X)$	0.1	0.12	0.14	0.52	6.9	0.15	0.16	0.13	0.12	0.07

濡潤状態、實測値省略す。配光曲線参照

No. 1 フィルター

$$E_m = 7.9[S_{10}] = 64.8 L_X, \quad E'_0 = 5.09[S_{10}] = 41.7 L_X.$$

入射角 $i=60^\circ$ 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_0(L_X)$	0.06	0.07	0.1	0.15	2.35	0.15	0.07	0.07	0.07	0.05

濡潤状態、實測値省略す。配光曲線参照

No. 2 フィルター

$$E_m = 15.5[S_{10}] = 127.1 L_X, \quad E'_0 = 8.5[S_{10}] = 69.7 L_X.$$

入射角 $i=60^\circ$ 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_0(L_X)$	0.03	0.08	0.13	0.3	5.5	0.3	0.12	0.1	0.07	0.05

濡潤状態、實測値省略す。配光曲線参照

No. 3 フィルター

$$E_m = 7.2[S_{10}] = 59.0 L_X, \quad E'_0 = 4.45[S_{10}] = 36.5 L_X.$$

入射角 $i=60^\circ$ 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_0(L_X)$	0.07	0.1	0.13	0.2	2.05	0.23	0.08	0.07	0.07	0.07

濡潤状態、實測値省略す。配光曲線参照

No. 4 フィルター

$$E_m = 7.9[S_{10}] = 64.8 L_X, \quad E'_0 = [S_{10}] = 42.0 L_X.$$

入射角 $i=60^\circ$ 測定照度 E_0

流水状態

測 定 角 ($^{\circ}$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_c(J_X)$	0.1	0.08	0.1	0.15	2.34	0.1	0.07	0.06	0.06	0.04

濕潤状態, 實測値省略す. 配光曲線参照

更に入射角 $i=75^{\circ}$ に對し反射光度分布を實測す.(距離 $P_1, P_2=30$ cm, $a=6$ cm (4) 式参照)

白光

$$E_m=24.2[S_{10}]=203.4 L_X, \quad E'_c=15.6[S_{10}]=127.8 L_X.$$

入射角 $i=75^{\circ}$ 測定照度 E_c

流水状態

測 定 角 ($^{\circ}$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	0.25	0.15	0.14	0.17	0.25	12.9	0.13	0.12	0.12	0.16

濕潤状態, 實測値省略す. 配光曲線参照

No. 1 フ ァ イ ル タ ー

$$E_m=7.9[S_{10}]=64.8 L_X, \quad E'_c=50[S_{10}]=42.0 L_X.$$

入射角 $i=75^{\circ}$ 測定照度 E_c

流水状態

測 定 角 ($^{\circ}$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	0.12	0.1	0.12	0.14	0.22	4.35	0.07	0.1	0.1	0.12

濕潤状態, 實測値省略す. 配光曲線参照

No. 2 フ ァ イ ル タ ー

$$E_m=15.0[S_{10}]=123.0 L_X, \quad E'_c=9.4[S_{10}]=77.5 L_X.$$

入射角 $i=75^{\circ}$ 測定照度 E_c

流水状態

測 定 角 ($^{\circ}$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_c(L_X)$	0.14	0.13	0.15	0.23	0.35	8.54	—	—	—	—

濕潤状態, 實測値省略す. 配光曲線参照

No. 3 フ ァ イ ル タ ー

$$E_m=7.1[S_{10}]=58.2 L_X, \quad E'_c=4.4[S_{10}]=35.8 L_X.$$

入射角 $i=75^{\circ}$ 測定照度 E_c

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_e(\text{Ix})$	0.08	0.1	0.1	0.13	0.23	3.85	0.05	0.05	0.05	0.05

湿润状態，實測値省略す。配光曲線参照

No. 4 フィルター

$$E_m = 7.9[S_{10}] = 64.8 \text{ Ix.} \quad E'_e = 6.0[S_{10}] = 42.0 \text{ Ix.}$$

入射角 $i = 75^\circ$ 測定照度 E_e

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-60
$E_e(\text{Ix})$	0.03	0.07	0.07	0.07	0.13	4.3	0.05	0.05	0.05	0.05

湿润状態，實測値省略す。配光曲線参照

流水状態に於ては實用上全く整反射をなすと見做し得るもので斯かる場合反射率 η_r は容易に求め得。湿润状態に於ては整反射の傾向を有する擴散反射にて反射光度分布を 圖-12 に示す。

下記表は此等 η_r の値を示す。

η_r -表 No. 9 アスファルトコンクリート

入射角 $i^\circ (=r^\circ)$	30°	60°	75°
色 光			
白 光	2.7	5.1	11.2
No. 1 フィルター	2.7	5.7	10.4
No. 2 フィルター	2.5	7.9	10.2
No. 3 フィルター	2.8	5.6	10.2
No. 3 フィルター	2.9	5.6	10.8

上記に示す η_r 値は實驗の誤差範囲内で色光の差異に無關係の様である。又反射測定照度は流量により異なる様である。其の一例を下記に示す。

流量による反射照度變化

(No. 2 フィルター, $i = 80^\circ$ の場合, 面積約 15 cm^2)

流 水 量 C.C./min	測定照度 $E_e(\text{Ix})$
140	5.46 $\pm$ 0.05
180	5.5 $\pm$ 0.02
340	5.7 $\pm$ 0.02
680	4.85 $\pm$ 0.05
1370	3.75 $\pm$ 0.05

即ち流水量の大小により流水状況を異にする爲めである。本試験は常に可及的恒大 E_0 を與ふる状態に調節し、實驗す。

(4) シートアスファルト (No. 14)

入射角 $i=60^\circ, 75^\circ$ の2種とす。

實驗結果下記の如し。

(距離 $P_1, P_2=36$ cm, $a=5.5$ cm. (4) 式参照)

光電池使用

白光

$$E_0=18.0[S_{10}]=148.4 \text{ Lx.}$$

入射角 $i=60^\circ$, 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_0(\text{Lx})$	0.13	0.13	0.25	0.47	8.9	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1

湿润状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_0(\text{Lx})$	0.14	0.16	0.35	1.05	2.6	1.32	0.2	0.2	0.1	0.1

No. 1 フィルター

$$E_m=7.5[S_{10}]=61.5 \text{ Lx.} \quad E_0=4.7\sim 4.53[S_{10}]=38.1 \text{ Lx.}$$

入射角 $i=60^\circ$, 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	-30	-45	-75
$E_0(\text{Lx})$	0.1	0.1	0.1	0.15	2.5	0.15	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

湿润状態

測定角 ($^\circ$)	0	+15	+30	+45	+60	+75	-15	以下
$E_0(\text{Lx})$	<0.1	<0.1	0.12	0.35	1.04	0.4	<0.1	同じ

No. 2 フィルター

$$E_m=13.75\pm 0.3[S_{10}], \quad E_0=8.5\sim 8.75[S_{10}]=75.3$$

入射角 $i=60^\circ$, 測定照度 E_0

流水状態

測定角 ($^\circ$)	30	45	60	75	其の外
$E_0(\text{Lx})$	0.16	0.32	4.6	0.33	<0.1

路面の色光反射に関する試験並に燈火管制への寄與

湿润状態

測定角 (°)	30	45	60	75	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.25	0.52	2.1	0.72	<0.1

No. 3 フィルター

$$E_m = 7.15 \pm 0.2[S_{10}] = 59 \text{ Lx.} \quad E_c = 4.4 \sim 4.54[S_{10}] = 36.8 \text{ Lx.}$$

入射角 $i=60^\circ$, 測定照度 E_c .

流水状態

測定角 (°)	30	45	60	75	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.13	0.2	2.34	0.127	<0.1

湿润状態

測定角 (°)	30°	45	60	75	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.14	0.35	0.94	0.5	<0.1

No. 4 フィルター

$$E_m = 8.0 \pm 0.2[S_{10}] = 65.6 \text{ Lx.} \quad E_c = 4.8 \sim 5.10[S_{10}] = 41.0 \text{ Lx.}$$

入射角 $i=60^\circ$, 測定照度 E_c .

流水状態

測定角 (°)	30	45	60	75	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.12	0.16	2.55	0.14	<0.1

湿润状態

測定角 (°)	30	45	60	75	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.15	0.33	0.95	0.95	<0.1

更に入射角 $i=75^\circ$ に對して實驗す.

白光 (以下 $a=5 \text{ cm}$)

$$E_m = 28.5 \pm 0.2[S_{10}] = 234.0 \text{ Lx.} \quad E_c' = 17.5 \sim 18[S_{10}] = 153.8 \text{ Lx.}$$

入射角 $i=75^\circ$, 測定照度 E_c .

流水状態

測定角 (°)	30°	45	60	75	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.14	0.2	0.77	13.6	<0.1

蒸潤状態

入射角 $i=75^\circ$, 測定照度 E_c

測定角 (r°)	30	45	60	75	0	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.2	0.5	1.9	4.3	0.2	0.1~0.2 程度

No. 1 フィルター

 $E_m=7.9[S_{10}]=64.5 \text{ Lx}$ $E_c=5.0[S_{10}]=4.10 \text{ Lx}$ 入射角 $i=75^\circ$, 測定照度 $E_c(\text{Lx})$

流水状態

測定角 (r°)	45	60	75	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.13	0.26	4.65	<0.1

蒸潤状態

測定角 (r°)	30	45	60	75
$E_c(\text{Lx})$	0.12	0.16	0.45	2.3

No. 2 フィルター

 $E_m=15.05[S_{10}]$, $E_c=9\sim9.4[S_{10}]=75.3 \text{ Lx}$ 入射角 $i=75^\circ$, 測定照度 $E_c(\text{Lx})$

流水状態

測定角 (r°)	45	60	75	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.24	0.46	8.5	0.1~0.2 程度

蒸潤状態

測定角 (r°)	45	60	75	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.27	0.82	4.0	0.1~0.2 程度

No. 3 フィルター

 $E_m=7.4[S_{10}]=57.5 \text{ Lx}$ $E_c=4.55\sim4.65[S_{10}]=37.3 \text{ Lx}$ 入射角 $i=75^\circ$, 測定照度 E_c

流水状態

測定角 (r°)	45	60	75	其の外
$E_c(\text{Lx})$	0.14	0.3	4.3	0.1~0.2 程度

濕潤状態

測定角 (r°)	45	60	75	其の外
$E_c(Lx)$	0.13	0.44	2.0	0.1~0.2 程度

No. 4 フィルター

$$E_m = 8.2 \pm 0.2[S_{10}], \quad E_c = 5.0 \sim 5.25[S_{10}] = 42.2 Lx.$$

入射角 $i = 75^\circ$, 測定照度 E_c

流水状態

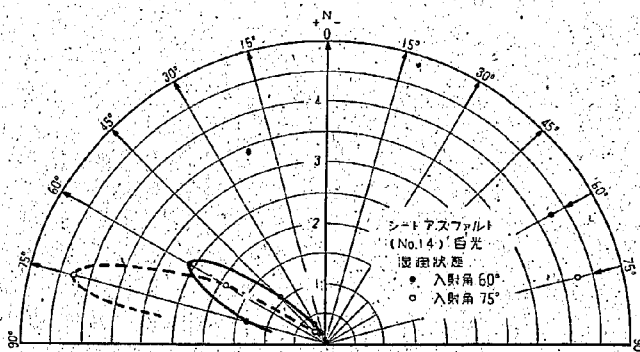
測定角 (r°)	60	75	其の外
$E_c(Lx)$	0.15	4.8 ± 0.1	< 0.1

濕潤状態

測定角 (r°)	60	75	其の外
$E_c(Lx)$	0.3	2.3	< 0.1

以上の如く濕潤状態には未だ可成整反射傾向を示すものである。實驗値より反射部光分布圖を求め得るも他の資料と類似の傾向を示すを以て白色光の場合のみを圖示し其の他の場合を省略す。

圖-13 シートアスファルト濕潤状態に於ける反射光分布



流水状態には全く整反射をなすもので下記に其の反射率 η_r を示す。

 η_r 表 シートアスファルト, 流水状態

色光	入射角(=r) 測定角	60°	75°
白 光		5.8	8.4
No. 1 フィルター		6.4	11.0
No. 2 フィルター		5.9	10.9
No. 3 フィルター		6.1	11.2
No. 4 フィルター		6.2	11.4

V 實驗結果に基く光反射特性

[1] 乾燥状態

IV-(1) 節に詳細報告せし如く乾燥状態に於てはコンクリート系、アスファルト系共に特に入射角小なる場合は實用上完全擴散面の近き反射特性を示すもので添附圖に示せる反射光度 (I_r) 分布より輝度分布 $B_r(I_r/\cos r)$ を求め得るは勿論、受光面照度 B 及び同價擴散反射率 η_{Ed} より輝度 $B_r = \frac{B\eta_{Ed}}{\pi}$ を求め得るものなれば、完全擴散反射に近き場合には添附表に示したる η_{Ed} 數値にて特定方向の輝度は勿論利用率としての反射狀況をも推測し得。

一般に光波の減少に伴ひ即ち青色系の場合反射率減少せるも其の程度僅少である。上記結果中より主要なる二種のものを列挙す。

入射角 $i=0^\circ$, 測定角 $r=30^\circ$

	赤	橙	白光	綠	青
$\eta_{Ed} \%$	34	33	31	28	23

1:2:4 碎石コンクリート

入射角 $i=0^\circ$, 測定角 $r=30^\circ$

	赤	橙	白光	綠	青
$\eta_{Ed} \%$	33.5	32	29	27	24
表面モルタル仕	48	44	45	45	40

貧配合コンクリート

入射角 $i=0^\circ$, 測定角 $r=30^\circ$

	赤	橙	白光	綠	青
$\eta_{Ed} \%$	25	24	23	22	19

シートアスファルト

	赤	橙	白光	綠	青
$\eta_{Ed} \%$	17	17	17	10	8.6

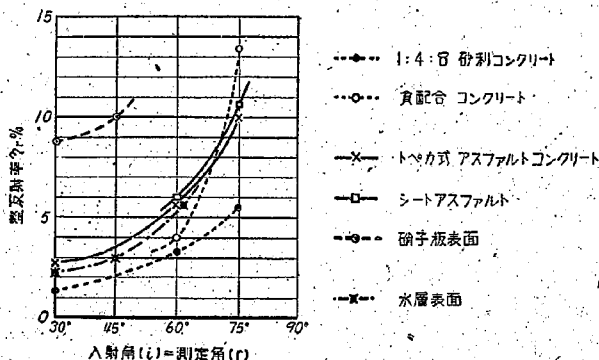
要するに入射角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 附近は可成り整反射率の急激に増大する範圍にて色光の如何に拘らず注意すべき所である。

濕潤状態に於ては實驗結果に添附せる圖面により明かなる如く、整反射的擴散反射をなし反射傾向を示すには

左記列挙せし如く O 系 A 系を通じ一般に承認されてある値を示してゐる。入射角 $=60^\circ$ 以上の場合測定角が入射角に近ければ可成り整反射的傾向をとるもので η_{Ed} は 100% 近くの値をとる。で防空上適光角度を規定する必要がある所由にて光現行法に於ては入射角 80° 度に相當するもので周圍地域の狀況により開方地帯の路面に於ては光源陽光曲線によつて更に角度を減少する方が安全である。

[2] 流水及び濕潤状態

流水の場合は流水量の大小により若干の差異あるも整反射を示すもので、且つ鋪裝種別並に色光差異による影響は乾燥状態の場合に比較し更に少い。反射率 η_r は入射角 (i)、(反射角 r) により異なるもので今各試料の結果の色光に對する平均値と此等の角度と關係を圖示す。(圖 14) η_r 率の増加傾向は水層表面の狀況によるものでアスファルト系の場合は水層に於ける Fresnel の計算式の與ふ結果と似てゐる。コンクリート系の場合は流水表面に凸凹流を生ずる爲めか又は白色を帯びてゐる爲め整反射率 η_r が少い様である。殊に入射角大なる場合では測定誤差が著しく大である。

図-14 流水状態に於ける整反射率 η_r と入射角 (=測定角) との関係

欄に引用せる反射擴散能 (σ) の如き數値あるも實用上安全の見地より論ずるに整反射率として換算すればよい。乾燥流水雨状態のものにて充分目的を達し得るものなれば、本報告に於ては乾燥状態等價反射率 η_{Rd} 及び流水状態整反射率 η_r のみを報告する事とした。

VI 要 約

燈火管制時に警戒管制時に於ける道路照明の基準を定めんとするに際し、特に色光使用時に對する路面反射特性を明かにせんと各種主要舗装に就き室内實驗を行つたもので、色光に對する透視距離に關する二三の研究結果をも引用し青色系統の利用價値の大なる傾向にあるを推論した。二三のコンクリート系アスファルト系舗装に就き赤、橙、綠、青、白光の5色の光に對する乾燥状態、流水状態に於ける反射特性を實驗的に研究せるものである。

路面反射特性を指示する等價反射率等の特定用語を引用し、尙測定に關しては光電池の外光電管を使用し光電管使用に關する特性を明かにした。

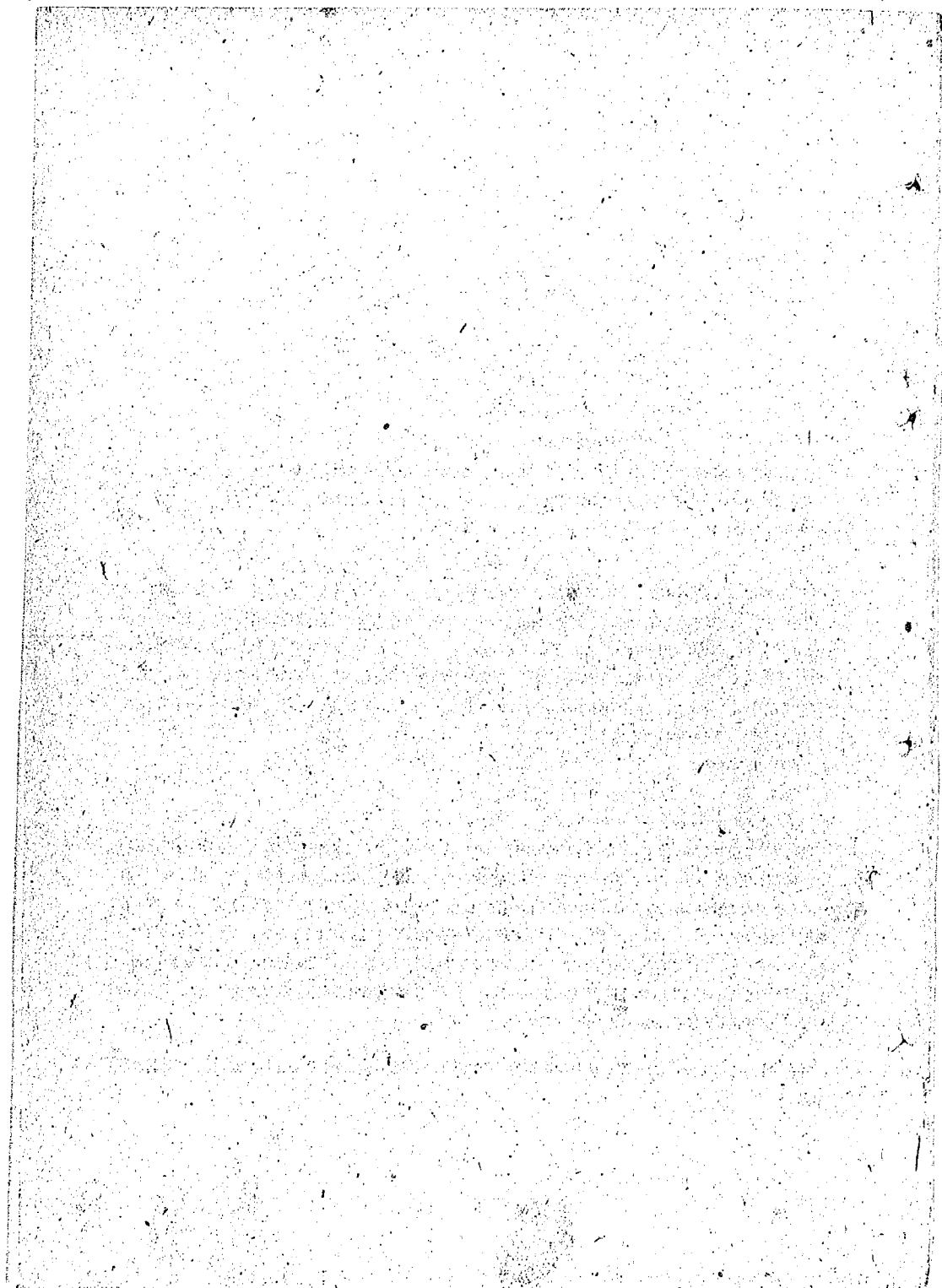
資料種類以下の如し。

- 1) 砂利コンクリート、碎石コンクリート、膠石コンクリート
- 2) トベカ式アスファルトコンクリート、シートアスファルト

實驗結果に關する事項は IV, V 章に取極めて記載せるを以て省略するも、本實驗結果により色光を使用せる場合の路面反射傾向を明かに知り得るを以て、本實驗に於て得たる等價反射率 η_e 、整反射率 η_r 等の値より與へられた照度に對する測定方向による輝度變化を推定し得。例へば緒言に於て許容照度 0.15 lx に對し推定擴散反射率を 15% と述べしも、本實驗によるに等價反射率 15% は青色系光に對するシートアスファルト舗装のものでコンクリート系にて開方地域に於ては單に反射率のみにて判定すれば、更に照度を減少する事の必要を示す。

上記の如く色光使用に於ける路面照度を定むるに必要な基準並に横光線等特種照明法を使用せんとする場合俯散輝度等を定むるに必要な特性を明かにせるものである。

本實驗を行ふに當りては委員藤井博士の御指導の下日本學術振興會の援助を得たるもので茲に錄して感謝の意を表す。



堰堤の溢流係數に關する模型實驗

囑 託 山 本 弘 之

まへがき

本實驗は、内務技師横田周平氏御指導の下に、内務省土木試驗所赤羽分所内 1m 工法試驗槽を用ひて、昭和 15 年 12 月より本年 6 月に亘り模型實驗をした報告である。

本稿を草するに當り、御指導並びに貴重なる御助言を賜つた横田技師、佐藤技師、竹内學士、八木技手及び實驗を手傳つて下さつた濱野助手に對し深甚なる感謝の意を表する次第である。

要 旨

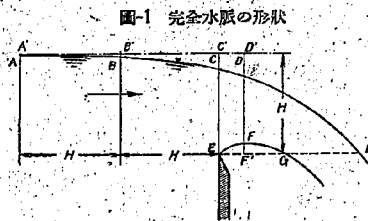
本文は代表的斷面形と思はれる堰堤の模型に就いて溢流量が下流水位に影響されない様な状態で溢流幅 B と溢流深 H を種々變へて溢流係數——本實驗に於ては接近流速を考慮した堰堤の流量公式 $Q = CB \left\{ (H + h_a^{\frac{2}{3}}) + h_a^{\frac{2}{3}} \right\}$ に於ける C ——が如何に變化するかを實驗した結果、並に既往の實驗實測例を摘記したものである。

目 次

I 緒 言	(1)
II 實 驗	(3)
[1] 模 型	(3)
[2] 實驗設備	(4)
[3] 實驗結果	(5)
III 相似律	(7)
IV 既往の模型實驗並に實測例	(8)
[1] Keokuk 堰堤	(8)
[2] Madden 堰堤	(9)
[3] 龍山堰堤 (庄川)	(10)
[4] 其 他	(10)
V 結 言	(11)

I 緒 言

鋭線矩形堰より溢流する水頭の形は Rehbock, Seimemi が精密に測定して水頭の如何に拘らず大體次の如くであるとしてゐる。¹⁾



$AA' = 0.01 H$	$DD' = 0.23 H$
$BB' = 0.04 H$	$EF = 0.25 H$
$CC' = 0.15 H$	$FF' = 0.11 H$
$CE = 0.85 H$	$EG = 0.7 H$
$DE = 0.66 H$	$ET = 1.40 H$

Bazin は水堀内に於ける流速及水壓の分布を實測して堰長 1m に對する流量は

$$Q = 1.89 H^{\frac{3}{2}}$$

とし、¹⁵ Francis は、

$$Q = 1.84 H^{\frac{3}{2}}$$

なる式を公表した。是等は何れも端收縮なき場合である。

一般に溢流堰堤に於ける流量公式も之と同型を用ひ

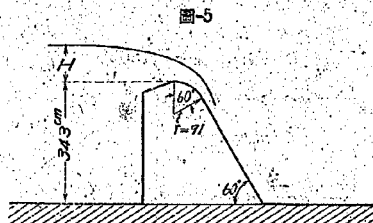
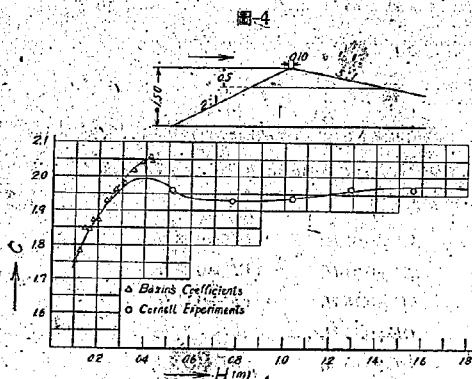
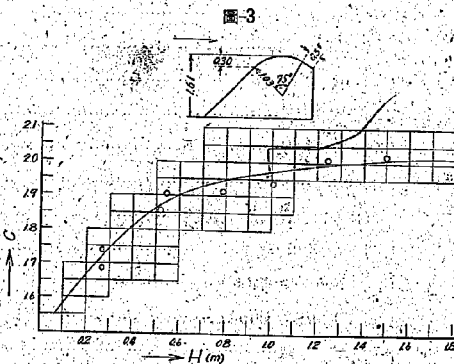
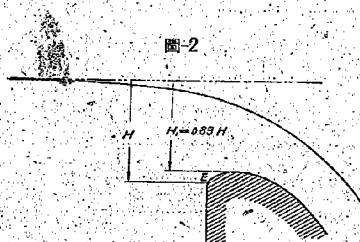
$$Q = CBH^{\frac{3}{2}}$$

とされてある。此の場合には H の取り方は堤頂より貯水池水面までの深さである。若し今 H を以て鋭縁堰より溢流する場合の水脈下面に全然合致した断面形を有する堰堤を作つて而も堤面の摩擦を全然無視出来るとしたら此の堰堤の溢流係数は Bazin 式に代入すれば

$$Q = 1.89 H^{\frac{3}{2}} = C(0.89 H)^{\frac{3}{2}}$$

$$C = 2.25$$

即ち之は端收縮及び堤面の摩擦を考へない場合の値であつて E 附近 (圖-2) の形を改良し、 H が蓄水位より更に大きくなると堤面と水脈下面との間に低壓を生じ U は増大するが實際問題としては此の邊が上限ではないかと思はれる。²⁰ (圖-3, 4)



次に H が小さい場合には計量水位の場合に適した堤頂形では質頂堰の流況に似て来るから Bélanger の公式に依れば

$$Q = 1.70 BH^{3/2}$$

又 Williams の大規模な実験結果⁹⁾ を見ても $H=5\text{cm}$ では $C=1.70$ であつて、結局 C は $1.70 \sim 2.25$ であらうが、是が次の如き色々な要因に左右されて變化するであらう事は想像に難くない。

- A. 堰堤頂部の形
- B. 溢流水深
- C. 橋脚の形と徑間
- D. 門扉開放の狀況

等であらう。

堰堤頂部の形 堰堤の斷面形は溢流水に對する水理的條件と構造物としての安定との二條件に依つて定められ、普通溢流頂より下方水頭 H の 1.5 倍までの部分の形は溢流水脈の下面に低壓の生ぜざる如き形狀を用ふる。而して此の合理的形狀として計量水頭に對し銳緣矩形堰の水脈下面に接近した Creager, Morrison & Brodie 及び Scimemi 等の提案した形があるが最も下流面勾配の緩な Creager の形でさへも安定條件を満足するためには一層緩なる勾配を必要とし、又其の頂部に相當大なる水壓を支持する橋脚等を設くる場合堤頂は上記の合理的形狀よりも重厚なものとなり、従つて溢流係数は構造上制限を受ける。

溢流水深 計量水頭に對して最適なる堤頂形を決定した場合でも或る水頭に對する水脈下面の線形は唯一であるからそれ以下の水頭に對しては堤面の摩擦抵抗が効いて係数は小となり反對に水頭が大となれば水脈下面と堤頂面の間に低壓を生じ C は増大するが更に水頭大となれば堤頂部を剝奪する危險を生ずるのみならず、激しい渦を生じて却つて C は減少するものと思はれる。

橋脚の形と徑間 溢流の全有效幅が等しくても橋脚の数が増せばそれだけ流線を亂し摩擦抵抗が増し溢流を阻害されるであらう事は容易に考へられる。而も同数の橋脚を配置するにしても其の形を所謂流線型に近くすれば C は増大する譯であるが實際には構造施工其他の理由で單純なものが用ひられてゐる。

門扉開放の狀況 非常洪水時に於ける如く全門扉を全開する場合と、其の中の若干を全開する場合では C は同一 H に對しても等しくない。此の事は Keokuk の實驗 實測に依つても明らかであつて前者の方が幾分大きい。本實驗に於ても参考のため No. 4 の場合に兩側を閉めて中央二徑間に就て測定した結果は C 四徑間の場合よりも約 3.2% 小さい値を示した。是は端收縮に依る流況の變化が著しい原因と思はれる。門扉を半開した場合に就ては實驗を行はなかつたから茲には省略する。

其他 Bazin, Fresco, Rehbock 及び Kinzer 等の銳緣矩形堰に於ける流量公式を見れば其の係数が溢流水深 H のみならず堰の上流側に於ける底から堰堤までの水深に依つて變化する事が示されてゐるから堰堤の場合にも上流側水深に影響される事と思はれる。

II 實 驗

[1] 模 型

本實驗に用ひた模型は 圖-6 の如き最も代表的と思はれる斷面形を有する堰堤を縱横共 $1/100$ に縮尺したものである。大體の形を木材で組み其の上に鋸屑モルタル (セメント : 砂 : 鋸屑 = 1 : 2 : 3) で下地を拵へ堰堤表面約

流量の大きい場合には水面の動揺が著しく平均値との差は約 $\pm 2 \text{ mm}$ に達するものもあった。

[3] 実験結果

流量調節用バルブを加減してから少くとも 5 分以上を経過して流れが定常状態になってから測定を開始し一回の測定を終るのに所要時間は 20~30 分であつた。その結果は図-8 の如くで、之を

$$Q = CnB \left\{ (H + h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}} \right\}$$

但し Q = 全流量 (m^3/sec)

B = 純堰間 (m)

H = 溢流深 (m)

h_a = 接近流速水頭 = $\frac{v^2}{2g}$ (m)

n = 堰間数

に代入し、 C と B 、 H の関係を示せば 図-9、10 の如くである。(表-1, 2, 3, 4, 5 参照)

図-8

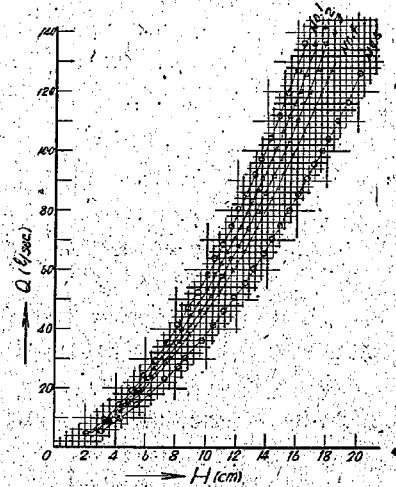


図-9

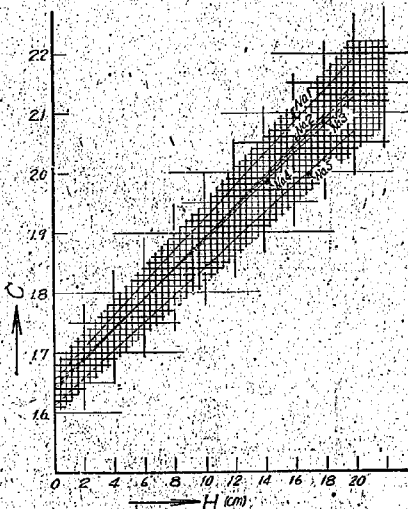
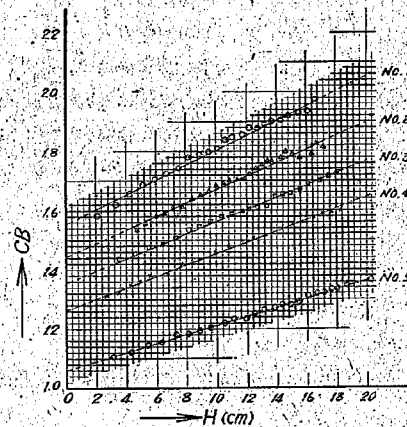


図-10



即ち各場合に就て C の変化は実験の範囲内では、 H に對して殆んど直線的と考へて差支ない。従つて是を

$$C_n = Y_n + X_n \cdot H$$

と置いて、最小二乗法に依り計算すれば

$$X_n = \frac{m[H \cdot C] - [H][C]}{m[H \cdot H] - [H]^2}$$

$$Y_n = \frac{[H \cdot H][C] - [H][H \cdot C]}{m[H \cdot H] - [H]^2}$$

但し m = 観測回数

より

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= 1.65523 + 0.053755 H \\ C_2 &= 1.63679 + 0.051229 H \\ C_3 &= 1.64539 + 0.049144 H \\ C_4 &= 1.64359 + 0.048450 H \\ C_5 &= 1.61331 + 0.045749 H \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

を得る。 H が小なる時は流況は横断線の如き場合に相当し絞りの大小には殆んど影響されず、従つて上記 Y_n の項は是を平均して 1.63897 と考へてもよい。即ち

$$C_n = 1.63897 + X_n' \cdot H$$

として各實驗の X_n' を計算 (算術平均) すれば次の如くなる。(表-6)

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= 1.63897 + 0.056977 H \\ C_2 &= \text{ } + 0.050537 H \\ C_3 &= \text{ } + 0.050356 H \\ C_4 &= \text{ } + 0.049216 H \\ C_5 &= \text{ } + 0.040538 H \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

扱て此の X_n' は X_n を平均した爲めに X_n が X_n' となつたもので X_n は絞りを變へた時に依り斯様な値を示すものであると考へられる。即ち X_n は絞りに對して直線的に變化してゐる (圖-11)。此の考へから X_n' も直線變化と見做して

$$X_n' = M + N \left(\frac{B}{B+b} \right)$$

として M, N を求めると

$$M = 0.0039, \quad N = 0.0519$$

となる。依つて C は

$$C = 1.64 + \left[0.007 + 0.052 \left(\frac{B}{B+b} \right) \right] H \dots\dots (3)$$

の如く表はされ得る。(圖-12)

序に接近流速を考慮しない一般に用ひられてゐる堰堤の流量公式 $Q = CBH^{\frac{3}{2}}$ に依り計算すると

$$\left. \begin{aligned} C_1' &= 1.6510 + 0.05849 H \\ C_2' &= 1.6167 + 0.05797 H \\ C_3' &= 1.6327 + 0.05452 H \\ C_4' &= 1.6348 + 0.05278 H \\ C_5' &= 1.6014 + 0.04969 H \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)'$$

圖-11

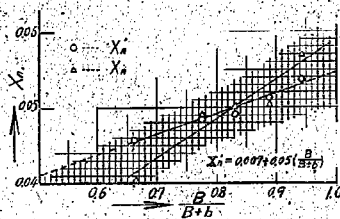
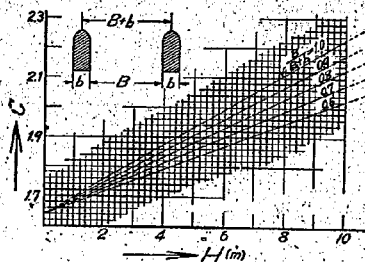


圖-12



を得るが(1)に比して $H=10\text{ in}$ に於て 2%位大きい値を示す。即ち本計算に依り求めた値を $Q=CBH^{\frac{3}{2}}$ に用ふる時は安全側になる。

III 相 似 律

	長	面積	速度	流量	水頭	係数	溢流幅
模 型	1	a^2	V_m	Q_m	H_m	C_m	B_m
實 物	n	$A=n^2 \cdot a$	V	Q	H	C	B

とせば

$$V = \sqrt{2gH} \quad \text{or} \quad V_m = \sqrt{2gH_m}$$

$$\therefore V = \sqrt{n} \cdot V_m$$

$$\text{又} \quad \frac{Q}{Q_m} = \frac{A \cdot V}{a \cdot V_m} = \frac{n^2 \cdot a \cdot \sqrt{n} \cdot V_m}{a \cdot V_m} = n^{\frac{5}{2}}$$

$$= \frac{CBH^{\frac{3}{2}}}{C_m \cdot B_m \cdot H_m^{\frac{3}{2}}} = \frac{C \cdot n \cdot B_m \cdot (n \cdot H_m)^{\frac{3}{2}}}{C_m \cdot B_m \cdot H_m^{\frac{3}{2}}} = \left(\frac{C}{C_m} \right) n^{\frac{5}{2}}$$

$$\therefore \frac{C}{C_m} = 1 \dots \dots \dots (4)$$

即ち模型実験に依り得たる C_m は模型の縮尺に無關係に其の儘實物に適用出来る事を示すものである。此の事は銳縁矩形堰等の如く堰を離れた水が自由落下する場合には適用出来る。即ち重力の影響のみ働いて摩擦力が作用しない場合である。堰堤の場合には重力が主なるものであるが水脈下面の形が自由な形を取り得ないから C が何れの水頭に對しても定数とならず殊に模型に於て實物と同性質の水を使つた場合に其の縮尺の大小にも依るが堤面の粗度及水の粘性が効いて(4)の關係は成立しない。多くの模型実験の結果から定量的な結論を下す事は困難であるが定性的である様にも本實驗の範圍では C は H の増大と共に殆んど直線的に増大してゐる事及び後述の例にも見る如く Keokuk, Madden 兩堰堤の實驗實測に於ても C は H と共に増大してゐる事から實際の場合にも此の傾向にあるものと思はれるから若し模型に就て

$$Q_m = (Y_m + X_m \cdot H) B_m \cdot H_m^{\frac{3}{2}}$$

で表はされるとすれば實物に對しては

$$Q = (Y + X \cdot H) B \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{Y + X \cdot H}{Y_m + X_m \cdot H_m} = \frac{Q/B \cdot H^{\frac{3}{2}}}{Q_m/B_m \cdot H_m^{\frac{3}{2}}} = \frac{Q}{Q_m} \cdot \frac{B_m \cdot H_m^{\frac{3}{2}}}{B \cdot H^{\frac{3}{2}}} = n^{\frac{5}{2}} \cdot \frac{1}{n^{\frac{5}{2}}} = 1$$

$$Y + X \cdot H = Y_m + X_m \cdot H_m$$

然るに Y, Y_m は水頭小なる場合即ち堰頂堰の場合の係数に相當するものであつて

$$Y = Y_m \quad \therefore X \cdot H = X_m \cdot H_m$$

$$\text{然るに} \quad H_m = \frac{1}{n} \cdot H \quad \therefore X = \frac{1}{n} \cdot X_m$$

である。前述(1)式の X_n 項は模型の縮尺で除した値である。

IV 既往の模型実験並に實測例

〔1〕 Keokuk 堰堤

A. 實測 堰堤は圖-13に示す如き形状を有し幅 30' の spillway が 119 門ある。堰頂は以前の自然河床
上 30' の高さに設けられたのであるが
沈泥のため上流の河床は測量の結果圖
-13 の如くであつた。係数の實測を行
つた場所は其の代表的なものとして堰
堤の中央にある No. 68 を主扉として
其の近接の門扉を種々な組合せで開放
し又右岸發電所の近くは水深が大であ
つて其の代表的なものとして No. 103
に就て實測した。

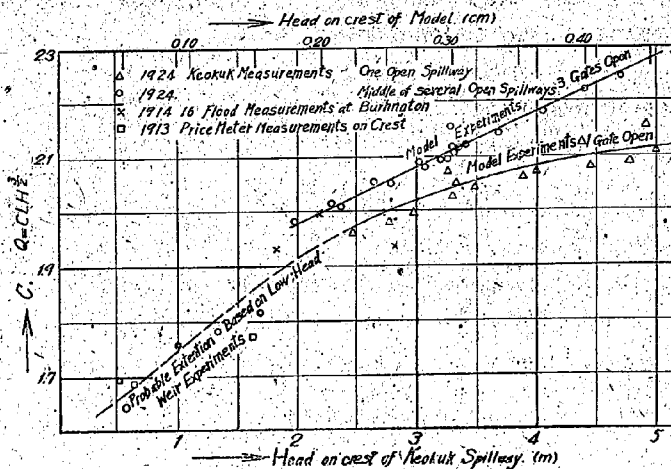
水位は Girley の水位記録計を用ひ
て 15 分毎に測定したが一回の實測に

8~9 時間を要したにも拘らず貯水池面積が廣大なため水位の變化は極めて僅であつて 8 回の實測に於て最大
0.95' で全體の平均は 0.186' であつた。

流量を測定するに當つては流速計を用ひて各 pier 間の 15 箇所就て各個所毎に鉛直には 1' 毎に pier
の近くでは 1/2' 毎に測定を行つた。斯して得た各鉛直線の流速曲線を 20 等分して Simpson's Rule を適用し平
均流速を求め間接に流量を測定した。實測結果は表-7 の如くである。

B. 模型實驗 Iowa 州立大學の水利研究室に於て 3-spillways を取入れて米杉を以て 1/41 の模型を作り

圖-14



溢流水深 $0.4 \sim 1.5'$ に就て行ひ、又他に 1-spillway を開放し標準状態 1' に近い水深を以て

1. 堰堤表面を平滑にし其の上流に沈泥なき場合
2. 表面を平滑にし沈泥を入れて現場の状況を複製したる時
3. 表面を shellac 塗り仕上げとし沈泥を置いた場合
4. 表面に砂を吹きつけて仕上げ現場の状況を複製したる時

に就て實驗した。其の結果は圖-15 の如くである。

又橋脚の形に依る C の變化を参考のため圖-16, 17 に示す。

[2] Madden 堰堤

Panama 地峡 Chagres 河が運河に注ぐ地點から上流約 10 哩に在る。堰堤の長さ 974', 高さ 220' あり、其の稍右岸寄りに徑間 100' の Spillway 四門、

圖-15

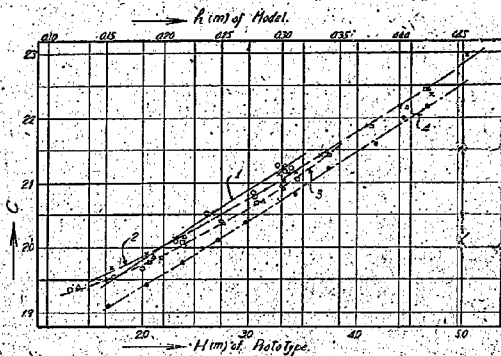


圖-16

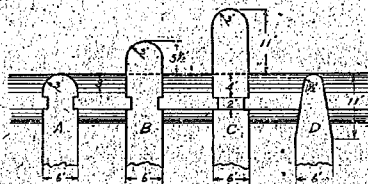
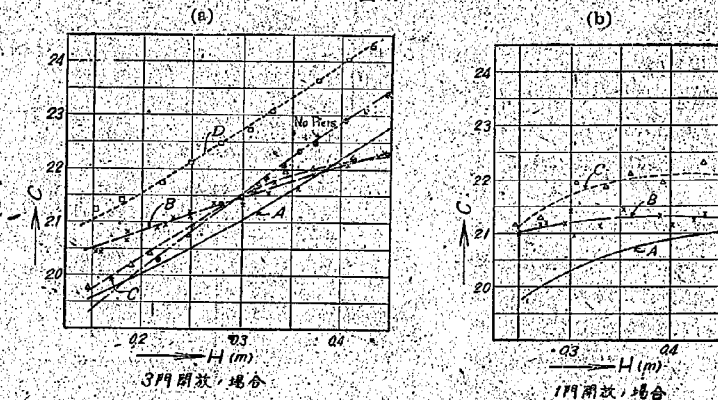


圖-17



厚さ 12' の橋脚があつて堰堤頂部には引込む装置の drum-gate が設けられてゐる。(圖-18)

A. 模型實驗 Colorado 農業大學の水利研究室で縮尺 1:72' の模型を作つて種々の項目 (Dentated Sill Apron, Level Apron, Sloped Apron, Deflector; Sill, Toe に於ける摩擦損失、其他 Tail-Race Wall, 水叩下洗の洗洞、Drum-gate の操作及流量、堤頂の水脈及壓力、Spillway の Retaining wall 等) に就て實驗

をした。其の中 C に関しては

$$C = 1.347 h_0^{0.20} \text{ (m 単位)}$$

を得た(圖-19)。又 gate の crest の高さに依る C の變化は 圖-20 の如くであつた。

B. 實測 1/4 哩下流の地盤に於て流速計を用ひて深さ 1' 毎に測り平均流速を求めた。其の結果

$$C = 1.485 h_0^{0.094} \text{ (m 単位)}$$

を得た。最高水頭 7.78' (=2.37 m) まで實測したが此の時の流量は模型實驗の結果推想した流量よりも 13% 多かつた。是は水位観測に於ての誤差及び平均流速を求めるに當り修正値 0.9 を用ひたのであるが此値は少流量の場合には信頼出来るが大流量の場合には可成りの誤差が入つて來るのに幾分原因してゐる。

然し乍ら明らかに 圖-19 の表は二つの曲線は違つた性質を表はしてゐる。これを比較検討するには餘りに資料が貧弱で、模型の流れに影響を及ぼした素因は毛管作用、粘性の如きものであらうと思はれるが充分認識されなかつた。

又 gate の crest の高さに依る C の變化は圖-20 の如くであつた。

[3] 祖山堰堤

堤頂の構造 $y^2 = 16.47x$ なる拋物線断面を有する堤頂上に純徑間 7.6m、厚さ 1.8m の橋脚があり此の橋脚の上流端は圓頂狀をなしてゐる(圖-21)。

發電所放水路の直ぐ下流に量水標があり此所の各水位に就ては多數の流量観測の結果水位流量曲線を得てゐるので之に依り水位さへ観測すれば直ちに流量を知る事が出来る。堰堤溢流部の流量係数は發電所の使用水量が零の時に前記曲線の示す流量を基として計算した結果は表-8 の如くである。

[4] 其 他

A. O'shaughnessy Dam

1913 年 3 月 25 日の實測に依れば溢流幅

圖-18

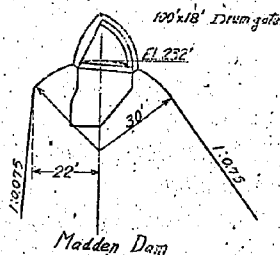


圖-19

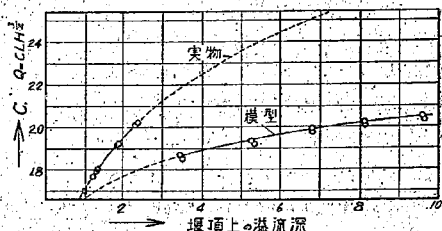


圖-20

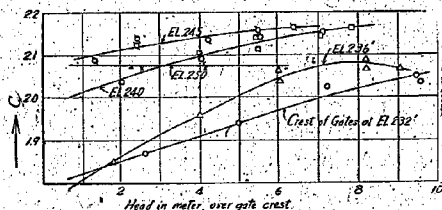
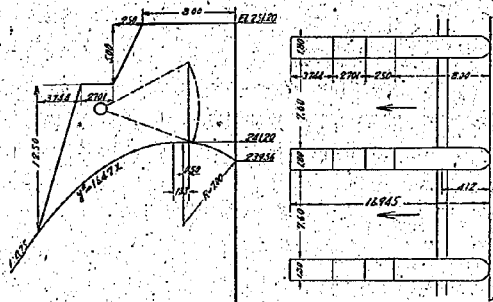


圖-21



500' より溢流した量は約 80,000 呎³/秒 で、其の時の
溢流水深は 12.8' (3.9 m) であつた。

之を $Q = CBH^{\frac{3}{2}}$ に代入すれば

$$C = 3.494 \quad (=1.93) \quad () \text{ 内米単位}$$

となる。

B. Willson Dam²⁾

$$B = 33' (=11.6 \text{ m}) \quad b = 8' (=2.44 \text{ m})$$

$$\text{堤頂形} \quad \frac{x^2}{36} + \frac{y^2}{9} = 1, \quad y^2 = 42.585 x$$

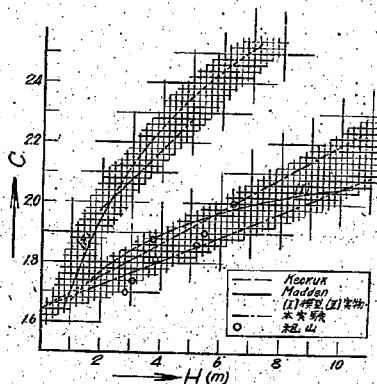
橋脚の上流端は $R = 4'$ の半圓形

なる断面を有する堰堤に於て、 $H = 4.51 \text{ m}$ の場合

$C = 2.21$ を示せり。

圖-22 は上記の C と H の關係を全部纏めたものであ
つて、圖中太線の部分は實験及實測の範圍内である。

圖-22



V 結 言

- C は本實驗及び既往の實驗並に實測の結果から得られた如く一定値をとるものでなく、變化するものである。
- 此の變化に與かる主なる要因は前述の如く、
 - 堰堤頂部の形
 - 溢流水深
 - 橋脚の形と絞り度
 - 門扉開放の狀況
 等である。
- 溢流水深 H に関しては (圖-22)

本實驗, Keokuk	 直線的
Madden	 直線に近い指數曲線
祖山	 大體本實驗の範圍内

Keokuk Dam は圖-13 に示す如く溢流水深 H に比して堰堤上流の水深が著しく浅いから接近流速が非常に大きく、従つて此の實驗並に實測から得られた C は直ちに他に適用出来ないが H の増大と共に C が直線的に増大する點に於ては本實驗と同一傾向である。又 Madden Dam は堤頂部の形が半圓形であつて是を直ちに他の拋物線形断面を有するものと比較するのは無理であるが直線に近い指數曲線を示してある。

之を要するに C は H に關して直線的に變化するものと見做してよい。

- 而して (1) に依れば C は

$$C = f(B/B+b) + g(B/b+b)H$$

に依つて表はされ得るが H が僅めて小なる場合には前述の如く絞り度の影響は殆んどないものと考えられるから

$$f = (B/B+b) = \text{const.}$$

として差支へない。

5. 絞り度 $B/B+b$ に関しては (圖-11)

X_{11} は絞り度の或る函数となるべきもので前述の如く是を本實驗の範圍内に於て實用上直線的と見做す事が出来るから、或る H に對して X_{11}' の形を

$$X_{11}' = M + N (B/B+b)$$

とした。

此の様にした爲めの C の誤差は $H=10$ m に對しても表-9 の如く極めて小さく 1.3~0.2 % の範圍にある。

故に下記の如き諸條件を満足するならば C の實驗式として充分の精度を以て

$$C = 1.64 + [0.007 + 0.052(B/B+b)]H$$

を採用する事が出来る。

- a. 閘脚及堰堤頂部の形が本實驗のものに似てゐる事。
- b. $H=1.5 \sim 10$ m.
- c. 門扉を多數全開した場合である事。
- d. 堰堤上流側の水深が H に比して相當大である事。

参 考 文 献

- | | | |
|------|-----|-------|
| 物部長題 | 水理學 | 218 頁 |
|------|-----|-------|
- 2) G. W. Rafter: "On the Flow over Dam," Trans. A.S.C.E., 1900, p. 220.
 - 3) 物部長題 水理學 225 頁
 - 4) " 〃 〃 215 頁
 - 5) F. A. Naglör and A. Davis: "Experiments on Spillway Discharge of the Keokuk Dam," Proc. A.S.C.E., 1920, p. 303.
 - 6) R. R. Randolph: "Hydraulic Tests on the Spillway of the Madden Dam," Proc. A.S.C.E., 1937, p. 950.
 - 7) 稻葉重治: "庄川祖山堰堤に於ける水理實驗報告" 水利と土木, 第9卷, 第3號, 75頁.
今野彦貞: "放浪堰の流量係數に就て" 仙臺高工紀要, 第15冊 (昭16. 3)
 - 8) J. H. Gregory: "The Oshaugnessy Dam and Reservoir," Proc. A.S.C.E., 1929, p. 793.
 - 9) 物部長題 水理學 231 頁

表-1

No.	H	Q	v	$h_a = \frac{v^2}{2g}$	$(H+h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}}$	C·B	C
1	0.0211	0.0048	0.010564	0.0000057	0.0030602	1.58177	1.68274
2	0.0327	0.0096	0.020395	0.0000212	0.0059188	1.62194	1.72547
3	0.0424	0.0145	0.030183	0.0000465	0.0087447	1.65814	1.76398
4	0.0510	0.0195	0.039877	0.0000811	0.0115442	1.68916	1.79698
5	0.0589	0.0245	0.049306	0.0001240	0.0143384	1.70870	1.81776
6	0.0666	0.0298	0.059057	0.0001779	0.0172540	1.72714	1.83783
7	0.0745	0.0357	0.069659	0.0002476	0.0204321	1.74725	1.85878
8	0.0817	0.0418	0.080431	0.0003301	0.0234881	1.77062	1.89321
9	0.0880	0.0471	0.089544	0.0004091	0.0262790	1.79231	1.90671
10	0.0944	0.0526	0.098798	0.0004980	0.0292227	1.79997	1.91456
11	0.1006	0.0583	0.108244	0.0005973	0.0321790	1.81174	1.92738
12	0.1057	0.0638	0.117344	0.0007025	0.0346891	1.83919	1.95659
13	0.1105	0.0686	0.125068	0.0007981	0.0371080	1.84806	1.96666
14	0.1164	0.0746	0.134560	0.0009238	0.0401583	1.85765	1.97622
15	0.1214	0.0805	0.143904	0.0010566	0.0428179	1.86006	2.00066
16	0.1265	0.0855	0.151462	0.0011704	0.0455779	1.87591	1.99565
17	0.1319	0.0920	0.161432	0.0013296	0.0485812	1.89374	2.01462
18	0.1362	0.0970	0.168931	0.0014560	0.0510176	1.90130	2.02966
19	0.1427	0.1043	0.179611	0.0016459	0.0547744	1.90417	2.02572
20	0.1482	0.1115	0.190208	0.0018459	0.0580421	1.92102	2.04964
21	0.1546	0.1195	0.201054	0.0020747	0.0619207	1.92989	2.05807
22	0.1605	0.1267	0.211696	0.0022865	0.0655668	1.93229	2.05563
23	0.1665	0.1360	0.224079	0.0025824	0.0688790	1.97735	2.10356

$$C_1 = 1.65528 + 2.68777 H$$

表-2

No.	H	Q	v	$h_a = \frac{v^2}{2g}$	$(H+h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}}$	C·B	C
1	0.0471	0.0157	0.032364	0.0000534	0.0102389	1.53337	1.73458
2	0.0534	0.0193	0.039174	0.0000788	0.0123604	1.55664	1.76061
3	0.0600	0.0233	0.046787	0.0001117	0.0147368	1.58108	1.78855
4	0.0657	0.0269	0.052405	0.0001455	0.0168945	1.59224	1.80118
5	0.0708	0.0305	0.059945	0.0001833	0.0189094	1.61296	1.82461
6	0.0783	0.0355	0.068758	0.0002412	0.0220076	1.61808	1.82475
7	0.0838	0.0400	0.076655	0.0002993	0.0243837	1.64044	1.85570
8	0.0897	0.0447	0.084707	0.0003661	0.0270227	1.65416	1.87122
9	0.0946	0.0488	0.091532	0.0004275	0.0292848	1.66469	1.88313
10	0.1000	0.0537	0.096814	0.0005083	0.0318527	1.68588	1.90711
11	0.1054	0.0584	0.107471	0.0005893	0.0344916	1.69317	1.91535
12	0.1092	0.0620	0.113304	0.0006550	0.0363940	1.70358	1.92712
13	0.1137	0.0660	0.119630	0.0007302	0.0386892	1.70590	1.92976
14	0.1182	0.0705	0.126753	0.0008197	0.0410374	1.71794	1.94338
15	0.1219	0.0743	0.132613	0.0008973	0.0430043	1.72657	1.95314
16	0.1262	0.0792	0.140376	0.0010054	0.0453370	1.74692	1.97615
17	0.1293	0.0832	0.146590	0.0010955	0.0473210	1.75521	1.98892
18	0.1343	0.0869	0.151843	0.0011763	0.0493246	1.74412	1.97299
19	0.1367	0.0907	0.157821	0.0012708	0.0512032	1.77138	2.00382
20	0.1424	0.0965	0.166265	0.0014104	0.0544833	1.77119	2.00360
21	0.1469	0.1068	0.172461	0.0015176	0.0565418	1.78098	2.01460
22	0.1505	0.1068	0.181478	0.0016803	0.0592971	1.80110	2.03744
23	0.1556	0.1117	0.188174	0.0018066	0.0623735	1.79083	2.02582
24	0.1595	0.1156	0.193473	0.0019068	0.0647043	1.78493	2.01916
25	0.1628	0.1198	0.199401	0.0020286	0.0668276	1.79267	2.02791
26	0.1655	0.1253	0.207622	0.0021993	0.0685716	1.82729	2.06707
27	0.1712	0.1312	0.216364	0.0023664	0.0721949	1.81730	2.05577

$$C_2 = 1.63679 + 2.561446 H$$

表-3

No.	H	Q	v	$h_a = \frac{v^2}{2g}$	$(H+h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}}$	C·B	C
1	0.0355	0.0096	0.020275	0.0000210	0.0086945	1.43400	1.73189
2	0.0401	0.0144	0.029746	0.0000451	0.0099123	1.45273	1.75451
3	0.0554	0.0193	0.039015	0.0000777	0.0130663	1.47325	1.77929
4	0.0643	0.0243	0.048377	0.0001194	0.0163490	1.48633	1.79509
5	0.0728	0.0297	0.058144	0.0001725	0.0197101	1.50684	1.81986
6	0.0818	0.0360	0.069257	0.0002447	0.0234906	1.53213	1.85041
7	0.0894	0.0416	0.078378	0.0003174	0.0280673	1.54855	1.86999
8	0.0956	0.0469	0.087299	0.0003988	0.0298246	1.56247	1.88704
9	0.1028	0.0525	0.097078	0.0004803	0.0331812	1.58222	1.91090
10	0.1100	0.0585	0.106762	0.0005814	0.0367585	1.59147	1.92206
11	0.1166	0.0642	0.115759	0.0006837	0.0401479	1.59906	1.93126
12	0.1212	0.0688	0.122943	0.0007712	0.0426763	1.60716	1.95018
13	0.1270	0.0742	0.131327	0.0008799	0.0457042	1.61167	1.96073
14	0.1336	0.0800	0.139953	0.0009994	0.0493500	1.61043	1.95782
15	0.1385	0.0860	0.149176	0.0011354	0.0521404	1.64989	1.99202
16	0.1442	0.0915	0.157162	0.0012602	0.0554327	1.65065	1.99341
17	0.1494	0.0972	0.165475	0.0013970	0.0585062	1.66136	2.00648
18	0.1554	0.1040	0.175201	0.0015673	0.0621269	1.67399	2.02173
19	0.1608	0.1107	0.184870	0.0017437	0.0654600	1.69111	2.04204
20	0.1686	0.1189	0.197692	0.0019940	0.0703095	1.70582	2.05956
21	0.1746	0.1275	0.208129	0.0022101	0.0742426	1.71794	2.07409
22	0.1811	0.1360	0.219674	0.0024621	0.0785234	1.73197	2.09175

$$C_3 = 1.64539 + 2.45722 \frac{H}{\sqrt{H}}$$

表-4

No.	H	Q	v	$h_a = \frac{v^2}{2g}$	$(H+h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}}$	C·B	C
1	0.0275	0.0060	0.012899	0.0000385	0.0045625	1.3150	1.70343
2	0.0433	0.0122	0.025244	0.0000325	0.0090201	1.3470	1.74481
3	0.0557	0.0182	0.038864	0.0000693	0.0131696	1.3820	1.79012
4	0.0672	0.0244	0.048199	0.0001185	0.0174650	1.3942	1.80598
5	0.0773	0.0306	0.059353	0.0001799	0.0216643	1.4190	1.83810
6	0.0893	0.0384	0.072824	0.0002706	0.0268025	1.4327	1.85583
7	0.0990	0.0458	0.085196	0.0003703	0.0313175	1.4603	1.89229
8	0.1081	0.0529	0.096869	0.0004788	0.0357676	1.4790	1.91579
9	0.1165	0.0599	0.108025	0.0005954	0.0400546	1.4954	1.93712
10	0.1240	0.0663	0.117883	0.0007090	0.0440210	1.5050	1.94944
11	0.1332	0.0745	0.130427	0.0008680	0.0490038	1.5184	1.96638
12	0.1432	0.0843	0.145045	0.0010734	0.0547646	1.5393	1.99393
13	0.1507	0.0924	0.156956	0.0012569	0.0591907	1.5610	2.02209
14	0.1576	0.0989	0.168051	0.0014068	0.0633522	1.5611	2.02217
15	0.1646	0.1066	0.176900	0.0015966	0.0676899	1.5748	2.03993
16	0.1718	0.1147	0.188094	0.0018051	0.0722575	1.5874	2.05619
17	0.1767	0.1201	0.195380	0.0019476	0.0754225	1.5923	2.06265
18	0.1830	0.1272	0.204831	0.0021406	0.0795632	1.5987	2.07089
19	0.0366	0.0089	0.018792	0.0000180	0.0067220	1.3240	1.71503
20	0.0490	0.0150	0.030765	0.0000483	0.0110623	1.3560	1.75644

$$C_4 = 1.64359 + 2.42204 \frac{H}{\sqrt{H}}$$

表-5

No.	H	Q	v	$h_0 = \frac{v^2}{2g}$	$(H+h_0)^{\frac{3}{2}} - h_0^{\frac{3}{2}}$	C/B	C
1	0.0308	0.0080	0.012798	0.0000084	0.0054076	1.10956	1.68115
2	0.0432	0.0101	0.020989	0.0000225	0.0089859	1.12399	1.70301
3	0.0539	0.0144	0.029274	0.0000437	0.0125286	1.14937	1.74148
4	0.0634	0.0185	0.036897	0.0000695	0.0159894	1.15702	1.75906
5	0.0726	0.0232	0.045437	0.0001053	0.0196031	1.18349	1.79816
6	0.0814	0.0276	0.053138	0.0001440	0.0232639	1.18537	1.79601
7	0.0904	0.0305	0.058162	0.0001726	0.0254702	1.19748	1.81436
8	0.0964	0.0363	0.067927	0.0002354	0.0300367	1.20852	1.83109
9	0.1046	0.0415	0.076484	0.0002985	0.0339094	1.22169	1.85104
10	0.1113	0.0462	0.084107	0.0003609	0.0378054	1.23843	1.87640
11	0.1190	0.0510	0.091562	0.0004277	0.0412634	1.23596	1.87267
12	0.1263	0.0559	0.099148	0.0005015	0.0446087	1.23200	1.86697
13	0.1310	0.0605	0.106327	0.0005798	0.0477137	1.26798	1.92118
14	0.1378	0.0656	0.113928	0.0006622	0.0516055	1.27365	1.92977
15	0.1434	0.0704	0.121037	0.0007481	0.0547060	1.28638	1.94982
16	0.1491	0.0743	0.127065	0.0008238	0.0580268	1.28561	1.94780
17	0.1554	0.0802	0.135153	0.0009320	0.0617899	1.29795	1.96358
18	0.1608	0.0857	0.143120	0.0010450	0.0650704	1.31091	1.99532
19	0.1665	0.0903	0.150124	0.0011499	0.0686054	1.32278	2.00422
20	0.1717	0.0953	0.156306	0.0012465	0.0718790	1.32534	2.00885
21	0.1764	0.0999	0.162598	0.0013497	0.0743904	1.33395	2.02114
22	0.1808	0.1041	0.168229	0.0014439	0.0777451	1.33899	2.02877
23	0.1866	0.1098	0.175792	0.0015767	0.0816672	1.34613	2.03959
24	0.1932	0.1164	0.184411	0.0017351	0.0865944	1.34420	2.03666
25	0.2018	0.1258	0.196624	0.0019725	0.0918977	1.36891	2.07411

$$C_b = 1.01881 + 2.28747 H$$

表-7

番 號	開 放 門 扉	水 頭 H (m)	C
1	68	3.32	2.020
2	68	3.31	2.005
3	68, 69	3.30	2.005
4	67, 68, 69	3.28	2.087
5	67, 68, 69	3.24	2.037
6	68, 69, 70, 71, 72	3.20	2.054
7	65, 66, 67, 68, 69, 70, 71	3.35	2.153
8	10.3	3.35	2.048

(太字は實測扉)

表-6

06

No.	No. 1			No. 2			No. 3			No. 4			No. 5		
	C ₁	X ₁ 'H	X ₁ '	C ₂	X ₂ 'H	X ₂ '	C ₃	X ₃ 'H	X ₃ '	C ₄	X ₄ 'H	X ₄ '	C ₅	X ₅ 'H	X ₅ '
1	1.6827	0.0488	2.0741	1.7346	0.0956	2.0298	1.7319	0.0929	2.6174	1.7034	0.0645	2.3440	1.6811	0.0422	1.3693
2	1.7255	0.0865	2.6450	1.7609	0.1219	2.2834	1.7545	0.1155	2.5063	1.7448	0.1068	2.4443	1.7090	0.0640	1.4825
3	1.7640	0.1250	2.9483	1.7885	0.1496	2.4920	1.7793	0.1468	2.5328	1.7901	0.1512	2.7136	1.7415	0.1025	1.9017
4	1.7970	0.1580	3.0982	1.8012	0.1622	2.4688	1.7951	0.1561	2.4279	1.8060	0.1670	2.4852	1.7581	0.1141	1.7995
5	1.8178	0.1788	3.0355	1.8246	0.1856	2.6220	1.8199	0.1809	2.4847	1.8381	0.1991	2.5761	1.7932	0.1542	2.1238
6	1.8374	0.1984	2.9791	1.8248	0.1858	2.3727	1.8504	0.2114	2.5848	1.8558	0.2169	2.4285	1.7960	0.1570	1.9292
7	1.8588	0.2198	2.9504	1.8557	0.2167	2.5862	1.8700	0.2310	2.5841	1.8923	0.2583	2.5587	1.8144	0.1754	2.0300
8	1.8932	0.2542	3.1119	1.8712	0.2323	2.5892	1.8870	0.2481	2.5894	1.9158	0.2768	2.5608	1.8311	0.1921	1.9930
9	1.9067	0.2677	3.0425	1.8831	0.2442	2.5800	1.9109	0.2719	2.6452	1.9371	0.2981	2.5592	1.8510	0.2121	2.0274
10	1.9149	0.2759	2.9226	1.9071	0.2681	2.6814	1.9221	0.2831	2.5826	1.9494	0.3105	2.5037	1.8764	0.2374	2.1332
11	1.9274	0.2884	2.8609	1.9153	0.2764	2.6222	1.9313	0.2923	2.5068	1.9669	0.3279	2.4617	1.8727	0.2337	1.9639
12	1.9566	0.3176	3.0049	1.9271	0.2882	2.6387	1.9502	0.3112	2.5678	1.9939	0.3550	2.4788	1.8970	0.2580	2.0590
13	1.9667	0.3277	2.9655	1.9298	0.2908	2.5976	1.9607	0.3218	2.5335	2.0221	0.3881	2.5423	1.9212	0.2822	2.1543
14	1.9762	0.3372	2.8973	1.9434	0.3044	2.5753	1.9578	0.3188	2.3866	2.0222	0.3882	2.4314	1.9298	0.2908	2.1103
15	2.0001	0.3611	2.9744	1.9531	0.3142	2.5772	1.9920	0.3530	2.5491	2.0399	0.4010	2.4300	1.9498	0.3108	2.1677
16	1.9956	0.3567	2.8196	1.9762	0.3372	2.6718	1.9935	0.3546	2.3738	2.0562	0.4172	2.4235	1.9479	0.3089	2.0719
17	2.0146	0.3756	2.8479	1.9889	0.3499	2.6960	2.0066	0.3675	2.4599	2.0626	0.4237	2.3977	1.9666	0.3276	2.1082
18	2.0227	0.3837	2.8171	1.9730	0.3340	2.4871	2.0217	0.3828	2.4630	2.0709	0.4319	2.3602	1.9963	0.3563	2.2161
19	2.0257	0.3867	2.7102	2.0038	0.3648	2.6090	2.0424	0.4034	2.5089	1.7150	0.0761	2.1366	2.0042	0.3662	2.1937
20	2.0436	0.4047	2.7305	2.0036	0.3646	2.5606	2.0596	0.4206	2.4961	1.7564	0.1175	2.3683	2.0088	0.3699	2.1542
21	2.0531	0.4141	2.6785	2.0147	0.3757	2.5751	2.0741	0.4351	2.4921	$\Sigma X_1' = 49.2156$			2.0211	0.3922	2.1665
22	2.0556	0.4167	2.5960	2.0374	0.3985	2.6476	2.0917	0.4528	2.5001	$\Sigma X_2' = 55.3921$			2.0288	0.3898	2.1560
23	2.1036	0.4646	2.8072	2.0258	0.3868	2.4862	$\Sigma X_3' = 55.3921$			$\Sigma X_4' = 49.2156$			2.0396	0.4006	2.1469
24	$\Sigma X_1' = 65.5234$			2.0192	0.3802	2.3836	$\Sigma X_5' = 55.3921$			$\Sigma X_6' = 50.6729$			2.0367	0.3977	2.0584
25	$\Sigma X_1' = 65.5234$			2.0279	0.3889	2.3891	$\Sigma X_2' = 55.3921$			$\Sigma X_4' = 49.2156$			2.0741	0.4351	2.1563
26	$\Sigma X_1' = 65.5234$			2.0671	0.4281	2.5867	$\Sigma X_3' = 55.3921$			$\Sigma X_5' = 50.6729$			$\Sigma X_6' = 50.6729$		
27	$\frac{\Sigma X_1'}{23} = 2.8488$			2.0557	0.4168	2.4346	$\frac{\Sigma X_3'}{22} = 3.5178$			$\frac{\Sigma X_4'}{20} = 2.4608$			$\frac{\Sigma X_6'}{26} = 2.0269$		
				$\Sigma X_5' = 68.2655$											
				$\frac{\Sigma X_5'}{27} = 2.5294$											

表-8 祖山堰堤 實測値

實測月日	實測番號	貯水池水位	門扉開閉 狀 況	門扉開き	流 量 Q	$\frac{C}{(Q_{24}CLH^3)}$
4/17	1	4.05	5. 6. 7	各 1.07	237	2.05
18	2	5.48	5	溢 流	185	1.90
19	3	4.48	7. 8. 9	各 1.10	151	2.02
20	4	3.53	7. 8. 9	〃 1.10	129	1.98
〃	5	3.04	1. 2	〃 1.86	131	1.89
〃	6	3.83	2	溢 流	103	1.81
21	7	2.60	7. 8. 9. 10	各 1.10	129	1.92
〃	8	2.82	7. 8	溢 流	123	1.70
〃	9	3.04	7	〃	70	1.74
22	10	3.74	7	〃	103	1.83
〃	11	3.04	3. 5. 7. 10	各 1.10	144	1.93
〃	12	3.28	7	2.00	70	2.05
23	13	5.19	7	溢 流	167	1.86
〃	14	5.61	7	3.00	131	1.90
24	15	6.55	7	3.00	151	1.93
〃	16	6.40	6. 7. 8	各 1.00	176	2.12
〃	17	6.23	7	3.00	144	2.00
〃	18	6.17	7. 10	各 1.52	165	2.05
25	19	6.41	7	3.00	144	1.91
〃	20	6.42	7	2.00	103	1.95
〃	21	6.41	5. 8. 11	各 1.00	169	2.03
〃	22	6.30	7	4.00	205	2.12
26	23	6.27	5 8	1.00 2.00	171	2.14
〃	24	6.31	8	2.00	116	2.22
〃	25	6.40	7	溢 流	244	2.00
〃	26	6.18	5. 7	各 1.00	116	2.14
27	27	6.34	7. 8. 9	〃 1.00	190	2.30
〃	28	6.29	7. 8	〃 1.00	123	2.22
〃	29	6.27	7	3.00	155	2.03
〃	30	6.10	7	4.00	190	2.13
28	31	6.23	7	1.52	95.5	2.35
5/20	32	6.53	7	1.00	59.1	2.10
21	33	6.40	7	1.00	59.3	2.14

表-9

	(1)より	(2)より	(2)-(1)	$\frac{(2)-(1)}{(1)}(\%)$
C_1	2.19283	2.20874	+ 0.01591	+ 0.726
C_2	2.14908	2.14464	- 0.00444	- 0.207
C_3	2.13683	2.14253	+ 0.00570	+ 0.267
C_4	2.12818	2.13113	+ 0.00295	+ 0.139
C_5	2.07130	2.04435	- 0.02695	- 1.301

鉄筋コンクリート片持版の載荷 試験並びに之に基づく設計示方

内務技師 齋 藤 義 治
内務技師 一 木 保 夫
内務技手 池 田 克 己

要 旨

昭和14年内務省土木局（現国土局）制定の鋼道路橋設計示方書案に従ひ、集中荷重2tに對して設計せる、全厚12.5cm、幅3m、張出し長さ1.2mの鉄筋コンクリート片持版に就き載荷試験を行い、版の各點に於ける撓み及び鉄筋の應力度、龜裂の進行狀態及び破壊の狀態を試験し、該示方書案に規定せる有効幅の妥當なること及び之により設計せる片持版が十分なる安全性を有することを見出し、集中荷重による鉄筋コンクリート片持版の破壊の狀況を明らかにし、以て片持版設計の基準を求めた。

本試験に當り、供試片持版の設計は元土木局齋藤技師之を擔當し、試験は一本技師、池田技手之を擔當した。

目 次

I 緒 言	(2)
II 得たる結論	(2)
III 供試片持版の設計及び製作	(3)
(1) 設計(齋藤技師)	(3)
(2) 製作	(4)
(3) 養生	(4)
IV 試験方法	(4)
(1) 載荷方法	(5)
(2) 撓み測定方法	(5)
(3) 鉄筋應力度測定方法	(5)
(4) 破壊試験	(6)
V 構成コンクリートの力學的性質	(6)
(1) 壓縮強度及びヤング係數	(6)
(2) 曲げ強度	(6)
(3) 鉄筋とコンクリートとの附着強度	(7)
VI 版の撓み	(8)
(1) 荷重1tによる撓み	(8)
(2) 破壊に至るまでの撓み	(9)
VII 鉄筋の應力度	(11)

(1) 荷重 1 t による鉄筋の應力度	(11)
(2) 破壊試験の際測定せる鉄筋の應力度	(11)
VII 版の破壊状態	(12)
IX 撓みと應力並びに之等に基づく版の有効幅に関する考察	(13)
(1) 荷重 1 t の場合 (龜裂發生前の状態) に對する考察	(13)
(2) 荷重 4 t の場合 (龜裂進行中の状態) に對する考察	(16)
(3) 荷重 8 t の場合 (中立軸まで龜裂が進行せる後の状態) に對する考察	(16)
(4) 破壊荷重 8.9 t の場合に對する考察	(17)
(5) 有効幅に関する考察	(18)
X 要 約	(18)

I. 緒 言

昭和14年内務省土木局 (現國土局) にて制定せる鋼道路橋設計示方書案中、第24條に鉄筋コンクリート床版に於ける輪荷重分布の有効幅に関する規定が設けられてある。この規定は從來各國の示方書に於て採用せるものと略々同じであるが、たゞ荷重の分布を床版全厚の中心までと假定せる點が異つてゐる。然るに未だ之に對する實驗的根據に乏しく、この規定により設計せる床版が如何なる程度の安全率を有するかは明らかでなかつた。

かゝる理由より、竊に該案に従ひ第一種自動車荷重により設計せる4邊自由支持の正方形床版に就き載荷試験を行ひ、この種床版の設計に對する基準を求めたが、*更に進んで、該案に従ひ集中荷重 2 t に對して設計せる全厚 12.5 cm、幅 3 m、張出し長さ 1.2 m の鉄筋コンクリート片持版に就き載荷試験を行ひ、版の各點に於ける撓み及び鉄筋の應力度、龜裂の進行状態及び破壊の状態を試験し、以て集中荷重による鉄筋コンクリート片持版の性質及び破壊の状況を明らかにすると共に、片持版設計の示方を得んとしたものである。

II. 得たる結論

鋼道路橋設計示方書案に準據し、集中荷重 2 t に對して設計せる、全厚 12.5 cm、幅 3.0 m、張出し長さ 1.2 m の鉄筋コンクリート片持版に關して材齢50日で載荷試験を行ひ (臂長さ 1 m とす)、版の撓みと鉄筋應力度を測定し破壊状況を觀察せる結果次の結論を得た。

1. 試験に供せる片持版は設計荷重に對して4倍の安全率を有してゐた。従つて鋼道路橋設計示方書案に準據して設計せる本試験片持版は設計荷重に對して十分なる安全率を有する。試験に供せる片持版には、片持版の性質を明確ならしめるためにハンチをつけなかつたが、實際の構造物に於ては常にハンチをつけるのであるから、安全度は更に増加するものと考へる。
2. 有効幅に關しては、荷重の小なる間即ちコンクリートに龜裂を生じない前の状態に於ては、有効幅は鋼道路橋設計示方書案に與へられてゐるものよりも實際には小さいが、設計の基準となるべき破壊に近い状態に於ては、示方書案に與へられてゐる有効幅は實際上妥當なものである。即ち鉄筋コンクリート片持版の設計に當つては、示方書案に示されてゐる有効幅によつて設計してよいことが明らかになつたのである。
3. 版は設計荷重までは殆んど彈性的な性質を有するものと考へてよい。

* 土木試験所報告第50號 “鉄筋コンクリート床版の載荷試験並びに之に基づく設計示方” (齋藤、一木、池田)

III. 供試片持版の設計及び製作

(1) 設計 (齋藤技師)

設計條件は次の如し。

設計荷重 $P=2,000 \text{ kg}$ (衝撃は考慮せず)

輪帯幅 20 cm (荷重の強度を輪帯幅 1 cm 當り 100 kg とする)

輪帯接長 20 cm

支間 $l=1.0 \text{ m}$ 版の幅 $b=3.0 \text{ m}$

上置鋪裝厚 5 cm

許容應力度 $\sigma_{ca}=65 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{sa}=1,300 \text{ kg/cm}^2$ $\tau_a=4.5 \text{ kg/cm}^2$

版の全厚を 12.5 cm と假定すれば、鋼道路橋設計示方書案第 24條により

有効幅 $e=1.4l'+a$ ($a=20+22.5=42.5 \text{ cm}$)
 $=1,825 \text{ m}$ (圖-1 参照)

以上に依り設計せる供試片持版は、圖-2 に示す如くであるが、今之に就いて抵抗モーメントを檢算してみる。外力によるモーメントは

$$M_l = 2,000 \times \frac{1}{1.825} \times 1.0 = 1,095 \text{ kg} \cdot \text{m/幅 1 m}$$

$$M_d = 2,400 \times 0.125 \times 1.0 \times \frac{1.2}{2} = 180 \text{ kg} \cdot \text{m/幅 1 m}$$

(鋪裝の重量は、試験の際入らぬ故に除外する)

版の全厚は 12.5 cm, 有効高さ $d=10 \text{ cm}$, 鉄筋斷面積 $A_s=11.31 \text{ cm}^2/\text{幅 1 m}$ であるから

$$\frac{1}{2}bx^2 - nA_s(d-x) = 0 \text{ より}$$

$$x=4.4 \text{ cm}$$

$$z = d - \frac{x}{3} = 8.54 \text{ cm}$$

従つて抵抗モーメントは

$$O_z = 65 \times 100 \times 4.4 \times \frac{1}{2} \times 8.54 = 122,100 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 1,221 \text{ kg} \cdot \text{m/幅 1 m}$$

$$T_z = 1,300 \times 11.31 \times 8.54 = 125,600 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 1,256 \text{ kg} \cdot \text{m/幅 1 m}$$

故に動荷重に對する抵抗モーメントは

$$1,221 - 180 = 1,041 \text{ kg} \cdot \text{m} \text{ である。}$$

外力によるモーメント 1,095 $\text{kg} \cdot \text{m}$ には多少及ばないが、全然餘分のない出来るだけ薄い版とするため、この斷面を採用することにした。

支柱の撓みの影響を除くため左右對稱に版をつくり同時に載荷することとした。

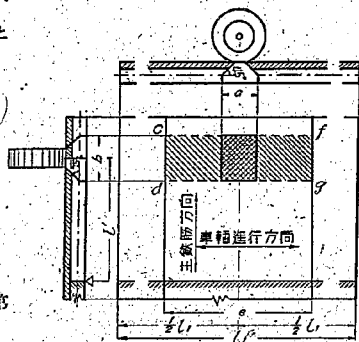
圖-1 有効幅 e 

図-2 供試片持版設計図

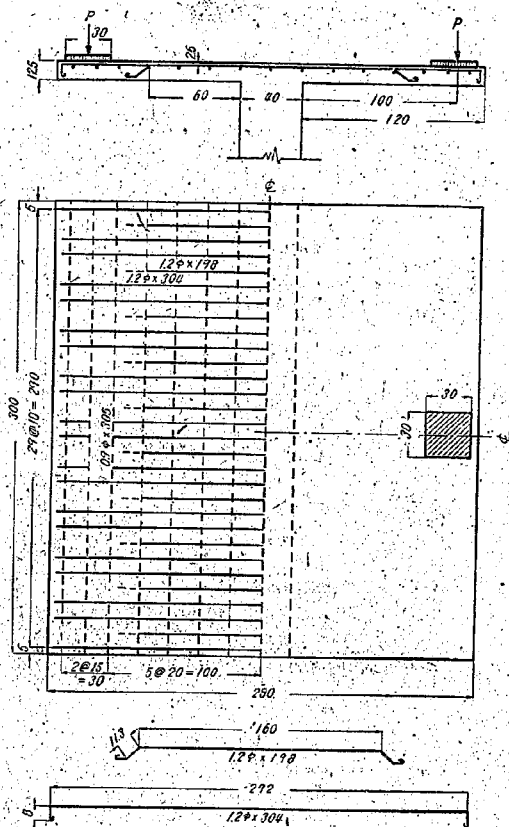
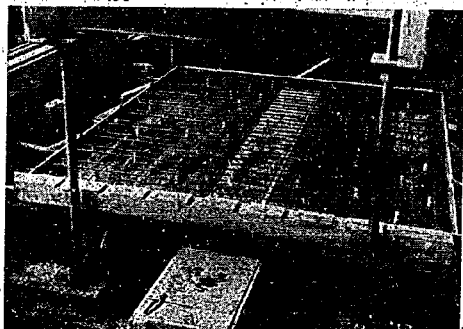


写真-1 コンクリート打ち直前の状況



向、片持版の性質を明確にするために、ハンチはつけない。

[2] 製作

基礎のコンクリートは豫め打つておき、版のコンクリートは昭和15年12月19日(室内気温 10°C、湿度65%)に打つた。

セメントは浅野セメント、砂は多摩川産、比重2.64、単位容積重量 1,760 kg/m³、空隙率33.0%、粗粒率 2.80 のもの、砂利は荒川産 25mm 以下、比重 2.60、単位容積重量 1,742 kg/m³、空隙率 33.0%、粗粒率 6.77 のものを使用した。

配合は容積比 1:2:4、水セメント比はスランプ8~10 cm を得る様 62%とした。

混合にはランサム型 4 切練りミキサを使用し、11回に分けて練った。混合時間は材料を全部供給せる後 2 分間とした。

版の両側より中央に向つてコンクリートを打ち込み、直径 16 mm 及び 30 mm の鉄棒で十分突固めを行った。

コンクリート打ちの際、ミキサの各練りより壓縮強度試験標準供試体を 1 個ずつ製作した。又曲げ試験供試体及び鉄筋の引張試験供試体をも適宜製作した。

写真-1 は鉄筋の組立てを終り將に版のコンクリート打ちにかゝらんとするところ、

写真-2 はコンクリート打ち中の状況である。

[3]. 養生

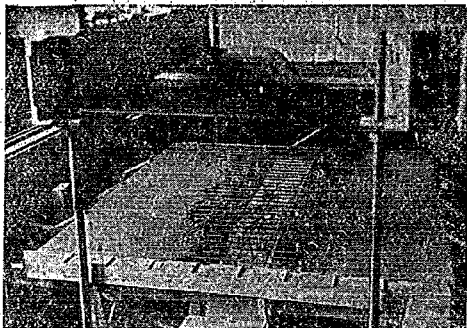
コンクリート打ち後、筈にて被覆し随時散水して養生を行った。冬季低温時であるため型枠の存置期間を幾分永くし、材齢 2 週で型枠を除去した。型枠除去後も材齢 3 週まで同様の養生を続けた。養生中の気温は 7~11°C であった。

IV. 試験方法

図-3 傳壓用コンクリート塊
(配合 1:1:2) [圖]



写真-2 コンクリート打ち中の状況



(1) 載荷方法

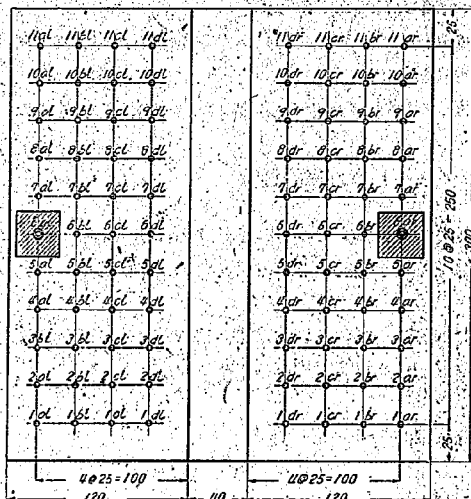
本所考案の 75t 床版試験機を使用し、載荷面は設計の条件と一致せしめるため、図-3 の如き 30 cm×30 cm の底面を有するコンクリート塊 (重量約 40 kg) によって荷重を版に傳へた。コンクリート塊と床版表面との接觸を出来るだけ均等ならしめるため、この間に新聞紙を約 20 枚敷いた。

写真-3 は試験機及び載荷方法を示す。

写真-3 試験機及び載荷方法



図-4 撓み測定點の位置及び特徴



(2) 撓み測定方法

版の下面に 図-4 に示す如く測點を設け、撓み測定器 (Rectus $\frac{1}{100}$ mm 讀み) を取付け、荷重に應ずる版の撓みを測定した。撓み測定器の接觸を良好ならしめるため、測點には 15 mm×15 mm 厚さ 2 mm の銅片を石膏でとりつけた。

撓みの測定値は何れも 3 回の平均をとった。各回測定値の間の關係を明らかにするため測點 6cl 及び 6cr を基準點として各測定毎にこの點の讀みをとった。

(3) 鉄筋應力度測定方法

コンクリート打ちの際 図-5 に示す位置の鉄筋を露出せしめておき、写真-3 及び 4 に見る如く歪測定器 (Huggenberger $\frac{1}{1,000}$ mm)

図-5 鉄筋座力測定点の位置及び符號

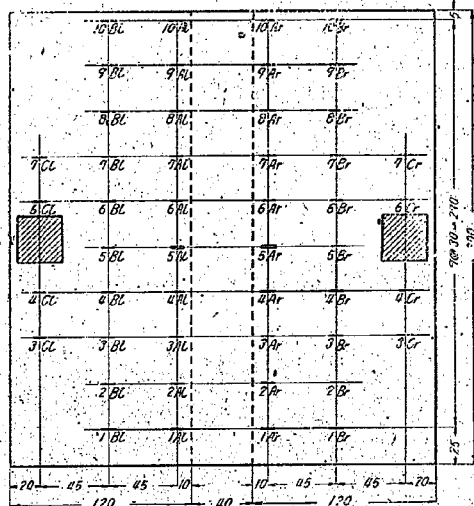
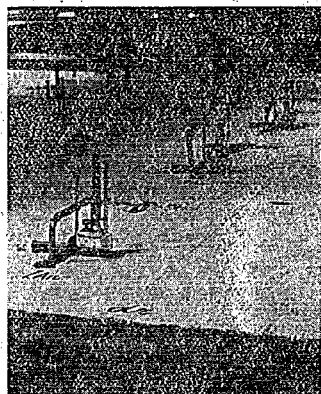


写真-4 鉄筋歪測定装置



読み)を標点距離 10 cm として取付け、荷重に應ずる鉄筋の歪を測定し之より鉄筋座力度を算出した。

歪の測定値は何れも 3 回の平均をとった。各回測定値の間の關係を明らかにするため、測點 5 AL 及び 5 Ar を基準點として各測定毎にこの點の読みをとった。

(4) 破壊試験

龜裂の發生を容易に認め得る様、版の表面に薄め石膏の溶液を薄く塗った。

荷重を漸次増して、龜裂發生狀態及び進行狀態を觀察しつつ、同時に數箇所的主要點の撓みと鉄筋の歪を測定しつつ、破壊狀態に達して荷重の上昇が止むまで載荷を續けた。

破壊試験の際の撓みの測定には、撓みの量が大きいため本所考案の撓み測定器 ($\frac{1}{10}$ mm 読み)を使用した。

V. 構成コンクリートの力學的性質

コンクリート打ちの際ミキサの各練りより製作せる供試體に就いての、版の破壊試験と略し同材料に於ける試験の結果は次の如くである。何れの供試體も供試版と略し同一條件のもとで發生を行つたものである。

(1) 壓縮強度及びヤング係數

壓縮強度試験供試體はミキサの各練りより 1 個づつ製作したが、その強度試験の結果は表-1 の如くである。供試體の寸法は直徑 15 cm、高さ 30 cm の標準形であり、製作は標準方法に據つたものである。

壓縮強度は平均 222 kg/cm² である。

又壓縮強度試験供試體に就き測定したヤング係數の値は圖-6 の如くである。

(2) 曲げ強度

15 cm × 15 cm × 75 cm の曲げ試験供試體に就き試験せる結果は表-2 の如くである。供試體番號の 4 或は 9

表-1 コンクリートの圧縮強度

供試験 番 號	配 合 (容積比)	水セ トメ 量比 重%	スラン プ cm	フ ロ ー	製 作 年 月 日	試 験 年 月 日	材 齢 日	単位重量 kg/m ³	圧縮強度 kg/cm ²
1	1:2:4	62	9	210	15.12.19	16.2.3	46	2311	222
2	〃	〃	11	220	〃	〃	〃	2290	194
3	〃	〃	9	190	〃	〃	〃	2311	225
4	〃	〃	〃	200	〃	〃	〃	2307	216
5	〃	〃	〃	190	〃	〃	〃	2279	191
6	〃	〃	〃	215	〃	〃	〃	2286	173
7	〃	〃	8	200	〃	〃	〃	2305	205
8	〃	〃	10	220	〃	16.2.4	47	2316	259
9	〃	〃	11	205	〃	〃	〃	2305	237
10	〃	〃	9	200	〃	〃	〃	2297	252
11	〃	〃	8	〃	〃	〃	〃	2290	212
平均								2300	222

等は、混合の際の第4番目或は第9番目のバッチから採つたコンクリートなることを示す。供試験製作に當つての突固めは標榜方法に準じ、2層に填充し毎層50回宛直径30mmの鉄棒に突固めた。

曲げ強度は平均 36.3 kg/cm² である。

(3) 鉄筋とコンクリートとの附着強度

直径 20 cm、高さ 20 cm のコンクリートの中心に、版に使用せると同一直径の鉄筋 ϕ 12 mm を埋込長 $l=20$ cm として埋込み(鉄筋端には鉤を附せず)、引抜試験によつて附着強度を求めた。

図-6 コンクリートのヤング係数

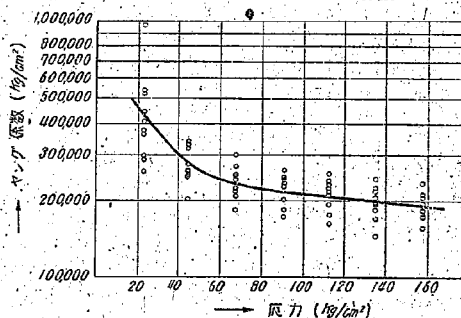


表-2 コンクリートの曲げ強度 (15cm×15cm×75cm 供試験による)

供試験 番 號	配 合 (容積比)	水セ トメ 量比 重%	スラン プ cm	フ ロ ー	製 作 年 月 日	試 験 年 月 日	材 齢 日	単位重量 kg/m ³	曲げ強度 kg/cm ²
2	1:2:4	62	11	220	15.12.19	16.2.5	48	2311	33.3
4	〃	〃	9	200	〃	〃	〃	2335	36.0
7	〃	〃	8	〃	〃	〃	〃	2355	40.0
8	〃	〃	10	220	〃	〃	〃	2329	30.1
9	〃	〃	11	205	〃	〃	〃	2336	40.7
10	〃	〃	9	200	〃	〃	〃	2330	37.3
平均								2333	36.2

荷重は鉄筋が滑り始めたときの荷重をとり、次式により附着強度を算出した。

$$\tau_0 = \frac{P}{Ul}$$

茲に

τ_0 = 附着強度 (kg/cm²)

P = 滑出しの際の荷重 (kg)

U = 鉄筋の周長 (cm)

l = 埋込長 (cm)

試験の結果は表-3の如くである。供試体番號の4或は9等は、混合の際の第4番目或は第9番目のバッチから採つたコンクリートなることを示す。

附着強度は平均 41.8 kg/cm² である。

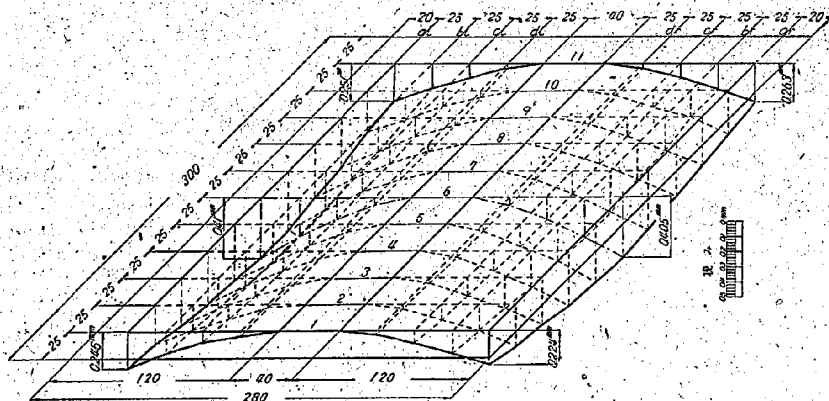
表-3 鉄筋とコンクリートとの附着強度

供 試 體 番 號	配 合 (容積比)	水 セ ン 量 比 %	スラッパ cm	フ ロ ー	製 作 年 月 日	試 験 年 月 日	材 齢 日	附着強度 kg/cm ²
2	1:2:4	62	11	220	15.12.19	16.2.4	47	47.9
4	〃	〃	9	200	〃	〃	〃	47.1
7	〃	〃	8	〃	〃	〃	〃	47.7
8	〃	●〃	10	220	〃	〃	〃	85.8
9	〃	〃	11	205	〃	16.2.5	48	33.6
10	〃	〃	9	200	〃	〃	〃	33.7
平均								41.8

VI. 版 の 撓 み

(1) 荷重 1t による撓み

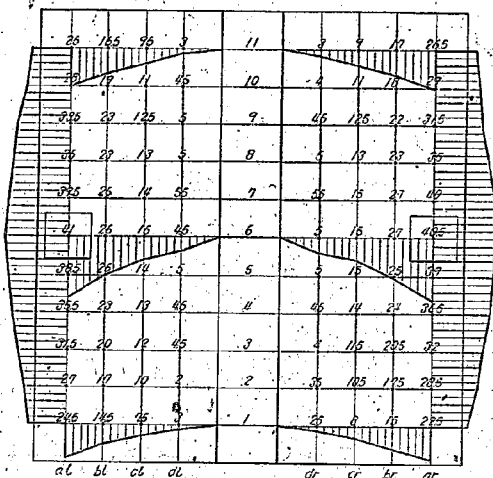
圖-7 荷重 1t による版の撓み



昭和16年1月16日(材齢28日)より、荷重1tによる版の撓みの測定を開始した。1.5tまで載荷を繰返して各點に於ける撓みを測定し、1月25日に測定を終了した。測定器及び測定方法による誤差を少なくするために、0.5tのときの撓みと1.5tのときの撓みとの差をとつて、荷重1tによる版の撓みとした。尚0.5t~1.5tの間では0.25tを増す毎に讀みをとつた。

測定の結果は 圖-7 及び 8 に示す如くである。載荷點の真下の測點で最大の撓みを示し、6al では 0.41 mm, 6ar では 0.405 mm を示してゐる。4隅の測點では、1al が 0.246 mm, 1ar が 0.224 mm, 11al が 0.251 mm, 11ar が 0.263 mm を示してをり、左側の版と右側の版とは大差ない撓みを示してゐる。

圖-8 荷重1tによる版の各點の撓み(單位 $\frac{1}{100}$ mm)



(2) 破壊に至るまでの撓み

昭和16年2月7日(材齢50日)に破壊試験を行つたが、その際左右の版に於ける主な測點即ち左側の版では 6al, 6cl, 8al 及び 10al, 右側の版では 6ar, 6cr, 4ar, 2ar の撓みを測定した。その結果は 圖-9, 10, 11, 及び 12 に示す如く之は唯1回の載荷(破壊に至るまで載荷す)による讀みであつて、荷重0.25tを増す毎に讀みをとつた。

荷重8tのとき 6al では 13.6 mm, 6ar では 12.2 mm の撓みを示し、この場合にも左右の版の對稱の測點

圖-9 左側 $\frac{1}{4}$ 版の撓み

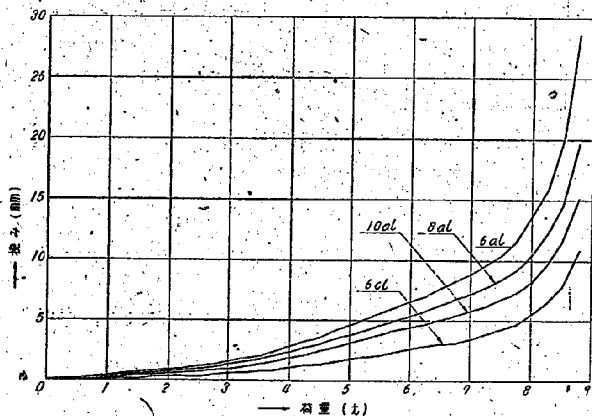


図-10 左側 $\frac{1}{4}$ 版の荷重 8t までの撓み

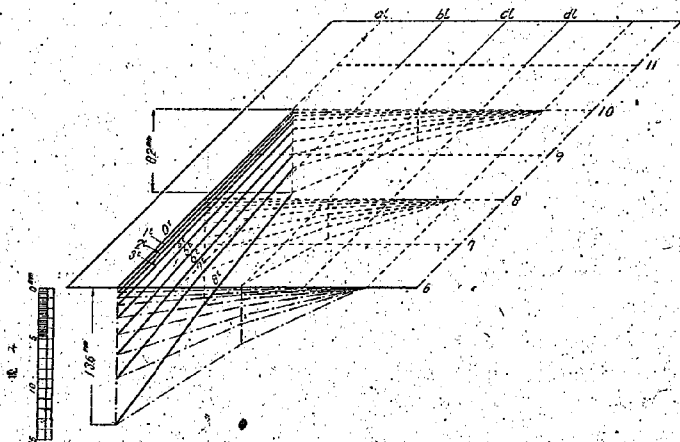


図-11 右側 $\frac{1}{4}$ 版の撓み

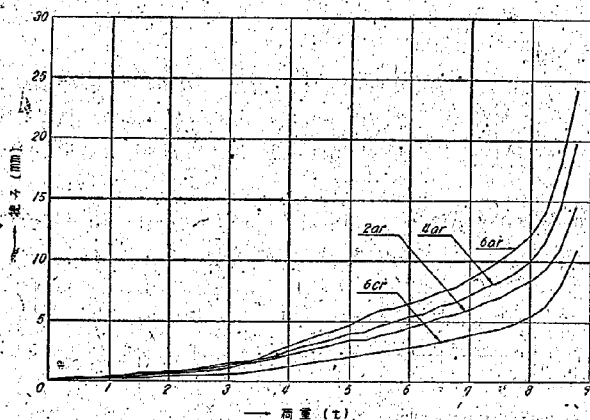
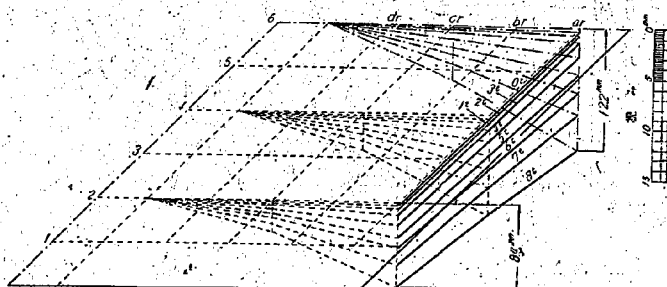


図-12 右側 $\frac{1}{4}$ 版の荷重 8t までの撓み



では大差ない値を示してゐる。

載荷重量 8.9 t に於ける撓みは 6 al で約 35 mm, 6 ar で約 30 mm であつた。

VII. 鉄筋の應力度

(1) 荷重 1 t による鉄筋の應力度

昭和16年1月27日(材高39日)より、荷重 1 t による鉄筋の歪の測定を開始した。1.5 t まで繰返して載荷し 2 月 2 日に測定を終了した。撓み測定のとときと同様に 0.25 t を増す毎に読みをとり、0.5 t のときと 1.5 t のときの差をとつて荷重 1 t による鉄筋の歪とし、之より $E_s=2,100,000 \text{ kg/cm}^2$ として應力度を算出した。

歪測定の結果は圖-13の如くであり、之より應力度を算出せる結果は圖-14の如くである。應力度の最大は、左側の版では 5 Al にて 115.5 kg/cm^2 、右側の版では 5 Ar にて 94.5 kg/cm^2 である。又左右の版の夫々對稱の點では略々大差なき値を示し、大體豫想される傾向を示してゐるが、稀にむしろ壓縮の應力度を示してゐる點もある。

(2) 破壊試験の際測定せる鉄筋の應力度

破壊試験の際、主な測點即ち左側の版では 5 Al, 7 Al 及び 9 Al, 右側の版では 5 Ar, 3 Ar 及び 1 Ar に於ける鉄筋の歪を測定し、之より應力度を求めた。その結果は圖-15の如くである。荷重 0.25 t を増す毎に読みをとつたが、測定器の目盛が小さいために、鉄筋の歪が一番大きい 5 Al, 5 Ar 點では荷重約 3.75 t まで、又歪が比較的少ない 9 Al, 1 Ar 點では約 4.5 t までしか読みをとることが出来なかつた。

荷重約 2.0 t までは鉄筋の應力は略々直線的な増加を示してゐるが、2.0 t 以後では應力の増加の割合が段々大きくなつてゐる。之は荷重約 2.0 t にて既にコンクリートに微細な、肉眼では認め難い龜裂

圖-13 荷重 1 t による鉄筋の伸び (単位 $\frac{1}{1000} \text{ mm}$)

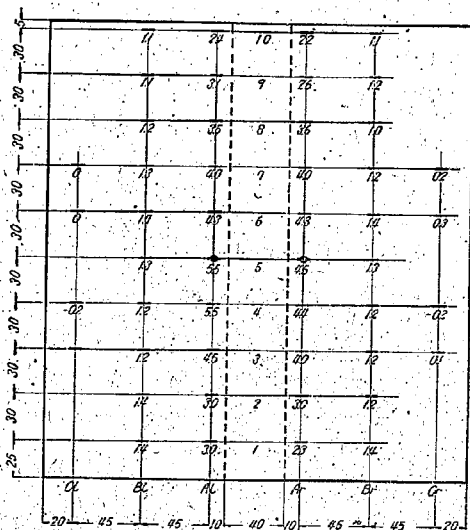


圖-14 荷重 1 t による鉄筋の應力度 (kg/cm^2)

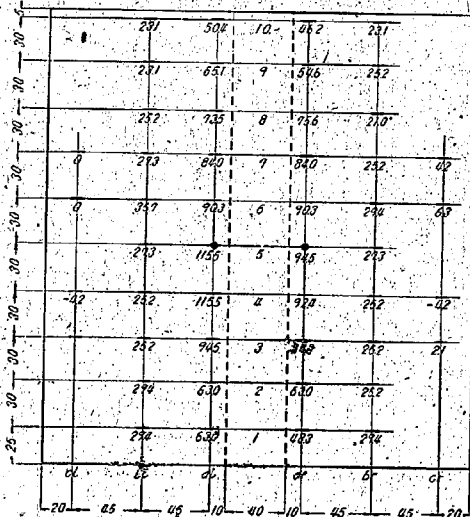
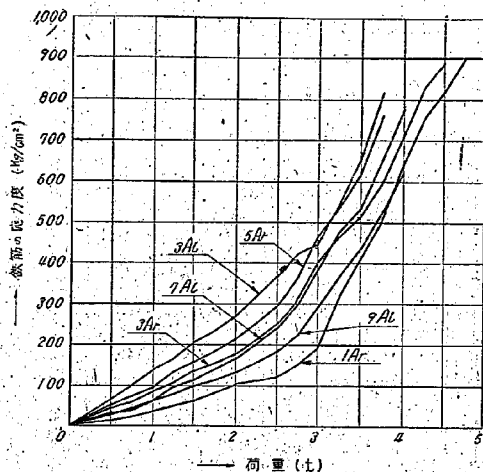


図-15 破壊試験の際測定せる鉄筋の應力度

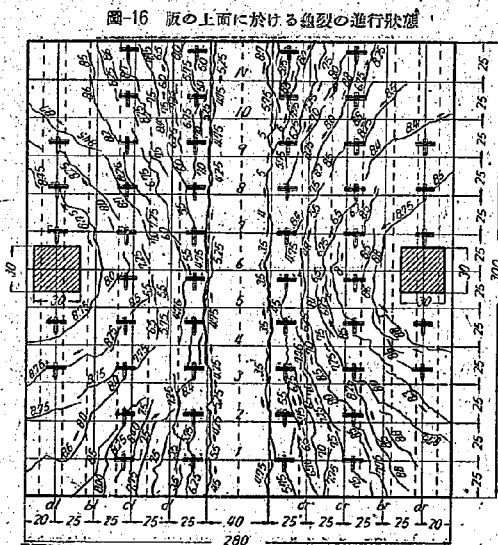


を生じ、そのために鉄筋が龜裂を生ずる前よりも大きな應力を負荷しなければならなくなつたと考へることが出来る（後に述べる計算の結果からみれば或はもつと以前に龜裂を生じてゐたと考へられる）。龜裂を肉眼で最初に認めたのは荷重 3.5 t のとき、5 AL 附近の版の上面に認めたのであるが、實はそれ以前に微細な龜裂が発生してゐたであらうことは容易に想像出来る。

荷重 2.0 t にて、5 AL では 270 kg/cm^2 、5 AL では 215 kg/cm^2 、7 AL では 170 kg/cm^2 、3 AL では 180 kg/cm^2 、9 AL では 135 kg/cm^2 、1 AL では 105 kg/cm^2 の應力度を示してゐる。

VIII. 版の破壊状態

昭和16年2月7日、材齢50日で破壊試験を行つた。右側の版では荷重 3.5 t で版の固定端附近上面に初龜裂を認め、左側の版では 4.25 t で初龜裂を認め、荷重 8.0 t で破壊状態に達し荷重の上昇が止つた。版の上面に於ける初龜裂発生より破壊に至るまでの龜裂進行状態は圖-16に見る如くである。版の固定端附近に發生した初龜裂は兩端に向つて進行し、之がある程度進行すると次の列の龜裂が生じ、それから又兩端に向つて延び、かくして圖に見る如く荷重を中心として同心狀に進行して行つた。龜裂の各列の發生は配力鉄筋に沿つて、又は鉄筋の査測定のために穿つておいた凹所より發生したものが多く、龜裂の幅については、最初に發生した基礎と版とのつぎ目附近の龜裂の幅が最大であるが、荷重 8.6 t で最大幅 1.5 mm、8.76 t で 2 mm、破壊荷重 8.9 t で約 4 mm であつた。



版の下面に於ては破壊に達するまで何ら龜裂は認めなかつた。

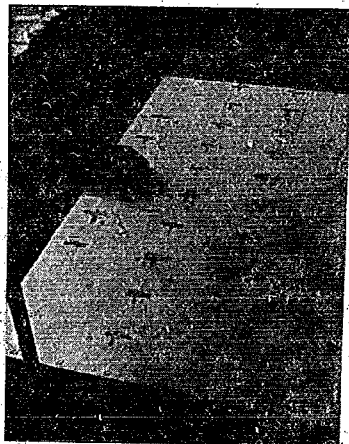
床版の構造が、1つのボンプによ

る涌路が分れて両方の版にかゝるのであるから、破壊荷重は夫々の版に就いては求められず、荷重 8.0 t で何れか一方の版が破壊状態に達し、殆んど同時に他方の版も破壊に達したと見るべきである。

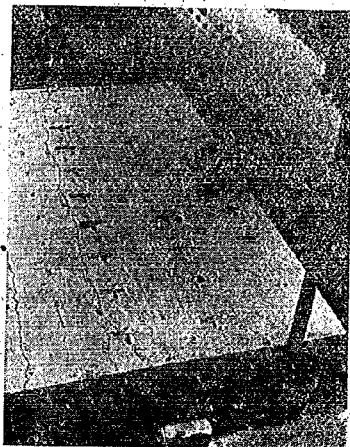
写真-5 は破壊試験終了後龜裂を墨汁でかいて撮影せるものであるが、細い線はよく表はれてゐない。

写真-5 破壊後の状態

(左側)



(右側)



尚、破壊試験の際測定せる撓みと鉄筋の應力については前述の通りである。

IV. 撓みと應力並びに之等に基く版の有効幅に関する考察

以上の試験結果より、撓みと應力並びに版の有効幅に関して、龜裂発生前の状態と、龜裂進行中の状態と、中立軸まで龜裂が進行せる後の状態とに分けて考察を加へてみる。

(1) 載荷 1 t の場合 (龜裂発生前の状態) に對する考察

先づ版の有効幅を設計の際使用した 1.825 m として、動荷重 1 t による版の撓みを計算してみる。

荷重 1 t の場合 $\sigma_c \approx 35 \text{ kg/cm}^2$ (静荷重及び動荷重による σ_c) と推定されるので、このときの B_c は試験の結果より平均して $B_c \approx 331,200 \text{ kg/cm}^2$ である。従つて $n = 6.84 \approx 6.5$ となる。

版の幅 1 m をとつて考へる (圖-17 参照)。

圖-17

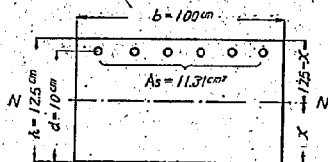
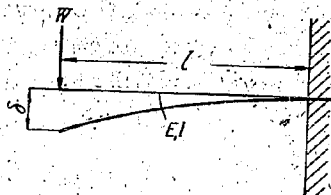


圖-18 撓み



$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\frac{1}{2}bl^2 + nA_s d}{bh + nA_s} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \times 100 \times 12.5^2 + 6.5 \times 11.31 \times 10}{100 \times 12.5 + 6.5 \times 11.31} \\
 &= 6.46 \text{ cm} \\
 &= 6.5 \text{ cm} \\
 I &= \frac{b}{3} [x^3 + (h-x)^3] + nA_s (d-x)^2 \\
 &= \frac{100}{3} [6.5^3 + (12.5-6.5)^3] + 6.5 \times 11.31 (10-6.5)^2 \\
 &= 17,255 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

撓みは次式により計算する。

$$\delta = \frac{1}{3} \frac{Wl^3}{EI} \quad (\text{図—18 参照})$$

$$\text{茲に } W = \frac{1,000}{1.825} = 548 \text{ kg}, l = 100 \text{ cm},$$

$$E = E_c = 831,200 \text{ kg/cm}^2, I = 17,255 \text{ cm}^4$$

故に動荷重 1t による撓みは

$$\delta = \frac{1}{3} \times \frac{548 \times 100^3}{831,200 \times 17,255} = 0.082 \text{ cm}$$

然るに實測の結果は $\delta = 0.041 \text{ cm}$ の撓みを示してゐる。

次に有効幅 1.825 m として動荷重 1t による應力度 $\sigma_c, \sigma_s, \sigma_a$ を計算してみる。

モーメントは

$$M = \frac{1000}{1.825} \times 100 = 54,800 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

故に

$$\sigma_c = \frac{M}{I} x = \frac{54,800}{17,255} \times 6.5 = 20.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = \sigma_c \frac{h-x}{x} = 20.6 \times \frac{12.5-6.5}{6.5} = 19.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = n\sigma_c \frac{d-x}{x} = 6.5 \times 20.6 \times \frac{10-6.5}{6.5} = 72.2 \text{ kg/cm}^2$$

σ_a の實測の結果は之よりも大きな値を示してゐる。

以上の如く撓みも鉄筋應力度も實測にもよるものゝ方が、有効幅 1.825 m として計算した値よりも大きな値を示してゐるのであるから、荷重 1t の場合には有効幅は 1.825 m よりも小さいと考へることが出来る。それで次に動荷重 1t による撓みを實測の結果より $\delta = 0.041 \text{ cm}$ と置いて、逆に I を出し之より有効幅 b (設計の場合には有効幅を e とした) を計算してみる。

$$\delta = \frac{1}{3} \frac{Wl^3}{EI} \quad \text{より} \quad I = \frac{1}{3} \frac{Wl^3}{\delta E}$$

$W = 1000 \text{ kg}, l = 100 \text{ cm}, E = E_c = 831,200 \text{ kg/cm}^2, \delta = 0.041 \text{ cm}$ を入れ、

$$I = \frac{1}{8} \times \frac{1000 \times 100^3}{0.041 \times 331,200} = 24,547 \text{ cm}^4$$

$$I = \frac{b}{8} \left[x^3 + (h-x)^3 \right] + n A_s (d-x)^2$$

$$A_s = \frac{b}{10} \times 1.131, x = 6.5 \text{ cm} \text{ なる故に}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{I}{\frac{1}{8} \left[x^3 + (h-x)^3 \right] + \frac{n}{10} \times 1.131 \times (d-x)^2} \\ &= \frac{24,547}{\frac{1}{8} \left[6.5^3 + (12.5-6.5)^3 \right] + \frac{6.5}{10} \times 1.131 \times (10-6.5)^2} \\ &= 132 \text{ cm} = 1.32 \text{ m} \end{aligned}$$

次に有効幅を 1.32 m として再び動荷重 1 t による應力度 σ_o , σ_{cl} , σ_s を計算してみる。

モーメント $M = \frac{1000}{1.32} \times 100 = 75800 \text{ kg} \cdot \text{cm}$

従つて $\sigma_o = 23.5 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{cl} = 26.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = 99.7 \text{ kg/cm}^2$$

實測による σ_s は 5 dl にて 115.5 kg/cm^2 , 5 dr にて 94.5 kg/cm^2 であり、上に求めた値と非常に接近してゐる。

以上の考察により、荷重 1 t の場合即ち未だコンクリートに亀裂が入らない前の状態に於ては、有効幅として實際には示方書案に規定されてゐる有効幅よりもかなり小さな幅で働いてゐると考へべきであることが結論される。

尚この場合の、動荷重及び静荷重全盛による應力を求めるときは次の如くである (圖-19 参照)。

静荷重によるモーメント (幅 1 m をとる)

$$p_d = 0.125 \times 1.00 \times 2,400 = 300 \text{ kg/m} = 3 \text{ kg/cm}$$

$$M_d = \frac{p_d l^2}{2} = \frac{3 \times 120^2}{2} = 21,600 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

動荷重によるモーメント (載荷用コンクリート塊の重量 40 kg によるモーメントも含めて計算する)

$$M_t = P \cdot l = \frac{1040}{1.32} \times 100 = 78,750 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

故に全モーメントは

$$\begin{aligned} M &= 21,600 + 78,750 \\ &= 100,350 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

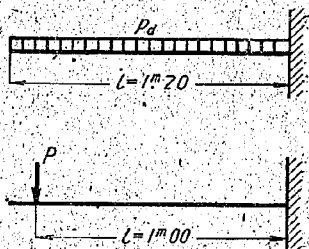
従つて

$$\sigma_o = 37.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{cl} = 34.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = 131 \text{ kg/cm}^2$$

圖-19



〔2〕 載荷 4t の場合 (龜裂進行中の状態) に對する考察

この場合には $\sigma_c \approx 130 \text{ kg/cm}^2$ (静荷重及び動荷重による σ_c) と推定されるから、このときの E_c は試験の結果より平均して $E_c \approx 202,800 \text{ kg/cm}^2$ である。従つて $n=10.36 \approx 10.5$ とする。

4t の場合には未だコンクリートに完全に龜裂が入つてゐないのであるが、その状態が分らないがコンクリートの引張應力を全然無視して考へると

$$x = \frac{nA_s}{b} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{nA_s}} \right] = \frac{10.5 \times 11.31}{100} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times 100 \times 10}{10.5 \times 11.31}} \right]$$

$$= 3.81 \text{ cm} \approx 3.8 \text{ cm}$$

$$I = \frac{bx^2}{2} \left(d - \frac{x}{3} \right) = \frac{100 \times 3.8^2}{2} \left(10 - \frac{3.8}{3} \right) = 6,303 \text{ cm}^4$$

有効幅を 1.825 m として動荷重 4t による撓みを求めると

$$W = \frac{4000}{1.825} = 2192 \text{ kg}, E_c = 202,800 \text{ kg/cm}^2,$$

$$I = 6303 \text{ cm}^4 \text{ なる故}$$

$$\delta = \frac{1}{3} \times \frac{2192 \times 100^3}{202,800 \times 6303} = 0.67 \text{ cm}$$

實測値は $6a$ で 0.20 cm, $6ar$ で 0.20 cm であり、上記の計算値は實測値の約 2 倍も大きな値を示してゐるが、之は實際に於ては上記計算に於て假定した様に完全には龜裂が入つてゐないことに因るのである。

δ の實測値 $\delta = 2.9 \text{ mm} = 0.29 \text{ cm}$ において之より逆に I を求めてみると

$$I = \frac{1}{3} \times \frac{4000 \times 100^3}{0.29 \times 202,800} = 22,671 \text{ cm}^4$$

x の値は荷重 1t の場合に 6.5 cm, 8t の場合に 4.3 cm であるから、4t の場合には $x \approx 5.0 \text{ cm}$ と假定すると

$$\sigma_c = \frac{M}{I} x = \frac{4000 \times 100}{22,671} \times 5.0 = 88.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = n \sigma_c \frac{d-x}{x} = 10.5 \times 88.2 \times \frac{10-5}{5} = 917 \text{ kg/cm}^2$$

となり、この様に考へると σ_s の實測値と大體に於て合致するが、之から有効幅 b に就いて云々することは出来ない。

〔3〕 載荷 8t の場合 (中立軸まで龜裂が進行せる後の状態) に對する考察

破壊荷重は 8.9t であるが、約 8t で撓みが急激に増大してゐるので、破壊荷重を考へる前に荷重 8t の場合に就いて考へてみる。この場合は既に破壊に近いのであるから、試験の結果より $E_c \approx 150,000 \text{ kg/cm}^2$ と推定されるので $n=14$ とする。中立軸まで完全に龜裂が入つてゐるからコンクリートの引張應力は全然無視する。然るときは

$$x = \frac{nA_s}{b} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{nA_s}} \right]$$

$$= \frac{14 \times 11.31}{100} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times 100 \times 10}{14 \times 11.31}} \right] = 4.26 \text{ cm} \approx 4.3 \text{ cm}$$

従つて

$$I = \frac{bx^2}{2} \left(d - \frac{x}{3} \right) = \frac{100 \times 4.3^2}{2} \left(10 - \frac{4.3}{3} \right) = 7,927 \text{ cm}^4$$

有効幅 1.825 m として動荷重 8 t による撓みを計算してみると

$$IV = \frac{8000}{1.825} = 4,384 \text{ kg}, \quad E = E_c = 150,000 \text{ kg/cm}^2, \quad I = 7,927 \text{ cm}^4$$

なる故

$$\delta = \frac{1}{9} \times \frac{4384 \times 100^3}{150,000 \times 7,927} = 1.23 \text{ cm}$$

撓みの實測値は 6a で 1.36 cm, 6a' で 1.22 cm であり, 上記の計算値は實測値と非常に接近した値を與へてゐる。

次に同じく有効幅を 1.825 m として静動荷重全體による應力度 σ_c , σ_s を求める。

無荷重によるモーメント

$$M_d = 21,600 \text{ kg-cm}$$

動荷重によるモーメント (載荷用コンクリート塊の重量 40 kg によるモーメントも含めて計算する)

$$M_l = P \cdot l = \frac{8040}{1.825} \times 100 = 440,500 \text{ kg-cm}$$

故に全モーメントは

$$M = 21,600 + 440,500 = 462,100 \text{ kg-cm}$$

従つて之より

$$\sigma_c = \frac{M}{I} \cdot \frac{d}{2} = \frac{462,100}{7,927} \times 4.3 = 251 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = n \sigma_c \cdot \frac{d - \frac{d}{2}}{\frac{d}{2}} = 14 \times 251 \times \frac{10 - 4.3}{4.3} = 4,653 \text{ kg/cm}^2$$

この値はコンクリートの可塑性性を考へれば大體豫想される値である。

以上より, 載荷 8 t 附近では示方書案に示されてゐる有効幅の假定が, 實際とよく合致することが判る。

次に載荷 8 t の場合の鉄筋とコンクリートとの附着應力度に就いて調べてみる。

附着應力度

$$\tau_0 = \frac{S}{U_z}$$

$$S = 4,384 + \frac{40}{1.825} + 380 = 4,766 \text{ kg}$$

$$U = 37.7 \text{ cm}$$

$$z = d - \frac{z}{3} = 10 - \frac{4.3}{3} = 8.6 \text{ cm}$$

従つて

$$\tau_0 = \frac{4,766}{37.7 \times 8.6} = 14.8 \text{ kg/cm}^2$$

附着強度は試験の結果, 41.8 kg/cm² であるからまだまだ十分である。従つて版の破壊は, 壓縮によるコンクリートの破壊か, 引張による鉄筋の降伏によつて生じたことを知ることが出来る。

[4] 破壊荷重 8.9 t の場合に對する考察

破壊の場合の静荷重動荷重全體による σ_c と σ_s を計算してみると次の様になる。

$$M = \frac{8940}{1.825} \times 100 + 21,600 = 511,500 \text{ kg-cm}$$

従つて

$$\sigma_c = \frac{511,500}{7,927} \times 4.3 = 273 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s = 5,151 \text{ kg/cm}^2$$

非常に大きな値を示してゐるが、この状態では相當に可塑的な状態に入つてゐるので、普通の弾性的な假定のもとに算出した値がこの機に大きく出て来るのである。

(5) 有効幅に関する考察

以上3つの状態に分けて撓みと應力に就いて考察を加へたが、之より有効幅に関する考察をまとめるときは次の如くなる。

即ち、荷重の小さい間は、有効幅は示方書案に示されてゐる假定よりも實際には小さいが、設計の基準になるべき破壊に近い状態に於ては、假定せる有効幅は實際的に妥當なものであると云ふことが出来る。その中間の状態に於てはコンクリート内部の龜裂の進行状態が明かでないために、有効幅に就いて云々することは出来ない。

X. 要 約

鋼道路橋設計示方書案に準據し、集中荷重 2t に對して設計せる、全厚 12.5 cm、幅 3.0 m、張出し長さ 1.2 m の鉄筋コンクリート片持版に關して材齢50日で載荷試験を行い、版の撓みと鉄筋應力度を測定し、破壊状況を觀察せる結果を要約すれば次の如くである。

1. 破壊荷重は 8.9 t で設計荷重 2 t の約 4.5 倍であり、撓みの急激に増加するときの荷重は 8.0 t で、設計荷重 2 t に對し 4 倍の安全率を有してゐる。従つて鋼道路橋設計示方書案に準據して設計せる本供試片持版は設計荷重に對して十分なる安全率を有する。
2. 版の撓みと應力と破壊状況より有効幅に關し考察すれば、荷重の小さな間即ちコンクリートに未だ龜裂の生じない前の状態に於ては、有効幅は鋼道路橋設計示方書案に示されてゐる假定よりも實際には小さいが、設計の基準となるべき破壊に近い状態に於ては、示方書案に假定せる有効幅は實際に妥當なものであると云ふことが出来る。即ち鉄筋コンクリート片持版の設計に當つては、示方書案に示されてゐる有効幅によつて設計してよいことが明らかになつた。
3. 撓みは荷重 2 t ~ 2.5 t までは荷重の増加に對して略々直線的關係で増加してゐるが、その後は増加の割合が漸次大となる傾向を示し、荷重約 8.0 t で撓みは急激に増加した。荷重 8.0 t のとき 6 al では 13.6 mm、6 ar では 12.2 mm の撓みを生じ、破壊荷重 8.9 t に於ける撓みは 6 al で約 35 mm、6 ar で約 30 mm であつた。尙測定せる撓みは動荷重のみによるものである。
4. 動荷重のみによる鉄筋應力度は、荷重約 2 t までは略々直線的増加を示してゐるが、その後は應力の増加の割合が段々大きくなつてゐる。尚、鉄筋應力度は測定器の目盛が少いために途中までしか測けなかつた。
5. 撓みも鉄筋應力度も荷重約 2 t までは略々直線的増加を示したのであるから、版全體を考へれば設計荷重までは殆んど弾性體に近いものと考へてよいことになる。
6. 撓みも鉄筋應力度も荷重約 2 t 以後に直線的關係が次第に破れたのは、このとき既に引張側のコンクリートに肉眼では認め難い毛狀の龜裂を生じ、そのためにコンクリートの引張強度が役立たなくなり従つて撓みの増加の割合が大となり、又鉄筋は龜裂發生前よりも大なる應力を負擔しなけりなかつたかと考へられる。計算によれば荷重 2 t 以前に既に龜裂は入つてゐたものと考へられる。
7. 龜裂を最初に肉眼で認めたのは、左側の版では荷重 3.5 t で版の固定端附近上面に、右側の版では 4.25 t で左側と略々對稱の位置に認めた。版の固定端附近に發生した初龜裂は兩側に向つて進行し、之がある程度進行

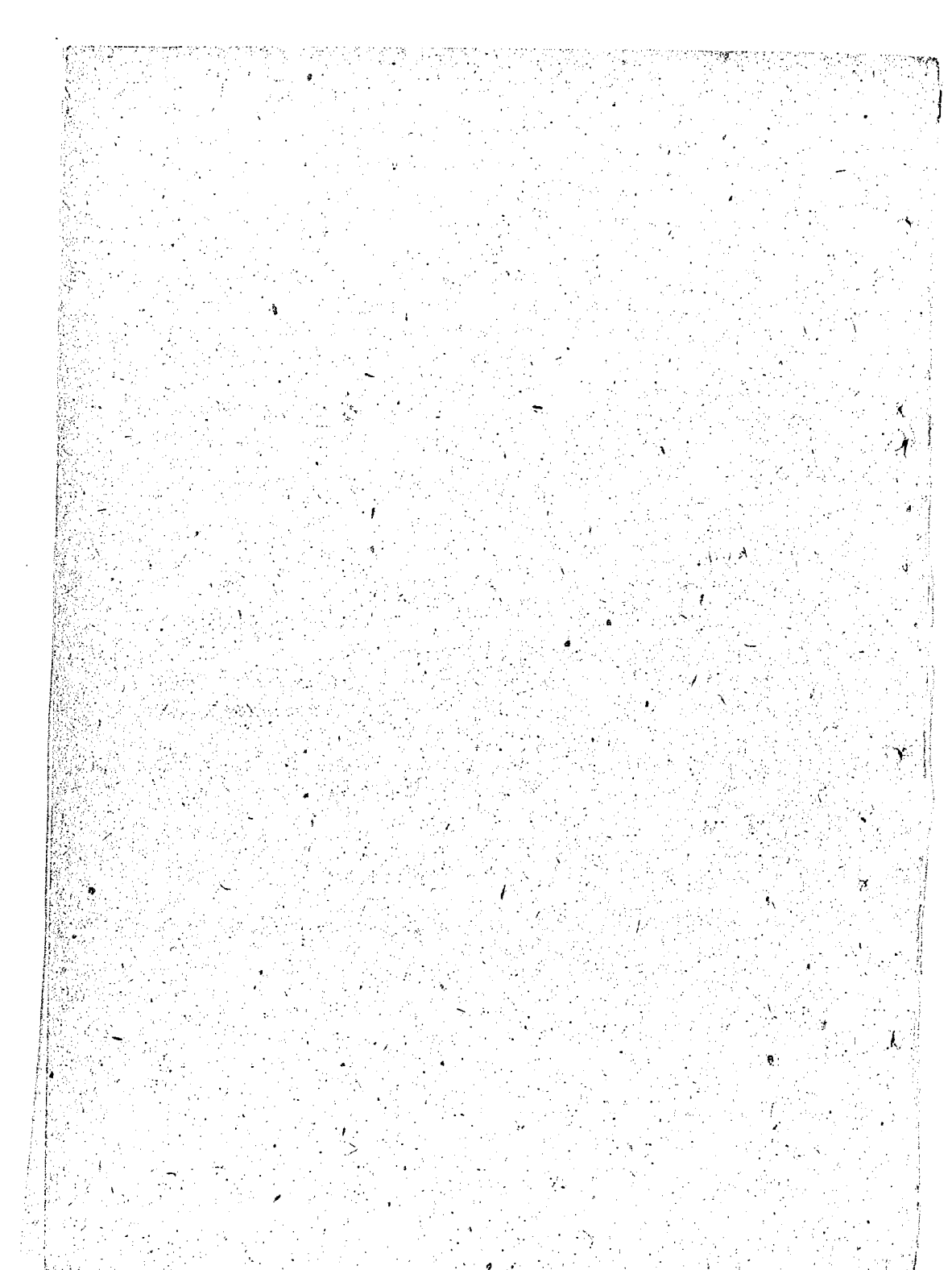
すると次の列の龜裂を生じ、それが両側に向つて延び、かくして荷重を中心として同心狀に進行して行つた。龜裂の幅の最大は、破壊荷重 8.9 t で約 4 mm であつた。

版の下面には破壊に達するまで何ら龜裂を認めなかつた。

8. 荷重 8.9 t で破壊に達したが、破壊は基礎によるコンクリートの破壊か、引張による鉄筋の降伏によつて生じたものであつて（尤もその何れによるものであるか、又何れも同時に破壊點に達したものであるかは判然しない）、鉄筋とコンクリートとの附着が破れたことによるものではない。

但し茲に注意すべきは、床版試験機の構造が、1 つのポンプによる油壓が分れて兩方の版にかゝるのであるから、破壊荷重は夫々の版については求められず、荷重 8.9 t で何れか一方の版が破壊しそれと同時に他方の版も破壊に達したと見るべきである。

9. 試験に供した片持版には、片持版の諸性質を明瞭に知るためにハンチをつけなかつたが、實際の構造物ではハンチをつける。ハンチの影響に関しては試験を行はなかつたが、ハンチによつて版の安全度はいくらか増すものと考へられる。



溢流係数に関する模型實驗 (追報)

内務技師 佐藤 清 一
囑託 山本 弘 之

まへがき

前に溢流係数に関する模型實驗の結果を發表したが、其の後之の補足として

- (1) 橋脚の形による C の變化
- (2) 橋脚の先端位置による C の變化

について引續き實驗的に研究を行った。之の研究中務常者たる山本囑託が應召されたので佐藤技師が之を經めたものである。

目 次

- [1] 標準溢流水深を考慮に入れた溢流係数の式..... (1)
- [2] 橋脚の形による C の變化..... (2)
- [3] 橋脚の先端位置による C の變化..... (2)

[1] 標準溢流水深を考慮に入れた溢流係数の式

前報告に於ては委員會側より提出されたる 圖-6 の如き一標準型に就てその溢流係数を模型實驗に依り求めた。此の堤頂形は標準溢流深を 8 m とせる故、その他の標準溢流水深に對しても適用可能なる様溢流係数の式を改竄しておかなければならない。

即ち前報告に於ける堤頂形は溢流水深 8 m を標準とせる故、之以外の標準溢流水深に對しては、同一較度に於て各溢流水深について同一溢流係数を得んためには、堤頂の形は直線的に縮小又は擴大さるべきで、例へば堤頂下流面の曲線

$$x^2 = 20.48 y$$

の如きも、 H_s を以て標準溢流水深とするならば上式右邊に $H_s/8$ を乘じて

$$x^2 = 2.56 H_s y \quad \dots\dots\dots (1)$$

としておかねばならない。即ち例へば 6 m を以て標準溢流水深とするならば堤頂下流面の曲線は $H_s = 6$ m. として

$$x^2 = 15.36 y$$

となる。

此の様に於て C の式も一般の標準溢流水深 H_s に對して書き直して置かねばならない。之は次の如くに表はされる。

$$C = 1.64 + \left[0.056 + 0.416 \left(\frac{B}{B+b} \right) \right] \frac{H}{H_s}$$

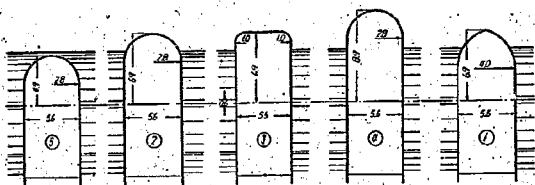
$$\text{但し} \quad \frac{1}{6} < \frac{H}{H_s} < \frac{5}{4}$$

H, H_0, B, b の単位は米

〔2〕橋脚の形による C の変化

前報告は、図-23、①の如き2つの圆弧と尖頂を有する橋脚についてのみの研究であつた。之に對し今回は此

圖-23 前實驗及び今度の實驗に使用せる橋脚の形とその位置



の形を一つの半圓にせる場合(圖-23、②)、及び矩形にして角を落した場合(圖-23、③)につき C の變化を調べる事にした。それには之等の型3種の中後の2種につき各 $\frac{B}{B+b}$ 、各 H について實驗を行へば完璧であるが、特に橋脚の形状のみの影響を調べるといふ見地より、絞度=0.775

の場合に就てのみ C と H との關係を實驗により研究した。従つて他の絞度の場合には之によりて類推しなければならない。

斯くて求められた C と H とに関する實驗結果は圖-24の如くである。圖中白點は橋脚型-1のものであり、×は橋脚型-2のものである。之によれば之等兩型に就ては何等差異が認められない。

結局、橋脚の形は①の如き尖圓とするも、又②の如き半圓とするも、橋脚形状が此の程度である限り又橋脚の先端位置を變へざる限り溢流係數には何等影響を及ぼすものではないと、斷じて宜しい。

因に之等兩實驗を最小自乗法により比較すれば次の如くである。

$$\text{尖圓 (型-1)} \quad C = 1.644 + 0.0485 H$$

$$\text{半圓 (型-1)} \quad C = 1.645 + 0.0480 H \quad (\text{表-10})$$

次に型-3、即ち角を落した矩型橋脚に就て見れば圖-24破線の如くである。之に依つて見れば溢流水深の小なる間は前2者に比して却て溢流状態良く、溢流水深の大なるに及んで悪くなる傾向がある。

之に就ての観測點は附圖-6の如く、圖-24にはまぎらはしくないので入れないで置いた。此の場合の C の式は

$$C = 1.680 + 0.0425 H$$

となつた。(表-11)。

〔3〕橋脚の先端位置による C の變化

次に橋脚の先端位置を變へた場合の C の變化について調べてみた。

橋脚の先端形状は圖-23、5、2、4に示す如く半圓形とし、其の位置は圖-25の如くに變へた。之を便宜上型

圖-24 型1,2,3に對する C と H の關係

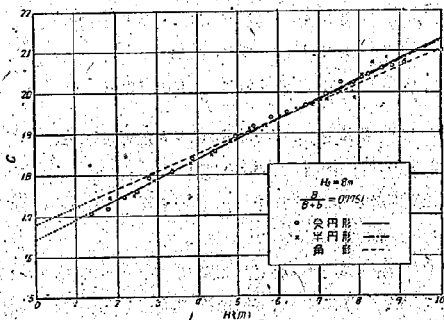


表-10

No.	H (m)	Q (m ³ /sec)	$v = Q/A$ (m/sec)	$h_a = v^2/2g$ (m)	$(H+h_a)^{3/2} - h_a^{3/2}$	C
1	0.0865	0.0004	0.02087	0.000 023	0.006 9796	1.7446
2	0.0482	0.0143	0.03141	0.000 051	0.010 5988	1.7478
3	0.0580	0.0193	0.04193	0.000 090	0.013 9998	1.7858
4	0.0470	0.0243	0.05222	0.000 140	0.017 3950	1.8096
5	0.0766	0.0300	0.06369	0.000 207	0.021 2334	1.8259
6	0.0372	0.0369	0.07721	0.000 304	0.025 8794	1.8470
7	0.0667	0.0439	0.09053	0.000 419	0.030 2572	1.8794
8	0.1060	0.0513	0.10420	0.000 554	0.034 7090	1.9112
9	0.1141	0.0575	0.11535	0.000 679	0.038 8683	1.9163
10	0.1208	0.0635	0.12587	0.000 808	0.042 8847	1.9407
11	0.1284	0.0703	0.13750	0.000 965	0.046 4990	1.9584
12	0.1365	0.0775	0.14947	0.001 140	0.051 0257	1.9674
13	0.1488	0.0845	0.16080	0.001 319	0.055 2346	1.9817
14	0.1505	0.0914	0.17168	0.001 504	0.059 2044	1.9998
15	0.1576	0.0973	0.18076	0.001 667	0.063 4926	1.9851
16	0.1614	0.1038	0.19053	0.001 852	0.065 8815	2.0409
17	0.1670	0.1112	0.20138	0.002 070	0.069 4237	2.0748
18	0.1740	0.1188	0.21222	0.002 298	0.073 9135	2.0820
19	0.1828	0.1276	0.22442	0.002 570	0.079 6797	2.0744

$$C = 1.644 893 + 0.0480 70 H$$

図-25

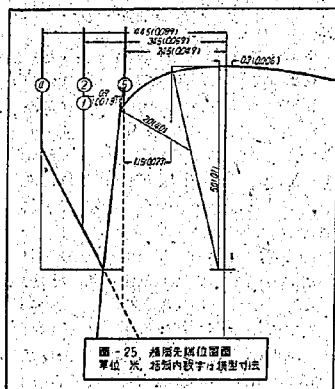
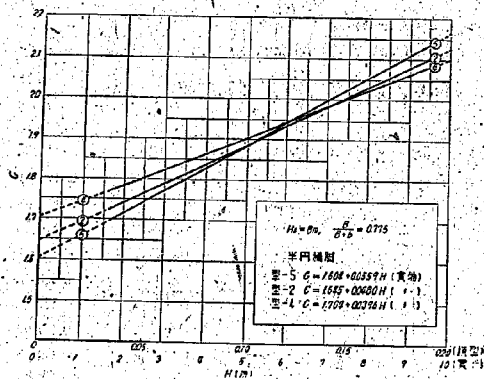


図-26



-5, 型-2, 型-4 と呼ぶ事とする。

之等3者について, 前と同様 $\frac{B}{B+b} = 0.775$ の場合について C と H の関係を實驗により求めれば次の如くなる。

$$\text{型-5 } C = 1.604 + 0.0559 H \quad (\text{附圖-10, 表-13})$$

表-11

No.	H	Q	$v=Q/A$	$h_a=v^2/2g$	$(H+h_a)^{3/2}-h_a^{3/2}$	C
1	0.0398	0.0107	0.02225	0.000 025	0.007 9574	1.7418
2	0.0505	0.0156	0.03174	0.000 051	0.011 3655	1.7779
3	0.0602	0.0207	0.04130	0.000 087	0.014 8017	1.8115
4	0.0686	0.0235	0.05004	0.000 128	0.018 0162	1.8334
5	0.0772	0.0306	0.05905	0.000 178	0.021 5217	1.8417
6	0.0867	0.0370	0.07012	0.000 251	0.025 6356	1.8696
7	0.0953	0.0432	0.08055	0.000 331	0.029 5671	1.8926
8	0.1034	0.0493	0.09056	0.000 418	0.033 4423	1.9095
9	0.1110	0.0550	0.09964	0.000 506	0.037 2236	1.9139
10	0.1178	0.0610	0.10916	0.000 603	0.040 7206	1.9400
11	0.1250	0.0672	0.11873	0.000 719	0.044 5568	1.9536
12	0.1328	0.0743	0.12949	0.000 855	0.048 8379	1.9707
13	0.1414	0.0817	0.14028	0.001 004	0.053 7063	1.9705
14	0.1481	0.0884	0.15006	0.001 149	0.057 6199	1.9873
15	0.1545	0.0954	0.16020	0.001 309	0.061 4548	2.0108
16	0.1626	0.1036	0.17163	0.001 503	0.066 4192	2.0205
17	0.1708	0.1127	0.18421	0.001 731	0.071 5921	2.0132
18	0.1773	0.1216	0.19637	0.001 973	0.075 8178	2.0775
19	0.1865	0.1306	0.20813	0.002 210	0.081 5732	2.0663

$$C=1.6795+0.042\ 466\ H$$

表-12

No.	H	Q	$v=Q/A$	$h_a=v^2/2g$	$(H+h_a)^{3/2}-h_a^{3/2}$	C
1	0.0506	0.0156	0.03173	0.000 051	0.011 391	1.7740
2	0.0600	0.0206	0.04112	0.000 086	0.014 729	1.8117
3	0.0686	0.0255	0.05004	0.000 128	0.018 016	1.8334
4	0.0767	0.0306	0.05911	0.000 178	0.021 314	1.8597
5	0.0867	0.0373	0.07068	0.000 255	0.025 637	1.8846
6	0.0953	0.0439	0.08186	0.000 342	0.029 572	1.9230
7	0.1040	0.0501	0.09193	0.000 431	0.033 789	1.9235
8	0.1118	0.0563	0.10185	0.000 529	0.037 636	1.9377
9	0.1208	0.0635	0.11303	0.000 652	0.042 309	1.9441
10	0.1280	0.0706	0.12408	0.000 785	0.046 195	1.9797
11	0.1360	0.0770	0.13345	0.000 909	0.050 630	1.9700
12	0.1445	0.0840	0.14347	0.001 050	0.055 495	1.9807
13	0.1498	0.0908	0.15369	0.001 205	0.058 638	2.0058
14	0.1570	0.0980	0.16398	0.001 370	0.062 974	2.0168
15	0.1639	0.1052	0.17391	0.001 543	0.067 233	2.0268
16	0.1703	0.1122	0.18339	0.001 716	0.071 583	2.0303
17	0.1765	0.1181	0.19239	0.001 838	0.075 232	2.0447
18	0.1843	0.1285	0.20550	0.002 155	0.080 412	2.0700

$$C=1.7035\ 70+0.039\ 641\ H$$

表-13

No.	H	Q	$v=Q/A$	$h_a=v^2/2g$	$\{H+h_a\}^{\frac{3}{2}}-h_a^{\frac{3}{2}}$	C
1	0.0254	0.0052	0.01115	0.000006	0.004050	1.6333
2	0.0387	0.0100	0.02085	0.000022	0.007607	1.7029
3	0.0497	0.0150	0.03057	0.000048	0.011085	1.7512
4	0.0596	0.0199	0.03975	0.000081	0.014579	1.7681
5	0.0684	0.0248	0.04868	0.000121	0.017935	1.7911
6	0.0767	0.0299	0.05778	0.000170	0.021310	1.8174
7	0.0857	0.0359	0.06816	0.000237	0.025189	1.8462
8	0.0954	0.0431	0.08035	0.000329	0.029613	1.8853
9	0.1084	0.0493	0.09056	0.000418	0.034443	1.9095
10	0.1112	0.0552	0.09996	0.000510	0.037325	1.9157
11	0.1184	0.0614	0.10976	0.000615	0.041043	1.9378
12	0.1253	0.0674	0.11902	0.000723	0.044718	1.9523
13	0.1332	0.0747	0.13009	0.000863	0.049061	1.9723
14	0.1412	0.0832	0.14291	0.001042	0.053613	2.0102
15	0.1478	0.0897	0.15234	0.001184	0.057455	2.0220
16	0.1546	0.0967	0.16236	0.001345	0.061533	2.0356
17	0.1613	0.1043	0.17317	0.001530	0.065846	2.0581
18	0.1676	0.1110	0.18239	0.001697	0.069589	2.0662
19	0.1744	0.1193	0.19386	0.001917	0.073971	2.0891
20	0.1828	0.1288	0.20643	0.002175	0.079454	2.0998

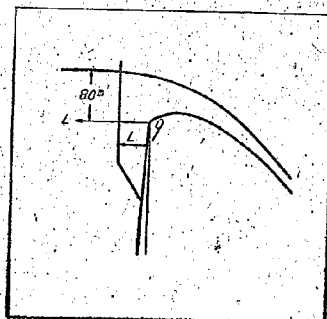
 型-2 $Q=1.645+0.0480 H$ (附圖-4, 表-10)

 型-4 $Q=1.704+0.0396 H$ (附圖-8, 表-12)

此の關係を圖に示せば 圖-26 の如く、橋脚先端が上流側に流れ出る程、標準溢流水深の約 3/4 の溢流水深を略々限界として、之より大なる溢流水深に對しては C は増加し、之より大なる溢流水深に對しては減少する傾向がある。

之を更に溢流係数實驗式の係数について數字的に調べてみるに次の如くである。

圖-27



前に C の H に関する一次の表示式として用ひられた

$$C=Y+XH$$

に於て、標準溢流水深 H_0 を導入して

$$C=Y+Z\frac{H}{H_0}$$

と書き直せば、

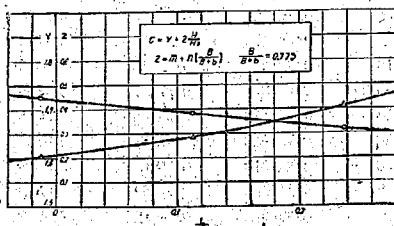
$$Z=8X$$

である。之に對し 圖-27 に示す如き橋脚先端の位置を表す長さ L を標準溢流水深 3m にて除したる値について關係を求めれば 圖-28 の如くである。

即ち溢流係数 C の H に對する直線式の傾きは、橋脚先端位置の前方に出るに従つて直線的に減少する。而して此の式の $H=0$ に對する常数は略々直線的に増加する。

橋脚位置 番 號	L (貨物) (m)	$\frac{L}{s}$	$C = Y + XH$	Y	X	$Z = 8X$
5	-0.1	-0.0125	$C = 1.604 + 0.0559H$	1.604	0.0559	0.447
2	0.9	0.1125	$C = 1.645 + 0.0480H$	1.645	0.0480	0.384
4	1.9	0.2375	$C = 1.704 + 0.0396H$	1.704	0.0396	0.317

圖-28



即ち云ひ換へれば溢流の状態は橋脚先端位置を上流方向に出せば溢流水深の小なる時は良好であるけれども、標準溢流水深の約 $\frac{1}{4}$ の溢流水深を限界として之より溢流水深が増加するに従つて不良となる。

その割合は、此の與へられた堤頂形について、

$$\frac{B}{B+b} = 0.775$$

の場合に對しては、

$$H < \frac{3}{4} H_s \text{ なる時は } \frac{H}{H_s} = \frac{1}{4} \text{ にて } C_5 = 0.975 C_2$$

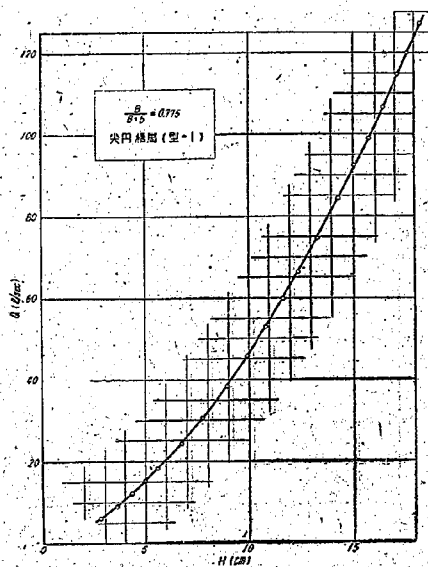
$$C_4 = 1.027 C_2$$

$$H > \frac{3}{4} H_s \text{ なる時は } \frac{H}{H_s} = \frac{5}{4} \text{ にて } C_6 = 1.018 C_2$$

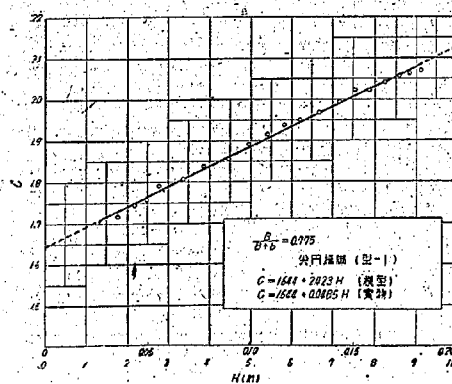
$$C_4 = 0.988 C_2$$

となり、 C_5 即ち前報告に於て研究せる橋脚の標準位置に對する溢流係數に比して、最大に於て $\pm 2\%$ 又は 3% の差がある事が認められる。

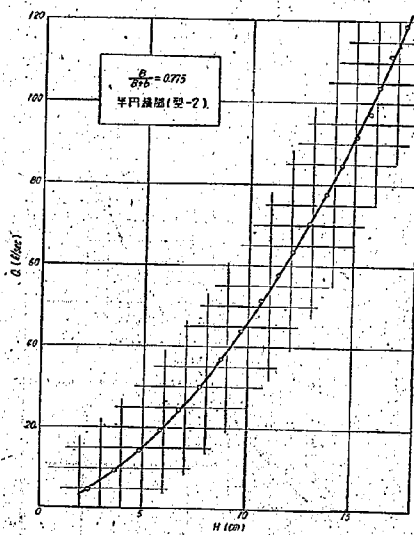
附 圖-1



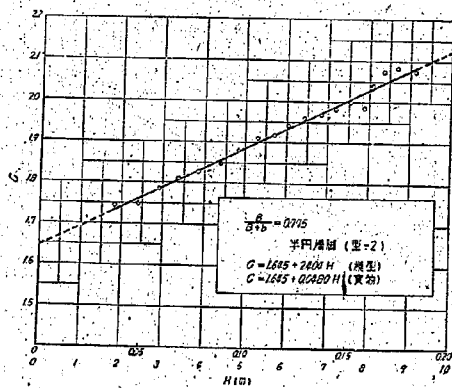
附 圖-2



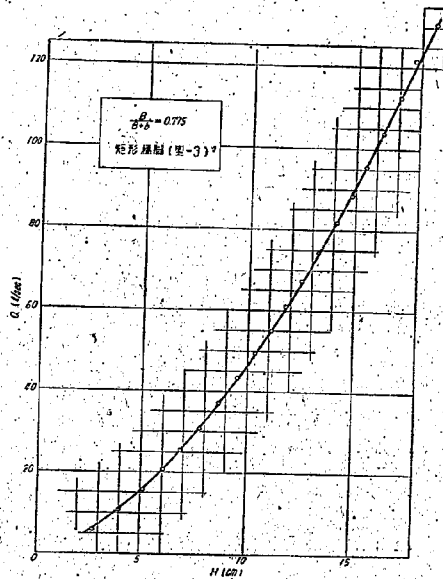
附圖-3



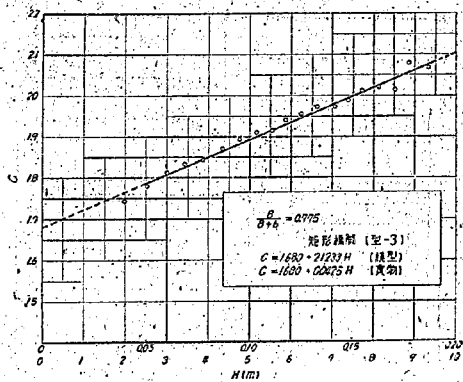
附圖-4



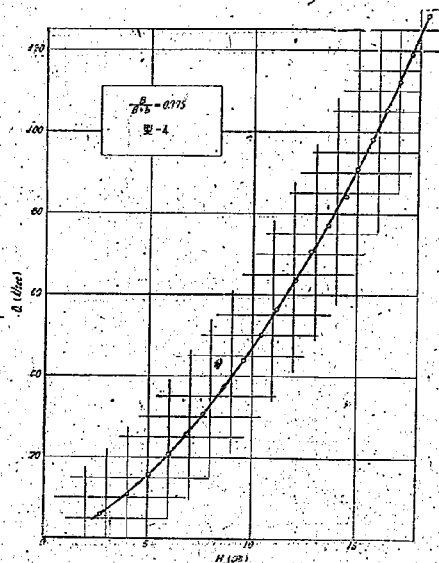
附 図-5



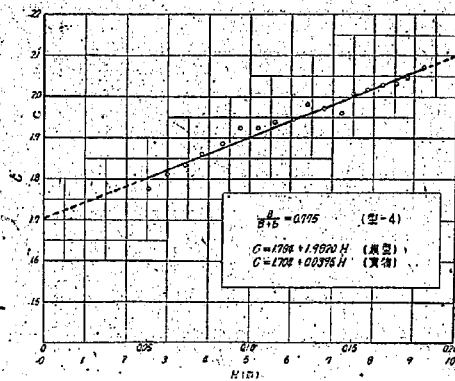
附 図-6



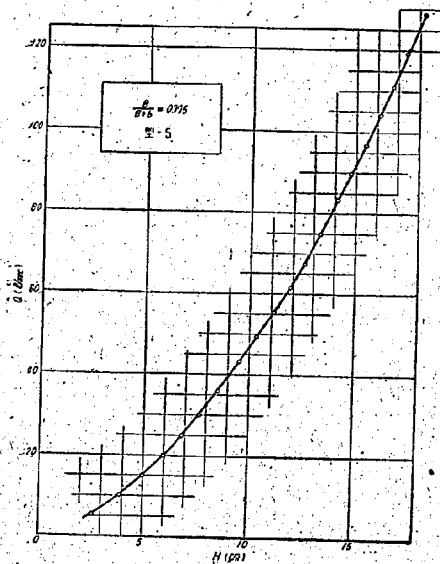
附圖 7



附圖 8



附 図-9



附 図-10

