



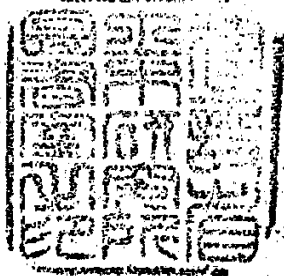
土木試験所報告

第三十六號

昭和十一年 第四冊

瀝青透入マカダムに関する試験(第2報)	山田 元 船山晴雄
熔接鉄桁突縁鉄鋼合接手の接合角度に就て	青木楠男
大阪港附近の津浪の災害軽減に関する模型試験	松尾春雄
道路舗装用瀝青乳剤の性状に関する基本的研究(第5報)	島田八郎

1936 — XI



内務省土木試験所

正 誤 表

頁	行又は欄	誤	正
序言	上より13行	波	浪
27	" 3行	谷	1
57	" 10行	27%	37%
64	第24表中	試験片	試験片
79	上より5行	80%	平均75%
79	" 5行	26%	33%
136	" 13行	$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -F$	$\frac{\partial \rho}{\partial t} =$
148	" 13行	大で	小で

土木試験所報告

第三十六號

序 言

本報告は「瀝青透入マカダムに関する試験(第2報)」「熔接鋸桁突縁鋸銜合 接手の接合角度に就て」「大阪港附近の津浪の災害軽減に関する模型試験」「道路舗装用瀝青乳劑の性狀に関する基本的研究(第5報)」等を輯録せるものである。

瀝青透入マカダムに関する試験(第2報) は龔に報告せる第1報に引續き施行せる試験結果により、基礎層、層厚、工法、骨材の寸法及び材質、アスファルト 透入量等を異にせる數種のアスファルト 透入マカダム舗装に就き耐力を比較し、其優劣を明かにし、以て斯種工法の改良に資せむとするものである。

熔接鋸桁突縁鋸銜合接手の接合角度に就て は接合角度の變化に伴ふ接手強度の増減並に主應力の分布狀況を同厚鋸並に異厚鋸3種の接手工法に就きて實驗し、これ等の優劣を論じたものである。

大阪港附近の津浪の災害軽減に関する模型試験 は大阪港附近の在來及び新計畫防波堤の由良海峡より灣内に侵入する地震及び暴風による津波に對する災害軽減の効果及び此等防波堤の配置並に構造上注意すべき事項等に関し、3種類の縮尺の異つた模型に就て試験を行ひ、尙灣内及び沿岸各地の波の變形の狀態をも觀測したものである。

道路舗装用瀝青乳劑の性狀に関する基本的研究(第5報) は各種の實用上重要なる特性を定むる瀝青物質分散粒子の最も基本的なる負電荷を實驗的に明かにせん爲、電場内に於ける乳劑瀝青粒子の易動度を測定し、實驗方法に関し詳細なる考察をなし、從來理論上假說的に取扱はれし負電位を實測値より明かにし、以て乳劑分散度との關係を立證し、組織的性狀と實用上の性狀とが密接なる關係を有することを明かにしたものである。

昭和十一年十一月

内務省土木試験所長 内務技師 物 部 長 穂

目 次

瀝青透入マカダムに関する試験（第2報）	1
---------------------------	---

内務技師 山 田 元

内務技手 船 山 晴 雄

熔接鋸桁突縁鋸衝合接手の接合角度に就て	13
---------------------------	----

内務技師 青 木 楠 男

大阪港附近の津浪の災害軽減に関する模型試験	81
-----------------------------	----

内務技師 松 尾 春 雄

道路舗装用瀝青乳剤の性状に関する基本的研究（第5報）	119
----------------------------------	-----

内務技師 島 田 八 郎

瀝青透入マカダムに関する試験(第2報)

内務技師 山 田 元

内務技手 船 山 晴 雄

目 次

I 緒 言	(1)
II 試験の経過及結果	(2)
III 要 約	(8)

I. 緒 言

アスファルト透入マカダム舗装の内、斜度 75 度のアスファルトを用ひ、基礎、層厚、骨材の寸法・材質及工法等を異にせるもの 13 種、タール混合マカダム 2 種等に對し、甲種道路試験機を用ひて試験し、通過荷重最大 8,470 吨、相當交通量最大 302,664 吨に達する迄の経過及結果は本所報告第二十七號「瀝青透入マカダムに関する試験(第1報)」に報告したが、之等各種の内砂利道を基礎とせるもの 3 種を除いては未だ破壊せず、從つて該報告に於ては其優劣に就ては略之を明かにするを得たが、其耐力及破壊に至るまでの経過等に就ては未だ之を詳にするを得なかつた。本報告は該試験を更に續行して斯種舗装が基礎の支持力の缺陷に因るに非ずして、表層自身其耐力を喪失することに因つて破壊するものを生ずるに至るまでの経過及結果を明かにし、且つ斯種工法を吟味せむとするものである。

II. 試験の経過及結果

[1] 試験荷重

今回試験の荷重は第1表に示すが如く ニウマチック・ゴム、ソリッド・ゴム及鐵輪等の 3 種の輪帶を混用し平均約 3 哩/時の速度を以て 9 時間 55 分運轉し第2表に示すが如く最大通過荷重 1,905 吨、相當交通量 61,855 吨に達せしめた、第1報試験より通算すれば最大荷重 10,375 吨、最大相當交通量 361,102 吨である。

[2] 試験結果概説

路面の内鐵輪徑路に該當する部分の如く壓力度の強大なる部分は荷重に由つて沈下するが壓力なき部分又は鐵輪帶徑路に隣接して壓力度の比較的小なる部分等は却つて原形より昂上せるものがあり、獨り路面の沈下量のみを以て優劣を判することは出来ない。

車輪第4徑路の沈下量を示せば第3表の如く内試験 No. 2 のみの値を示せば第1圖の

如く、全試験を通じ鐵輪荷重のみに因る沈下量を示せば第2圖の如くである。又車輪の通過せざる内外兩側部の盛り高を示せば第4表の如く、試験終了後に於ける路面状況は第3圖の如くである。之等の結果より主要なる點を概括すれば次の如くである。

1) 主としてウマチック・ゴム輪帶の通過せし徑路は通過荷重約9,000 施、相當交通量約338,000 施に達したるも未だ破壊の徴を示せるものなく、鐵輪帶徑路に隣接せる部分は却つて路面昂上した。

2) 主としてソリッド・ゴム輪帶の通過せし徑路に於ても通過荷重約8,800 施、相當交通量361,000 施以上に達したるも未だ破壊の徴候なし。唯コンクリートを基礎とし特にアスファルト透入量過多なる二、三のものに於て徑路間隙に隆起を生じたるも之等は一般道路に於ては通過輪帶の自然輻壓作用に由つて自癒し得るものにして交通上支障なき程度のものである。

3) 鐵輪荷量の最大なる第4徑路に於ては通過荷重10,375 施（内鐵輪7,553.7 施）、相當交通量約358,000 施に達したが破壊耐力に達せしと認められしものは表層 No. 2, No. 4 及 No. 6 にして、一部破損せしものは No. 12, No. 13/1 及 No. 13/2 等であり他は皆尙餘力を存して居る。

4) 路面の破壊は主として (1) 表層材料の移動、(2) 膠着材たるアスファルトの膠着力の喪失による主骨材の遊離等に因るものにして、主骨材の破碎又は基礎支持力の不足（コンクリート及碎石基礎）等が破損の主因なりと認められしものなし。

5) 表層材料の移動に因る路面の破壊は (1) 路面の低下、(2) 無荷重部分の盛り上り、に大別される。之等は孰れもコンクリート基礎を有し、アスファルト透入量多量にして且つ層厚薄きものに起つた。

6) 無荷重部分の鐵輪帶の影響に因る盛り高は一般に外側の方内側に比し遙に大きい。之は、車輪の上部内側に傾けること、外側無荷重部分の幅員内側に比して大なること、及第3車輪の外側と路面との間に間隙がある等の爲である。

7) コンクリート基礎面上にはタール紙を布いてアスファルトの膠着を防止せし爲、表層材料の移動を起し易からしめた態はあるが、アスファルトの膠着力のみの抵抗に依つて表層材料の水平的移動を阻止し得るとは想像し得ない。

8) アスファルト透入量の等量なる No. 1 と No. 12 とを比較して沈下量大差なくして外側の盛り上り量に大差あるより見て碎石基礎は其の支持力に不足なく其表面の粗鬆さが表層材料の水平移動を阻止するに甚大の効果あることが明かである。

[3] 各工種の結果

No. 1 ゴム輪帶に對しては本報第1期試験の終りに第7、第8徑路間隙の隆起が増大

した外甚しき變形なく最大路面低下量 10 mm に満たず各徑路共未だ充分の耐力を存し修理の必要を見ない。鐵輪徑路の路面低下量は比較的少く、特に原層厚 1 cm に對する平均單位低下量は本報試験の範圍内では最小にして未だ充分耐力を存して居り且つ修繕の必要もない。無荷重部分の最大盛上り量は外側に於て約 52 mm に達したが別に龜裂を生じない。

No. 2 鐵輪帶に因る最大平均低下量は 42 mm に近く、外側の最大盛上り 106 mm に及び所々に龜裂を生じ搗固めても舊態に復し得ない。車輪の通過部分に於ては未だ表面の破壊を生じないが略々其耐力に達したと認められる。ソリッド・ゴム輪帶に對しては最大低下量 15 mm に達したが何等破壊の徴候なく尙充分の耐力を有して居る。

No. 3 本報試験中のソリッド・ゴム輪帶に因る路面低下量は最大 6 mm に過ぎず、全試験を通じ鐵輪帶に因る平均低下量は其總量に於ても單位量に於ても全工種中最小にして路面に著しき變化なく尙充分耐力を残して居る。但し外側は總じて盛上り最大 51 mm に達し所々に龜裂を生じた。

No. 4 鐵輪帶による變形甚しく、第 4 徑路に於ては全層厚を喪失し基礎コンクリート

第 1 表 試験用車輪の性状

P はコウマチック・ゴムにして () 内數字は管氣壓 (kg/cm²)、 G はソリッド・ゴム、 S は鐵輪帶

車輪番號	輪帶種別	輪帶寸法		荷重	路面との接觸面			變形量	壓 力 度		率許容荷重	降道令
		直徑 (cm)	幅 (cm)		長 (cm)	幅 (cm)	面積 (cm ²)		輪帶幅 1cm につき (kg/cm)	單位面積 (kg/cm ²)		規程 125 kg/cm に對する 倍率
1	$P(4.23)$	86.84	10.00	1019	28.3	6.7	174.5(125.4)	37.0	152	5.83(8.10)	2.64	1.21
	G	89.85	8.75	1104	16.7	5.8	81.0	10.9	191	13.64	1.87	1.53
2	$P(4.23)$	86.84	10.00	896	29.5	6.7	180(134)	33.3	134	4.93(6.68)	2.32	1.07
	G	89.85	8.75	1028	19.0	6.3	98.3	11.0	163	10.45	1.74	1.30
3	S	98.98-98.43	7.62	1341	—	7.62	—	—	177	—	—	1.42
4	S	98.58-97.39	7.70	1360	—	7.70	—	—	177	—	—	1.42
5	$P(4.23)$	81.92	10.00	907	26.0	6.8	162(121)	33.5	133	5.60(7.50)	2.35	1.06
6	G	78.11	8.75	911	15.0	6.1	78	10.1	149	11.70	1.54	1.19
7	G	78.11	8.75	957	15.5	5.8	80	10.5	165	11.95	1.62	1.32
8	$P(3.52)$	79.38	10.00	781	29.0	6.0	165(124)	36.0	130	4.73(6.30)	2.02	1.04
	G	78.11	8.75	949	17.0	6.2	86.0	10.5	153	11.00	1.61	1.29
計	A(1,5&8P)	—	—	8,304	—	—	—	—	—	—	—	—
	B(2,5P)	—	—	8,425	—	—	—	—	—	—	—	—
	C(5P)	—	—	8,557	—	—	—	—	—	—	—	—

(標準許容荷重はコウマチック 385 kg, ソリッド 590 kg とす)

上面を露出する部分を生ずるに至り、外側の盛上り最大 132 mm に及び大なる龜裂を生じ修理の餘地なく、全く其耐力を失つた。本工は骨材の材質異なる外殆ど No. 2 と同工なるに試験結果は之に劣り本報記載の工種中成績最も不良である。

No. 5 本工は No. 1 と等厚であるが 2 層仕上としアスファルトを稍、多量に使用せし爲鐵輪帶に因る路面低下量及外側の盛上りは No. 1 に比し稍、大であるが一般に變形量に

第 2 表 試 験

(輪帶種別 P はニューマチック・ゴム、

試 験			項 目	車 輪 番 號 作 用 輪 帶	Wh. 1			Wh. 2			Wh. 3
番 號	名 稱	施行年月			働 輪	從 輪	計	働 輪	從 輪	計	從 輪
No. 1	第 1 報 試 験	8年8月 ～ 9年1月	通過荷重 (噸)	P	2,213.7	548.6	2,762.3	1,816.5	—	1,816.5	4,541.8
				G	4,612.6	—	4,612.6	4,723.0	539.8	5,262.8	1,115.1
				S	—	—	—	—	—	—	1,437.3
			計		6,826.3	548.6	7,374.9	6,539.5	539.8	7,079.3	7,094.2
			相當交通量	計	—	—	302,664	—	—	277,237	262,852
No. 2	第 2 報 第 1 期	9年7月 4日 ～ 10年5月 10日	通過荷重	P	213.4	458.0	671.4	13.7	123.3	137.0	—
				G	93.3	206.2	299.5	285.4	534.6	820.0	—
				S	—	—	—	—	—	—	1,258.8
			計		—	—	970.9	—	—	957.0	1,258.8
			相當交通量	計	—	—	37,695	—	—	37,656	41,308
No. 3	第 2 報 第 2 期	10年5月 29日 ～ 10年6月 21日	通過荷重	P	—	—	—	—	—	—	—
				G	120.3	360.9	481.2	118.5	355.6	474.1	—
				S	—	—	—	—	—	—	618.4
			相當交通量	計	—	—	20,743	—	—	18,815	20,291
No. 2 + No. 3	今 回 計		通過荷重	P	213.4	458.0	671.4	13.7	123.3	137.0	—
				G	213.6	567.1	780.7	403.9	890.2	1,294.1	—
				S	—	—	—	—	—	—	1,877.2
			計		—	—	1,452.1	—	—	1,431.1	1,877.2
			相當交通量	計	—	—	58,438	—	—	56,471	61,599
自 No. 1 至 No. 3 計	累 計		通過荷重	P	—	—	3,433.7	—	—	1,953.5	4,541.8
				G	—	—	5,393.3	—	—	6,556.9	1,115.1
				S	—	—	—	—	—	—	3,314.5
			計		—	—	8,827	—	—	8,510.4	8,971.4
			相當交通量	計	—	—	361,102	—	—	333,708	324,451

甚しい不同のない特徴がある。耐力には未だ充分の餘裕がある。

No. 6 本工は2層仕上げとせし爲單位層厚に對するアスファルト使用量 2.55kg/m^2 に達し全工種中最多量であり、從つて變形量甚しく多く外側の盛上り 140 mm に達し龜裂も亦最大である。鐵輪帶下の平均路面低下量全層厚に等しく、基礎コンクリート上面將に露出せむとし最早耐力を存しない。ゴム輪帶による路面低下量も比較的多く最大 27 mm

荷 重 表

(Gはソリッド・ゴム、Sは鐵輪である)

Wh. 4	Wh. 5	Wh. 6	Wh. 7			Wh. 8			摘 要
			側輪	從輪	計	側輪	從輪	計	
1,626.3	6,377.11)	1,602.0	—	34.3	34.3	49.1	770.9	820.0	1) 内 107.9 は從輪 2) 内 101.1 は從輪
1,195.1	1,301.3	5,507.42)	634.8	3,155.9	3,790.7	602.1	5,341.3	5,943.3	
5,648.5	—	—	—	3,751.8	3,751.8	—	103.9	103.9	
8,469.9	7,678.4	7,109.4	634.8	6,942.0	7,576.8	651.1	6,216.1	6,867.2	
296,429	290,594	286,039	—	—	286,553	—	—	267,040	
—	851.5	—	—	—	—	—	86.4	86.4	
—	—	855.8	619.3	279.2	898.5	574.1	212.2	786.3	1) 内 57.6 是は側輪
1,277.6	—	—	—	—	—	—	—	—	
1,277.61)	851.5	855.8	619.3	279.2	898.5	574.1	298.6	872.7	
41,479	31,780	35,079	—	—	38,730	—	—	35,312	
—	418.3	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	420.4	331.0	110.3	441.3	328.4	109.5	437.9	
627.6	—	—	—	—	—	—	—	—	
20,376	15,611	17,232	—	—	19,025	—	—	17,656	
—	1,269.8	—	—	—	—	—	86.4	86.4	
—	—	1,276.2	950.3	389.5	1,339.8	902.5	321.7	1,224.2	
1,905.2	—	—	—	—	—	—	—	—	
1,905.2	1,269.8	1,276.2	950.3	389.5	1,339.8	902.5	408.1	1,310.6	
61,855	47,391	52,311	—	—	57,755	—	—	52,968	
1,626.3	7,546.9	1,602.0	—	—	34.3	—	—	906.4	
1,195.1	1,301.3	6,783.6	—	—	5,130.5	—	—	7,167.5	
7,553.7	—	—	—	—	3,751.8	—	—	103.9	
10,375.1	8,948.2	8,385.6	—	—	8,916.6	—	—	8,177.8	
358,284	337,985	338,350	—	—	344,308	—	—	320,008	

に達し、ゴム輪帯に対しても工法適當ならざることを示して居る。

No. 7 鐵輪帯に因る路面の最大平均低下量 27.9 mm, 外側は盛上り最大 80mm にして

第 3 表 鐵輪帯による路面低下量

車輻 No. 4 重量 1,360kg 輪帯幅 1cm につき 177kg

試験番號		第 1 報試験 No. 1		第 2 報第 1 期 No. 2		第 2 報第 2 期 No. 3		全 計		摘 要	
通過荷重 (噸)		區域1〜8,12,13, 5,648.4 區域 14 5,535.3		1,277.6		627.6		14 以外 7,553.6 14 7,440.5 245,148			
相當交通量 (噸)		185,293		41,479		20,376					
表層種別	表層厚 (cm)	平均路面低下量 (mm)	原厚 1cm に対する平均低下量 (mm)	平均路面低下量 (mm)	最大路面低下量 (mm)	原厚 1cm に対する平均低下量 (mm)	平均路面低下量 (mm)	最大路面低下量 (mm)	原厚 1cm に対する平均低下量 (mm)		
1	8	15.4	1.93	11.3	19.0	1.41	8.7	11.0	1.09	35.4	4.43
2	5	7.6	1.52	17.6	26.0	3.52	16.7	23.0	3.34	41.9	8.38
3	6.5	7.6	1.17	10.8	15.0	1.66	8.0	13.0	1.23	26.4	4.06
4	5	16.0	3.11	25.6	35.0	5.12	8.6	17.0	1.72	50.2	10.05
5	8	9.6	1.20	15.8	21.0	1.98	16.3	27.0	2.04	41.7	5.21
6	5	9.5	1.90	30.6	38.0	6.12	12.5	20.0	2.50	52.6	10.52
7	6.5	8.8	1.35	11.5	14.0	1.77	7.6	15.0	1.17	27.9	4.29
8	5	7.6	1.52	12.6	22.0	2.52	8.5	13.0	1.70	28.7	5.75
12	8	17.5	2.19	10.8	29.0	1.35	10.6	17.0	1.33	38.9	4.86
13/1	8	2.6	0.32	12.8	21.0	1.60	13.2	18.0	1.65	28.6	3.58
13/2	8	10.2	1.28	15.0	18.0	1.88	22.0	30.0	2.75	47.2	5.90
14	8	13.1	1.64	15.8	22.0	1.98	12.4	17.0	1.55	41.3	5.15

1) 全層破失せる爲に全層低下量計算

2) 全層厚50mm以上なるも精確に不明

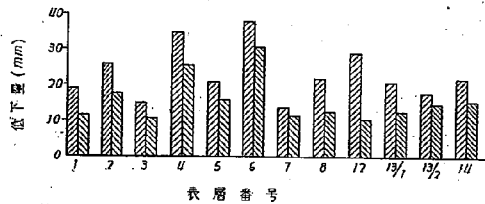
第 4 表 無荷重部分の盛上り量比較

表層 番號	層 厚 (cm)	外 側				内 側				摘 要
		最大盛 上り高 (mm)	平均盛 上り高 (mm)	單位層厚 に對する %	左欄に よる順 位	最大盛 上り高 (mm)	平均盛 上り高 (mm)	單位層厚 に對する %	左欄に よる順 位	
1	8	52.0	31.4	39.3	8	25.0	17.3	21.6	5	外側中 No. 2 に連接 せる一部を除く
2	5	106.0	89.3	178.5	2	30.0	19.0	38.0	2	
3	6.5	51.0	38.2	58.7	7	15.0	9.9	15.2	10	
4	5	132.0	81.6	163.0	3	19.0	13.1	26.2	4	
5	8	84.0	73.9	92.3	4	18.0	15.6	19.5	7	外側中 No. 4 に連接 せる一部を除く
6	5	140.0	96.9	193.5	1	31.0	24.0	48.0	1	
7	6.5	80.0	48.7	78.5	5	16.0	13.8	21.2	6	
8	5	54.0	35.9	71.8	6	18.0	14.0	28.0	3	
12	8	17.0	8.6	10.7	12	21.0	7.4	9.2	11	
13/1	8	27.0	21.2	26.5	11	20.0	15.0	18.8	8	
13/2	8	28.0	24.6	35.0	9	17.0	12.2	15.3	9	
14	8	26.0	18.7	32.5	10	8.0	3.0	3.7	12	

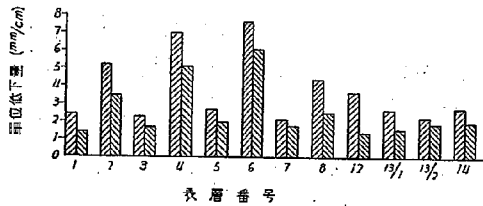
龜裂を生じたが耐力は尙充分の餘裕があるが No. 3 に比しては稍、劣れるものゝ如し、ゴム輪帯による變形は極めて輕微にして未だ大なる影響なし。

No. 8 本工はアスファルト使用量少き割合に結果良好にしてゴム輪帯は勿論鐵輪帯に對しても尙充分餘力があり厚層 5 cm の表層中に於ては成績最も優秀である。鐵輪帯による路面の低下量、外側盛り上り量はアスファルト單位使用量の少い割合に大である。

No. 12 同工の No. 1 に比し、鐵輪帯に因る沈下量は差なく却つて稍、大であるが無

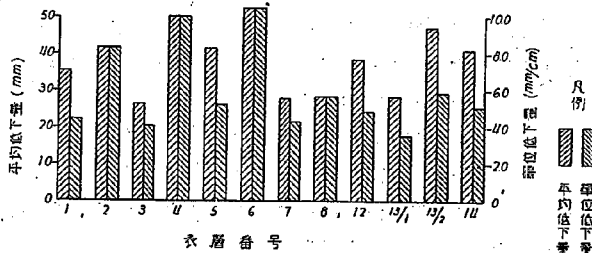


(a) 最大及平均低下量



(b) 原厚1cmに対する単位低下量

第1圖 鐵輪帯による路面低下量



第2圖 鐵輪帯による平均路面低下量

荷重部分の盛り量は最大 21 mm, 平均 7~8 mm にして遙に僅少である。路面一般に粗鬆の觀を呈し、一部分表面主骨材の遊離を生じた、封緘工には特に堅硬なる材質の細骨材を使用したのが其利益は明かでない。表面の遊離及粗鬆は前報に於て No. 1 に施工せると同工にて充分之を防止することの出来るのは明かである。

No. 13/1 本工はタール透入工を修理せしものなる爲タール使用量は全骨材の 15.9% 上り明かに過量であるにも係はらず一般に變形量少く、鐵輪帶による路面低下量及無荷重部分の盛り等は同厚のものゝ内最小であり、單位層厚に對しても最小である。表面一般に粗鬆にして鐵輪帶に因つて一部主骨材の弛緩せるものを生じたが耐力は充分餘裕がある。

No. 13/2 タール使用量は前工より少く、施工に際し骨材の大なるものを下層とし順次上層に及ぼしたが鐵輪帶による變形量は却つて大であり、表面の粗鬆の度、鐵輪帶徑路一部の主骨材の弛緩せる等前工同様である。耐力には尙餘力がある。

No. 14 本工は單位層厚のアスファルト使用量最小であるが表面粗鬆の觀を呈せず尙充分耐力を有して居る。鐵輪帶による變形量は必ずしも最小でなく No. 12 と略々同様である。

III. 要 約

以上の結果を綜合し、コンクリート若しくは支持力充分なる碎石道を基礎とし、針度 75 度のアスファルトを用ひ層厚 5, 6.5 及 8 cm を有する透入マカダムの工法に對し參考に資し得る點を要約すれば次の如くである。

(a) 層厚、層數

1) 層厚 8, 6.5 及 5 cm の内工法特に不當ならざる限り層厚の大なるもの程結果良好であるが其孰れが最も經濟的であるかは地況によつて決定される。

2) アスファルト透入單位量(層厚 1 cm に對する)同一なる時は層厚の大なるもの程安定強度大にして従つて變形量少し。

3) 層厚 5 cm にても工法適當ならば充分の耐力あり、必ずしも過小ではない (No. 8 の結果)。但し基礎上面との契合不充分なる時アスファルト透入量を $1.54 \text{ kg/m}^2/\text{cm}$ 以上となすは不經濟なるのみならず却つて有害である (No. 2, No. 4 及 No. 6)。

4) 層厚 6.5 cm を有し工法適當ならば耐力充分であり (No. 7, No. 3)、同様の基礎を有しアスファルト單位透入量略々同様な厚 8 cm に比し寧ろ經濟的である。

5) 厚 8 cm のものは工法適當ならば同一基礎を有する前二者に比し單位層厚に對する變形量少く、従つて耐力大であるが本報試験の荷重の程度に於ては必ずしも 6.5 cm に比し經濟的であるとは認められぬ。

6) 層厚 5 cm のものに於ては勿論, 8 cm のものに於ても適當なる寸法の主骨材なき爲已むを得ざる場合の外 2 層仕上とするは不得策である (No. 5, No. 6). 但し 2 層仕上に於ては一般に變形均等の特徴がある。

(b) 基礎

7) 通常の示方により築造せる碎石層の基礎はアスファルト・マカダムの基礎としてはコンクリート基礎に比し, 表層材料の水平移動を防止し, 變形量を少くする上に於て優つて居る (No. 1 と No. 12).

8) アスファルト・マカダムの變形量を減する爲には表層と基礎上面との結合を強からしめるは極めて有効である (No. 1, と No. 12).

(c) 骨材の粒度, 材質

9) 主骨材の最大寸法が層厚より大ならざる限りに於ては粒度大なるもの程安定強度大である。

10) 主骨材の最大寸法 80 mm のものはアスファルト透入單位量相等しき場合, 主骨材小なるものに比し路面粗鬆となるを免れないから路面抵抗大なるを要する場合に適するが, 若し粗鬆を不可とする場合には適當なる封滅工により (前報 No. 1) 容易に匡正し得る。

11) 主骨材の材質軟弱なるもの (No. 4) の耐力は材質試験結果の示す程度以上に減殺されるものゝ如く變形量特に大である。

12) 填充用副骨材に特に堅硬なるものを用ひたる爲に好結果を得たりとは認められぬ (No. 12), 従つて高價を拂つて特に堅硬なるものを使用するは得策ではない。

(d) アスファルト透入量

13) 單位面積の層厚 1 cm に對するアスファルト透入量 (アスファルト透入單位量) の最適當量はアスファルトの針度, 主骨材の粒度, 層厚等に由つて異なるべきであるから從來の如く一律に透入單位量を規定するは不可である。

14) 層厚 8 cm 主骨材寸法 80~50 mm のものに對し透入單位量 $1.53 \text{ kg/m}^2/\text{cm}$ の程度なる時は鐵輪帶に對しては表面粗鬆となる虞がある (No. 1, No. 12).

15) 層厚 8 cm, 主骨材 65~40 mm の場合針度 75 度のアスファルトの透入單位量 $1.48 \text{ kg/m}^2/\text{cm}$ とするは過少ではない (No. 14).

16) 針度 75 度の如き透入用としては比較的硬きアスファルトを用ひてもアスファルト透入量多き時は (No. 4, No. 6) 其層厚の大部分を失ふまで變形しても路面は破壊しない。アスファルト透入單位量 $2 \text{ kg/m}^2/\text{cm}$ に於ては路面の變形は必ずしもアスファルトの過量に由るものとは認められぬが不經濟であることは免れぬ。

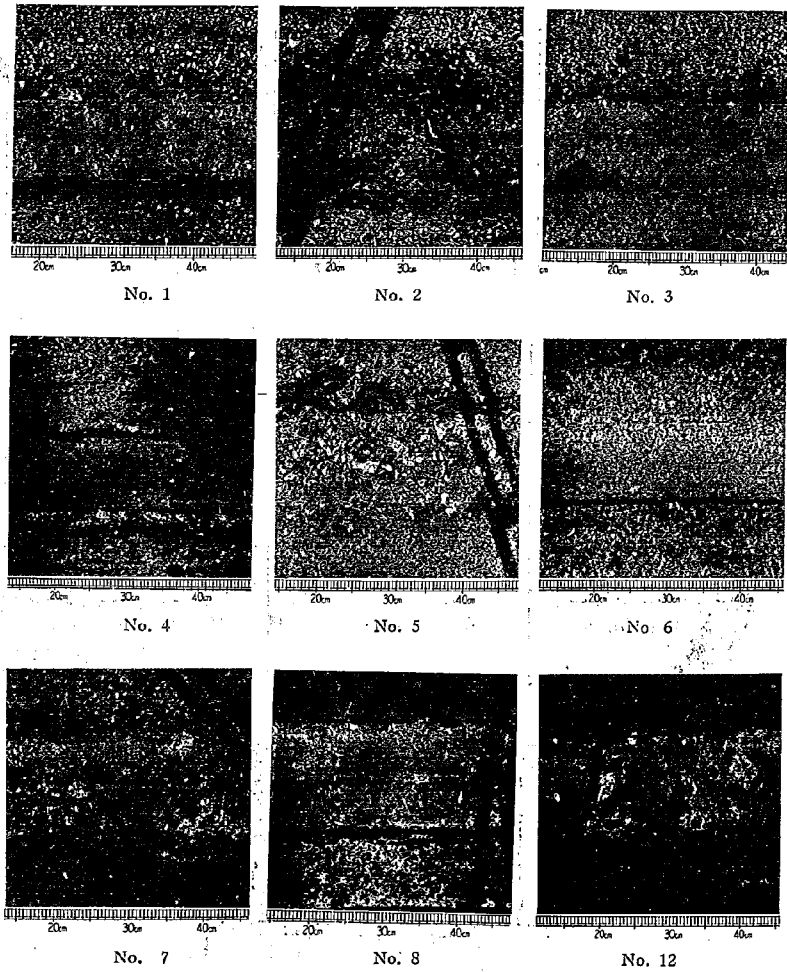
17) 層厚 6.5 cm のものに對し透入單位量 $1.85 \text{ kg/m}^2/\text{cm}$ は必ずしも過量に非ず, 此

爲變形量特に増大せりとは認められぬ (No. 3 と No. 7). 但し $1.56 \text{ kg/m}^2/\text{cm}$ に於ても表面弛緩游離の微なく却つて無荷重部分盛上り相當大なるより見て尙減少し得る餘地あるものゝ如くである (No. 7).

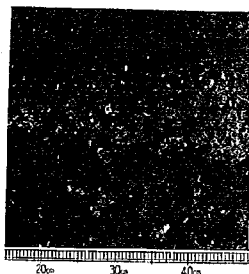
18) 層厚 5 cm のものに對してアスファルト透入單位量 $1.54 \text{ kg/m}^2/\text{cm}$ は未だ過少ではない (No. 8). $2.5 \text{ kg/m}^2/\text{cm}$ 以上を使用するはゴム輪帶に對しても安定強度充分でない。

(e) 修理

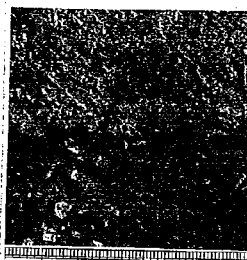
19) 骨材大なるか、アスファルト透入量少き爲が路面粗鬆となり表面主骨材游離の微候を生じるときアスファルト乳劑及細骨材を用ひて封緘工 (第 1 報 No. 1 の場合) を施行すればその耐力を増大する上に於て極めて有効である。



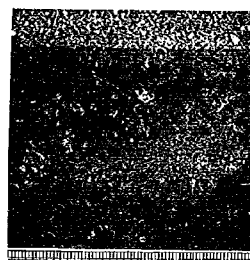
第3圖 試験終了後の路面



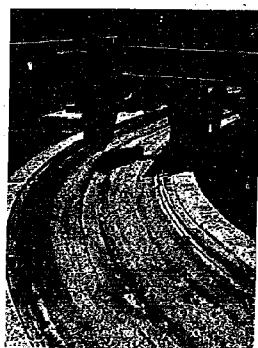
No. 13/1



No. 13/2



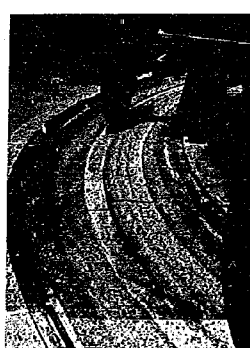
No. 14



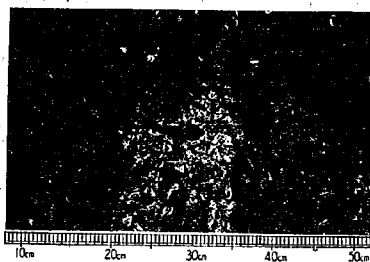
No. 2 破損状況



No. 4 破損状況



No. 6 破損状況



No. 12 破損状況

第3圖 試験終了後の路面

熔接鋸桁突縁鋸衝合接手の 接合角度に就て*

内務技師 青 木 楠 男

目 次

I. 緒 言	(2)
[1] 實驗の目的	(2)
II. 従來の實驗に對する考察	(3)
[2] Patton の實驗	(3)
[3] Dahlem の Staatlichen Materialprüfungsamt に於ける實驗	(4)
[4] Otto Graf の疲試驗	(5)
[5] 鐵道省に於ける實驗	(6)
III. 斜截せる接手の應力強度	(10)
[6] 接手に働く垂直並に接線應力	(10)
[7] 最大主應力説より見たる斜截接手の角度	(11)
[8] 最大主歪説より見たる斜截接手の角度	(12)
[9] 最大剪断力説より見たる斜截接手の角度	(12)
[10] 最大弾性歪エネルギー不變説より見たる斜截接手の角度	(14)
[11] 前掲諸説によつて與へらるゝ接手角度に對する考察	(15)
IV. 豫備試驗	(16)
[12] 概 説	(16)
[13] 紙製試験片による實驗	(16)
[14] モルタル試験片による實驗	(20)
[15] 平鋸切溝試験片による實驗	(23)
[16] 平鋸小型熔接試験片による實驗	(31)
V. 實物試驗	(32)
[17] 試験片の形狀寸法	(32)
[18] 試験片の製作	(35)
[19] 母材強度試驗	(37)
[20] 熔接工檢定試験並に熔着鋼強度試驗	(40)
[21] 引張強度試驗	(42)
[22] A 及 A' 種試験片引張強度	(43)
[23] B 及 B' 種試験片引張強度	(47)
[24] C 及 C' 種試験片引張強度	(52)
[25] 接手部主應力の測定	(55)
[26] A 種試験片の主應力分布	(59)
[27] B 種試験片の主應力分布	(59)
[28] C 種試験片の主應力分布	(64)
VI. 要 約	(65)

*この實驗は學術振興會第4小委員會の研究項目の1つとして行つたもので、實驗を行ふにあたつては主として富所石川利雄君を煩した、こゝに厚い謝意を表す次第である。

I. 緒 言

[1] 実験の目的

熔接鉚釘の突縁断面は、其腹鉚との連結に鉚結鉚釘の如く山形鋼を必要とせざるが故に平鉚を使用することが多い。而して其断面は鉚釘各部の曲げモーメントに應じて變化せしむるの必要あるが故に、従來は多く鉚結鉚釘突縁蓋鉚に於けるが如く、數枚の鋼板を重ね合せたるものを用ひたるも、この工法による時は、鋼板の接合に多量の熔着鋼を要すること、接合用の隅肉熔接施工のために各突縁鉚の幅員を變化せしむるの必要上、断面利用率に不充分なる點あること等に鑑み、最近の傾向としては1枚鉚の使用せらるゝことが多い。従つて曲げモーメントに應じて鉚厚を變化せしめんとする場合、厚さを異にする2枚の厚鉚の接合を行はねばならぬ。

これが接合法としては銜合接手を使用することが最も簡單なるも、今日の一般熔接技術としては、銜合熔接の強度は母材の夫の80~95%を普通とし、これに對する設計許容強度も橋梁建築物等に於ては母材の夫の75~85%を認むるに過ぎない。

従つて充分なる強度を有する接手を得んがためには添接鉚を添加するを以て最も安全なる方法とする。併しこの工法によるとすれば材料の節約を特長とする熔接工法が、鉚結工法と何等異るところなきものとなり、熔接使用の目的と相反することゝなるのみならず熔接の疲に關する研究の進歩に伴ひ、隅肉熔接が銜合熔接に比し、其持久性の劣れることが立證せらるゝに至り、反覆衝擊荷重をうくる構造物に於ては、添接鉚による接合法は益、疑問視せらるゝに至つた。加ふるに電極棒の改良と熔接技術の進歩とは銜合接合の強さを漸次増大せしめ、其信頼さを遂次高めつゝある狀況にある。

よつて今後の突縁鉚の接合法としては、添接鉚の使用は喜ばれず、銜合接合が主として用ひらるゝものと考えて過りない。而して銜合熔接の強さの不足は、接手を突縁の長さの方向に直角に設けず、これを斜めに、矢管形に、或は階段形に設けて、其熔接面を増大せしむることによつて補はんとしてを。併しこれ等の工法の優劣は勿論、同一工法に於ても、其斜截角度或は構造配置等に定説なく、突縁鉚接合方法は今日のところ未だ混沌として定まるところを知らざるの狀態にある。

従つてこの種熔接鉚桁橋の實例を見るに、經濟上忍び得る限度に於て接目無し1枚鉚を突縁に使用せるもの多く、曲げモーメントより考ふるとき、端部に於ける材料の不經濟は甚しいものと云はねばならぬ。

著者はこの點に鑑み、これ等各種の接合方法を理論的に實験的に比較研究し、其優劣を究むると共に、各種工法に對してはこれが最良の形狀寸法を決定せんとするものである。

本報告はこの研究の第一歩として行つた銲合接手の斜截角度の大小による引張強度の變化に關する實驗結果であつて、實驗は厚さの等しき厚鋼板と厚さを異にする厚鋼板の接手について行つてをる。

II. 從來の實驗に對する考察

[2] Patton の實驗

厚さの同一なる突縁板の接合に關しては Kiew の Patton 教授による實驗がある。同氏は Mies 氏が突縁板の接手に於て銲合熔接の強度の不足を、斜截による熔接部の増大によつて補はんとすることの無効なることを論斷せるに對し、第1圖に示す6種の接合方法につきての實驗によつて、これに對する反證を擧げたものである。即ちこれ等6種の接合の強度を第1種のものの強度に比較するとき第1表の如き結果が得られてをる。

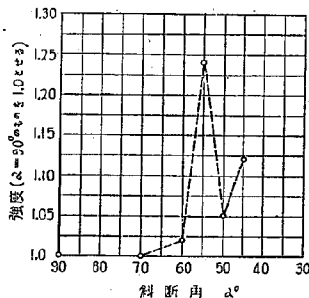
この結果によると第III種の單純なる斜截によるものが最も優良なる成績を示し、約30%の強度増加となつてをる。この場合の斜截角度は45°であるが、Patton 教授は更に第2圖に示す試験片を用ひて斜截角度による強度の變化を求めてをる、試験片の斜截角は $\alpha = 90^\circ, 70^\circ, 60^\circ, 55^\circ, 50^\circ, 45^\circ$

第1表 接手の種類による強度の變化

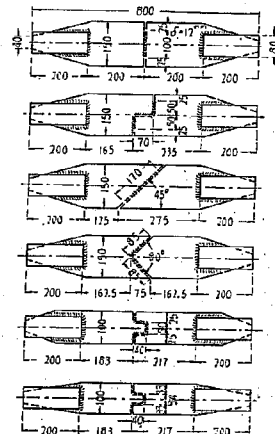
接手種類	I	II	III	IV	V	VI
$\frac{P_n}{P_1}$	1.00	1.23	1.29	1.20	0.92	1.04

P_1 : 接手Iの強度

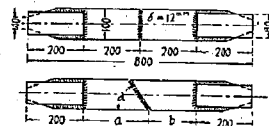
P_n : 各種接手の強度



第3圖 Patton の實驗
斜截角による接手強度の變化



第1圖 Patton の實驗
接手強度比較試験片



第2圖 同上 斜截角度による強度の變化に關する試験片

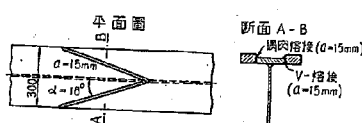
の6種であつて、角度の變化に伴ふ強度の増大は第3圖に示すが如く $\alpha=55^\circ$ に於て著しく有利となつてをる。

試験片の切斷狀況は $\alpha \geq 60^\circ$ のものに於ては、切斷はすべて接手沿ひに起つてをり、 $\alpha=45^\circ$ に於ては母鋸が切斷してをり、 $\alpha=55^\circ$ 及 50° のものに於ては兩様の切斷が起つてをる。Patton 教授はこの實驗の結果に基いて、衝合熔接の衝合角度としては $\alpha=55^\circ$ 附近をもつて最良なりと結論してをる。

併しこの實驗の結果を見て第1に感ぜらるゝ事は、斜截角度に伴ふ接手強度の變化が漸變的でなく $\alpha=55^\circ$ に於て甚しく不規則である事で、同種試験片數が僅かに2個の實驗結果である點から見て、この結果をもつて結論を下すことになたる懸念を抱かしめられるのである。且つ更に大なる缺點は、斜截角の變化に伴ふ接手強度の増減に就て、母材と接手材との強度の比率を何等考慮に入れてをらない事である。

[3] Dahlem の Staatlichen Materialprüfungsamt に於ける實驗

Dresden に於ける Schlachthof 橋の架設に際し、同橋の施工にあたりたる Christoph & Unmack 會社が、其主鋸桁突縁鋸の接合法として第4圖の如き工法を提言してこれが



第4圖 Schlachthof 橋の主鋸桁突縁の接手

實施を見たが、これに先つて其強度試験を Dahlem の國立試験所にて行つてをる。

接手は第4圖にて明かなるが如く厚さを異にする2突縁鋸の衝合熔接接手にて、隅肉熔接とV形衝合熔接との混用である。

試験片は3種、内2種は模型試験片であり、1種は實大試験片である、模型試験片の試験成績を示すと第2表の如くである。

第2表 突縁鋸接手強度試験

試験片 番 號	厚 突 縁 鋸 断 面			薄 突 縁 鋸 断 面			熔接断面 cm ²	切斷箇所	極限強度 kg/cm ²
	幅 cm	厚 cm	断面積 cm ²	幅 cm	厚 cm	断面積 cm ²			
1	12.00	2.97	35.64	11.96	1.50	17.94	(DIN 4100 による)	母 鋸	3560
2	7.99	3.64	29.08	7.97	2.99	23.83		熔接継目	2480

第1試験片が其母鋸に於て切斷せることは、接手の計算に DIN 4100 に従ひ、交番應力による應力の増大を見込みたるに對し、試験が單なる引張なりしが爲に接手強度が母鋸強度に優りたる事によるものである。第2試験片は接手に於ける切斷を確實ならしむるために熔接継目を薄く施工せるものにして、其切斷は継目沿ひに起つてをる。第3の試験片は其接合部母鋸断面を Schlachthof 橋主鋸桁断面 300 mm×25 mm に相當せしめたる實

大試験片にして、其熔接部断面積 156 cm² に對し最大荷重 496 t、切断強度 31.7 kg/mm² を示した。

本試験は實施せる工法にて所要の強度を期待し得るや否やを確かめるに過ぎず、其斜截角に 18° を採用せることに對しても特別な理由を説明してをらない、

接合部には均等に應力分布せらるゝものと假定し、接合部に作用する合成應力は、

$$\rho' = \rho \sin^2 \alpha (0.35 + 0.65 \sqrt{1 + 4 \cot^2 \alpha}) \dots \dots \dots (1)$$

ρ' : 接合部に作用する合成應力

ρ : 直角断面に作用する引張應力

α : 斜截角度

にて算出してをる。本式によると ρ' の値は α の減少と共に減じ、斜截の傾きを大とするほど強度は増加することとなる。

歐洲諸國の熔接構造物の示様書の主なるものを檢するに、鉚釘突縁の鉚合熔接を斜截する點に觸れてをるものは少く、匈牙利及獨逸兩國のものにこれを見るのみである。1933 年 8 月發布の匈牙利熔接鋼建築物示様書の第 25 條に於ては「引張側突縁鉚釘の鉚合は長手方向に 30°乃至 45° 傾斜せしむべし」と規定してをる。この規定の據るところについては明かにするを得ざるも、本示様書の發布が 1933 年 8 月にして、Schlachthof 橋についての諸實驗の發表せられて間もなく決定せられたるものなる點より考へ、これ等の諸實驗が參照せられたものであることは疑ひを挟み得ないところである。

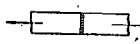
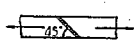
又 1936 年發布獨逸熔接鉚釘道路橋假規格 (DIN E 4101) 及同國々有鐵道鉚釘鐵道橋規則に於ては、引張側突縁の鉚合は斜截角を 45° とすべしと定めてをる。この規定の據つて來るところは、次節 Otto Graf の實驗に於て $\alpha = 45^\circ$ のものが $\alpha = 90^\circ$ のものに比して大なる疲限度を示せるによるもので α の變化による各種強度の増減については充分検討されてをらない。

[4] Otto Graf の疲試験

Otto Graf が 1933 年各種の熔接接手について行つた疲試験中に直截並に斜截の鉚合接手の比較が行はれてをる。

兩者とも同厚の鉚を V 形に鉚合せたもので、底面を再熔接せるものと然らざるものとが試験されてをる。試験の成績は第 3 表の如く

第 3 表 鉚合接手疲試験成績
(Otto Graf 氏による)

熔 接 の 種 類			
引張疲強度 (kg/mm ²)	底面再熔接せざるもの、	12	17
	底面再熔接せるもの、	18	22

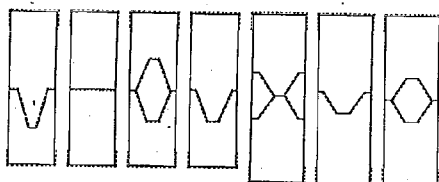
で斜載せるものが遙かに大なる引張疲限度を有し、更に再熔接せるものが一層良好の成績を示してをる。

本試験にては斜載の角度による疲限度の變化を決定するまでの資料を求め得ざるも、接手の斜載が動荷重をうくる構造物の鋼桁突縁の接合法として直載するものに優れることを明瞭に證明してをる。

[5] 鐵道省に於ける實驗*

東京府の委託工事として鐵道省にて設計施工したる田端大橋の架設に際し、突縁接手工法の強度比較試験を行つてをる。

突縁接手としては第5圖に示す如く各種考案されてをるが強度試験は試験機械の能力の



第5圖 實驗に供されたる各種突縁接手工法

關係から試験材を長手の方向の數片に切斷し、各、について引張試験を行つてをる。從つて試験片は其接手が引張の方向に直角のものと接手工法に應じ一定の斜角を有するものとに分類される。

試験は4回にわかれて行はれてをるが、各、の試験成績について接手直角のものと傾斜せるものとの強度を比較すれば第4表の如くである。

第4表 田端大橋突縁接手工法強度試験

第1回試験

(東京横河橋梁會社製作、直流熔接、電極棒 G.E. 製、徑 5 mm、塗布法、使用鋼板厚 25 mm)

試験片 番 號	接手種類	傾 斜 角	試 驗 片 断 面		引張強度 kg/mm ²	備 考
			幅 mm	厚 mm		
熔 着 鋼	—	—	徑 9.9 mm		45.0	伸率 37% (l=50 mm)
V ₁	V	16°40'	40.50	23.0	46.25	
V ₂	V	16°40'	40.45	23.0	46.00	
X ₁	X	16°40'	40.25	23.0	47.35	
X ₂	X	16°40'	40.30	23.1	46.30	
平 均					46.50	

* 鐵道大臣官房研究所業務研究資料第24卷第19號に據る。

第 2 回 試 験

(鐵道省官邸研究所製作, 直流焊接, 電極棒研究所製, 徑 4 mm 塗布棒, 使用銅板厚 25 mm)

試 驗 片 番 號	接 手 種 類	傾 斜 角 α	試 驗 片 斷 面		引 張 強 度 kg/mm ²	備 考
			幅 mm	厚 mm		
熔 着 銅	—	—	徑 9.9mm		46.0	伸率 21% ($l=50\text{mm}$)
No. 1, 1	V	90°	45.95	20.24	43.9	焊接部切斷
No. 1, 4	V	90°	45.92	20.25	45.8	"
No. 2, 1	V	90°	45.94	20.28	46.8	"
No. 2, 4	V	90°	45.95	20.18	47.0	"
平 均					45.9	
No. 1, 2	V	39°40'	80.02	20.32	42.0	焊接端部より龜裂を發し試験片に直角の方向に母材切斷
No. 1, 3	V	39°40'	80.00	20.33	43.6	
No. 2, 2	V	39°40'	79.96	20.33	44.9	
No. 2, 4	V	39°40'	79.84	20.20	45.5	焊接部に沿ひて斜めに切斷
平 均					44.0	
No. 3, 1	X	90°	45.89	20.32	41.6	焊接部切斷
No. 3, 4	X	90°	45.86	20.24	37.9	"
No. 4, 1	X	90°	45.83	20.12	42.6	母材切斷
No. 4, 4	X	90°	45.83	20.10	39.9	焊接部切斷
平 均					40.5	
No. 3, 2	X	39°40'	79.92	20.37	46.9	焊接部に沿ひて斜めに切斷
No. 3, 3	X	39°40'	79.84	20.26	40.7	
No. 4, 2	X	39°40'	79.76	20.33	41.3	焊接端部より龜裂を發し試験片に直角の方向に母材切斷
No. 4, 3	X	39°40'	79.68	20.26	38.3	
平 均					41.8	

第 3 回 試 験 (拔萃)

(川崎造船所製作, 直流及交流溶接, 電極棒 K.S.A. No. 2, 徑 4mm 塗布棒, 使用鋼板厚 10mm 及 25mm)

試 驗 片 番 號	接 手 種 類	傾 斜 角 α	試 驗 片 斷 面		引張強度 kg/mm ²	備 考
			幅 mm	厚 mm		
熔 着 鋼	—	—	徑 9.9mm		40.6	伸率 21% ($l=50\text{mm}$)
E1 b	V	90	39.97	25.17	36.4	溶接部切斷
E1 a	V	21°50'	39.93	24.97	38.6	試験片平行部端にて母材切斷
E1 c	V	21°50'	39.90	25.14	50.4	溶接部に沿ひて切斷
平 均					(50.4)	
F1 a	V	90	40.15	25.06	37.7	溶接部切斷
F1 b	V	21°50'	39.97	24.82	41.8	溶接部外切斷
F1 c	V	21°50'	40.24	25.06	41.2	"
平 均					41.5	
E2 b	X	90	39.73	24.91	42.0	溶接部切斷
E2 a	X	21°50'	39.90	24.90	37.9	試験片平行部端にて母材切斷
E2 c	X	21°50'	39.80	25.17	50.2	溶接部に沿ひて切斷
平 均					(50.2)	
F2 a	X	90	40.16	24.92	37.3	溶接部切斷
F2 b	X	21°50'	40.09	24.65	49.2	溶接部に沿ひて切斷
F2 c	X	21°50'	40.00	24.80	45.6	"
平 均					47.4	
G2 a	V	90	40.08	24.55	48.4	溶接部切斷
G2 b	V	90	39.90	24.55	46.7	"
G2 c	V	90	40.00	24.70	43.3	"
平 均					46.1	
G1 a	X	90	40.02	25.00	38.8	溶接部切斷
G1 b	X	90	40.00	24.75	38.3	"
G1 c	X	90	39.75	25.24	46.5	"
平 均					41.2	

第 4 回 試 験 (抜萃)

(試験片製作要項第 3 回に同じ)

試験片 番 号	接手種類	傾 斜 角 α	試験片断面		引張強度 kg/mm ²	備 考
			幅 mm	厚 mm		
熔 着 鋼			傾 9 mm		40.6	伸率 21% ($l=50$ mm)
E1-2	V	90	71.00	9.50	34.2	熔接部切斷
E1-1	V	21°50'	70.40	9.44	34.9	把握部附近にて母材切斷
E1-3	V	21°50'	70.00	9.50	34.4	"
平 均					34.7	
E2-2	X	90°	70.40	9.62	29.8	熔接部切斷
E2-1	X	21°50'	70.02	9.50	34.8	熔接部より母材切斷
E2-3	X	21°50'	71.36	9.42	35.5	把握部附近にて母材切斷
平 均					35.2	

これ等の諸試験片は現場に於ける鋁桁梁鉄鋼の熔接と類似の條件を満足せしむるため、熔接する兩試料を固定せる状態にて接合したるものなるも、製作後試験片を取外し、更に數片に截斷せるが故に、各試験片に残留する元應力は比較的僅少なるべしと推定せらる。

第 1 回試験については、試験片の切斷狀況を明かにするを得ざるも、恐らく試験片に直角の方向に母材が切斷せるものなるべしと推定せらる。接手平均強度 46.5 kg/mm² はこれを熔着鋼 45.0 kg/mm² に比較するとき約 3% の増大であるが、熔着鋼の強度がすでに母材強度に匹敵してをり、試験片の切斷が母材部に起つてをるとすると、この數値から接手の傾斜することによる強度増大を推定することは困難である。只 $\alpha=16^\circ 40'$ の傾斜接手に於ては其強度は母材の全強度を發揮せしむるに充分なる値に達し、熔着鋼の強度を以て其強度と認めねばならぬ直角接手よりも有利であることは是認することが出来る。

第 2 回試験について見るに接手強度は V 接ぎ、X 接ぎの如何又傾斜角の如何を問はず、孰れも熔着鋼の強度に達してをらぬ。殊に X 接ぎの試験片にては強度の低下が顯著である。この理由は熔接の施工上に不充分の點ありしものと考へられる。従つてこの試験の結果から見て傾斜角の變化に伴ふ強度の増減を推斷することは妥當でないと思ふ。傾斜角 $\alpha=39^\circ 40'$ の試験片に於て母材の切斷せるものの中に強度が甚しく低いものが存するが、其龜裂が熔接端部に發生してをる點を見ると、熔接部に存在した熔着鋼のもつ缺陷が、切欠作用の原因をなし、斯くの如き強度低下を起したるものと認められる。

第 3 回試験に於ては其熔着鋼の強度が前 2 回の試験の場合に比して遙かに低く、接手の

傾斜の影響を求むるには好都合である。E 並に F 試験片について見るに $\alpha=90^\circ$ のものに於ては其切断は孰れも熔接部に生じ、其強度は熔着鋼のみの強度に比し幾分低値である。この強度と $\alpha=21^\circ 50'$ としたるものと強度を比較するに同試験片中母材に缺點ありたる爲と考へらるゝ B1a, E2a を除きては V 接ぎにても X 接ぎにても接手傾斜の効果を明かに認めることが出来る。

尙この試験に於て $\alpha=90^\circ$ の試験片を V 接ぎ (G2) 及 X 接ぎ (G1) にて製作し、兩者の強度比較を行つてをるが、前者が遙かに優れた結果を示してをる。X 接ぎが V 接ぎに比較して施工上一層の注意を要することを證するものである。

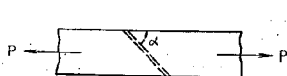
第 4 回試験は第 3 回試験と全く同一の條件にて行はれたものであるが、傾斜接手の試験片にて把握部附近の母材が比較的低強度にて切断せるもの多く、この資料を以ては接手を傾斜することによる強度の變化を推断することは困難である。

以上鐵道省に於ける實驗の結果より見るに、試験片熔接作業の巧拙並に母材強度の低きために、傾斜接手の強度を批判するの資料たるを得ざるもの多數ありたるも、然らざるものに於ては大體接手斜殺が強度増大に効果あることを證してをると云つて大過ないと思はる。尙傾斜角は $\alpha=16^\circ 40'$, $21^\circ 50'$, $39^\circ 40'$ の 3 種となつてをるがこれ等の結果のみにては α の變化による効果の大小等については全く推断し難い。

III. 斜截せる接手の應力強度

[6] 接手に働く垂直並に接線應力

第 6 圖の引張試験片に於て其直角斷面に於ける引張應力 σ は第 2 式にて示される。



第 6 圖

$$\sigma = \frac{P}{F} \dots\dots\dots (2)$$

P: 試験片のうける張力

F: 直角斷面の斷面積

今斜截斷面に働く P の接線並に垂直分力 T 及 N を求めんと

$$T = P \cos \alpha \dots\dots\dots (3)$$

$$N = P \sin \alpha \dots\dots\dots (4)$$

α : 斷面の斜傾角

従つて斜截斷面のうける接線應力 σ_T 及垂直應力 σ_N は

$$\sigma_T = \frac{T}{F_s} = \frac{P \cos \alpha}{F \sin \alpha} = \sigma \frac{\sin 2\alpha}{2} \dots\dots\dots (5)$$

[8] 最大主歪説より見たる斜截接手の角度

接手断面に於ける接線應力 σ_T 及垂直應力 σ_N に對應する主應力 σ_1 及 σ_2 は

$$\sigma_1 = -\frac{\sigma_N}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\sigma_N^2 + 4\sigma_T^2}$$

$$\sigma_2 = -\frac{\sigma_N}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{\sigma_N^2 + 4\sigma_T^2}$$

にて示される。従つてこれによる最大主歪 ε_1 は

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} - \frac{\sigma_2}{mE} = \frac{1}{2E}\left(1 - \frac{1}{m}\right)\sigma_N + \frac{1}{2E}\left(1 + \frac{1}{m}\right)\sqrt{\sigma_N^2 + 4\sigma_T^2}$$

にして、この歪が單純引張による破壊時の歪量に達した時に破壊が生ずるものと假定する。

この場合の應力は $\varepsilon_1 E$ であつてこの値が單純引張強度に達して切斷が起ることとなる。今一般鋼材と同様 $\frac{1}{m} = \frac{3}{10}$ を採るならば

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 E &= 0.35\sigma_N + 0.65\sqrt{\sigma_N^2 + 4\sigma_T^2} \\ &= 0.35\sigma \sin^2 a + 0.65\sqrt{\sigma^2 \sin^4 a + 4\sigma^2 \sin^2 a \cos^2 a} \\ &= \sigma \sin^2 a (0.35 + 0.65\sqrt{1 + 4\cot^2 a}) = \sigma K_{II}\end{aligned}$$

こゝに

$$K_{II} = \sin^2 a (0.35 + 0.65\sqrt{1 + 4\cot^2 a}) \dots\dots\dots (8)$$

$\varepsilon_1 E$ の値は直角断面に作用する應力 σ へ K_{II} を乗じたもので、 K_{II} の値は K_I と同様 a の減少と共に低下し、接手は其傾斜を急とするほど有利となる。この低下の割合が、斜截接手の許容強度の母材許容強度に對する低下を相殺するに至る角度を求むるならば

$$K_I = 0.75$$

$$\sin^2 a (0.35 + 0.65\sqrt{1 + 4\cot^2 a}) = 0.75$$

$$a = 34^\circ 20'$$

となり、最大主應力説による場合の $a = 40^\circ 40'$ に比して幾分急角度の斜截を要することとなる。

る。 K_I の場合と同様 $a = 90^\circ$ の場合の K_{II} と任意の a に對する K_{II} との比 $\frac{K_{II\frac{\pi}{2}}}{K_{IIa}} = \frac{1}{K_{IIa}}$ を示せば第7圖曲線 (II) の如くである。

[3] に掲けたる Dresden Schlachthof 橋の突縁鉸接手強度の算出は本説によつたもので、 $a = 18^\circ$ に採つたことにより $\frac{1}{K_{II}}$ の値は 2.38 となつてをる。

[9] 最大剪斷力説より見たる斜截接手の角度

合成内力をうけた場合、其最大及最小主應力 σ_1 及 σ_2 による最大剪斷力

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)$$

が単純引張による破壊時の最大剪断力に達した時に破壊が生ずると假定する。単純引張による最大剪断應力は引張應力の $\frac{1}{2}$ になるが故に

$$2\tau = (\sigma_1 - \sigma_2)$$

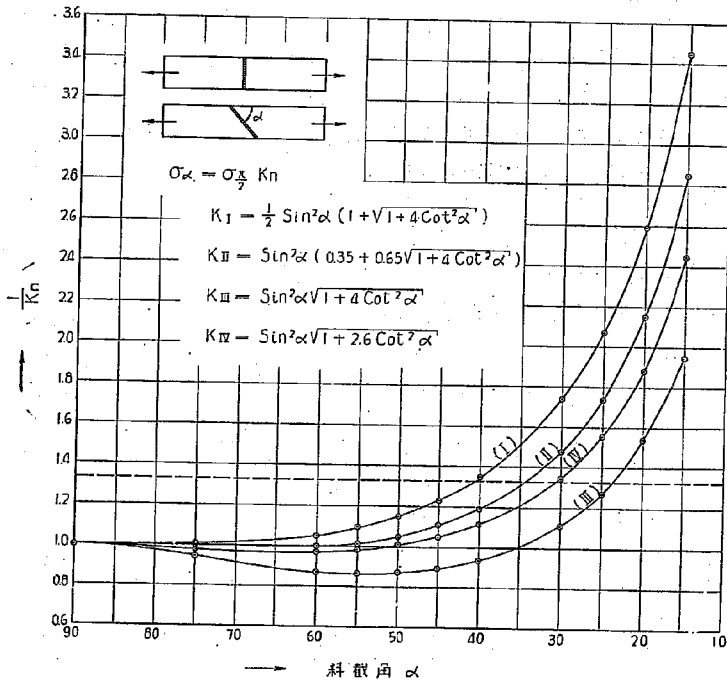
が単純引張強度に達した時に破壊を起すこととなる。今これを斜截接手の場合に適用すると

$$\begin{aligned} 2\tau &= \sigma_1 - \sigma_2 = \sqrt{\sigma_N^2 + 4\sigma_T^2} \\ &= \sigma \sin^2 \alpha \sqrt{1 + 4 \cot^2 \alpha} = \sigma \cdot K_{III} \end{aligned}$$

こゝに

$$K_{III} = \sin^2 \alpha \sqrt{1 + 4 \cot^2 \alpha} \dots \dots \dots (9)$$

K_{III} の値は α が減少するにつれて一旦増大し、最大値に達して再び遞減する。 K_{III} の



第 7 圖 斜截角と接手強度の増加

最大値は

$$\frac{dK_{III}}{da} = 0 \quad \alpha = 54^\circ 40'$$

となり、この角度が接手の斜截角としては最も不利益なる値となる。

K_{III} の値はこれより漸次減少し

$$K_{III} = 1 \quad \alpha = 35^\circ$$

に於て $\alpha = 90^\circ$ の場合と同値となる。従つて斜截角度は少くも 35° となさねば何等の効果なきこととなる。

而して熔接接手の許容強度の低下 75% を相殺するまで 2τ の値を低下せしむるに必要な角度は

$$K_{III} = 0.75 \quad \alpha = 23^\circ 30'$$

となる。この値は前掲 2 説によつて得たる角度 $\alpha = 40^\circ 40'$ 、 $\alpha = 34^\circ 20'$ に比して更に急角度の斜截を要求してをる。

$K_{III} \frac{\pi}{2}$ の値と $K_{III\pi}$ の比 $\frac{K_{III\frac{\pi}{2}}}{K_{III\pi}} = \frac{1}{K_{III\pi}}$ の変化は第 7 圖曲線 (III) によつて知ることが出来る。

[10] 最大弾性歪エネルギー不變説より見たる斜截接手の角度

主内力 σ_1 及び σ_2 によつて起る歪エネルギーは

$$A = \frac{1}{2E} \left\{ \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \frac{2}{m} (\sigma_1 \sigma_2) \right\}$$

にて示される。然るに

$$\sigma_1 \text{ 及 } \sigma_2 = \frac{\sigma_N}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_N^2 + 4\sigma_T^2}$$

なるが故に

$$A = \frac{1}{2E} \left\{ \sigma_N^2 + 2\sigma_T^2 \left(1 + \frac{1}{m} \right) \right\}$$

にして、今 $m = \frac{10}{3}$ 、 $\sigma_N = \sigma \sin^2 a$ 、 $\sigma_T = \frac{1}{2} \sigma \sin 2a$ とすれば

$$A = \frac{1}{2E} \left\{ \sigma^2 \sin^4 a \left(1 + \frac{13}{5} \cot^2 a \right) \right\}$$

となる。このエネルギーが單純引張の際のエネルギー $\frac{\sigma^2}{2E}$ に達した時に破壊が起るとする。従つて

$$\sqrt{2EA} = \sigma \sin^2 a \sqrt{\left(1 + \frac{13}{5} \cot^2 a \right)} = \sigma \cdot K_{IV}$$

こゝに

$$K_{IV} = \sin^2 \alpha \sqrt{1 + 2.6 \cot^2 \alpha} \dots\dots\dots (10)$$

が單純引張強度に達した時に切斷することゝなる。

K_{IV} の値は α の減少と共に一度増大し $64^\circ 20'$ にて最大値となり $52^\circ 20'$ にて再び零となり、これより漸次低下してゆくこと K_{III} の場合と同様である。従つて α は少くも $52^\circ 20'$ となさねれば接手強度増大の効果は得られざることゝなる。

接手應力の遞減によつて、熔接接手許容應力の低下 75% を相殺するに至る α は

$$K_{IV} = \sin^2 \alpha \sqrt{1 + 2.6 \cot^2 \alpha} = 0.75$$

$$\alpha = 30^\circ 30'$$

となる。この値は前掲最大主歪説によつた場合と近似してをる。

$K_{IV\frac{\pi}{2}} = 1$ と $K_{IV\alpha}$ との比は第 7 圖曲線 (IV) の如き變化を示す。

[11] 前掲諸説によつて與へらるゝ接手角度に對する考察

[7] 乃至 [10] に説いたところは、母材の許容強度に對し、鉋鉋熔接接手の許容強度が今日夫れの 75% 迄認めらるゝに過ぎざるための許容強度の低下を、接手を斜めにすることによつて起る發生應力の低下、即ち接手強度の増大にて補はんを試みたものである。

而して破壊の原因たるべき發生應力に對しては各種の假説あり 各、得失ありて、何れを採るべきかは容易に定め難い。こゝには試みに前掲 4 説を攝りて、これによつて與へらるゝ所要接手角度を算出したのであるが、其結果は第 5 表に示すが如く其範圍甚だ廣く接手角度の最良なりと斷じ得るものを決定し難い。

第 5 表 彈性破壊に關する諸説より求めたる接手角度

彈性破壊の假説	最大主應力説	最大主歪説	最大剪斷力説	最大彈性歪エネルギー不變説
接 手 角 度	$40^\circ 40'$	$34^\circ 20'$	$23^\circ 30'$	$30^\circ 30'$

且つこの角度は接手と母材との強度の差（この計算にては許容強度の比 75% と採る）によつて著しい相違を示すべきものである。

上記 4 假説中 α の最大値を與ふるものは最大主應力説、最小値を與ふるものは最大剪斷力説であり、其範圍は $23^\circ 30' \sim 40^\circ 40'$ で比較的狭い値である。而して最大剪斷力説にては $\alpha = 35^\circ$ 以上にて發生應力はむしろ増大すると結論せらるゝが故に、斯くの如き範圍を除外することゝすれば、許容應力の低下を 75% に採り、これを相殺すべき α の角度の範圍は前掲諸説により大體 $25^\circ \sim 35^\circ$ 程度を適當とすることゝなる。

IV. 豫備試験

[12] 概説

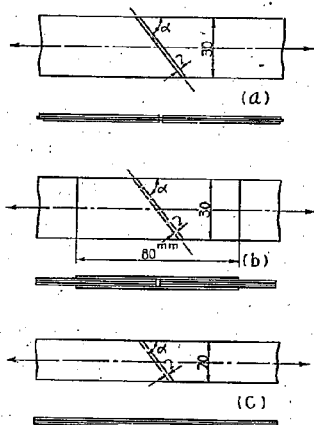
[11] に説きたる接手の斜截による接手部發生應力の減少に伴ふ接手の強度増加の状況を確かめんがために、鋼材實物試験片による實驗に先つて、紙製、モルタル製、平鋼製の小型試験片を用ひて豫備試験を行つた。

小型豫備試験片の製作にあつて、最も困難を感ずることは、熔接箇合接手に於けるが如く、其斷面積に變化なくして接手のみが強度低き試験片を得ることである。この意味からは平鋼製の試験片は全く條件に適せず、接手の強度を小ならしめんがためには切缺を附するのほかに、切込を有する試験片について行つた結果には必ず切缺作用による強度の變化を伴ふことになる。

この點より見るとき、紙製試験片にて接手に相當する位置を潤し、其部分の強度を低下せしめたもの及びモルタル試験片にて接手に配合するモルタルを用ひ其部分の強度を低下せしめたものは、全然切缺の作用をうけてをらぬ。

併しこれ等の豫備試験に使用した材料が突縁に使用する鋼材とは全く弾性を異にした材料であり、且つ接手部の強度低下の割合が熔接の場合と必しも一致しない事の缺點があり、これ等の豫備試験によつて得られた結果も、單に接手角度の變化による強度變化の大勢を窺ふの資料たるにすぎない。

[13] 紙製試験片による實驗



第8圖 紙製試験片

紙製試験片の形狀は大體第8圖指示の(a)(b)(c)3種に分類される。

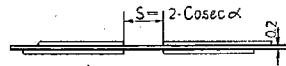
a種は幅員30mmのケント紙の裏に各1枚の同質ケント紙をアラビヤ糊を用ひて貼付し、これ等貼付用ケント紙は接手に相當する2mmの間隙を有し、この間隙の方向 α は 90° , 72° , 56° , 45° , 37° , 31° , 27° の7種に變化せしめた。

b種はa種と逆に接手に相當する2mmの間隙を有する幅30mm3枚重ねのケント紙の兩側に接手を有せざる同幅のケント紙を貼付したもので、接手の角度はa種と同様である。

c種は幅員20mmのケント紙を3枚アラビヤ糊にて密着せしめた後、試験前に中央部接手

線に沿ひて一定幅を表裏より毛筆を用ひて、水にて潤し直ちに試験を行つた。水を塗布した後の時間迄に塗布の水量は、各試験片とも出来得る限り、均一ならしむることに努めた。接手の傾斜角度は $90^\circ, 80^\circ, 75^\circ, 70^\circ, 65^\circ, 60^\circ, 55^\circ, 50^\circ, 45^\circ, 40^\circ, 35^\circ, 30^\circ$ の 12 種である。

a 種試験片の成績 この試験片に於て、先づ憂慮せらるゝことは、接手に當る部分の切り込みの接手強度に及ぼす影響であるが、ケント紙の厚さ約 $\frac{19}{100}$ mm に對し、引張の方向に測りたる間隔は第 9 圖の如く $S=2 \operatorname{cosec} \alpha$ にて最小の場合 ($\alpha=90^\circ$) にても切り込みの深さの 10 倍に達してをる。従つて Wawrzyniak 氏が軟鋼について行つた實驗の結果、即ち切り込みの幅が深さの 2.5 倍に達すれば切り込みの影響を考慮するの必要なしとの結論が、この紙製試験片の場合にも大體適用し得るものとすれば、切り込みは大體に強度に影響せざるものと信じて大過あるまい。



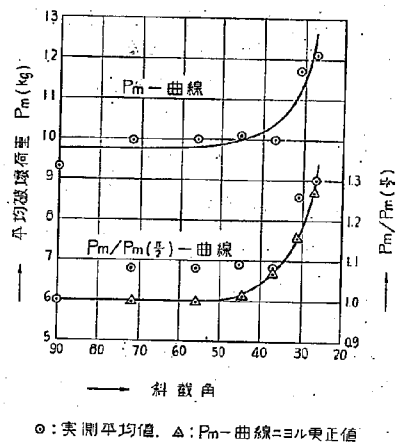
第 9 圖

試験は各斜截角度毎に 2 試験片を用ひ、其平均値をもつて實驗値とした。試験結果に格段の相違を示せるものはこの平均から除外してをる。

第 6 表 a 種紙製試験片引張試験成績

斜 截 角 度 (α)	破 壊 荷 重 $P(kg)$	平均破壊荷重 $P_m(kg)$	$P_m/P_m(\frac{\pi}{2})$	$\frac{P_m/P_m(\frac{\pi}{2})}{P_m/P_m(\frac{\pi}{2})}$ (更正せるもの)
90	— 9.3	9.3	1.00	1.00
72	10.1 9.8	10.0	1.08	1.00
56	— 10.0	10.0	1.08	1.00
45	10.2 10.0	10.1	1.09	1.01
37	— 10.0	10.0	1.08	1.07
31	11.8 11.6	11.7	1.26	1.16
27	— 12.1	12.1	1.30	1.27

この試験成績を第 10 圖によつて見るに、大體斜截角 $90^\circ \sim 55^\circ$ の間に於ては強度の増大は認められないが、 α が 50° を越すと急激に増加してをる。[III] に於ける諸説は其理論を弾性式に置きたるものなるが故に、これらの説より導きたる結論を紙製試験片の上に適用することは大に疑問とすべきところならんも、斜截角度の變化に伴ふ強度の増加模様のみを比較するときは、最大主歪説によりたる結果に最も近似してをる。



第 10 圖 a 種紙製試験片の試験成績

b 種試験片の成績 この試験片は a 種の試験片に於ける切り込みの影響を一層除去せんことにつとめたもので、同時に接手部の強度と母材部の強度とを 2:5 に一定せしめた。接手部の強度は母材部の夫れの 40% に當る。

この種の形状の引張試験片に於ても、断面の急激の變化を免れざるが故に切欠作用の影響皆無なりとは云ひ難い。併し切欠の幅員が 2 mm に對し、全厚が $3 \times 0.2 = 0.6$ で a 種の場合よりも 0.2 mm 大ではあるが、形状の相違を問題にしないとすれば Wawrzyniak

第 7 表 b 種紙製試験片引張試験成績

斜 截 角 度 (α)	破 壊 荷 重 P (kg)	平均破壊荷重 P_m (kg)	$\frac{P_m}{P_m(27)}$
90	16.0	16.0	1.00
72	15.5 16.0	15.8	0.99
56	16.2 17.0	16.6	1.04
45	17.5 (16.0)	17.5	1.09
37	19.5 18.0	18.8	1.18
31	19.0 20.6	19.8	1.24
27	22.9 24.0	23.5	1.47

この試験片では切り込み作用の影響がないものと假定出来る範囲内では、切り込みの深さ即ち表裏當板の厚さが變化しても同一の結果が生ずべきである。従つてこの形の試験片については接手部材料の強度と母材強度との比率を決定することが出来ぬ。併し實驗に用ひた斜截角度の最小値 $\alpha = 27^\circ$ に對し、強度の増加は 30% に達してをる。この増加は接手部材料の強度が母材に對し 75% に相當するときの所要斜截角を與へるもので、 $\alpha = 27^\circ$ は [III] の最大剪斷力説と最大弾性歪エネルギー不變説とにて決定した兩角度の中間に位してをる。

氏の實驗結果からみて、其切欠作用はさほど重大視すべき量ではないと信ずる。試験片は各斜截角とも2個を用ひ、其平均値をもつて實測値とする。第7表が其成績表である。

第11圖について強度の増加狀況を見るに $\alpha=90^\circ$ より 68° に至る間は強度の低下を示し、 68° を越すに及んで漸次強度の増大を示し、 $\alpha=27^\circ$ に至つて $\alpha=90^\circ$ の強度に比し 47% 増の値に達してをる。これより斜截角の増加に伴ふ強度の増大は急激であつて、曲線は縦軸に切せんとする狀況を示してをる。

a が $90^\circ \sim 68^\circ$ の間にて強度の一旦低下するの傾向は最大剪斷力説及び最大弾性歪エネルギー説によつて求めたる結果と同様である。

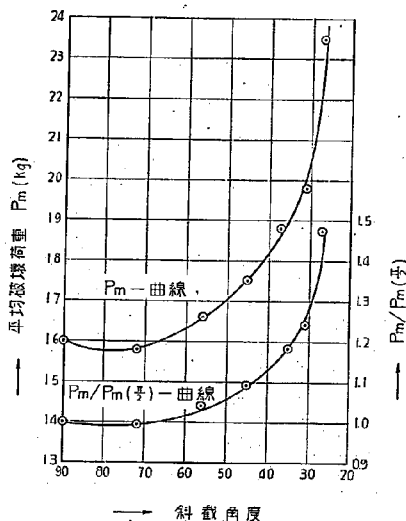
接手部と母材との強度の比は 40% なるが故に斜截による増大が 150% に達して兩者相殺することとなる。この實驗の範圍にては $\alpha=27^\circ$ にて 147% に達したるに過ぎない。

c 種試験片の成績 この試験片に於ては接手部の強度の低下をケント紙を水にて潤すことによつて求めたるが故に、試験片の形狀の急激なる變化等による悪影響は全然考慮する必要がない。只水の浸潤の程度即ち塗布の水量と塗布後試験に至るまでの時間を一定ならしむることに困難がある。

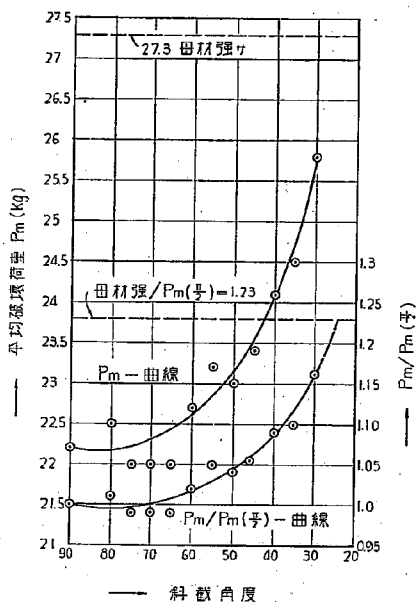
試験片は斜截角 $90^\circ \sim 30^\circ$ の 12 種につき各 4 箇乃至 7 箇を使用した、第8表に掲げたものは其平均値である。

この試験片の成績について見るも α が $90^\circ \sim 70^\circ$ の間にては其強度が低下してをり、この範圍のものゝ切斷は明かに接手沿ひ（浸潤部沿ひ）に起つてをり、この角度以上のものは破壊の初まりは接手部に生じ、龜裂は母材部に進んでをる。

接手に水を浸潤せしめざるものゝ強度は 27.3 kg にてこれを $\alpha=90^\circ$ の浸潤せるものの強度 22.2 kg に比べると 1.23 倍となつてをる。これに對し接手を傾斜せしむることによる強度の増加は實驗の最少角 $\alpha=30^\circ$ に於て 1.16 倍までに達するも、未だ接手部強度を母材強度に達せしむるに至らない。第12圖に示す圖表に $P_m/P_m(\text{手})$ 曲線にて點綴の部



第11圖 b 種紙製試験片の試験成績



第12圖 c 種紙製試験片の成績

第8表 c 種紙製
試験片引張試験成績

斜截角度 は (乾燥セント紙)	試験 片数	平均破壊重 P_m (kg)	$\frac{P_m}{P_m(90^\circ)}$
90	6	27.3	
90	5	22.2	1.00
80	4	22.5	1.01
75	3	22.0	0.99
70	5	22.0	0.99
65	4	22.0	0.99
60	7	22.7	1.02
55	6	23.2	1.05
50	5	23.0	1.04
45	7	23.4	1.05
40	6	24.1	1.09
35	4	24.5	1.10
30	4	25.8	1.16

分は実験範囲外へ曲線を延長したもので、これを正しとすれば $\alpha=25^\circ$ にて接手は母材に相当した強度を有することとなる。

紙製試験片の成績に対する考察 3種の紙製試験片について求めた実験結果に於て、特に注目せらるゝことは、其孰れのものも斜截角度と接手強度の増加との関係が、[III]に掲げた諸説の孰れかの結果とよく傾向が一致してをること、a 種試験片が角度の大なる間には、殆ど強度の變化を示さざる點は最大主歪説の結果と近似し、b 及 c 種が大なる角度にて強度の低下を示せる點は、最大剪斷力説又は最大弾性歪エネルギー不變説の示す結果と相似てをる。紙製試験片の強度試験の結果を、弾性理論に基く諸説に比較することは幾分妥當を缺く點あらんも、兩者のよく近似せる結果を導き得たる點に興味を感ずるものである。

孰れにせよ、これ等試験片の示すところは、斜截角度の減少と共に強度は増大し、Patton 教授の実験に於けるが如き、最大強度を與ふる特定の角度の求め得ざることを明かにした。

[14] モルタル試験片による實驗

この實驗はモルタル引張試験片の中央部に接手を設け、この部分を配合劣れるモルタル

第9表 モルタル試験片引張試験成績

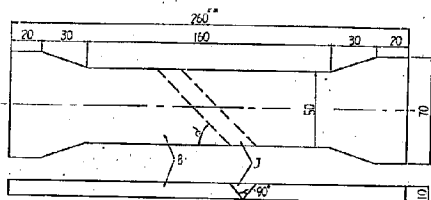
(B: 母材部モルタル, J: 接手部モルタル)

試験片番號		斜 截 角 度 α	破 壊 荷 重 $P_b(\text{kg})$	$\frac{P_b}{P_{\frac{\pi}{2}}}$	摘 要
I	B	配合 1:1	170		水セメント比 35% J 強度 = 90% B 強度
	J	配合 1:2	153		
	1	90	134	1.00	接手に沿ひて切斷
	2	75	112	0.84	
	3	60	155	1.16	接手部分にて試験片に直 角に切斷, α の小なるも のにては切斷は母材にか ゝる
	4	55	55*	—	
	5	50	49*	—	
	6	45	126	0.94	母材部切斷
	7	30	185	1.38	
II	B	配合 1:1	200		水セメント比 35% $P_{\frac{\pi}{2}} = 55\%$ B 強度
	J	配合 1:3	53*		
	1	90	110	1.00	接手に沿ひて切斷
	2	75	61	0.55	
	3	60	84	0.76	接手部分にて試験片に直 角に切斷, 従つて α の小 なる試験片にては切斷線 は母材を通る
	4	55	102	0.93	
	5	50	104	0.95	
	6	45	122	1.11	
	7	30	141	1.28	
III	B	配合 1:1.5	190		水セメント比 40% J 強度 = 46%, $P_{\frac{\pi}{2}} = 32\%$ B 強度
	J	配合 1:3.5	87		
	1	90	61	1.00	接手沿ひに切斷
	2	75	65	1.07	
	3	60	80	1.30	"
	4	55	—	—	
	5	50	—	—	
	6	45	106	1.74	切斷は半は接手に沿ひ半は試験片 に直角母材部に入る 接手部より試験片に直角に切斷, 切斷は半は母材部なり
	7	30	140	2.30	
IV	B	配合 1:1.5	157		水セメント比 40% J 強度 = 58%, $P_{\frac{\pi}{2}} = 40\%$ B 強度
	J	配合 1:3.5	91		
	1	90	63	1.00	接手沿ひに切斷
	2	75	40	0.64	
	3	60	86	1.37	"
	4	55	—	—	
	5	50	—	—	
	6	45	117	1.86	接手部より母材部に亘り 試験片に直角に切斷
	7	30	133	2.11	

* 印を附したるものは試験片に缺陥ありたるために強度の著しく低かりしものにして、強度比較の資料としてはこれを除外した。

を以て填充し、これによる強度の低下を熔接接手の強度低下に擬せんとするものである。

試験片の形状寸法は第 13 圖の示す如くで、接手部は其断面形を直角 2 等邊三角形とし



第 13 圖 モルタル試験片

V 形溶合熔接に對應せしめた。試験片の製作は先づ良質のモルタルにて母材部を形成し、接手部には其形状に應じた定規を挿入し、定規を取り去りて、この部分へ配合の劣れるモルタルを充填した。

使用モルタルは、セメントには

淺野ペロセメント、骨材には標準砂を用ひ、水量は水セメント比 35%~40%、配合は母材部 1:1 及び 1:1.5、接手部 1:2, 1:2.5, 1:3, 1:3.5 とした。

接手斜截角は 90°, 75°, 60°, 55°, 50°, 45°, 30° の 7 種を標準とし、種類により 55° 及 50° を省略した。

各試験片毎に母材部モルタル及接手モルタルのみよりなる試験片を同時に製作し、兩者の強度比較の資料とした。

試験の成績を全般的に見るに、其強度、切断狀況等甚しく不規則にして、斜截角の變化による強度の増減を判定する材料たり得るものは極めて少數である。今總試験片 14 組の中より切断狀況も合理的であり、強度の變化も漸變的である 4 組の成績を掲ぐれば第 9 表の如くである。

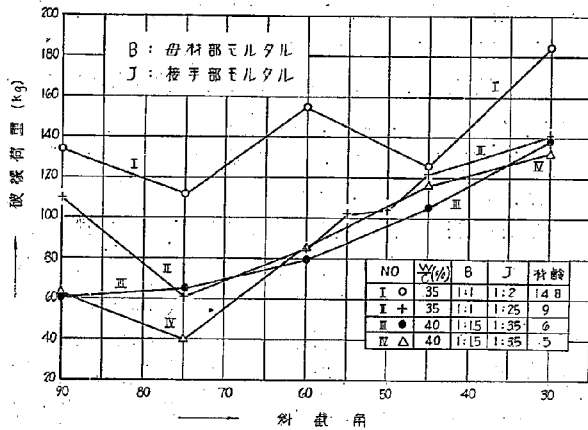
第 9 表の試験成績によると接手を斜截することによる強度の増加は紙製試験片に於けるが如く規則的の變化を示してをらないが、大體に於て強度は α の減少と共に一度は低下したる後再び増大し、 $\alpha=90^\circ$ の場合の強度以上に達し得ることが明かである。

第 14 圖はこれらの強度と斜截角との關係を示したもので I 號試験片に於ては $\alpha=60^\circ$ に於けるものゝ強度が特に大なること、 $\alpha=55^\circ$ 及 50° のものゝ強度が試験片断面に認められる氣泡のためか著しく低いことを無視すると大體 $\alpha=60^\circ$ 附近にて最少強度を示し、 $\alpha=45^\circ$ にて略、 $\alpha=90^\circ$ の場合の強度に達する。この試験片は接手と母材モルタルとの強度比率が 90% 程度であるが、これに對してこの比率の 40~50% 程度の試験片である II, III, IV 試験片の成績を見ると大體 $\alpha=75^\circ$ 附近にて最少強度を示し、 $\alpha=90^\circ$ の場合と同等の強度を示すのは $\alpha=60^\circ$ 前後である。

これ等の關係から見ると接手と母材との強度の差の大なるものほど最少強度を示す斜截角は小さく、強度の増大の割合は急激であると云ふことが出来る。

モルタル試験片にては母材と接手材との強度の比を種々に變更して、これによる強度増

大率の變化を確めんと試みたものであるが、試験片用の材料たるモルタルの性質上試験結果に可成の不均一性現はれ、接手の斜裁角度並に接手材料の強度の差による接手強度の微細なる變化を確むること能はざりしを遺憾とする。



第 14 図 モルタル試験片の引張強度と斜裁角との關係。

[15] 平鋼切溝試験片による實驗

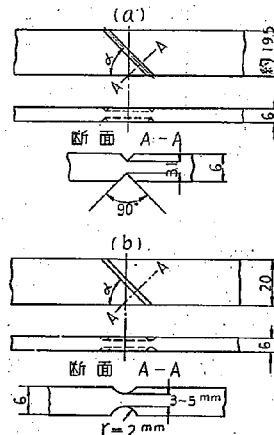
平鋼に切溝をつくり、この部分の強度を低下せしめて、これを熔接接手に擬せんとするものである。切溝の形狀寸法からこれを 2 種に分つ。

a 種試験片 第 15 圖 (a) に示す如く幅 B 約 19.5 mm、厚 6 mm の平鋼に頂角 90° の三角形切溝を附したるもので、其斜裁角を 90° 、 75° 、 60° 、 55° 、 50° 、 45° 、 40° 、 35° 、 30° の 9 種とする。

b 種試験片 a 種の三角形の切溝を半圓形に改めたるものにて、其切溝の深さも 5 種類に分類し、殘留鋼板厚 a を 3, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 mm の 5 種とした。平鋼は幅員 20 mm、厚 6 mm にて各種毎に斜裁角を 90° 乃至 30° の 12 種に變へた。

これ等兩種試験片共に、切溝底部に於ける應力の集中は免れ難く、又一方切斷部の斷面縮少を妨けらるゝ關係上強度の増大を來たすものもあるべしと考へらるゝも、孰れの影響も接手の斜となる關係上、其量を的確に判定することは容易でない。

斯くの如く其狀況が熔接接手の場合と甚しく異なるものありて、其結果をもつて直ちに熔接接手の場合に適用することは困難なるべきも、接手の斜裁角の變化に



第 15 図 平鋼に切溝を附したる試験片

よる強度の増減の大勢を知るための資料としては充分なる結果を求め得るものと信ずる。

試験片の製作に用いた鋼材は a 種に於ては市販の構造用鋼を使用せるも、b 種に於てはアームコ鋼を使用した。これが強度等を日本標準規格第 1 號試験片 (幅 33.5 mm, 厚 9.66 mm) によつて求めた結果は次の如くである。

降伏點強度 20.4 kg/mm², 極限引張強度 35.7 kg/mm²

伸率 20% (標點距離 200 mm)

a 種試験片の成績 この試験片に於て、母材と接手材との強度の比としては、切溝の影響を無視するとき、其厚さの比率にて表はすことを得べく、約 50 % である。併し第 10 表の成績に於て $\alpha=90^\circ$ の場合の強度を見るに、切溝單位斷面積當強度平均 64 kg/mm² に達し、切溝による強度の増大の顯著なることが認められる。従つてこの試験片の母材と接手材との強度の比は、母材の平均強度を 43 kg/mm² と假定すれば、これに基く母材強度約 5000 kg と $\alpha=90^\circ$ の切溝を有するときの平均強度 3830 kg との比 77 % と認むべきを妥當と考へる。この數値も切溝の影響が α の變化によつて増減せざるものとしての假定値であつて、必しも正確であるとは斷言出來ぬ。

第 10 表 a 種平鋼切溝試験片の成績

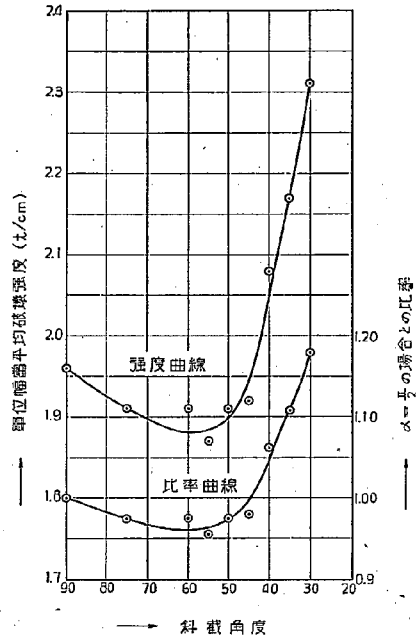
傾斜角 α	試験片數	切溝部 厚 (mm)	試験片 平均幅員 B (mm)	平均破壊 荷重 P (kg)	單位幅當 破壊強度 P/B (kg/cm)	$\alpha=90^\circ$ のと きを 1 とせる P/B の比率
90	2	3.1	19.5	3830	1960	1.000
75	2	"	19.5	3730	1910	0.974
60	3	"	19.5	3730	1910	0.974
55	3	"	19.4	3640	1870	0.954
50	3	"	19.3	3690	1910	0.974
45	2	"	19.6	3750	1920	0.980
40	2	"	19.3	3990	2080	1.061
35	2	"	19.4	4190	2170	1.107
30	2	"	19.6	4520	2310	1.179

斜截角に伴ふ接手強度の増減は、第 16 圖によつて明かなるが如く、 $90^\circ \sim 44^\circ$ の間は其強度低下し、これより α の減少するにつれて、急激に増加してをる。強度は $\alpha=60^\circ$ にて最低値を示し、 $\alpha=45^\circ$ にて直截の場合と略々同値となる。これ等の關係は [III] の最大剪斷力説、最大弾性歪エネルギー不變説の傾向と一致してをる。これ等の諸説の説く破壊は、弾性理論の適用せらるべき極限值と考へて至當なるべく、従つて本試験片についても、其降伏點強度をもつて比較對照すべきを妥當と信じ、各試験につきて荷重—變形曲線を求めた。第 17 圖は其一部を示すものであるが、これによつて見ると各試験片とも殆んど同

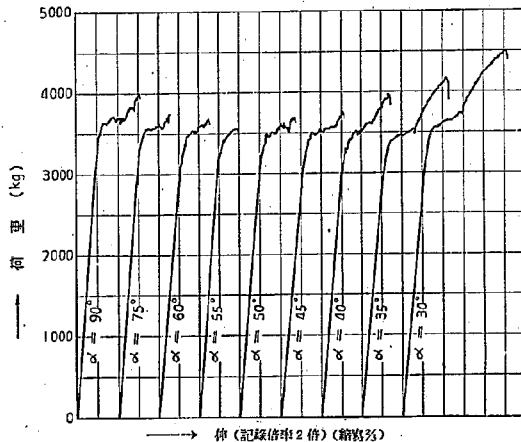
値の降伏點荷重を示し、其間に何等の區別が認められない。この原因は接手部の強度が切溝の影響にて増大し、切溝部に破壊の生ずる前に、母材部に降伏を起し、各試験片に一樣に現はれたる降伏點は、接手に關する強度にあらずして、母材部全體の降伏點を示すものであることが認められる。この場合の單位應力を求めるに、降伏點荷重平均 3500kg と見做し、母材断面平均 19.5×6.0 とすれば、約 30 kg/mm^2 の降伏點強度を示すこととなる。平軟銅の降伏點強度として正常の數字である。

b 種試験片の成績 先づ接手部の強度と母材との強度の比を確むるために、接手部厚の異りたる 5 種につき夫、 $\alpha = 90^\circ$ の場合の強度を比較するに第 11 表の如くである。

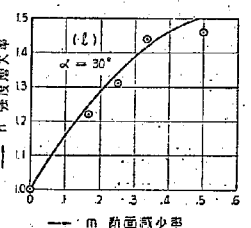
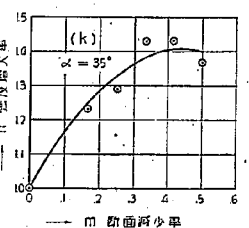
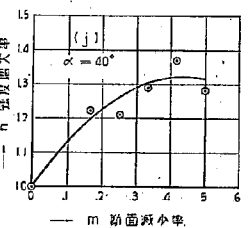
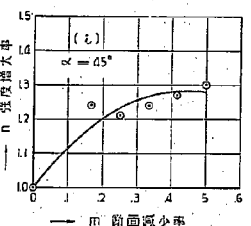
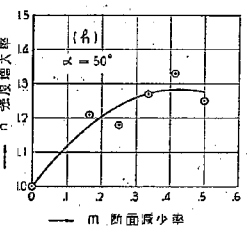
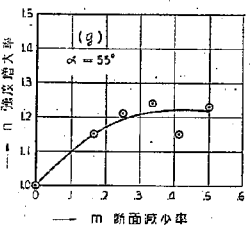
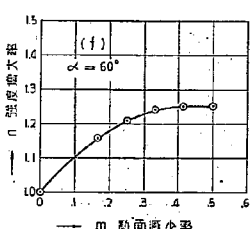
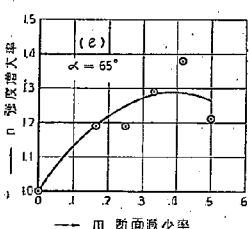
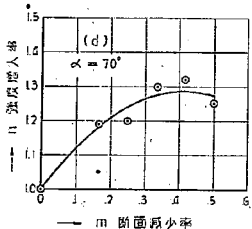
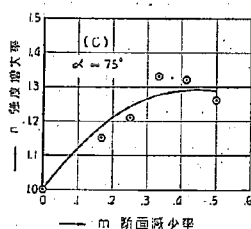
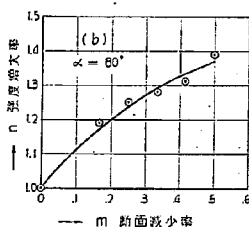
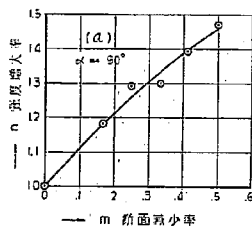
第 11 表の結果によると、切溝部断面積の 50% 減に對しては強度の増大率は 47% に達し、断面積の減少 10% につき 9.5% の強度増加となり、其増加の割合が略、直線的であることは第 18 圖 (a) によつて知ることが出来る。横軸に断面減少率 (m)、縦軸に強度増加率 (n) を採つたもので、兩者の關係を他の試験片の傾向より見て m の 2



第 16 圖 a 種平鉚切溝試験片の成績



第 17 圖 同上荷重變形曲線



第 18 圖 各種の傾斜角に於ける強度増大率と断面減少率との關係

第 11 表 切溝による強度の増加 ($\alpha=90^\circ$)

切溝部の厚 $l(\text{mm})$	切溝部断面積 $A(\text{cm}^2)$	断面減少率 $m=1-\frac{A}{1.2}$	破壊荷重 $P(\text{kg})$	極限強度 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値
原材 $l_0=6$	1.2	0		3570	1.00	1.00
5.0	1.0	0.167	4220	4220	1.18	1.18
4.5	0.9	0.250	4160	4620	1.29	1.26
4.0	0.8	0.333	3720	4650	1.30	1.33
3.5	0.7	0.416	3470	4960	1.39	1.40
3.0	0.6	0.500	3150	5250	1.47	1.46

式として示すとき大體次の如くなる。

$$\alpha=90^\circ \quad n=-0.466 m^2+1.150 m+1$$

本式を用ひて實測値 n を更正したものが第 11 表第 7 行の數字である。

$\alpha=90^\circ$ の場合について行つたと同様の方法によつて、 $\alpha=80^\circ \sim 30^\circ$ の 11 種の場合の切溝による強度の増加率を求めると、第 12 表及第 18 圖 (b) 乃至 (j) の如き結果が求められる。斜截角 α の變化に應じ、強度増加率と断面減少率との間に、次の關係があることがわかる。

$$\alpha=80^\circ \quad n=-0.861 m^2+1.169 m+1$$

$$\alpha=75^\circ \quad n=-1.543 m^2+1.350 m+1$$

$$\alpha=70^\circ \quad n=-1.700 m^2+1.397 m+1$$

$$\alpha=65^\circ \quad n=-1.868 m^2+1.463 m+1$$

$$\alpha=60^\circ \quad n=-1.358 m^2+1.175 m+1$$

$$\alpha=55^\circ \quad n=-1.508 m^2+1.151 m+1$$

$$\alpha=50^\circ \quad n=-1.572 m^2+1.333 m+1$$

$$\alpha=45^\circ \quad n=-1.495 m^2+1.305 m+1$$

$$\alpha=40^\circ \quad n=-1.662 m^2+1.455 m+1$$

$$\alpha=35^\circ \quad n=-2.100 m^2+1.845 m+1$$

$$\alpha=30^\circ \quad n=-1.441 m^2+1.726 m+1$$

これ等の諸式によつて求められた n の更正値は、第 12 表の末行に掲げたもので、第 18 圖 (b) 乃至 (j) の曲線はこれを圖示したものである。

今これ等の更正値を用ひて、切溝部の厚 l の各種毎に、斜截角度の變化に對する強度増大の狀況を見るに、大體第 19 圖に示すが如き傾向を探ることがわかる。

第12表 切溝による強度の増加 ($\alpha=80^\circ\sim 30^\circ$)

切溝部の厚 $t(\text{mm})$	切溝部断面積 $A(\text{cm}^2)$	断面減少率 $m=1-\frac{A}{1.2}$	$\alpha=80^\circ$			
			破壊荷重 $P(\text{kg})$	極限強度 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値
原材 $t_0=6$	1.2	0	—	3570	1.00	1.00
5.0	1.0	0.167	4240	4240	1.19	1.17
4.5	0.9	0.250	4010	4450	1.25	1.24
4.0	0.8	0.333	3650	4570	1.28	1.29
3.5	0.7	0.416	3280	4680	1.31	1.34
3.0	0.6	0.500	2970	4950	1.39	1.37

$\alpha=75^\circ$				$\alpha=70^\circ$			
破壊荷重 $P(\text{kg})$	極限強度 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値	破壊荷重 $P(\text{kg})$	極限強度 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値
—	3570	1.00	1.00	—	3570	1.00	1.00
4100	4100	1.15	1.18	4260	4260	1.19	1.18
3910	4330	1.21	1.24	3850	4270	1.20	1.24
3810	4760	1.33	1.28	3720	4650	1.30	1.28
3290	4700	1.32	1.30	3310	4730	1.32	1.29
2690	4490	1.26	1.29	2680	4480	1.25	1.27

$\alpha=65^\circ$				$\alpha=60^\circ$			
破壊荷重 $P(\text{kg})$	極限強度 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値	破壊荷重 $P(\text{kg})$	極限強度 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値
—	3570	1.00	1.00	—	3570	1.00	1.00
4260	4260	1.19	1.19	4150	4150	1.16	1.15
3810	4240	1.19	1.25	3890	4320	1.21	1.21
3680	4600	1.29	1.28	3520	4410	1.24	1.24
3460	4940	1.38	1.29	3130	4470	1.25	1.25
2580	4310	1.21	1.27	2760	4450	1.25	1.25

$\alpha=55^\circ$				$\alpha=50^\circ$			
破壊荷重 $P(\text{kg})$	極限強度 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値	破壊荷重 $P(\text{kg})$	極限強度 $\sigma(\text{kg/cm}^2)$	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値
—	3570	1.00	1.00	—	3570	1.00	1.00
4110	4110	1.15	1.15	4330	4330	1.21	1.18
3900	4330	1.21	1.19	3780	4200	1.18	1.24
3540	4430	1.24	1.22	3620	4530	1.27	1.27
2880	4120	1.15	1.23	3310	4740	1.33	1.28
2630	4380	1.23	1.20	2680	4460	1.25	1.27

$\alpha=45^\circ$				$\alpha=40^\circ$			
破壊荷重 P (kg)	極限強度 σ (kg/cm ²)	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	更正値	破壊荷重 P (kg)	極限強度 σ (kg/cm ²)	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	更正値
—	3570	1.00	1.00	—	3570	1.00	1.00
4440	4440	1.24	1.18	4340	4340	1.22	1.20
3890	4320	1.21	1.23	3890	4320	1.21	1.26
3550	4440	1.24	1.27	3680	4600	1.29	1.30
3170	4530	1.27	1.28	3420	4890	1.37	1.32
2780	4630	1.30	1.28	2750	4580	1.28	1.31

$\alpha=35^\circ$				$\alpha=30^\circ$			
破壊荷重 P (kg)	極限強度 σ (kg/cm ²)	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	更正値	破壊荷重 P (kg)	極限強度 σ (kg/cm ²)	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	更正値
—	3570	1.00	1.00	—	3570	1.00	1.00
4400	4400	1.23	1.25	4370	4370	1.22	1.25
4150	4610	1.29	1.33	4210	4670	1.31	1.34
4080	5100	1.43	1.38	4120	5150	1.44	1.42
3560	5090	1.43	1.41	3830	5470	1.53	1.47
2930	4890	1.37	1.40	3120	5200	1.46	1.50

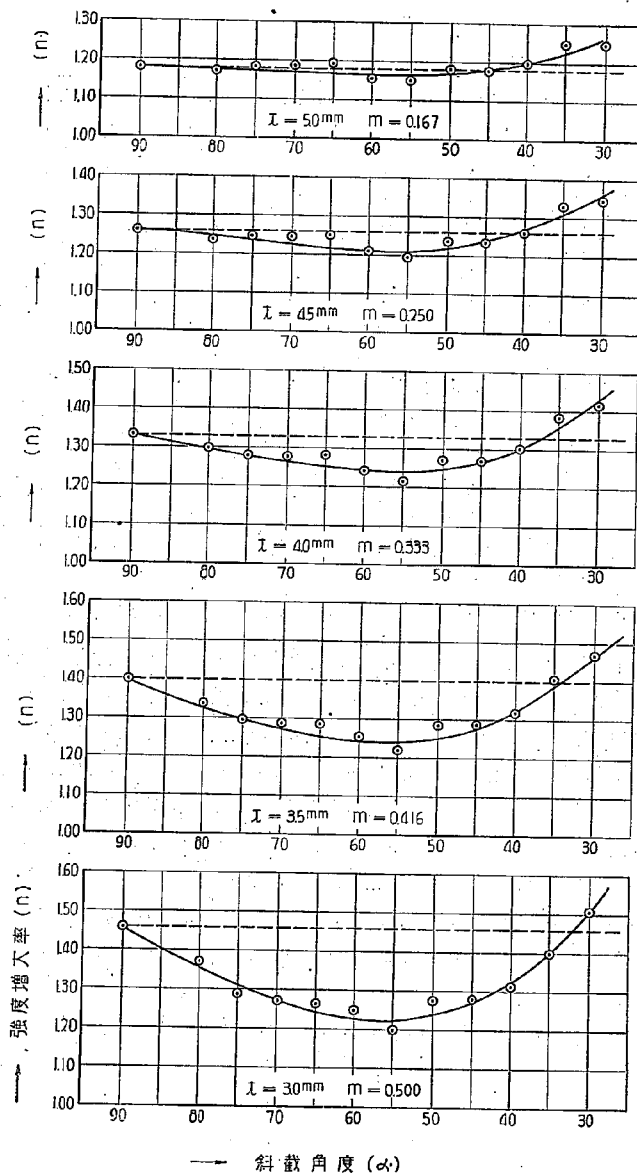
* 表中 — 線を附したものは其切斷が切溝部以外へ亘りたるもの。

第 19 圖について見るに、切溝の深淺に拘らず強度は $\alpha=90^\circ$ より斜截角度の減少と共に遞減し、 $\alpha=45^\circ \sim 32^\circ$ 附近に至つて $\alpha=90^\circ$ の場合の強度まで回復し、これより α の減少につれ更に強度を増してをる。この強度の變化には斜截角の變化の影響と其深さと其傾斜角とに左右せらるゝ切溝による強度の増加とが組合されてをり、この兩者を分離して斜截角のみの影響を求めることが極めて困難なるが故に、今は單に $\alpha=90^\circ$ に於ける強度増加率を標準とし、これに對する α の變化と強度變化との關係を論ずることに止める。

先づ強度の變化の割合を見るに、切溝の淺きもの即ち l の大なるものほど變化が少く、 $l=5.0\text{mm}$ にては $\alpha=90^\circ \sim 45^\circ$ の間は殆んど變化なしと云ひ得る程度なるに對し、 $l=3.0\text{mm}$ に至りては $\alpha=90^\circ$ の場合と最低強度の場合とにて強度に 20% の相違が現はれてをる。

最低強度を示す角度はこれを正確に判斷し難きも、大體 55° 附近と認められ、一旦低下した強度が $\alpha=90^\circ$ の強度に回復する角度は、 l の大なるほど大にして次の値を持つてをる。

$$\begin{array}{ccccccc}
 (\text{mm}) & & & & & & \\
 l = & 5.0 & 4.5 & 4.0 & 3.5 & 3.0 & \\
 \alpha' = & 45^\circ & 42^\circ & 37^\circ & 34^\circ & 32^\circ &
 \end{array}$$



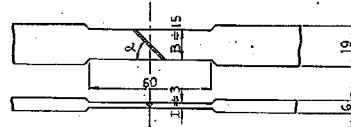
第 19 図 各種の切溝の深さに於ける斜截角度と強度増大との関係
(30)

この實驗に於ても、他の諸實驗に於けるが如く、斜截角の減少と共に強度が一旦低下し最低値に達した後強度は再び増大し、其變化の割合は母材と接手との強度の差の大なるほど著しいことが知られる。

[16] 平鋼小型熔接試験片による實驗

比較的高強度の平鋼に第 20 圖の如き平行部を作り、これに平鋼強度に比して低強度の熔接棒を使用して接手を設け、これが接手角度を $90^\circ \sim 30^\circ$ の 9 種に變化せしめて實驗を行つたものである。實驗の結果を見るに其

切斷は斜截角の如何を問はず、すべて接手に生じてをり、斜截角と接手強度との關係を求むる目的より見るとき甚だ好都合なりしも、平鋼の強度が熔着鋼の夫れに比し高きにすぎ、其含有諸成分が熔着鋼の強度に



第 20 圖 平鋼小型熔接試験片

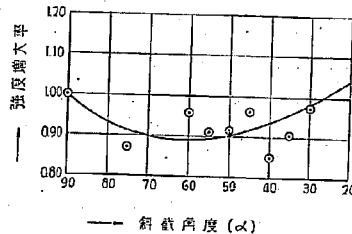
影響を及ぼしたりと推定せらるゝ節あり、且其影響の度が試験片により一定せざりし結果として、接手強度には甚しく不規則なる變化現はれ、充分なる結論に達し得ざりし事を遺憾とする。

平鋼の強度はこれの實測値を有せざるも、熔接試験片の示せる降伏點が各試験片とも殆んど一定値にして約 35 kg/mm^2 なる點より見て、これを母材の降伏點の現はれなりと見做せば、平鋼強度は少くも 55 kg/mm^2 を有したるものと推定せられる。

次に熔着鋼の強度は直角接手のものゝ成績より見て 46 kg/mm^2 以上を有するものと認めらるゝも、元來この接手の熔接に使用せる電極棒は普通 40 kg/mm^2 前後の強度を標準とせるものなるが故に、この 46 kg/mm^2 の實測値は明かに熔着鋼が母材成分の影響をうけたる結果と推定せられる。

試験片の平行部斷面約 $15 \times 3 \text{ mm}$ 、平鋼原斷面は $19 \times 6 \text{ mm}$ である。試験は 5 施多能試験機を使用し、其成績第 13 表の如くである。

第 13 表の結果を圖表に示すとき第 21 圖の如くであつて、其強度の變化は著しく不規則であるが、大體既述の諸實驗の結果と同様 $\alpha = 90^\circ$ より斜截角の減少に伴ひ一旦強度は低下し、或一定値に至つて再び強度は増大するものと認められる。



第 21 圖 平鋼小型熔接試験片の斜截角と強度増加率との關係

第13表 平鋼小型溶接試験片成績

接手斜 截角度(α)	接手部形状			破壊荷重 P (kg)	極限強度 $\frac{P}{A}$ (kg/cm ²)	平均極限* 強度 (kg/cm ²)	$\alpha=90^\circ$ の場合の強度との比(n)
	幅 B (mm)	厚 t (mm)	断面積 A (cm ²)				
90° {	1	14.9	2.98	0.444	2090	4710	1.00
	2	15.0	2.98	0.447	2080	4650	
75° {	1	15.0	3.00	0.450	1820	4040	0.87
	2	15.0	3.03	0.455	1670	3670	
60° {	1	15.0	3.00	0.450	2030	4510	0.96
	2	14.9	2.95	0.440	2180	4950	
	3	15.0	3.05	0.458	1810	3950	
55° {	1	14.9	3.01	0.448	1750	3910	0.91
	2	14.9	3.10	0.462	2030	4390	
	3	15.0	2.95	0.443	1990	4490	
50° {	1	14.9	3.03	0.451	1720	3810	0.92
	2	15.0	2.97	0.446	2050	4600	
	3	14.9	3.01	0.448	2020	4510	
45° {	1	14.9	2.97	0.443	2100	4740	0.97
	2	15.0	3.12	0.468	2010	4290	
40° {	1	15.1	2.98	0.450	1700	3780	0.84
	2	15.0	3.01	0.452	1790	3960	
35° {	1	15.0	3.04	0.456	1900	4170	0.90
	2	15.0	3.06	0.459	1960	4270	
30° {	1	15.0	2.99	0.449	1990	4430	0.97
	2	14.9	3.02	0.450	2110	4690	

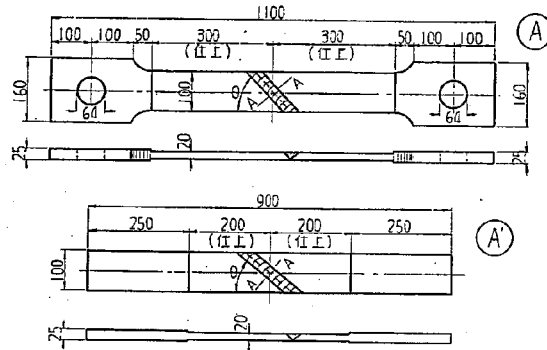
備考 * 極限強度 3800 kg/cm² 以下のものはこれを除外す。

V. 實物試験

[17] 試験片の形状寸法

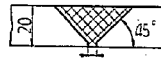
試験片はこれを大體3種に分類する。A種試験片は同厚の突縁鋸の接合、B種及C種は異厚の突縁鋸の接合をかたどつた物である。

第22圖はA種試験片を示すもので、厚25mmの母材を用ひ、V形衝合溶接にて接合してをる。試験片平行部は溶接後幅員100mm、厚20mmに仕上げ、接手の斜截角度は90°、75°、60°、55°、50°、45°の6種とした。各斜截角に對し試験片2個を作製し、其一つは接手強度のほか接手部の應力分布を觀測するに便なる様、端部を鉚結とし、荷重の増減加除を自由ならしめた。第22圖Aはこの試験片を示すものである。他の一つ

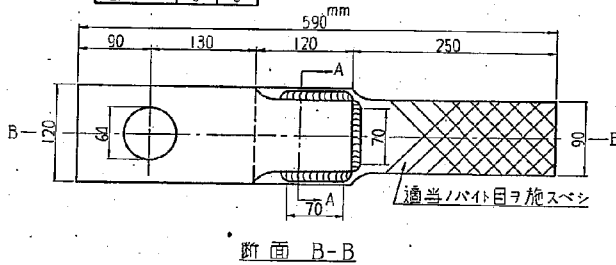


番号	θ	試験片枚	
		A	A'
1	90	1	1
2	75	1	1
3	60	1	1
4	55	1	1
5	50	1	1
6	45	1	1
計		6	6

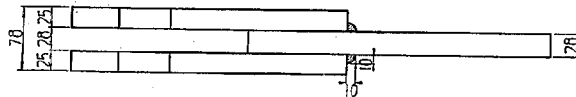
断面 A-A



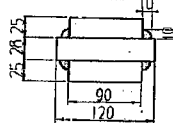
第 22 図 A 種及 A' 種試験片



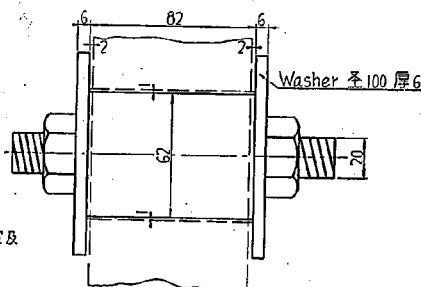
断面 B-B



断面 A-A



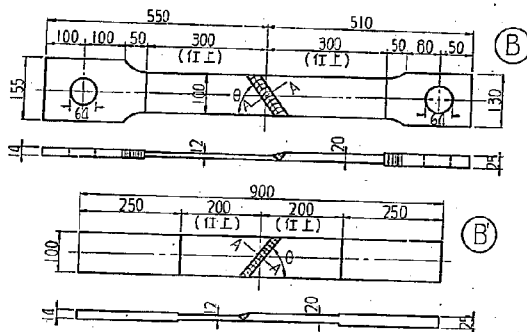
鉚



注意

各面ノ仕上ヲ要セズ 鉚接ノ箇所
補強盛ハ削除セザルモトス

第 23 図 試験片 取付 装置

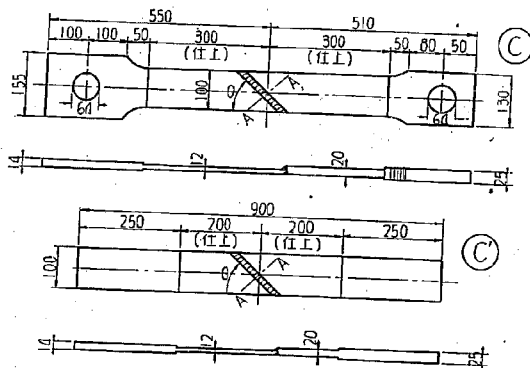


番号	θ	試験片数	
		B	B'
1	90	1	1
2	75	1	1
3	60	1	1
4	55	1	1
5	50	1	1
6	45	1	1
計		4	4

断面 A-A



第 24 図 B 種及 B' 種試験片



番号	θ	試験片数	
		C	C'
1	90	1	1
2	75	1	1
3	60	1	1
4	55	1	1
5	50	1	1
6	45	1	1
計		6	6

断面 A-A



第 25 図 C 種及 C' 種試験片

は單に強度試験のみを目的として製作せしめたもので第 22 図 A' はこの試験片を示す。

A 種試験片と鋸せらるべき試験片取付装置竝に鋸の構造は第 23 圖の如くである。

B 種試験片は厚 25 mm と 14 mm の鋼板を銲合熔接にて接合したもので、試験片平行部第 24 圖に示すが如く、幅員 100 mm、厚 20 mm 及 12 mm に仕上げられてをる。A 種と同様の目的にて試験片を B 種及 B' 種の 2 種とし、前者には斜截角 90°, 75°, 55°, 45° の 4 種、後者には A 種と同様の 6 種を製作した。

C 種試験片は B 種と同様厚 25 mm 及 14 mm の鋼板を接合したものであるが、其工法は第 25 圖に示すが如く、底面に施工した V 形銲合熔接と、上面に施工した隅肉熔接とを組合せたもので Schlaechthof 橋に於ける突縁鋸接合法に準じたものである。試験片斜截角

の變化、其製作數、C 種と C' 種とを區別したる點等 A 種試験片の場合と全く同一である。

[18] 試験片の製作

試験片の製作にあつて特に注意を拂つたことは、試験片の破壊を熔接接合部に生ぜしめんとする點で、此目的を達するためには試験片平行部にて特に熔接部のみの斷面を縮小せしむる方法と、斷面を變化せしめず母材の強度に比して低い強度を有する熔着鋼を使用する方法とがある。前者は試験片斷面形の變化に伴ふ應力分布の偏倚が、其強度に與へる影響を避け難く、試験結果の判定に不便を感ずること大なるべきが故にこれを避け、後者の低強度の熔着鋼を使用する方法を採つた。

これがために使用せらるべき熔着鋼は其強度が母材の強度に比して相當低く、且つ或程度の延性を有してをらねばならぬ。よつて最初の計畫としては母材に構造用壓延鋼材 (39~47 kg/mm²) を用ひ、熔着鋼には強度 39 kg/mm² 以下にて其伸率 15% 以上なるものを求めたるも、斯くの如き性質を確實に與へうる電極棒を得ること困難にして、低強度のものは同時に伸率も著しく少き場合多きため、この計畫を改めて母材としては造船用壓延鋼材 (44~50 kg/mm²) を用ひ、熔着鋼としては 42 kg/mm² 以下、伸率 18% 以上のものを使用することに定めた。

試験片の製作はこれを横川橋梁製作所東京工場に依頼した。製作はこれを 2 回に分ち、第 1 回に製作したものは

A ₁ 乃至 A ₆	6 個
A' ₁ 乃至 A' ₆	6 個
B ₁ 及 B' ₁	2 個
C ₁ 乃至 C ₆	6 個
C' ₁ 乃至 C' ₆	6 個

第 2 回に製作したものは

B ₂ , B ₄ , B ₆	3 個
B' ₁ 乃至 B' ₆	6 個

である。

以上のほか試験片の製作に関する各種要項は下掲試験片製作示方書に據つた。

突縁鉚熔接接手試験片製作示方書

第 1 條 本試験片は熔接による應力傳達の状況を明かにし、且其破壊試験を行はんとするものなるを以て、之が製作に當りては次の條項に従ひ入念に施工すべし。

第 2 條 使用材料

1. 鋼材は JES 第 21 號造船用壓延鋼材鋼板第 2 種 (強度 $44 \sim 50 \text{ kg/mm}^2$) を使用するべし。

鋼材供試體として試験片の製作に使用する鋼板より JES 第 1 號試験片を削成し、同一厚さのものより各 2 個宛を提出すべし。

2. 電極棒には當所の承認を経たるものを使用し、電極棒により熔着せられたる熔着鋼の抗張力 $38 \sim 42 \text{ kg/mm}^2$ 、伸率 18% 以上たるべし。

熔着鋼供試體は幅 12 mm、厚 5 mm、長 80 mm の平軋上にビードを置き、其厚さ約 12 mm に達するまで盛上げたもの 2 個を提出すべし。

第3條 工 作

1. 母材は工作に先ち、叩き至其他有害なる缺點を除去すべし、歪の整正には輾壓機を使用し加熱することあるべからず。

特に指定せる區間は圖示の通り機械仕上となすべし。

2. 衝合熔接の母材にありては、其熔接面を $30 \sim 45$ 度の適當の角度に削殺し、下面には融合に必要な直角斷面を残すべし。

3. 試験片取付孔は圖示の位置に正確に鑽孔し、「マクレ」を除去し、兩面に軽く「皿モミ」を行ふべし。

第4條 施 工

1. 熔接に際しては熔接機並に電極棒は常に同一のものを使用し、各試験片毎に熔接電壓、電流、使用電極棒の容積 (徑及長)、熔接時間、電極棒の種類等の記録を提出すべし。
2. 熔接の寸法は正確に圖面に示されたるものに合致するを要す。
3. 衝合熔接にありては V 接ぎとし其交角を $60 \sim 90$ 度、兩結合材片の間隙及補強盛は適當にこれを定め、熔接終了後補強盛及壺を除去し表面仕上を行ふべし。
4. 隅肉熔接にありては脚長を等しくし、補強盛はこれを適當に定め、熔接終了後、壺並に補強盛を除去し、表面仕上を行ふべし。

第5條 熔 接 工

1. 直接熔接に従事する熔接工は終始同一人たらしめ、次に規定する熔接工技倆檢定試験に合格するものたるべし。
2. 技倆檢定試験用の供試體製作には突縁鉚熔接接手試験片製作に使用するものと同一の電流熔接機並に電極棒を使用し、熔接部の引張強度 38 kg/mm^2 以上たるべし。
3. 供試體は厚 12 mm、幅 200 mm、長 200 mm の鋼板 2 枚を圖面指示の如く (第 26 圖參照) V 形衝合熔接にて接合し、圖の點線に従つて 3 片にこれを切斷し、日本標準規格第 20 號鋼板引張試験片に準じたる形狀に形成し引張試験を行ふ。

供試體熔接部の補強盛は約 1.5 mm とす。

供試材の削成並に引張試験は當所に於て行ふものとす。

試験片製作に使用した熔接機は芝浦製作所製、直流電弧熔接機容量 $7\frac{1}{2}$ K.W. 電流 300 Amp. にして、電極棒は米國 G.E. 會社製 F 號、直徑 $3\frac{1}{16}$ 又は 5 mm のものを使用した。

熔着鋼の盛上りは 8 層乃至 11 層の多層盛にて極めて慎重に施工せられ、運棒は第 1 層直線ビード、第 2 層乃至第 9 層は直線と千鳥形とを混じ、最後の仕上層には梯形運棒を用いた。第 14 表は試験片 A_6 及 B_1 の運棒状況を示したものである。

第 14 表 試験片製作にあつての運棒法

試験片 番 號	斜接角	各 層 運 棒 状 況										斷 面
		1 層	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A_6	45°	↑	↖↗	↑	↓	↖↗	↑	↓	↓	↖↗	↖↗	
B_1	90°	↓	↖↗	↑	↓	↑	↑	↑	↖↗			

使用電壓は 18 乃至 20 V., 電流は 170~200 Amp. の範圍に變化してをるが 20 V., 200 Amp. を使用したものが最も多い。電極棒の使用量は接手の傾斜と工法との相違により一定しない。第 15 表は各試験片製作にあつての電壓、電流、電極棒使用量、作業時間を示したものである。

[19] 母材強度試験

試験片製作の母材は既述の如く、構造用壓延鋼に比して強度大なる造船用壓延鋼(44~50 kg/mm²)を指定したるも、實際使用せる鋼材は所期以上の強度を有するものであつた。其伸率が造船用壓延鋼としての規格に合格する値を示したるが故に試験片母材としての使用に差支へないものと認めた。強度は 25 mm 鉚が特に大であり、第 1 回と第 2 回の製作に使用した鋼材を比較すると後の場合の鋼材の方が高強度である。第 16 表は兩回の試験片製作にあつての母材強度試験の結果である。

尚これ等鋼材に對しては後に試験片各部の應力測定の必要上、これが彈性係數の照査を行ひ $E=2,100,000$ kg/cm² と見做して大過なきことを確めた。

彈性係數決定のために 25 mm 鉚試験片(斷面 12.1×24.9 mm)について行つた引張試

第 15 表 試験片製作に際しての使用、電圧、電流、電極棒長及作業時間

試験片 番 號	斜 截 角	使用電壓 V	使用電流 Amp	電 極 棒 使 用 量			作業時間
				直 徑	長	本 數	
A ₁	} 90°	20	200	$\frac{3''}{16}$	14''	9.9	$\begin{smallmatrix} h & m \\ 0-30 \end{smallmatrix}$
A' ₁		20	180~200	"	"	11.0	0-31
A' ₂	} 75°	20	200	"	"	10.5	0-34
A ₂		20	180~200	"	"	13.0	0-36
A ₃	} 60°	20	180~200	"	"	12.4	0-50
A' ₃		20	180~200	"	"	11.0	0-35
A ₄	} 55°	20	200	"	"	12.0	0-34
A' ₄		20	180~200	"	"	13.5	0-45
A ₅	} 50°	20	200	"	"	14.0	0-55
A' ₅		20	190~200	"	"	13.5	0-45
A ₆	} 45°	20	200	"	"	15.2	1-15
A' ₆		15~20	200	"	"	14.2	0-45
B ₁	} 90°	20	165~190	"	"	7.4	0-23
B' ₁		20	180~200	"	"	7.0	0-21
B' ₁		20	190	5 mm	350 mm	10	0-50
B ₂	} 75°	20	190	"	"	10	0-55
B' ₂		18	200	"	"	10	0-54
B' ₃	60°	20	190	"	"	12	0-55
B ₄	} 55°	20	190	"	"	12	0-47
B' ₄		20	190	"	"	12	0-45
B' ₅	50°	20	190	"	"	12	0-45
B ₆	} 45°	18	200	"	"	14	0-55
B' ₆		18	200	"	"	16	0-56
C ₁	} 90°	20	190~200	$\frac{3''}{16}$	14''	6.8	0-26
C' ₁		20	190~200	"	"	6.8	0-20
C ₂	} 75°	20	200	"	"	6.9	0-30
C' ₂		20	180~200	"	"	7.3	0-23
C ₃	} 66°	20	180	"	"	8.4	0-29
C' ₃		20	200	"	"	7.8	0-38
C ₄	} 55°	20	180~200	"	"	9.0	0-26
C' ₄		20	180	"	"	8.0	0-23
C ₅	} 50°	20	180~200	"	"	8.4	0-32
C' ₅		20~21	180~190	"	"	8.0	0-32
C ₆	} 45°	20	180	"	"	9.0	0-40
C' ₆		20	170~180	"	"	9.2	0-40

第 16 表 母 材 強 度 表

鋼 材 種 類	試 験 片 断 面			降伏點強度	極限強度	標 距	伸 率
	厚 (mm)	幅 (mm)	断 面 積 (mm ²)	(kg/mm ²)	(kg/mm ²)	(mm)	(%)
(1) 25 mm 板	1	24.9	12.3	306	32.0	56.5	200
	2	24.9	12.1	301	31.1	56.1	"
	平均	—	—	—	31.6	56.3	—
(1) 14 mm 板	1	13.7	21.9	300	28.4	48.3	200
	2	13.7	21.8	299	28.1	47.2	"
	平均	—	—	—	28.3	47.8	—
(2) 25 mm 板	1	24.9	12.5	311	33.7	66.8	200
	2	24.8	12.5	310	33.5	66.9	"
	平均	—	—	—	33.6	66.9	—
(2) 14 mm 板	1	22.1	13.8	305	23.7	52.0	200
	2	22.0	13.9	306	28.6	51.4	"
	平均	—	—	—	26.2	51.7	—

備考 (1) 印は第 1 回製作の試験片母材

(2) 印は第 2 回製作の試験片母材

驗の結果を略述するに次の如くである。

引張試験機	松村式 5 吨多能試験機
變形測定器	Marten's Mirror Extensometer
觀測倍率	500 倍
標點距離	100 mm
基本荷重	200 kg
1 階段の荷重	400 kg

試験片は基本荷重 200 kg にて基本讀數を採り、荷重を $P_1=600$ kg まであげ觀測し、再び基本荷重に戻して殘留變形を求め、更に荷重 $P_2=1000$ kg まであげて變形を測定し、再び P_0 まで復歸せしめて殘留變形を求め、この操作を繰り返して求めた $P_1 \sim P_{12}$ に至るまでの彈性變形 ε は第 17 表の如くである。

 今彈性變形 ε と應力 σ との間に

$$\varepsilon = a \cdot \sigma^b \quad b=1$$

の關係ありとすれば

$$a = \frac{[\varepsilon]}{[\sigma]} = \frac{98.90}{10,374} \cdot \frac{1}{2000} = 0.00953 \times \frac{1}{2000}$$

 となる。従つて標距 $l=10$ cm なるが故に求むる彈性係數は

$$E = \frac{l}{\alpha} = \frac{10 \times 2000}{0.00953} = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$$

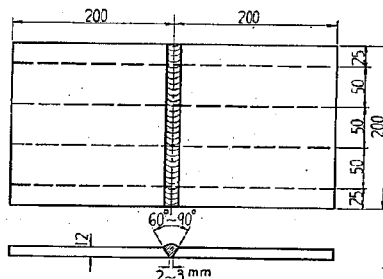
となる。

第 17 表 弾性變形觀測表

荷 重	應 力 σ (kg/cm ²)	弾性變形 ϵ ($\frac{1}{2000}$ cm)
基本荷重 200	0	0
P_1 600	133	1.20
P_2 1000	266	2.49
P_3 1400	399	3.78
P_4 1800	532	5.04
P_5 2200	665	6.31
P_6 2600	798	7.57
P_7 3000	931	8.82
P_8 3400	1064	10.15
P_9 3800	1197	11.54
P_{10} 4200	1330	12.72
P_{11} 4600	1463	13.98
P_{12} 5000	1596	15.30
合 計	$[\sigma] = 10,374$	$[\epsilon] = 98.90$

[20] 熔接工検定試験竝に熔着鋼強度試験

芝浦製作所製直流電弧熔接機と米國 G E 會社製 F 型電極棒を使用し、この熔接工検定試験に用ひた供試體は第 26 圖に示すが如く、200×200×12 の構造用壓延鋼 2 枚よりなる V 形衝合熔接試験片にしてこれが作業に要したる電流、電壓、電極棒、作業時間等第 18 表の如くである。



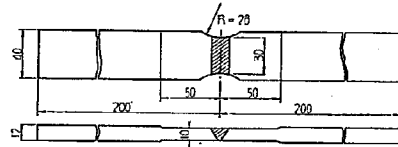
第 26 圖 熔接工検定試験用試験片

第 18 表 熔接工検定用試験片作業成績

試験片番號	作業電流 (Amp)	作業電壓 (V)	電極棒使用量		作業時間 (分)
			本 數	體 積 cm ³	
A	160~170	17~20	6.0	41.9	25
B	180	20	5.3	37.0	30

但電極棒直徑 5 mm, 長 14 in.

第 26 圖の試験體は指示の點線に従ひ 3 個の引張試験片に制成する。其仕上ず法第 27 圖の如くである。切斷が必ず熔接部に生ずる様 $R=28$ mm, 深 5 mm の切缺を附した。この切缺は試験に表はるゝ強度を増大せしむる傾向に働くものと考へらるゝが、其程度は本試験の結果の大綱を左右する程のものでないと信ずる。第 19 表が其引張試験成績である。



第 27 圖 熔接檢定工引張試験片

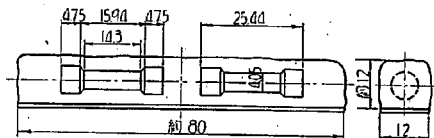
第 19 表 熔接工檢定引張試験成績

試験片番號	斷 面			極 限 強 度		備 考
	厚 (mm)	幅 (mm)	斷 面 積 (mm ²)	最大荷重 (kg)	強 度 (kg/mm ²)	
A ₁	10.2	28.9	295	12 350	41.9	
A ₂	10.0	28.4	284	12 900	45.4	
A ₃	10.1	28.9	292	12 900	44.2	
平 均	—	—	—	—	43.8	
B ₁	9.91	30.2	299	13 300	44.5	
B ₂	10.1	28.8	291	13 000	44.7	
B ₃	10.1	28.8	291	14 450	49.7	
平 均	—	—	—	—	46.3	

上記の試験成績を見るに、1, 2 の例外を除けば殆んど全部が 44.7 前後の引張強度を有して、極めて良好なる成績を示してをる。これを母材の強度に比較するに、第 1 回製作の 25 mm 鋼の場合其約 80%, 第 2 回製作の 25 mm 鋼にて 67%, 14 mm 鋼にては同様に 95% 及 85% となつてをる。

上記の成績に鑑るに、本試験片の製作を擔當せる熔接工が、製作示方書に要求したる技術を有することは明かであり、其強度が比較的均一に現はれてをる點から見て、充分信頼し得べき熟練者であることが認められる。

以上の熔接工技術檢定試験の接合強度から構造用壓延鋼の銜合接手としての G.E. 會社 F 型電極棒の強度を明かにすることが出來たが、更に熔着鋼としての強度並に其延性を確むるための試験を行つた。實驗に用ひた熔着鋼強度試験片は當土木試験所報告第 28 號所載「熔着鋼引張試験用小型試験片」に説きたるところにより第 28 圖指示の小



第 28 圖 小型引張試験片

型試験片を用いた。試験片製作示方書第2條に示した熔着鋼供試體は上記小型試験片2つ取りのものなることは第28圖に示すごとくである。

第1回試験片製作にあつて提出せしめたる2供試體の製作に要したる電極棒數量、作業時間其他第20表の如くである。

第20表 小型試験片製作作業成績

供試體番號	熔接電流 (Amp)	熔接電壓 (V)	使用電極棒 (本)*	作業時間 (分)
A	110~130	12~17	6.8	24
B	120~125	15~20	7.5	30

* 電極棒 G. E. 會社 F 型, 直徑 4 mm, 長 14 吋。

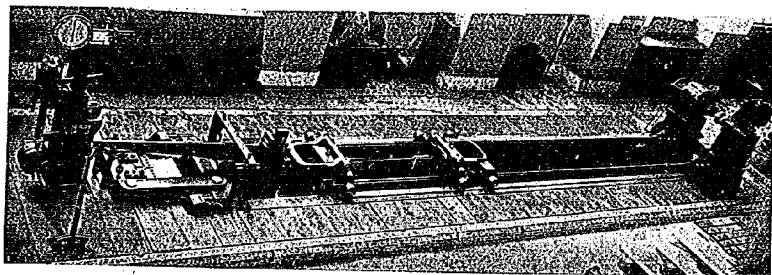
熔着鋼強度試験の結果によると其平均降伏點強度 29.1 (kg/mm²), 平均極限強度 40.4 (kg/mm²), 伸率 23.7% にして, 示方書の規格を充分満足してをる。第21表は第1回, 第2回試験片製作にあつての熔着鋼強度試験成績である。

第21表 小型試験片による熔着鋼強度試験成績

試験片番號	直 徑 (mm)	斷 面 積 (mm ²)	降伏點強度 (kg/mm ²)	極限強度 (kg/mm ²)	標點距離 (mm)	伸 率 (%)	備 考
第1回分							
A ₁	4.04	12.8	29.0	41.0	14.3	20.3	氣泡約 10%
A ₂	4.01	12.6	26.0	39.0	〃	22.4	
B ₁	4.03	12.8	31.0	40.0	14.3	—	氣泡約 20%
B ₂	4.00	12.6	—	43.0	〃	25.9	
第2回分							
C ₁	4.05	12.9	29.0	39.0	14.3	21.0	
C ₂	4.05	12.9	28.0	39.0	〃	17.5	
D ₁	4.05	12.9	29.0	40.5	14.3	30.8	
D ₂	4.05	12.9	29.0	40.5	〃	24.8	
E ₁	4.05	12.9	32.0	41.0	14.3	25.6	
E ₂	4.05	12.9	29.0	41.0	〃	24.8	
全 平 均			29.1	40.4		23.7	

[21] 引張強度試験

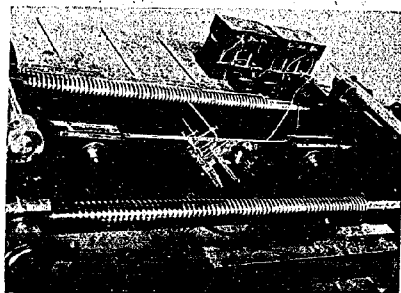
各試験片の引張試験は土木試験所備付 100 t 水平引張試験機を用いた。本機は第29圖の機構を有し、載荷は螺旋装置により、移動「クロスヘッド」は一對の螺旋錐の回轉によつて水平支柱に沿つて移動する。螺旋錐の回轉は右端の3相整流子電動機によつて行はれ、これが操縦は左端計測裝置側にて行ふことが出来る。「クロスヘッド」の移動速度は負荷狀



第 29 図 100t 水平引張試験機

態にて 1~50 mm に連続變化することが出来、荷重の計算は振子力計により自記記録装置を有し、指定の許容誤差は最大 0.5 以下である。試験片の最大長は 4 m、この場合の荷程 1 m となつてを。

突縁鉚釘試験片の把握は A, B, C, 試験片の如く極限強度のほか接手附近の應力分布を求めんとする試験片に於ては、先づ第 23 圖に示せる試験片取付装置を楔形金物にて取付け、更にこれへ徑 62 mm の鉋を用ひて試験片を連結し、荷重の加除を自由ならしめた。A', B', C' 試験片の如く單に極限強度を求むるのみの試験片にては直接試験機の「クロスヘッド」へ楔形金物を用ひて試験片を取付けた。第 30 圖は B 種試験片の取付狀況を示すものである。



第 30 図 引張試験中の B 種試験片

[22] A 及 A' 種試験片引張強度

本試験片は第 22 圖に示すが如く同厚の突縁鉚 ($t=25$ mm) の V 形鉚合接手に於て、其接手の傾斜角度を 90° より 45° まで 6 種に變化せしめたものである。

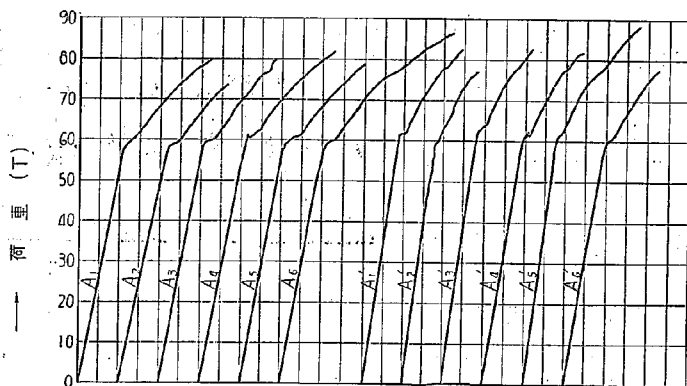
各試験片の強度試験の結果第 22 表の如くである。

第 22 表に掲げたる強度は極限強度であつて、これが降伏點強度については觸れてをらない。この理由は試験片の性質上、接手の降伏點強度を觀測することが困難であるためである。引張試験に際して求めた第 31 圖の各試験片荷重變形曲線を見るに、何れも明かなる降伏點の存在を示せるも、之の荷重は 57~63 t 即ち應力強度としては $28.5 \sim 31.5$ kg/mm² にして [19] 節に示せる母材の降伏點強度に相當してをり、接手の強度を論ずるの資料た

第 22 表 A 及 A' 種の試験片引張強度表

試験片 番 號	斜 角 θ	幅 員 (mm)	厚 (mm)	斷面積 (cm^2)	強 度			$\theta = 90^\circ$ の強度 との比	試験機械の 運轉速度 mm/min
					最大荷重 kg	極限強度 (kg/mm^2)	平均強度 (kg/mm^2)		
A ₁	90°	100	20.0	20.0	81 200	40.6	41.1	1.000	6.5
A' ₁			19.7	19.7	82 000	41.6			6.5
A ₂	75°	100	20.0	20.0	73 500	36.8	37.8	0.920	6.5
A' ₂			20.0	20.0	77 600	38.8			5.0
A ₃	60°	100	19.5	19.5	80 400	40.2	40.4	0.983	6.5
A' ₃			20.5	20.5	83 200	40.5			5.0
A ₄	55°	100	20.0	20.0	81 800	40.9	40.8	0.993	6.5
A' ₄		99.5	20.3	20.2	82 000	40.6			5.0
A ₅	50°	100	20.0	20.0	80 000	40.0	42.1	1.024	6.5
A' ₅		99.6	20.0	19.9	88 100	44.2			5.0
A ₆	45°	100	19.5	19.5	86 900	43.5	43.5	1.058	6.5
A' ₆			19.6	19.6	77 600	39.6*			5.0

* A'₆ 試験片は切斷が母材で起つてをるに拘らず其強度は極めて低い、母材に弱點あるものと認め平均値算出には除外す。



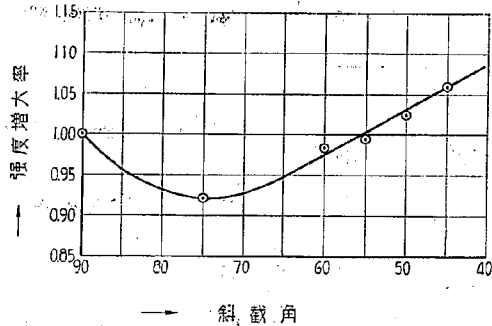
→ 伸 (記録倍率1倍) (縮減 1/2)

第 31 圖 A 及 A' 種試験片荷重變形曲線

り得ない。

今この極限強度について其値が α に伴つて變化する狀況を第 22 表の結果に基づいて圖表に示すとき第 32 圖の如くなる。これによつて見ると A 及 A' 種試験の強度も、豫備試験について求めたと同様に、 α の一定値まで強度は減少し、一定値以下の傾斜に對して

接手強度が漸次増大することが窺はれる。この場合の α の一定値とは約 55 度であり、[15] 節の平鋼切溝試験片に於ける結果と甚だ類似してゐる。併しこれらの接手の強度を母材の強度に比較するときは最低 73%、最高 77.2% に達するにすぎず、この強度の不足を接手の斜截にて回復せんがためには α を更に小ならしむる必要があるが第 32 圖に示した曲線の傾向では、このために要する 27% の強度の増大は困難の様に考へられる。



第 32 圖 A 及 A' 種試験片強度の變化

今各試験片について其切断状況を調べるに、其切断方向

は多少の例外あるも大體に於て $\theta = 50^\circ$ までは接手に沿ひて熔接部に切断が起つてをり、 $\theta = 45^\circ$ に至つては試験片の長手に直角に切断してをる。又第 33 圖及第 34 圖について各試験片の切断面を見るに、熔接部に氣孔の存在の顯著なるもの幾分あるを遺憾とす。下掲は各試験片の切断状況を示す。

A 及 A' 種試験片切断状況

A₁: 熔接部の中央にて接手の方向に沿ひて切断、下縁中央部に熔込不充分なりと思はれる部分あり。

A₂: 氣泡の散在を認めらるゝも、全體として熔接は良好に施工せられたるものと認める、切断は接手の方向に沿つて起つてをる。

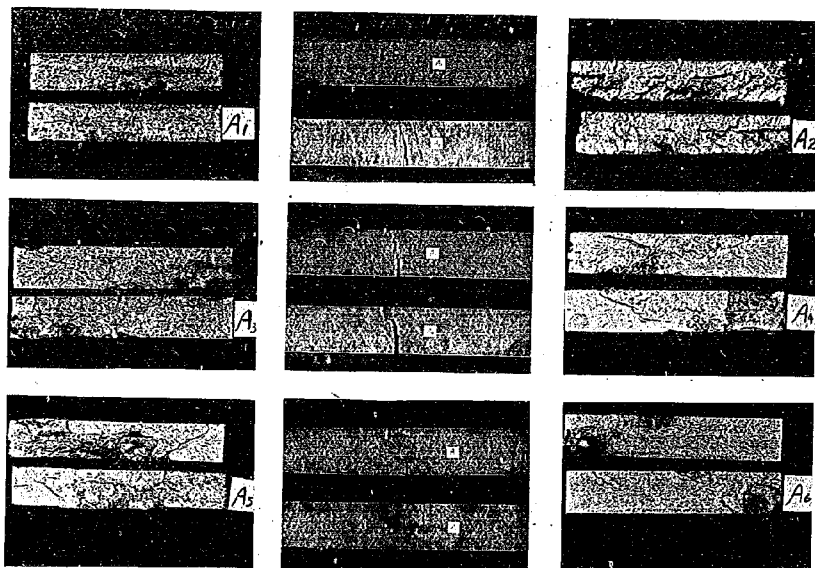
A₃: A₂ 同様熔接作業は比較的良好である。切断は其半は接手方向に沿ひ、他半は試験片の方向に直角であるが、切断線は熔着鋼内に存してをる。

A₄: 氣泡の存在顯著なり、切断の傾向は A₃ と略、同様、試験片の方向に直角に切断した部分の端部が僅かに母材部に浸入してをる。

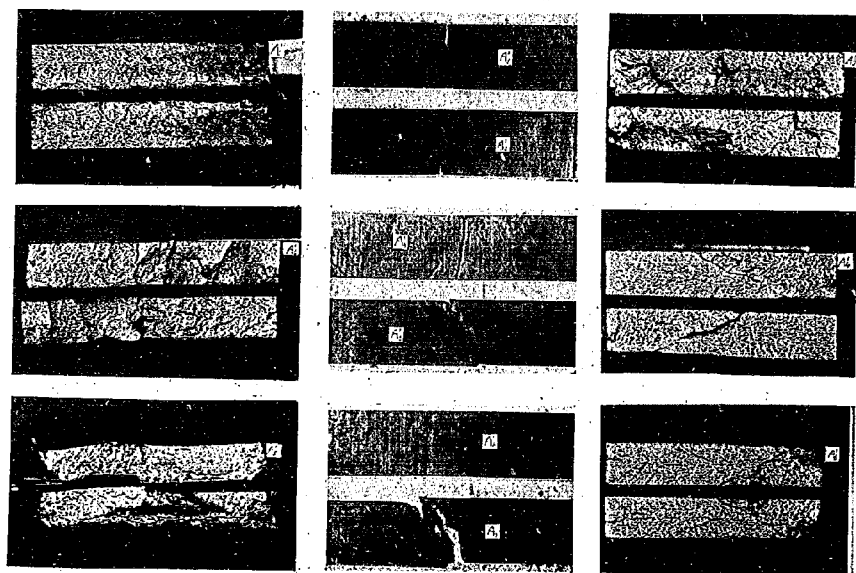
A₅: 氣泡の存在が顯著である。切断は其 3/4 が略、接手の方向に沿ひ、残部の 1/4 は試験片の方向に直角である。切断は略、熔接部内に起つてをる。

A₆: 切断は一侧の熔接部中央より起り、試験片の方向に全々直角に大部分母材内に起つてをる。断面に現はれた熔接部は比較的良質にて僅小の氣泡を認むるのみである。

A'₁: 切断線の方法は約 85° の傾斜を有し、略、接手方向に一致してをる。切断線は熔接部の片側約 3/4 の線に起つてをり、断面を見るに、幾分母材部の切断してをることが認め



第33圖 A種試驗片切斷狀況

第34圖 A'種試驗片切斷狀況
(46)

られる、熔接部の気泡が相當認められる。

A'_2 : 切斷線の方は約 80° にて、其接手方向 75° に比して幾分少いが大體これに平行し、切斷は全部熔接部内に起つてをる。熔接部は良質である。

A'_3 : 切斷線は A'_2 と同程度にて接手方向に一致してをるが、切斷線は不規則である。熔接は極めて良好である。

A'_4 : 切斷は一侧の熔接部中央より發し、約 80° の角度をもつて接手方向と無關係に發生してをる。従つて切斷面の $2/5$ は熔接部、其他の部分は母材部である。ほかに其半は接手の方向、半は 90° の方向をもつ小龜裂が認められる。切斷面に現はれた熔接部には幾分の気泡が認められる。

A'_5 : 切斷は半は接手方向に、半は 90° の方向に生じてをるが、其切斷は甚だ不規則である。切斷線は全部熔接部内にあり、斷面について見るに氣孔の存在顯著であり、熔込の不充分さも認められる。

A'_6 : 一側熔接の中央より發した龜裂は他側に向ひ正しく 90° の角度にて切斷してをる。 A_6 の切斷狀況と全く同一であり、熔接部の施工も極めて良好である。然るに本試験片の強度は僅かに 39.6 kg/mm^2 にて母材強度 56.3 kg/mm^2 に比してあまりに低値であるが、この原因について適確なる判斷を下し得ない。

以上各試験片の切斷狀況を見て先づ考へらるゝことは、2,3 の例外あるも、大體に於て接手の斜截角度の大なるものに於ては切斷線は接手線に沿つて起り、斜截角度の小なるにつれて漸次接手線と無關係となり、或角度以下にては 90° の角度にて切斷するに至ることである。本試験片にては切斷線が接手線よりはなれ始むる角度は大體 $60^\circ \sim 55^\circ$ 附近であり、試験片の強度もこの角度を超ゆるとき $\theta = 90^\circ$ の場合の強度以上に達してをる。

又、大部分の試験片にては其切斷線的一端は一侧の熔接部中央より發してをる。この事實は龜裂の發生がV形鉋合の底部より起るものであることを示してをるもので、本試験片の施工にあつては底部の再熔接を行はざりしが故に、熔込の最も悪き部分は削成の際、削り取られたるものとは考へらるゝも、尙底部熔接部に弱點のあることを證明してをるものである。

[23] B 及 B' 種試験片の引張強度

本試験片は第 24 圖に示せるが如く、異厚の突縁鉋 (厚 25 mm 及 14 mm) を V 形鉋合熔接にて接合せるもので、其接手を 90° 乃至 45° に傾斜せしめたものである。製作數は B 種試験片 4 箇、B' 種試験片 7 箇で其強度試験成績第 23 表の如くである。

第 23 表の強度成績を見るに試験片強度の接手斜截角に伴ふ變化は甚しく不規則で、一定の傾向の下に漸變してをるものでない様に見受けられるが、この原因は試験片が異厚の

第 23 表 B 及 B' 種試験片引張強度成績

試験片 番 號	接 手 斜 截 角	幅 員 B (mm)	薄 突 縁 鋸 厚 t_1 (mm)	厚 突 縁 鋸 厚 t_2 (mm)	最小斷面積 $B \times t_1$ (cm^2)	最大荷重 P (kg)	薄突縁鋸 強度との 比 ^{*2}	試験機械の 運轉速度 mm/min
B_1^{*1}	90°	100	11.5	20.0	11.5	53 000	0.855	7
B'_1^{*1}			11.9	19.9	11.9	56 900	0.918	6
B'_1			12.0	20.0	12.0	59 800	0.965	6
B_2	75°	100	12.0	20.0	12.0	55 800	0.900	7
B'_2			11.9	20.0	11.9	62 500	1.080	6
B'_3	60°	100	12.0	20.0	12.0	60 800	0.980	6
B_4	55°	100	12.0	20.0	12.0	57 500	0.928	7.5
B'_4			12.0	20.0	12.0	61 500	0.992	6
B'_5	50°	100	12.0	20.0	12.0	62 700	1.011	6
B_6	45°	100	12.0	20.0	12.0	55 000	0.887	7
B'_6			12.0	20.0	12.0	62 000	1.000	6

*1 印は第 1 回製作試験片，其他は第 2 回製作試験片とす。

*2 薄突縁鋸の強度を $12.0 \times 5,170 = 62,000 \text{ kg}$ と假定す。

鋸の接手試験片であるために熔接接手部其ものがすでに各部にて厚さを異にしてをること，各試験片の切斷狀況が熔接施工上の缺點に災されて著しく相違してをることにあると認められる。よつて先づ各試験片の切斷狀況を第35圖及第36圖について調べることをする。

B 及 B' 種試験片切斷狀況

B_1 ：(第 1 回製作) 切斷は熔接部薄突縁鋸寄りにて，接手沿ひに起つてをり，切斷面を見るに母材が幾分切斷されてをる。熔接は頗る良好に施工されてをる。

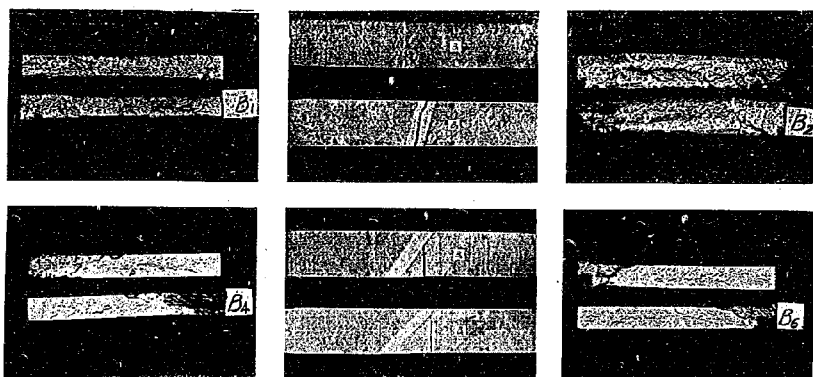
B_2 ：切斷は熔接部中央，接手沿ひに起つてをる。熔接部には幾分の氣泡を認むるも熔込其他比較的良好である。

B_4 ：切斷線の 1/3 は薄鋸寄りの熔接縁部に沿つてをり，其他は試験片の方向に直角に薄鋸が切れてをる。熔接部には可成の氣泡が見受けられる。この試験片の強度が B'_4 に比して低いことはこれに原因するものと考へる。

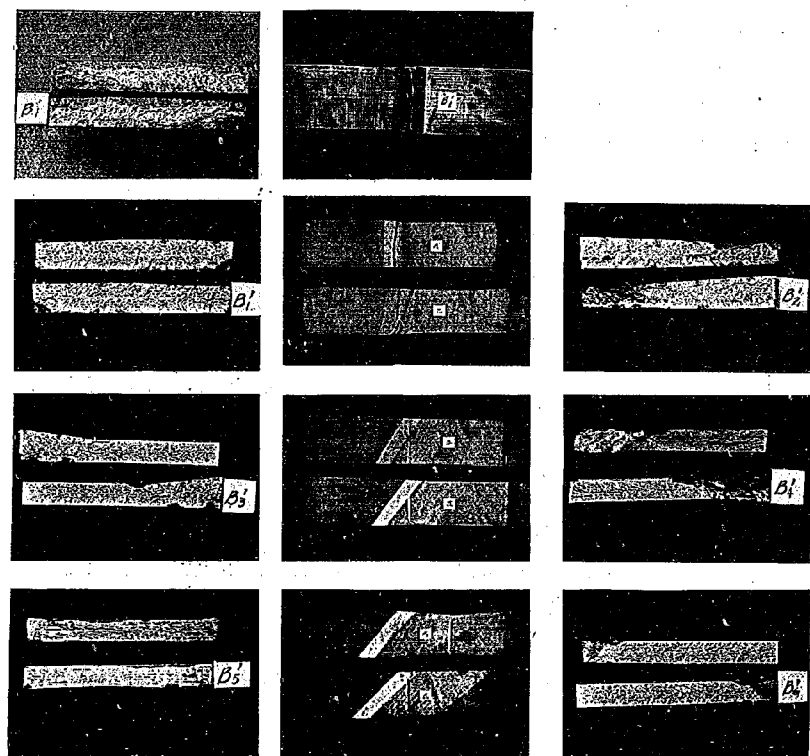
B_6 ：切斷は大部分薄鋸内にて試験片の方向に直角に起つてをり，其一部約 1/5 が熔接部薄鋸側に沿つてをる。切斷面を見るに可成の氣泡が認められ底部の熔込の不充分な感がある。

B'_1 ：(第 1 回製作) 熔接部の中央にて略。接手方向沿ひに切斷してをる。切斷面にあらはれた熔接部は良質である。

B'_1 ：第 1 回製作の B'_1 と殆ど同様の切斷狀況を示してをり，熔接の施工も頗る良好で



第 35 図 B 種試験片切斷状況



第 36 図 B' 種試験片切斷状況

ある。

B₂: 切斷線の上半は焊接部内に試験片の方向に直角に生じ、下半は接手方向に沿ひ不規則な龜裂となつてをる。切斷面を見るに、この不規則なる龜裂を示せる部分には氣泡の存在が顯著である。

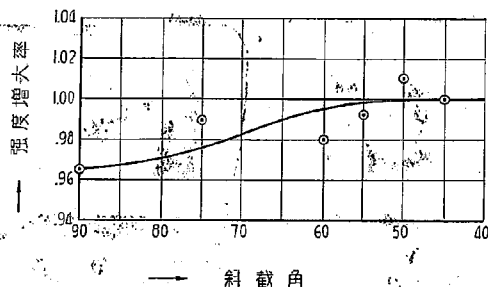
B₃: 片側焊接部分の中央附近より發した龜裂は試験片の方向に直角に母材部を通して他側に及んでをる。切斷面の約 $\frac{1}{4}$ を占むる焊接部分の施工は良好である。

B₄: 龜裂は薄鉄寄りの融合面に沿つて、試験片の幅員約 $\frac{2}{3}$ まで進み、これより母材へ直角の方向に進み他側に達してをる。切斷面中焊接部は氣泡多く母材との熔込に不充分な點あるやに見受けられる。

B₅: 切斷は全く薄鉄母材中に起り、接手中度と切斷線までの距離は約 10°cm である。

B₆: 切斷は大部分母材内に起つてをり、僅かに試験片幅員の $\frac{1}{5}$ にあたる部分が焊接部融合面に沿つて生じてをる。この部分の焊接の施工は必しも良好とは云へない。

以上の試験片切斷狀況より見ると、接手の斜截角度が 60° 以下即ち B₅ 又は B₆ 以下の試験片になつて、切斷が母材部にも生ずるに至り、50° に達すれば接手の強度は薄鉄の強度を越え、切斷は母材内に起ると考へられる併し B₅ 又は B₆ 以下のものにて其強度が薄鉄の

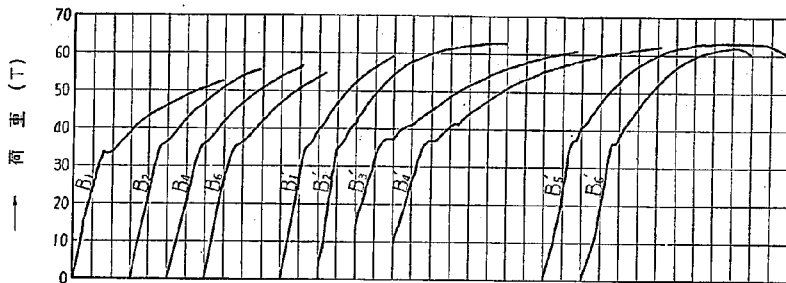


第 37 圖 B 及 B' 種試験片強度の變化

假定強度との比を圖表に表して見ると第 37 圖の如くなる。

この結果によると、異厚突縁鉄の銲合接手に於て、接手の強度を薄鉄に相當した強度まで増大せしむるに必要な斜截角は、同厚突縁鉄の銲合接手にて、接手の強度を鉄の強度までに達せしむるに要する場合の斜截角に比して遙かに大である。この實驗にて幅員 100 mm, 厚鉄 20 mm, 薄鉄 12 mm 即ち其比率 0.6, 鋼材と熔着鋼の強度の比 0.85 の場合、斜截角は 50° にて充分である。この値は鉄厚の比率並に鉄の幅員に依て變化すべきことは當然である。

強度に比して著しく劣つてをるものは、多く切斷が一部焊接融合部に沿つて生じてをり、この部分の施工が良好でなかつたことの認めらるゝものが多い。今第 2 回の製作試験片について、特に焊接部の熔込不充分と認められる B₄ 及 B₆ を除外して、其殘餘のものにつき、其強度と薄鉄の



→ 伸 (記録倍率 1 倍, 但 B₅ 及 B₆ は 2 倍) (縮寫 56)

第 38 圖 B 及 B' 種試験片荷重變形曲線

尙本試験片についても試験に際しての荷重變形曲線を求めた。第 38 圖はこれを示すものである。標距としては試験機械のクロスヘッド間を採つてをり、試験片も其部分部分にて厚を異にするが故に、この荷重變形曲線が表はすところは甚だ複雑であつてこれをもつて各試験片の性能を判断することは困難であるが、各試験片間の性能の相違を相對的に比較する資料としては充分役立つものと信ずる。

第 38 圖の荷重變形曲線に於て先づ考へらるゝことは、各試験片とも 34~36 t 附近にて降伏點に達してをること、A 及 A' 種試験片の同曲線に比して伸びの大なることである。この降伏點強度は 28~30 kg/mm² にあたり、薄鋼板の降伏點の現はれと考へられる。又伸の大なることは接手の強度が薄鋼の強度に比較的接近せるがために鋼板の伸長が A 及 A' 種に比して大なることに基因する。B₅ 試験片にては其切斷が母材に起れるが故に伸は頗る大きく、曲線は全く軟鋼材の荷重變形曲線を示してをる。

切斷が主として母材に起つてをるに拘らず、比較的強度の劣つてをる試験片は、其破壊状況を見るとき龜裂の原因と考へらるゝ熔接部に氣泡其他の缺陷の著しいことが多いが、荷重變形曲線に於ては軟鋼としての伸長を示すに至つてをらない。B₄、B₆ 等は其例である。

尙この試験成績から考へらるゝことは、一般に異厚の鉚の銜合熔接に於ては其強度計算に喉厚として薄鉚厚を採ることゝなつてをる。この方法を $\theta=90^\circ$ の場合の試験に適用すると、熔着鋼の單位強度は平均 47.1 kg/mm² となり、熔着鋼試験の結果とあまりに懸離れた數値となる。其切斷の状況より見ても、底より熔着鋼の表面へ下した垂線を喉厚にとるを妥當と信ずるもので、この方法によるときは喉厚は約 14 mm となり、 $\theta=90^\circ$ の試験片にて熔着鋼強度は平均 40 kg/mm² となり、熔着鋼試験の結果と略一致する。

[24] C 及 C' 種試験片引張強度

本試験片も B 及 B' 種と同様、異厚の突縁鋸の接手試験を行はんとするもので、接手は第 25 圖に示す如く、隅肉熔接と V 形衝合熔接との混用であり、接手の斜截角を他種のものと同様 90° 乃至 45° の 6 種とした。

本試験片の接手強度は前面隅肉熔接の強度を衝合熔接の強度の 75% に採るとき、 $\theta=90^\circ$ にて

$$P=40.4 \times 100 \times (7+8 \times 0.7 \times 0.75)=45,300 \text{ kg}$$

となり、薄鋸の假想強度 $4780 \times 12=57,400 \text{ kg}$ の約 79% であり、この接手強度を B 又は B' 種試験の衝合熔接の場合に比較すると甚だ低い。従つて試験片の切断は全部接手沿ひに起つてをり、接手の斜截も其強度を母材強度まで増大せしむることが困難であつた。

第 25 圖の断面にて隅肉熔接と衝合熔接との間に 5 mm の間隙を残してをるが、この間隙を置かず V 形衝合熔接を更に大となせば、接手強度は $\theta=90^\circ$ のとき 65,000 kg 附近まで増大せしむることが出来る。

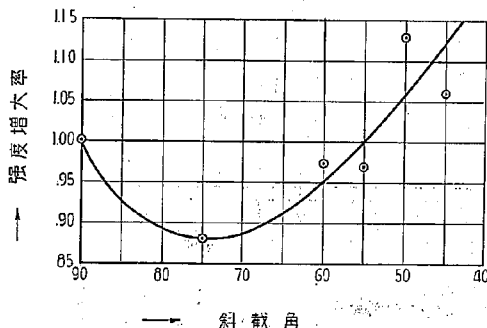
第 24 表 C 及 C' 種試験片の引張強度試験成績表

試験片 番 號	接 手 斜截角 θ	幅 B (mm)	薄 突 縁 鋸 厚 t_1 (mm)	厚 突 縁 鋸 厚 t_2 (mm)	最小断面積 $B \times t_1$ (cm^2)	最大荷重 P(kg)	$\theta=90^\circ$ の強度と の比	試験機械の 迴轉速度 mm/min
C ₁	90°	100	11.5	20.0	11.5	39 500	1.000	7
C' ₁			12.0	19.7	12.0	49 200		6
平 均						44 350		
C ₂	75°	100	11.5	20.0	11.5	36 000	0.880	7
C' ₂			12.0	19.2	12.0	42 000		6
平 均			99.8			39 000		
C ₃	60°	100	11.5	20.4	11.5	39 400	0.974	7
C' ₃			11.8	19.3	11.7	47 000		6
平 均			99.5			43 200		
C ₄	55°	100	11.8	20.0	11.8	34 600	0.970	7
C' ₄			11.5	19.0	11.4	51 400		6
平 均			98.9			43 000		
C ₅	50°	100	12.0	20.0	12.0	44 800	1.130	7
C' ₅			11.9	19.1	11.8	55 600		6
平 均			99.0			50 200		
C ₆	45°	100	11.5	20.0	11.5	44 500	1.062	7
C' ₆			11.2	19.7	11.2	49 900		6
平 均			100			47 100		

以上接手強度が母材強度に達せず、試験片全部が接手に沿ひて切断したことは、一面に於て接手強度の斜截角による變化を明かならしむる目的からはむしろ好結果を得たと云ふことが出来る。

各試験片の引張強度は第 24 表の如くである。

第 24 表の試験成績によつて斜截角と接手強度との關係を見るに第 39 圖の如き傾向を採り、既述各種豫備試験又は A 及 A' 種試験片に就て求めたる結果とよく類似してをる。この試験片に於ては、 $\theta = 90^\circ$ の際の強度を母材の強度に達せしむるには 29% の強度増大を要するが、これがための斜截角は第 39 圖の曲線より判斷するとき $\alpha = 30^\circ$ 程度に減少せしむ必要がある。



第 39 圖 C 及 C' 種試験片強度の變化

各試験片の切断は全部熔接

線に沿つて起つてをるが、其切断が各熔接部の喉厚に生じてをるものと、融合面に生じてをるものとがあり、實驗結果不規則の原因をなしてをる。

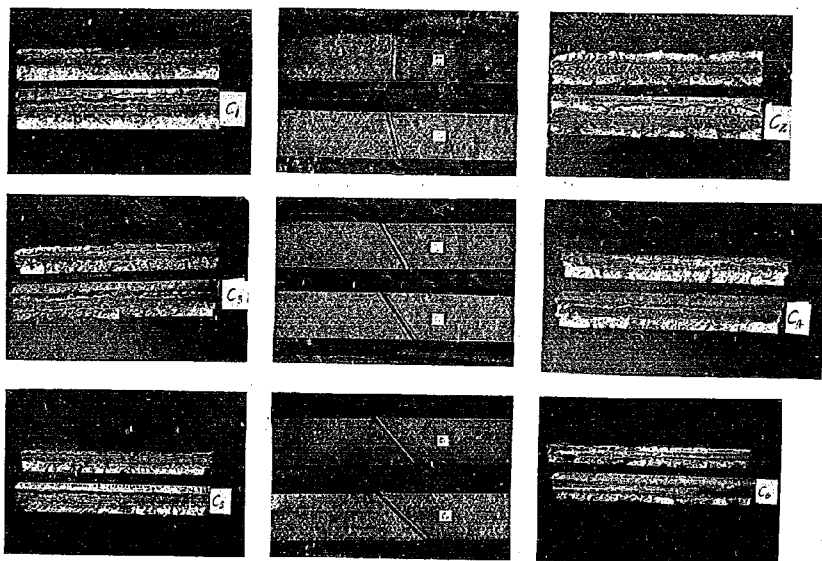
C 及 C' 種試験片切断狀況 (第 40 圖及第 41 圖)

C 種試験片 C 種試験片の切断は C₄ 以外の各試験片にては隅内熔接、銜合熔接、孰れも喉厚に沿つて生じてをる。C₄ は隅内熔接が薄縁側融合面に接近して破斷してをり、他の試験片に比して施工不良である。強度試験の成績もこの試験片は他のものに比して著しく劣つてをる。

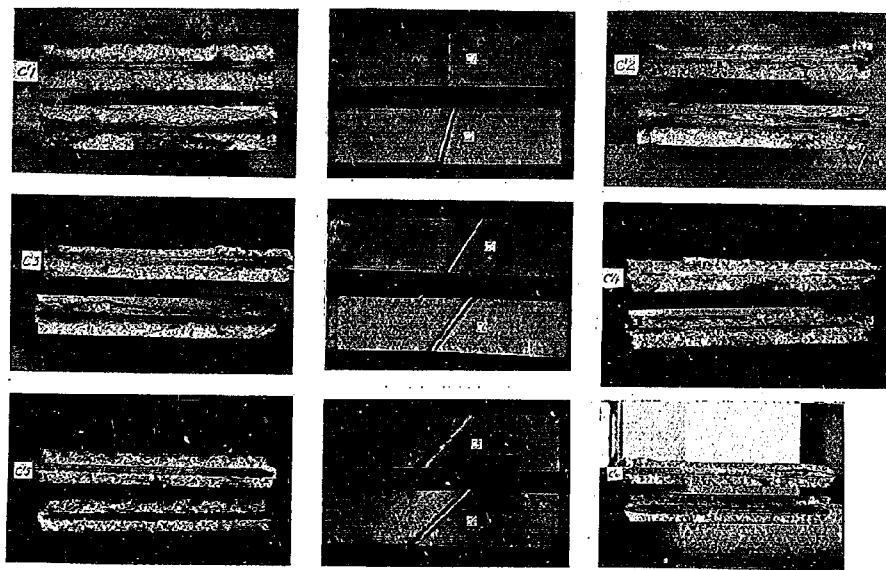
第 24 表の成績を見るに、一般に C 種試験片の強度が C' 種に比して低い、この原因は V 形銜合熔接の内部に残した間隙 d は 5 mm なるに對し、實際熔着せざる部分の寸法は 6~7 mm に達し、銜合熔接の喉厚が所期の寸法に達せざりしことによるものである。各試験片の d の値は下表の如くである。

試験片番號	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
d (mm)	6	5~6.5	6~7	6	5~6	6

5 mm の電極棒を使用し、底部間隙なき銜合熔接を行ふとき特別の注意を拂はざる限り、底部の熔込不十分となることは當然であつて、C' 種試験片に於てはこの熔込不十分による強度の低下は認められない。



第40圖 C種試驗片切斷狀況



第41圖 C'種試驗片切斷狀況

C'_1 : 隅肉熔接の切断は厚鋼側の融合面に接して生じてをり、兩熔接とも氣泡が相當認められる。銑合熔接部にては切断面の約 $\frac{1}{5}$ に特に著しい、 $d=5\text{ mm}$ 。

C'_2 : 兩熔接とも切断は喉断面、氣泡の存在は隅肉熔接部にて断面の $\frac{1}{10}$ 銑合熔接部に於て $\frac{1}{5}$ の部分が顯著である、 $d=5\text{ mm}$ 。

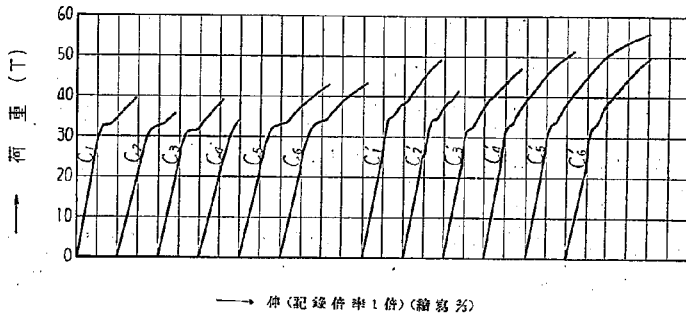
C'_3 : 氣泡は殆ど認められない、兩熔接とも切断は喉断面、 $d=5\text{ mm}$ 。

C'_4 : 切断は各熔接とも喉断面、 $d=3\text{ mm}$ 。

C'_5 : 銑合熔接の切断は喉断面、隅肉熔接は厚鋼側の融合面に接した母材で切れてをる。第 24 表に表はれ強度が著しく高いことも、この原因によるものである、 $d=5\text{ mm}$ 。

C'_6 : 切断は孰れも喉断面、氣泡殆どなし、 $d=5\text{ mm}$ 。

各試験片の強度が d の大小と、氣泡の多少によつて左右されてをることが認められる。この試験片についても第 42 圖の如く荷重變形曲線を求めた。同曲線に表はれてをる降伏



第 42 圖 C 及 C' 種試験片荷重變形曲線

點は薄鋼の欠れであること、 C_2 C_4 等の試験片が降伏點を越して間もなく切断してをることがわかる。

[25] 接手部主應力の測定

構造部分の疲限度の大小は其應力分布の状況に支配せらるゝこと頗る大であり、これが偏倚の多少が直接疲限度の大小に關係することは衆知の事柄である。本試験に於ては既述の諸試験によつて静力學的に見たる強度の大體を知るを得たるも、これが動荷重應力に對する疲限度に關しては設備の關係上實驗を行ふことが困難である。従つて本節以下に於てこれが應力分布の状況を求め、其應力線偏倚の大小を調べ、以て疲限度の優劣を判斷するに資せんとするものである。

A, B, C, 3 種の接手の縦斷面的に見たる應力分布状況は第 22 圖、第 24 圖及第 25 圖

の断面形により大體を推知し得べく、應力偏倚の量は A 種, B 種, C 種の順に増加するものと認めらるゝも、接手を斜截したことによる平面的に見たる應力偏倚の變化は實驗的に求むるのほかはない。

一般に構造物上の一點の主應力の大きさ及び方向を決定するためには、其點の廻りに互に直角をなす 2 方向の變形 2 組 ε_α , $\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{2}}$, $\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}}$, $\varepsilon_{\alpha+\frac{3\pi}{4}}$ を求め、各組の方向の交りが $\frac{\pi}{4}$ なりとすれば、主應力 σ_0 及び $\sigma_{\frac{\pi}{2}}$ 並に其方向 α は次式によつて表はされる。

$$\tan 2\alpha = -\frac{D_{\alpha+\frac{\pi}{4}}}{D_\alpha} = -\frac{S-2\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}}}{D_\alpha}$$

$$\sigma_{\frac{\pi}{2}} = \frac{m \cdot E}{2 \cdot d} \left[\frac{S}{m-1} \pm \frac{\sqrt{D_\alpha^2 + D_{\alpha+\frac{\pi}{4}}^2}}{m+1} \right] = \frac{m \cdot E}{2 \cdot d} \left[\frac{S}{m-1} \pm \frac{\sqrt{D_\alpha^2 + (2\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}} - S)^2}}{m+1} \right]$$

こゝに

$$S = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{2}} = \varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}} + \varepsilon_{\alpha+\frac{3\pi}{4}} = \text{定数}$$

$$D_\alpha = \varepsilon_\alpha - \varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{2}}$$

$$D_{\alpha+\frac{\pi}{4}} = \varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}} - \varepsilon_{\alpha+\frac{3\pi}{4}}$$

$$d = \text{變形測定の標點距離}$$

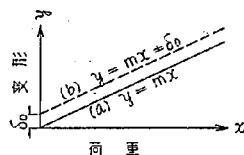
今變形が單位 mm, 倍率 1000 倍にて測定せられ $d=2$ cm, $E=2,100,000$ kg/cm², $m=\frac{10}{3}$ とすれば

$$\sigma_{\frac{\pi}{2}} = \frac{10 \cdot 2,100,000}{3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10,000} \left[\frac{S}{2.33} \pm \frac{\sqrt{D_\alpha^2 + (2\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}} - S)^2}}{4.33} \right] = 175 \left[\frac{S}{2.33} \pm \frac{\sqrt{D_\alpha^2 + (2\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}} - S)^2}}{4.33} \right]$$

となる、 $d=1$ cm の場合は係数 175 は其 2 倍 350 となる。

變形の測定には Huggenberger の測定器を使用した。測定に用ひた標點距離は 2 cm 及 1 cm で、測定器の取付は第 30 圖に示せるが如く試験片縁部にては適當の形狀の締付金物を用ひ、中央部に於ては磁気取付裝置を採用した。

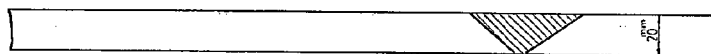
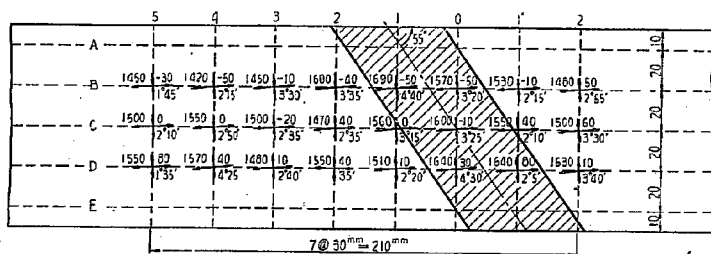
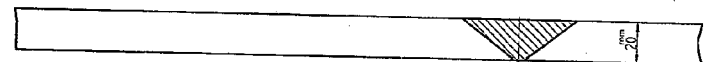
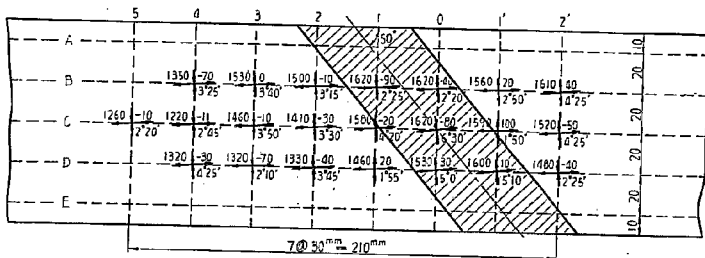
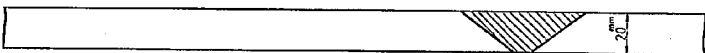
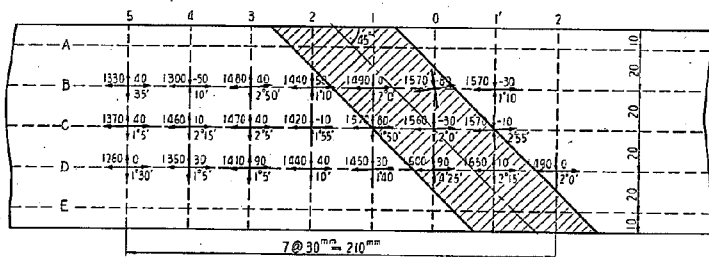
1 點の廻りにて測定した各組の變形の和は前掲の如く定数であるべきなるも、實測の數値は必しもこの條件を満足しない。従つてこれ等を上式に代入して主應力を求むるためには實測値の更正を必要とする。



第 43 圖

この更正は大體次の階梯にて行つた。

1. 荷重に伴ふ變形量を圖表に現はすとき第 43 圖(b)直線の如く原點を通過せざるものがある。この原因は測定器の取付にあつての誤差によるものと認めて(a)直線の如き數値を採るものとして其値を更正した。

A₄ 試驗片A₅ 試驗片A₆ 試驗片

第 44 圖 A 種試驗片主應力分布

2. 上記の更正を行ひたる後 $S = \varepsilon_a + \varepsilon_{a+\frac{\alpha}{2}} = \varepsilon_a + \varepsilon_{a+\frac{\alpha}{2}} + \varepsilon_{a+\frac{\alpha}{2}}$ が満足されざる場合は、各観測値の誤差は其絶対値に比較するものとしてこれを按分した。

變形測定點は各試験片とも其幅員 10 cm に對し、中央より 2 cm 間隔の 5 線列を選び、此線上に長手方向に 3 cm の間隔に配置した。測定點はすべて試験片の表面 (V 形熔接の) に限つた。

荷重の截荷は大體各試験片降伏點強度の $\frac{1}{2}$ を標準とし、荷重の増加階梯は 2 乃至 3 t に採つた。各階梯に於て變形量を 2 乃至 3 回繰り返し測定し、其平均値をもつて観測値とした。

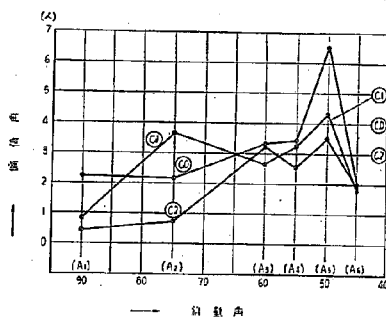
[26] A 種試験片の主應力分布

A 種試験片は衝合熔接を有する同厚の突縁鉄の接手なるが故に、其應力線の偏倚は極めて僅少なるべきことは豫期せられるのであるが、接手熔接部の性質が母材と異るとき、接手の傾斜の増減により應力線の偏倚に變化あるべしとも考へられるのである。

本試験片の平均の降伏點強度は約 60 t なるが故に観測は其半 30 t にとゞめた、即變形量を荷重が 0 より 30 t に至るまでの間 3 t 毎に測定し、観測値の更正を行ひたる後其應力の方向並に大きさを求めた。A₁ 乃至 A₆ の各試験片に於て荷重 30 t のときの主應力の大きさ及方向第 44 圖の如くである。

第 44 圖の結果によると接手附近の主應力線の偏倚は極めて僅小ではあるが、接手斜截角 α の減少と共に増加し、其偏倚の方向は接手方向に直角ならんとする傾向を示してをる。

今接手附近試験片中心線上の 3 點に於ける主應力線偏倚の状況を圖表に示せば第 45 圖の如くである。各點とも $\alpha = 90^\circ$ より $\alpha = 50^\circ$ まで順次増大し、中央 C₀ 點は最大 $6^\circ 30'$ に達してをる。各點とも $\alpha = 45^\circ$ に於て約 $2^\circ 55'$ に減少してをるが大體の傾向として、接手の傾きの増加と共に偏倚は増すものと認められる。

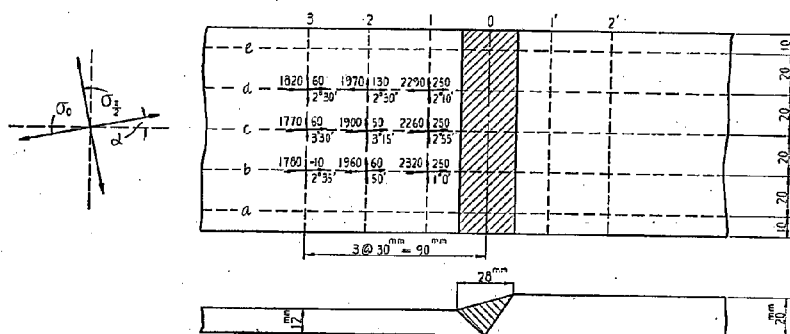
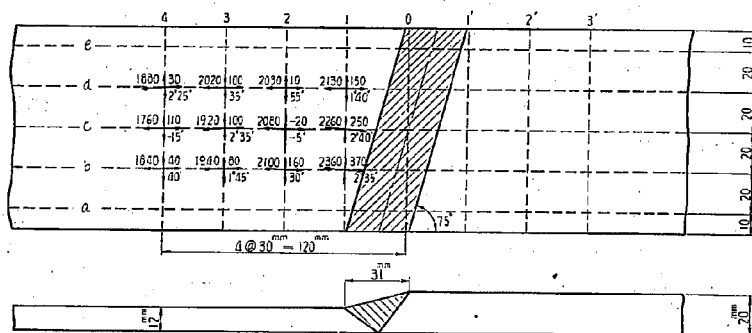
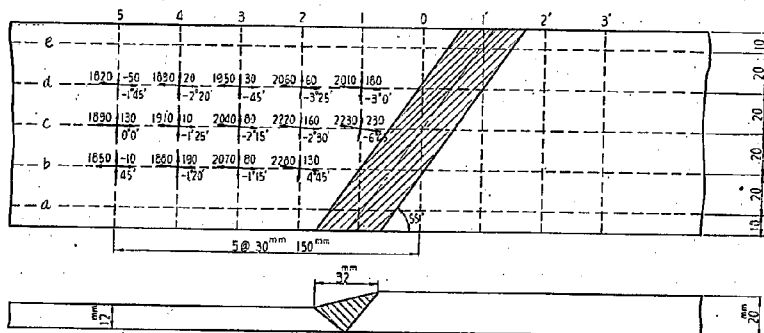


第 45 圖 接手附近試験片中心線上の主應力の偏倚

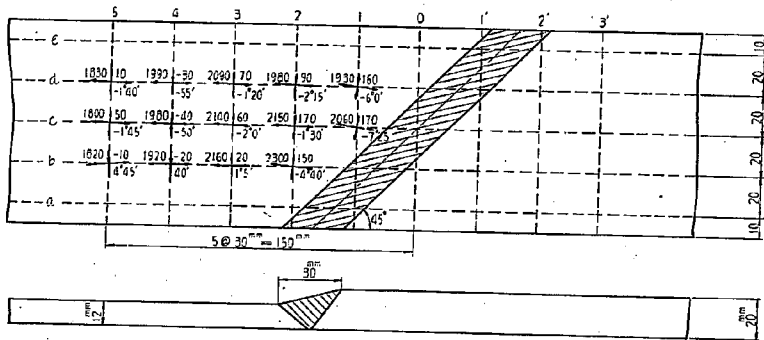
主應力の大きさは應力が斷面全體に均等に分布するものとすれば $\frac{30000}{20} = 1500 \text{ kg/cm}^2$ なるに對し、 σ_0 の最大値 1600~1800 kg/cm^2 程度に達するに過ぎない。

[27] B 種試験片の主應力分布

この試験片は厚さを異にする 2 突縁鉄の衝合接手である (第 24 圖参照)。從つて其主應

B₁ 試驗片B₂ 試驗片B₄ 試驗片

第46圖 B種試驗片主應力分布

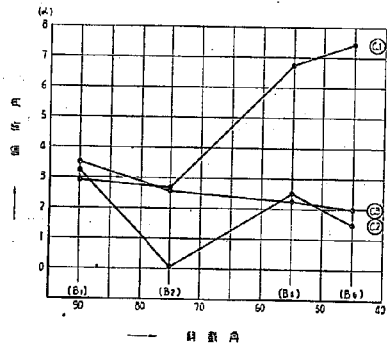

 B₀ 試験片

第 46 図 B 種試験片主應力分布

力の大きさは両突縁鉚にて全く其數値を異にするがこの接手の強度は薄突縁鉚の強度を標準とすべきものなるが故に厚鉚側の應力につきては左程重要性を認めない。よつて主應力の観測も薄鉚側だけに限定した。

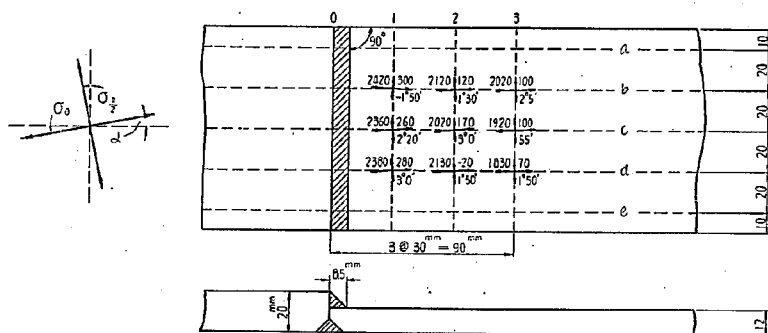
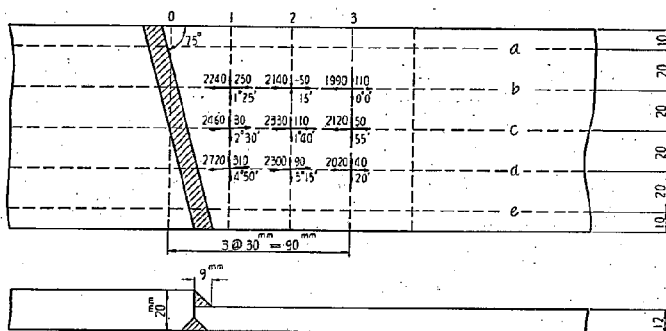
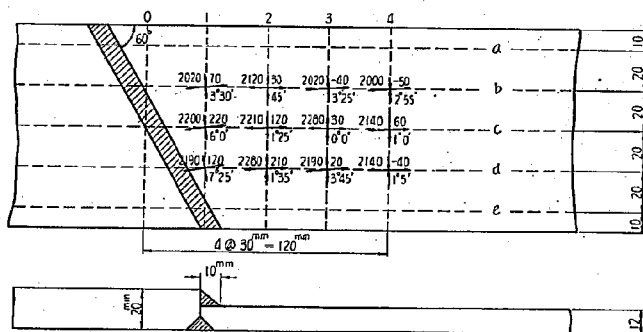
試験片の降伏點約 35 t なるに徴し應力測定最大の荷重は其 $\frac{1}{2}$, 16 t とし, 2 t をきに應力の観測を行つた。最大荷重 16 t の場合の主應力分布第 46 圖の如くである。熔接接手部は其表面傾斜せるが故にこの部分の應力測定は省略した。

A 種試験片に於けると同様に試験片中心線上の接手に最も接近せる観測點上の主應力偏倚の程度を圖表に示すとき第 47 圖の如きものとなる。接手より最も距りたる C₀ 點にては接手斜截角の減少に伴ふ偏倚の變化は認められざるに對し, 接手に最も近き C₁ 點にては斜截角の變化と共に増大し $\alpha=45^\circ$ に至つては偏倚 $7^\circ 25'$ に達してをる。偏倚の方向が接手方向に直角ならんとする傾向を有してをることは A 種と同様である。

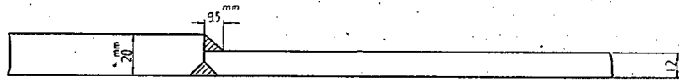
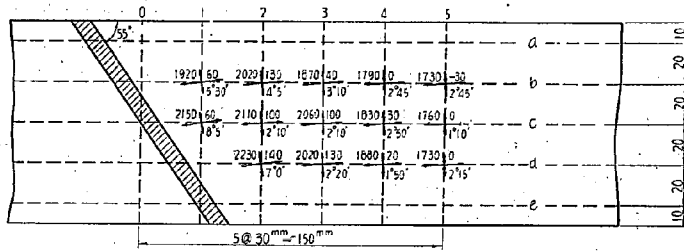
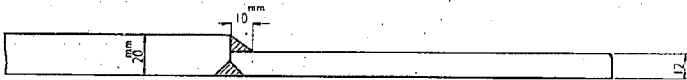
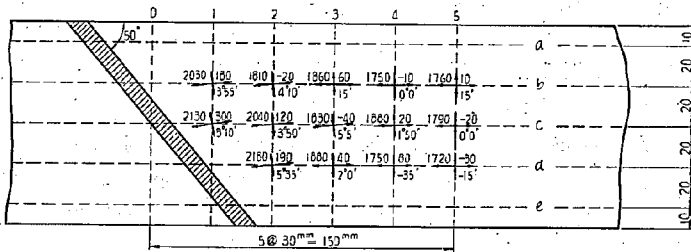
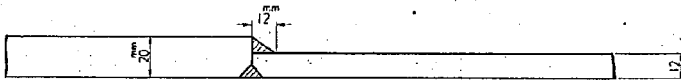
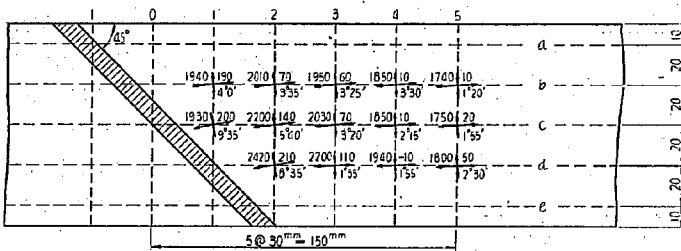


第 47 図 接手附近試験片中心線上の主應力の偏倚

主應力 σ_0 の大きさは應力が薄鉚の斷面に均等に分布する場合 $\frac{16000}{12}=1340\text{kg/cm}^2$ となるに對し, B₁ 試験片にて第 1 列の平均 2290kg/cm^2 , 第 2 列の平均 1940kg/cm^2 , 第 3

C₁ 試驗片C₂ 試驗片C₃ 試驗片

第 48 圖 C 種試驗片主應力分布


 C₄ 試験片

 C₅ 試験片

 C₆ 試験片

第 48 図 C 種試験片主應力分布

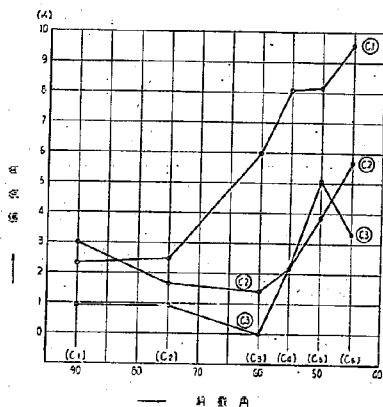
列の平均 1790 kg/cm^2 にして $64 \sim 34\%$ の増大を示してをる。この原因として先づ考へらるゝものは薄鉄と厚鉄との偏心に基づく曲げの影響である。應力が両鉄断面に均一に分布し其偏心が $e=4 \text{ mm}$ なりと假定した場合の曲げモーメントは $M=16000 \times 4=64000 \text{ kg. mm}$ にて、この曲げによる縁應力は $\pm 266 \text{ kg}$ に達するにすぎない。然るに第1列に於ける増大は其約 3.5 倍 950 kg/cm^2 に及べる點を考ふる時、この接手の縦断面に於ける應力の偏倚單純なる偏心による曲げとして考へらるゝ以上に著しく其表面側への應力線の集中の顯著なるべきことを想像せしむるものである。

B_2, B_4, B_6 試験片の主應力の大きさについても同様のことが適用出来るが、 σ_0 の値の平均値よりの増加が接手傾斜の増大と共に減少してをる。このことは接手傾斜大となるにつれ兩突縁鉄の厚の相違による偏心の影響が減少してゆくことを示すものである。

[28] C 種試験片の主應力分布

この試験片もB種と同様厚さを異にする突縁鉄の接手であつて、接手に隅肉熔接を併用してをる點から、断面變化の急激なる點等より見て縦斷的に見たる應力分布はA, B兩種に劣るものと考へねばならぬ。

應力の測定はB種に於けると同様の意味にて薄鉄側に限定した。測定にあつての截



第49圖 接手附近試験片中心線上の主應力偏倚

荷もB種と同様最大荷重として 16 t を採つた。最大荷重 16 t に於ける主應力分布の状況第48圖の如くである。試験片中心線上の點に於ける主應力の傾きの變化を見るに、接手傾斜の増大と共に増加してをることは前掲兩種と同様であり、測定が接手に近づくほど其變化の著しくなることは第49圖によつて明らかである。C₁ 點に於ける最大傾斜は $\alpha=45^\circ$ にて $9^\circ 35'$ に達し、前掲兩種に比して遙かに大である。主應力の傾斜の方向は接手に直角ならんとする傾向なること前者同様である。

主應力 σ_0 の大きさが應力が均等に分布せるときの數値 1340 kg/cm^2 に比して遙かに大なることはB種と同様であり、其増大の量がこれに優つてをることは、接手の工法が縦斷的に見て一層應力の偏倚を大ならしむるが如き形式である點から見て當然の結果と考へられる。増大の割合が大體に於て接手傾斜の増すにつれて減少してゆくこともB種と同

一の理由によるものと信ずる。

VI. 要 約

以上各章に於て求めたる結果を要約すれば次の如くである。

1. この實驗は突縁鉚釘の銜合熔接に於て其接手を斜截することによる接手強度の變化並に應力分布の狀況を確めんとするものである。
2. Patton 教授の實驗によると、突縁鉚釘の接手としては各種の階段形をなしたるものよりも $\alpha=45^\circ$ の傾斜せる銜合熔接接手が最も効果的であり、この α を種々變化せしめた實驗結果によると $\alpha=55^\circ$ の際が最も大なる強度を示してをる。併しこの $\alpha=55^\circ$ に於ける最大強度に對しては充分な信頼を置き難い。
3. Schilachthof 橋架設にあたつての實驗では $\alpha=18^\circ$ の矢筈形を用ひ、充分な効果を擧げてをる。
4. 1933 年發布の匈牙利熔接建築物示方書では突縁鉚釘の接手は $\alpha=30^\circ$ 乃至 45° に傾斜せしむべしと定めてをり、1936 年の獨逸熔接鉚釘桁道路橋規格では $\alpha=45^\circ$ とせよと規定してをる。
5. Otto Graf 教授の實驗では $\alpha=90^\circ$ と $\alpha=45^\circ$ の銜合熔接とでは其疲限度に 12 對 17 (kg/mm^2) 又は 18 對 22 (kg/mm^2) の相違がある。
6. 田端大橋の架設にあたつて鐵道省にて行つた實驗中にて $\alpha=21^\circ 50'$ とせるものが同種の $\alpha=90^\circ$ のものに比して顯著な強度増加を示しをる例が見受けられる。
7. 物體破壊に關する諸假説によつて斜截接手の應力を調べるに、最大主應力説並に最大主歪説によれば破壊の原因たるべき接手部應力は α の減少と共に低下し、最大剪斷力説並に最大彈性歪エネルギー不變説によれば破壊の原因たるべき應力は α の減少と共に一度増大し、最大値に達して後漸次減少する。
今破壊原因たるべき應力の最大となる角度を α_1 、 $\alpha=90^\circ$ の時と同値なる角度 α_2 並に接手材の強度が母材の強度の 75% なりとし、此低下を相殺し得るまでに破壊の原因たるべき應力の低下する角度を α_3 とする時、上記諸説によつて得らるゝ角度は次表の如くである。

	破壊應力の 最大となる 角度 α_1	$\alpha=90^\circ$ と 同等の應力 となる角度 α_2	接手材の強 度低下を相 殺する角度 α_3
最大主應力説	—	—	$40^\circ 40'$
最大主歪説	—	—	$34^\circ 20'$
最大剪斷力説	$54^\circ 40'$	35°	$23^\circ 30'$
最大彈性歪エ ネルギー不變説	$64^\circ 20'$	$52^\circ 20'$	$30^\circ 30'$

後の 2 説によれば α が一定値以上にてはむしろ接手を傾斜せしめざる可なりとの結論となる。又接手材の強度が母材の 75 % の場合、これを回復するまで接手強度を増大するためには $\alpha = 25^\circ \sim 35^\circ$ の角度に採るを妥當なりと結論される。

8. α 種紙製試験片 (第 8 圖) に於ては $\alpha = 90^\circ \sim 55^\circ$ の間にては強度に殆んど變化なく、更に α の減少に伴ひ強度は急激に増加する。 $\alpha = 90^\circ$ の時の接手強度を 30 % 増大せしむるに要する斜截角は $\alpha = 27^\circ$ である。30 % の増大とは接手材強度が母材の夫れの 75 % なりしとき、これを相殺するに必要な増大率である。強度増大の傾向は最大主歪説による場合と近似してをる。

9. β 種紙製試験片 (第 8 圖) に於ては接手部と母材との強度の比は 40 % であるに對し、接手斜截による強度變化は $\alpha = 90^\circ$ より一旦減少し、再び増加する。 $\alpha_1 = 78^\circ$; $\alpha_2 = 68^\circ$ にしてこれより接手強度は急激に増大してをる。又接手材強度の 30 % 増の接手強度をうるためには $\alpha = 30^\circ$ を要する。増大の傾向は最大剪斷力説又は最大彈性歪エネルギー説によつた場合と近似してをる。

10. γ 種紙製試験片 (第 8 圖) に於ては其強度變化の傾向は β 種試験片と大差ない。接手材強度の 30 % 増の接手強度を得るためには $\alpha = 23^\circ$ を要する。

11. モルタル試験片 (第 13 圖) にても強度は斜截角の減少と共に一旦低下し、再び増大の傾向を採る。接手材と母材との比約 90 % の試験片にては $\alpha_1 = 60^\circ$; $\alpha_2 = 45^\circ$ に對し、強度の比が 40 ~ 50 % の試験片にては $\alpha_1 = 75^\circ$; $\alpha_2 = 60^\circ$ となつてをる。30 % 増の接手強度を得るためには前者にては $\alpha = 30^\circ$ 、後者にては $\alpha = 60^\circ$ 程度となる。

12. 平鋼切溝試験片 (第 15 圖) にては、 α 種は接手材と母材との強度比 77 % にて、 $\alpha_1 = 60^\circ$; $\alpha_2 = 45^\circ$ にしてこの角度を越したる後の強度増加は極めて急激である。 $\alpha = 25^\circ$ にて 30 % の接手強度が得られる。

β 種試験片にては、切溝部の厚と母材部の厚との比と α_1 及 α_2 の値は

$\frac{\text{切溝部厚}}{\text{母材部厚}}$	0.833	0.75	0.677	0.584	0.5
α_1	約 55°	//	//	//	//
α_2	45°	42°	37°	34°	32°

13. 平鋼小型熔接試験片 (第 20 圖) に於ては試験結果不規則にして斜截角度による強度變化を確め得ざりしも、接手強度が一旦低下し、再び増大の傾向を採ることは明かである。

14. 實物試験として厚 25 mm (仕上厚 20 mm) の同厚鋼の V 形衝合熔接 (A 種)、厚 25 mm 及厚 14 mm (仕上厚 12 mm) の異厚鋼の V 形衝合熔接 (B 種) 及び V 形衝合と隅内熔接の混用 (C 種) せる 3 種の試験片の試験を行つた。

熔接部の強度と母材との強度の比は 25 mm 鉚にて 70~80 %, 14 mm 鉚にて 85~95 % である。

A 種試験片にては斜截角と接手強度との比は最大弾性歪エネルギー不變説の場合に酷似する。 $\alpha_1=75^\circ$, $\alpha_2=55^\circ$ で、試験片に用いた最小角 $\alpha=45^\circ$ にては、増加率 6 % にすぎず、接手材の母材に對する強度低下 80 % を回復するための 26 % の増大のためには斜截角は接手工作上不可能なる小角度に達せしむる必要がある。

各試験片の切断は大體 $\alpha_2=55^\circ$ 以上の斜截角のものは接手沿ひに、斜截角がこれを降るものは龜裂が母材部に及んでをる。

B 種試験片にては接手の強度を薄鉚の強度に達せしむるには $\alpha=50^\circ$ にて充分である。この場合の接手材と母材との強度比は 96 % 程度である。

C 種試験片の接手部強度は薄鉚の約 80 % で、これに對し $\alpha_1=74^\circ$, $\alpha_2=55^\circ$ である。 $\alpha=45^\circ$ までの試験片による實驗結果から推定するとき、この接手部強度の低下を回復するための斜截角は $\alpha=30^\circ$ と推定される。

15. 以上の諸實驗の結果を綜合するに、接手の斜截によつて接手強度は α の減少に伴つて一旦減少するものと考えべきで、この強度が $\alpha=90^\circ$ の場合の強度に回復する角度は接手材と母材との強度比が實際熔接接手の場合の如く 70~90 % 前後のとき、 $\alpha_2=55^\circ\sim 45^\circ$ と推定する。従つて斜截角度は少くも $\alpha=45^\circ$ とせざれば、これによる引張強度の増大は期待出來ず、もし接手部材料の強度の弱さを回復すべき目的を達するためには、少くも $\alpha=35^\circ$ 以下とせざれば充分なる効果は挙げ得ないこととなる。但し $\alpha=45^\circ$ に於ても其疲限度の増大せらるゝ點から見れば、 $\alpha=90^\circ$ とすに比して遙かに優れてをることは Otto Graf 教授の實驗によつて明かである。

16. 質物試験片 A, B, C 種について行つた應力測定の結果を要約するに、A 種の如く同厚鉚の接手にても、接手熔接部の材質が母材と異るとき、應力線の偏倚が起る。偏倚の程度は其の方向から云ふと、接手斜截角の少となるほど著しくなるが最大 $6^\circ\ 30'$ 程度であり應力の大きさは平均應力の 20 % を越さない。

異厚鉚を接合した B 種及 C 種にては平面的に見た應力線の方向の偏倚は A 種よりも大であり、B 及 C 種では C 種の方が大で $\alpha=45^\circ$ のとき前者が $7^\circ\ 25'$ に對し後者は $9^\circ\ 35'$ に達してをる。兩者とも薄鉚の表面で測定した主應力の大きさは其平均應力に比較すると著しく大である。このことは接手を縦斷的に見た偏心に基因する曲げの影響であり、其程度は單純な曲げと考へて算出せらるゝ値をはるかに凌駕するし、其量は B 種にて 64 % に達し、C 種にては 80 % を越してをる。

この偏心の影響は B, C 種とも、 α の減少即ち接手の傾斜の著しくなるにつれて減少して

をる。

これ等の結果より見るとき、C 種が Schlachthof 橋の施工にあつて考案された新なる接手の形式ではあるが、單純な V 形銜合なる B 種に劣ると云はねばならぬ。只 B 種が C 種に比して熔接量の多量なることは免れない。

大阪港附近の津浪の災害軽減 に關する模型試験

[昭和11年9月5日由良要塞司令部許可済]

内務技師 松 尾 春 雄

目 次

I. 概 要	(1)
II. 小型試験甲	(2)
[1] 装 置	(2)
[2] 試験の種類及観測の方法	(3)
[3] 試験の結果	(4)
III. 小型試験乙	(7)
[1] 装 置	(7)
[2] 試験の結果	(8)
IV. 大型試験	(12)
[1] 装置及観測方法	(12)
[2] 試験の結果	(14)
(i) 波	(14)
(ii) 波甲に依つて試験した結果	(17)
(iii) 波乙に依つて試験した結果	(26)
(iv) 湾内静振に就ての試験結果	(29)
[3] 相似律	(30)
V. 結 論	(32)

内 容 梗 概

大阪湾内各地特に大阪附近の津浪の災害軽減の爲に、防波堤等の配置を如何にすべきかを模型に就て試験した結果である。大型模型は寸法 $8 \times 20 \times 1.2\text{m}$ のもので之に就ては、湾内各地の波形の變化を観測しその記録を可なり詳細に掲げた。

I. 概 要

昭和9年9月21日の風水害に依る大阪港、神戸港、その他大阪湾内各地に於ける被害の主なるものは、高潮に原因する浸水破壊等であつて、直接風に原因するものは割合に少なかつた。

本試験は大阪に於ける此種の災害を軽減する爲に、海岸に防波堤等を設くる場合、之を如何に配置し、如何なる構造を選ぶべきか、更に此等に對する基礎知識として湾内に於ける波形の變化等を明にする爲に行つた模型試験であつて、日本學術振興會の援助によるもの

である。

高潮或は地震津浪により甚大な被害を蒙る事を豫想さるゝ地域は僅に大阪に止らず、太平洋に向つて開口してゐる灣の奥に位置する各都市に於ても同様であるから、將來大阪以外の重要地域に就ても試験を行ふ必要があると思ふ。

本試験は装置の都合上主として地震津浪に相當する場合に就て行つたのであるが、暴風津浪も長い波といふ點に於て同様に考へて差支ないと思ふ。

試験は3種類の異つた縮尺の模型を用ひた。その中小型試験甲では灣内の波形の變化を觀測すると共に太平洋から津浪が侵入する場合、由良海峡以外の鳴戸海峡、明石海峡等が大阪灣内の津浪に對し如何に影響を及ぼすかも明らかにし、小型試験乙は甲よりも縮尺の稍、大なる模型により灣内の波形の變化殊に大阪港防波堤の影響を見た。此等2種の小型試験は主に大型試験の準備のものであるが最後の大型試験では灣内での波形の變化の狀況、大阪附近の防波堤の影響等を可なり詳細に圓筒に記録せしめ又活動寫眞に撮影して觀測した。

上記3種類の模型の寸法は大略次の通りである。

	大 型	小 型 乙	小 型 甲
装置全體の寸法	20×8×1.8m	3.5×1.2×0.6m	11×1.2×0.6m
模型の縮尺	平面	1/4 000	1/22 500
	鉛直	1/50	1/150
			1/200

實驗した代表的の波の週期、波長等は次の表に示す通りであつて、之を相似律に依つて實際の値に換算して同時に掲げた。表の中、大型は灣の中央に於ける測定により、小型2種は灣に入る以前の直水路に於ける測定による。

	波高(靜水面上の高さ)		波 長	週 期
大型 模型	1.6cm	11.5m		4.7秒
(實物)	0.8m	46km		44分20秒)
小型乙模型	2.1cm	4.95m		2.75秒
(實物)	3.15m	111.2km		1時間24分)
小型甲模型	2.95cm	2.92m		1.7秒
(實物)	5.90m	219km		2時間30分)

II. 小型試験甲

[1] 装 置

寸法 11×1.2×0.6m の木製水槽内に第1圖の如き平面を有する實際に略、相似の模型を木にて作る。圖のMNより下方は實際とは異なるが太平洋から津浪が襲来すれば略、等深線に

直角な進行方面をとるものとして、之より下方は同一断面を有する様な水路とし、その他端に波の發生装置を設けた(第2圖)。

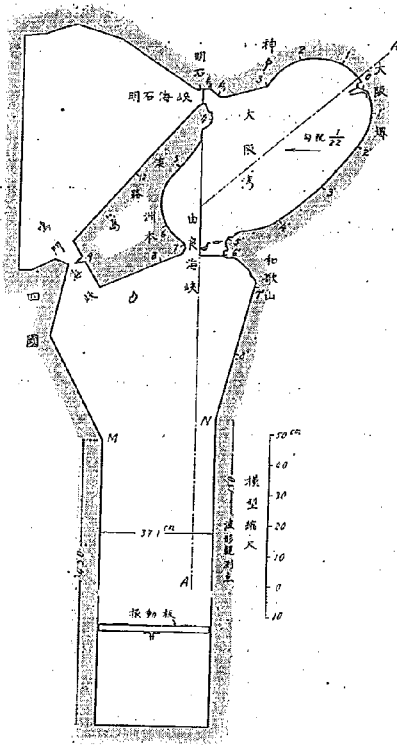
第1圖のMは四國の湍生田岬に、又Nは和歌山縣の日の御崎に相當する。大阪灣以外の各水面の水深は總て一樣とし、灣内は略、平均の海底面をとり、平面圖に示す通り明石海峡と由良海峡とを結ぶ直線を境として之に直角に1/2.2の勾配を一樣に附した。陸地の高さは一樣に水面上15cmとする。斯くて縮尺は平面に於て實際の1/75 000、鉛直方面に於て1/200となる。

波は第2圖中央部に示す装置にて發生せしめる。即ち幅37cm、高35.5cmの板の下端は水槽の底に蝶番にて水路に直角に取付け、板の中央部上方に取付けた金物の上端に全振幅50cmの單弦運動を與へる。この振動週期は2.0秒及0.8秒の2種類とした。板は振動の初に常に最も右に傾いた位置に置くやうに定めた。

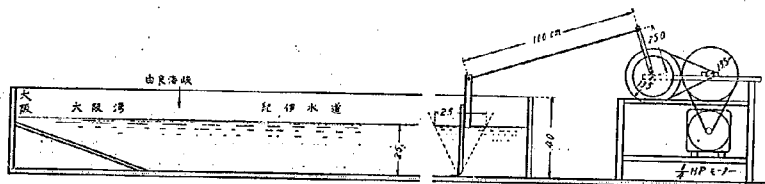
[2] 試験の種類及觀測の方法

先づ紀伊水道及灣内に於ける波の觀

測によつてその波形及波の進行方向が各場所により如何に變化するか、又灣の内外各地に於て最高波高が如何に異なるかを觀測し、次に紀伊水道より來る津浪に對し由良海峡以外の



第1圖 小型模型甲平面圖



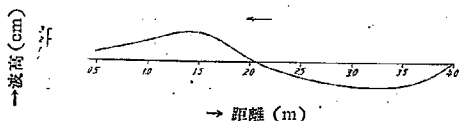
第2圖 小型模型甲縱断面圖 断面 A-A

鳴戸海峡及明石海峡等が大阪湾内の津浪に如何なる影響を與ふるかを水面上に於ける浮子の観測によつて明らかにした。波發生裝置の振動週期が2秒及0.8秒の何れの場合にも、観測は殆ど總て最初の波に就て行ふ事とし16mm活動寫眞に撮影してその畫面上にて讀み取つた。

[3] 試験の結果

(1) 波形及波の進行方向の變化

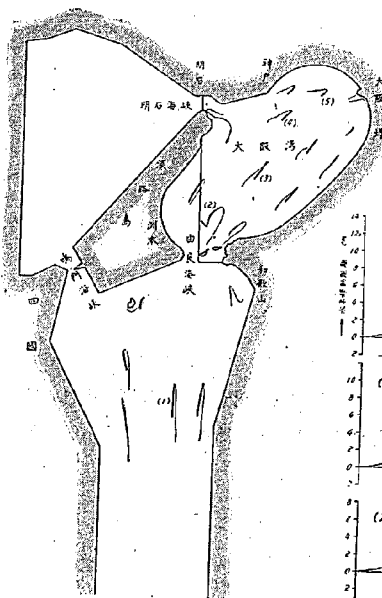
a) 週期の長い場合—波の發生裝置の週期 T' が2秒なる場合 紀伊水道に相當する箇所即ち第1圖のNより上流(圖では下方)1.50mの點を中心として撮影した寫



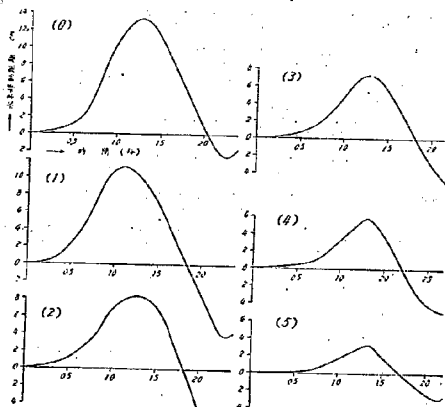
第3圖 紀伊水道に於ける波形($T'=2$ 秒のもの)

眞によれば、この附近の波形は第3圖に示す如く、又同一箇所 に於ける水面の浮子の移動狀態は第5圖(0)に示す通りである。

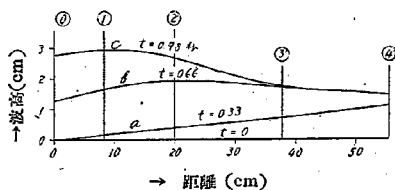
波の傳播速度 ω は波長が大である爲に正確に観測する事が困難であつたが3回観測の平均値は $\omega=154$ cm/秒である。即ち波の週期 $T=2.5$ 秒とすれば波長 $L=\omega T=385$ cmとなる。第3圖によれば波長は約



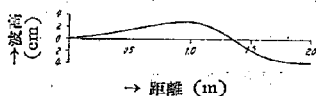
第4圖 浮子の移動軌跡
運動は太い線に初まり細い線に終る



第5圖 湾内外に於ける水分子の水平移動狀況
水平移動距離は波の進行方向に投射した長さで表はす、浮子の番號に就ては第4圖参照、(0)は直水路の波形観測點(第1圖参照)に於けるもの



第6図 湾内に於ける波形

第7図 紀伊水道に於ける波形($T'=0.8$ 秒)

4m となつてゐるが之は観測の誤差による事と思ふ。

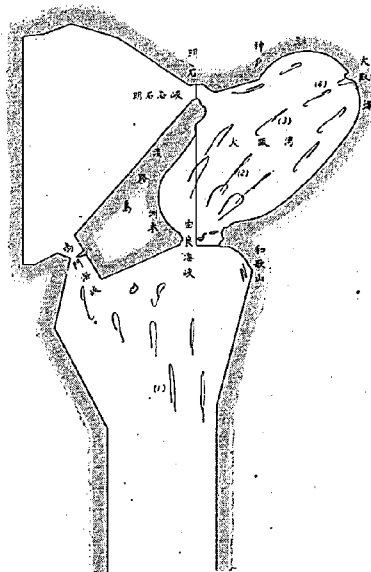
上記の波が由良海峡から湾内に入つた場合水面上の浮子の動きは第4圖に示す通りであつて、その中の(1)乃至(5)に就て水平移動速度を観測した結果は第5圖に示す。

湾内に於ける波形は模型が小なる爲測定が困難であるが第1圖の湾内0~4'に於ける波形は第6圖に示す通りである。圖のaは波先が0に達した時、bはaより1/3秒後、cは夫より更に1/3秒後の波の形である。模型の湾の寸法は長軸の長さが約80cmであつて第3圖の波長の約1/5に相當する。

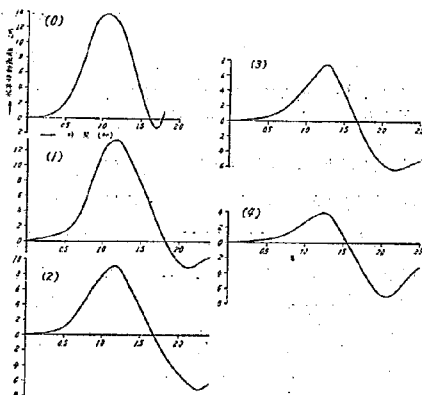
b) 週期の短い場合 $T'=0.8$ 秒

前項の週期の長い時と同様の事項に就て観測した結果は第7, 8, 9及10圖に示す通りである。

之等によれば紀伊水道に於ける波



第8図 浮子の移動軌跡

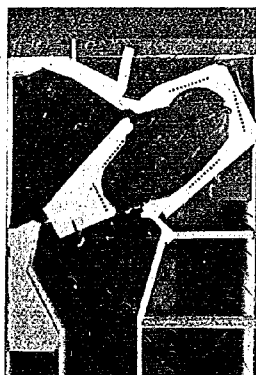


第9図 水分子の移動状況

浮子の軌跡は第8圖参照
尚水平移動距離は波の進行方向に投射した長さで表はす



第 12 図 波の進行状態，最初の波が前進する間露出を與へたもの ($T=2$ 秒)



第 13 図 波の進行状態 ($T'=0.8$ 秒) 灣内の波の週期に相當する間露出を與へたもの (灣内の線の白さの濃い部分は前進，薄い部分は後退の軌跡)

T_0 及 T ………夫々の波の振動週期

とすれば

$$\frac{\omega_0}{\omega} = \frac{\sqrt{gH_0}}{\sqrt{gH}} = \sqrt{\frac{H_0}{H}} = \sqrt{200} = 14.14$$

$$\frac{T_0}{T} = \frac{L_0/\omega_0}{L/\omega} = \frac{L_0}{L} \cdot \sqrt{\frac{H}{H_0}} = \frac{75000}{14.14} = 5300$$

従つて實驗の場合の紀伊水道に於ける波の週期 $T=2.25$ 秒 及 1.7 秒 は、實際では $T_0=3$ 時間 19 分 及 2 時間 30 分に相當し、この波長 $L=3.85$ m 及 2.92 m は夫々 $L_0=289$ km 及 219 km にあたる。

尙第 5 及 9 圖より知り得る v に就ての相似律は次の通りである。

$$\frac{v_0}{v} = \frac{\frac{r_0 \pi}{T_0}}{\frac{r_1 \pi}{T_1}} = \frac{r_0}{r_1} \cdot \frac{T_1}{T_0} = \frac{L_0}{L_1} \cdot \frac{L_1}{L_0} \cdot \sqrt{\frac{H_0}{H}} = 14.14$$

III. 小型試験乙

[1] 装置

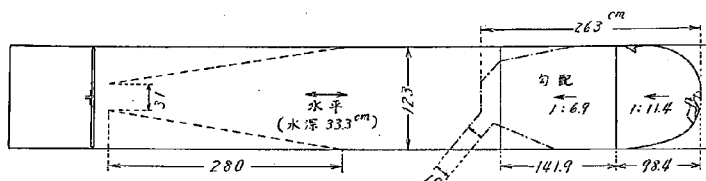
前項の試験によつて大阪附近の津浪の状態を見るには、明石及鳴戸兩海峡は之を無視して試験しても差支ない事を知つたから、この試験では専ら大阪灣だけの模型に就て行つた。水槽は第 1 圖と同一のものであるが、模型は第 14 圖に示す如く縮尺は平面に於て $1/12500$ 、鉛直方向に於て $1/150$ である。小型試験用に於て波の進行方向は灣の長軸に略、平行であ

る事を知つたらこの試験の初めには直水路模型に就て行ひ(第14圖の實線にて示した形), この直水路に於て更に波高の異つたものに就て試験する爲に, 圖に破線にて示した形の導水壁を設けて同一の波發生裝置から出る波が灣内に於ては高さが小になる様にし, 最後に灣形模型即ち第14圖の鎖線にて示した如く灣と相似の模型に就て試験した. この最後のものでは波は由良海峡に相當する部分より送り込む様にした. 波の發生裝置は第2圖に示したと略. 同様であつて週期は何れも $T=2$ 秒とした. 特に灣形模型では $T=1.6$ 秒のものに就ても行つた. 何れも大阪港の在來防波堤及新計畫による防波堤が, 防波堤のない場合に比し, 長い波を防ぐに如何なる効果があるかを觀測した. 觀測の方法は前項と略. 同様であるが, 特に防波堤附近の波の状態を詳にする様に努めた.

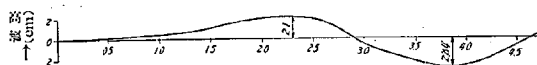
[2] 試験の結果

(1) 直水路模型

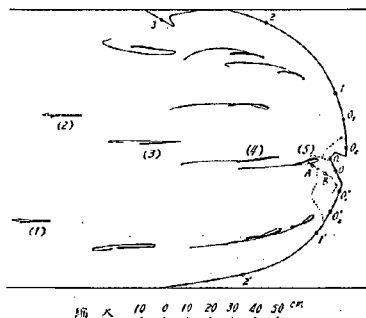
a) 波高の大なる場合 第14圖の實線にて示した裝置による直水路に於ける波



第14圖 小型模型乙平面圖



第15圖 直水路に於ける波形



第16圖 大阪港附近に於ける浮子の移動軌跡

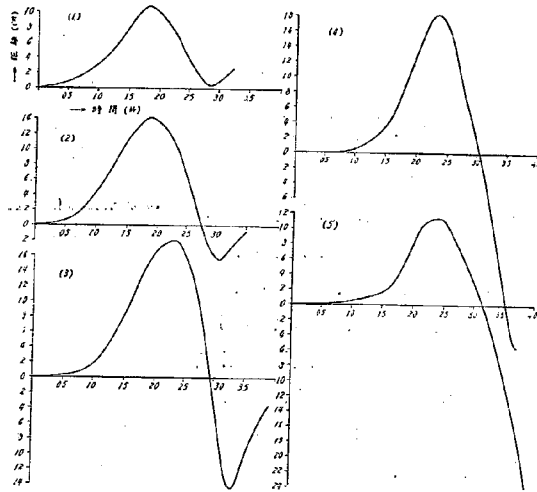
の形は第15圖の通りであつて第3圖と略. 同様である. 即ち波高 $h=2.1$ cm, 波長 $L=465$ cm, 週期 $T=2.6$ 秒, 傳播速度 $\omega=180$ cm/秒である. 大阪附近の水分子の移動狀況觀測の結果を第16圖及第17圖に示す. 第18圖には大阪に最高の波が達した場合の波の形を示す. 圖は灣内より海岸に向つて見た状態である.

b) 波高の小なる場合 第14圖の破線にて示した裝置の波は 1.23 m の水路幅の箇所では第15圖と略. 同一の週期及波長を有するが波高は小となり $h=1.5$ cm

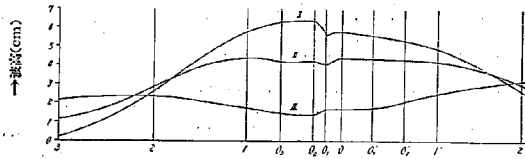
である。

先づ水面上の高さ 2cm の在來の防波堤がある場合の影響を見る爲に、第 16 圖の 1...0...1' 等の各點に於ける最高波高を觀測し之を防波堤がない場合と比較した。その結果は第 19 圖に示す如く南防波堤の根元屈曲部附近では防波堤のない場合よりも波高が却つて大となつてゐる。之は同防波堤の平面形が楔形をなしてゐる爲に波の勢力がその根元附近に集中する事に由るものと考へられる。

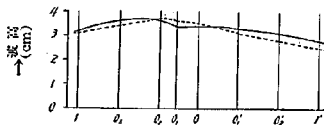
在來の防波堤の外側に新計畫の防波堤を築造した場合の波高を第 20 圖に示す。



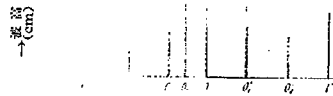
第 17 圖 大阪港附近の水分子の水平移動狀況
番號に就ては第 16 圖参照



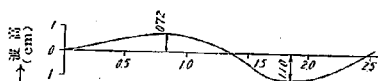
第 18 圖 大阪附近の波の形
I は波が最高、II は I の後 0.25 秒、III は I の後 0.72 秒の時



第 19 圖 大阪港附近の波高一
在來防波堤の影響
實線は防波堤のない場合
點線は防波堤のある場合



第 20 圖 大阪港附近の波高一
在來及新計畫兩防波堤のある場合
(1) 堤外が最高になつた場合(實線)
(2) 堤内が最高になつた場合(破線)の比較
(2) は (1) の 0.3 秒後



第 21 図 湾形模型試験の波形
($T=2.0$ 秒)

(ii) 湾形模型

第 14 図鎖線にて示した湾形模型により由良海峡に相当する水路より波を送つた場合の試験結果は前項(i)に述べた處と著しい差異を認められない。たゞ第 2 波以後の状態を見る場合には波の反射等の現象が入つて来るから成可く湾形を實際に近くしなければならぬと思ふ。

波発生装置の板の振動週期 T' を 2 秒とした場合に湾内に発生する第 1 波の形は第 21 圖に示す如く(湾の幅が最も広い部分の側壁によつて観測したもの)である。此の場合大阪の各種防波堤の作用を明らかならしめる爲波高が最高になる場合(第 5 波)にこの附近を撮影したものを第 22 圖、第 23 圖(a)及(b)に示す。尚第 24 圖及第 25 圖には浮子の時間的水平



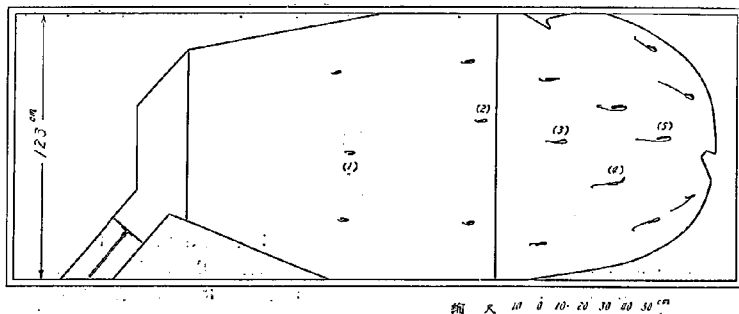
第 22 圖 防波堤のない場合の大阪附近の波



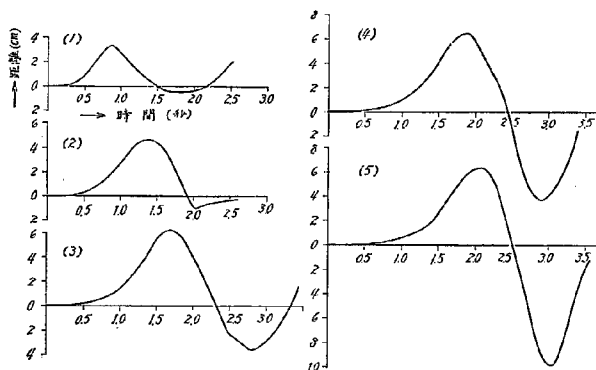
(a) 在来防波堤のみの場合



(b) 在来及新計畫防波堤のある場合
第 23 圖 大阪附近の波



第 24 圖 表面浮子移動軌跡



第 25 図 浮子の水平移動状況

移動状況を見た結果を示し、第 26 図には $T^*=1.6$ 秒とした場合の写真を示す。

(III) 相似律

小型試験甲の場合と同様の符號を用ふれば平面の縮尺 1/22500 鉛直方向の縮尺 1/150 として

$$\frac{\omega_0}{\omega} = \frac{v_0}{v} = \sqrt{\frac{H_0}{H}} = 12.2$$

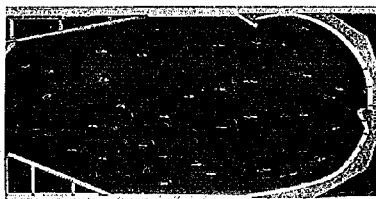
$$\frac{T_0}{T} = \frac{L_0}{L} \sqrt{\frac{H}{H_0}} = 1840$$

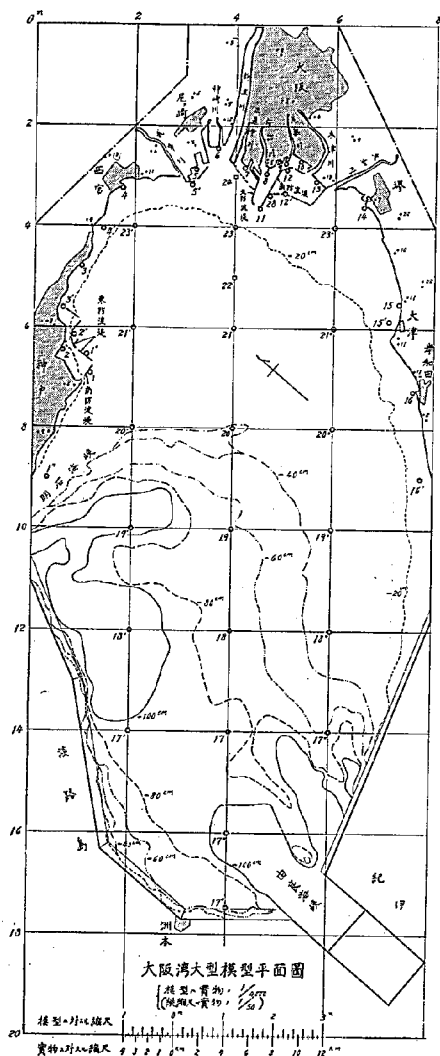
となり、夫々次の如く相當する。

	波高 h	波長 L	週期 T
模 型	2.1cm, 1.5cm, 0.72cm	4.95m, 2.50m	2.75 秒
實 際	3.15m, 2.25m, 1.08m	111.2km, 56.3km	1時24分

之に依つて見るに波高、波長及週期は何れも甲の場合に比し實際に起り得る場合に著しく近い。防波堤の静水面上の高さは勿論鉛直の縮尺に依つて測るべきであつて 2cm の場合が略、在來の防波堤の高さに相當する。堤内に入る水は主として堤を溢流したものと堤の切目よりするのであつて、之に對する相似律を定める事は困難であるから、第 20 圖に得た結果を解釋する事が困難となり、従つて此等は極めて概念的な參考資料たるに止まる。

第2波以後の波を観測した場合に反射した波が、再び大阪に來る時間に就ては相似律が成立する筈であるから、二つの反射波が衝突する場所等に関しては之を實際に適用して差支

第 26 図 浮子の移動状況 ($T^*=1.6$ 秒)



第 27 圖 (a) 大型模型平面圖 圖の等深線は水路部基準面によつた深さ。 實驗水面は平均水面であつて之より模型に於て 2 cm 高い。即ち實驗の水線は圖よりも 2 cm 大である。○は波形測點の位置を示す。

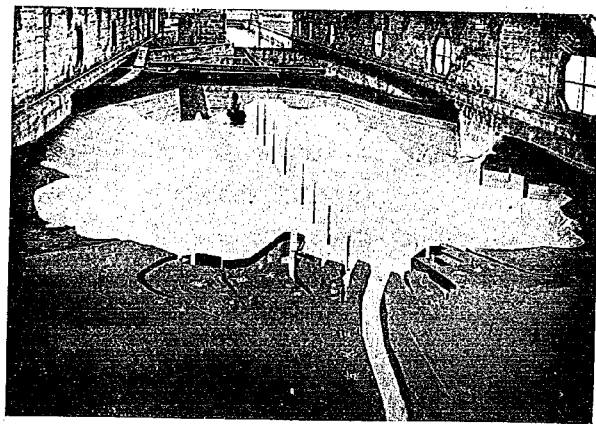
ないと思ふ。但し之は灣の中央に於ける津浪の實際の週期が表に示した様な値を持つてゐる事を條件とする。

IV. 大型試験

[1] 装置及観測方法

深さ 1.8 m, 幅 8 m の混凝土水路内に前記小型試験乙の灣形模型と同じ範圍の大型模型を作り之に就て試験を行つた。その模型は第 27 圖に示す如く寸法概略 8×20 m, 深さ 1.2 m であつて、實物に對する縮尺は半面に於て 1/4000, 鉛直方向に於て 1/50 である。海底の高低は海軍水路部發行の海圖 106 (縮尺 1/13500) 及 1103 (1/36395) に依り、陸地の高低は陸地測量部發行の 1/25 000 の地圖に依つた。模型の製作は先づ表面の仕上げ高に應じて大體の高低を底板によつて定め、その上に砂利と砂との混合物を平均厚約 10 cm 置き大體の地形を作り、表面は厚さ 3 cm 程度のセメント、モルタル配合 1:3 を以て仕上げその上にペイントを塗つた。表面の凹凸は特殊の場所の外は縦横共に平均 50 cm 間隔に高さを定め、その間は平均の勾配を以て仕上げた。

海底は水深 50 m 以上の箇所が局部的には存在するが模型ではすべて之を 1.0 m とした。此の如き箇所は實際の通りに作つても既記の縮尺で



第 27 圖 (b) 大型模型の寫眞。 灣内の水を空にした状態

は極めて局所的な水溜りを生ずる程度にしか存在しないから斯くしても結果に於ては殆んど變りはないと考へる。陸上の高さは海岸だけを略。上記の地圖に依つて定めた。尚淡路島及紀伊に相當する箇所は海岸に於ける勾配が割合急峻であるが、模型はその平均海岸線及勾配を板を組合はせて近似的に作つた。由良海峡に面する兩岸は鉛直壁を以て圖の如く作る。

波は既記小型灣形模型と同様由良海峡に於て底面に蝶番を以て取付けた板 (幅 1.08 m, 高 1.40 m) を蝶番の周りに前後に振動せしめて發生せしめる。電動機によつて板を振動せしめる装置を設けたが常に一定の波を發生せしめる事が出来なかつたから實驗の大部分は手働に依る事とした。灣内の一定箇所にて常に殆ど一定の波を記録し得る様に板を動かす事は左程熟練を要せず、電動機によるよりも却つて正確であつた。波は

(a) 甲波 上記の板をその上端に於て約 80 cm の灣外より灣内に約 1 秒間に動かす只 1 回の運動にて發生せしめる押波より初まるもの。

(b) 乙波 板を豫め鉛直よりもその上端に於て約 10 cm 灣内に傾斜せしめた位置から反對側に同じ量だけ傾斜せしめ、更に鉛直の位置まで歸る迄の運動を約 4 秒間に行はしめる運動にて發生せしめる引波より初まるもの、2 種に就て行ふ。

波は灣の中央 (第 27 圖にて 19 と記した位置) に於て常に波形を記録し、之と他の所定の位置の波形の同時記録とを時間的にも比較し得る爲、同時刻記録を一のスキッチに依り記

入し得る様に装置した。各回の波の相違は常に 19 の記録により比較する事とした。

模型の水位は平均水面に依つた爲に水深は第 27 圖に示すよりも 2cm 大となつてゐる。

大阪に於ける潮位は水路部発行の海圖によれば次の通りである。

大潮升 +1.4 m, 小潮升 +1.1 m, 平均水面 +1.0 m

實驗水面での灣内の水の容積は $V=47.736 \text{ m}^3$ 表面積は $A=90.954 \text{ m}^2$ (何れも由良海峡を含ます) $\frac{V}{A}=52.7 \text{ cm}$ 縦の中心線に沿ふ斷面積は $A'=9.33 \text{ m}^2$ で此處での灣の長さは $L=15.03 \text{ m}$ であるから $\frac{A'}{L}=62.0 \text{ cm}$ 。

各種防波堤の水路部の基本水準面上の高さ及實驗水面上の模型での高さは次の通りである。

	基本水準面上 の實際の高さ (m)	模型での平均 水面上の高さ (cm)	備 考
大 阪 南防波堤 (在來のもの)	+ 2.90 (+ 4.00)	+ 3.80 (+ 6.00)	新計畫防波堤取付後 は () 内の高さと なる。
北 〃 (〃)	+ 2.60 (+ 4.00)	+ 3.20 (+ 6.00)	
新計畫第 1, 2, 3 號	+ 4.00	+ 6.00	
北 港	+ 4.00	+ 6.00	
尾 崎	+ 3.00	+ 4.00	
堺 港 新 計 畫	+ 4.00	+ 6.00	
神 戸 港	+ 3.03	+ 4.06	

この試験では由良海峡から一つの長い波が灣内に侵入した場合、之が灣内を如何なる状態で傳播し、海岸各地を如何なる方向から襲ふか、又灣形による反射等により最初の波が次第に如何に變形するかを觀測した。特に大阪を中心とする海岸に於ては從來及新計畫防波堤を設けた場合の影響を相當詳細に試験し、此等構造物の適當な配置及津浪に對し、構造上注意すべき事項に就ての資料を得んとしたものである。相似律の關係上防波堤内の波高は、實際に適用する事が出来ないと思ふが、參考資料として此等に就ても觀測を行つた。

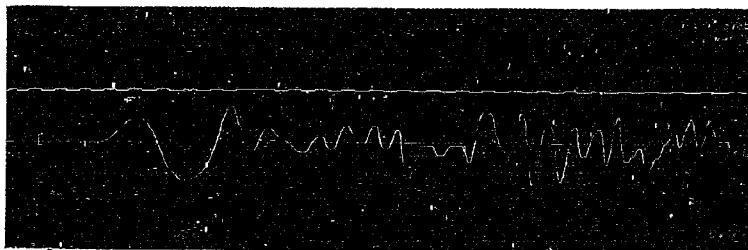
[2] 試験の結果

(1) 波

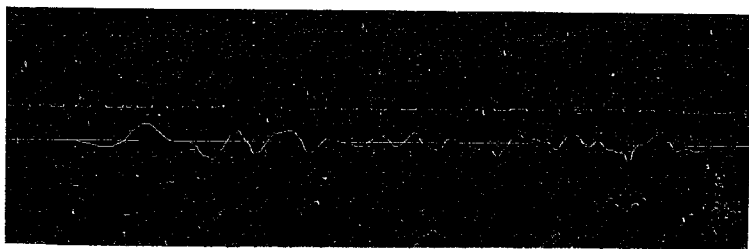
押波から始まるものと引波から始まるものとの 2 種を第 29 圖の裝置にて測點 19 (第 27 圖 (a)) で記録した一例を第 28 圖に示す。波が非常に長い爲に傳播速度を明確に定める事が困難であるが

$$w = \sqrt{gH}$$

により算定し、第 28 圖に示した波の夫々第 1 波の波長等を次表に示し、相似律により實際に*

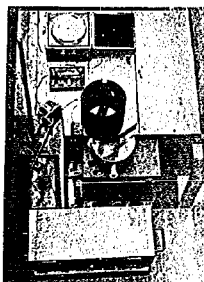


(a) 甲波の測点 19 に於ける記録



(b) 乙波の測点 19 に於ける記録

第 28 図

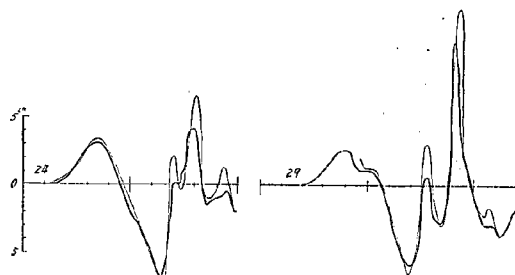


(a) 斜上方より望む

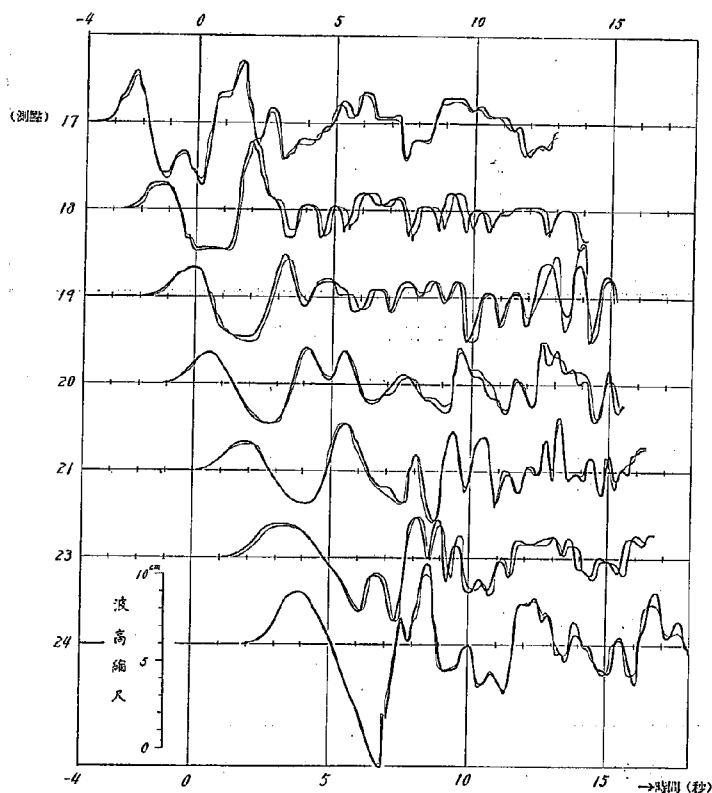


(b) 側面より望む

第 29 図 溝内中心線の波形記録装置



第 30 圖 活動寫眞に依る潮測と浮子に依る記録との相違, 細い線は活動寫眞, 太い線は浮子による記録
測 點 24 及 29 の も の



第 31 圖 測の中心線に沿ふ各點の波形, 太い線と細い線とは別々にとつた 2 回の記録

*換算した値をも同時に掲げた

		波 高 (h) (静水面上の高さ)	週 期 (T)	波 長 (l)	傳播速度
a) 抑 波	模 型	1.6 cm	4.7 秒	11.5 m	2.42 m/秒
	實 際	0.80 m	44 分 20 秒	46.0 km	17.1 //
b) 引 波	模 型	1.1 cm	3.3 秒	8.0 m	2.42 //
	實 際	0.55 m	31 分 8 秒	32.0 km	17.1 //

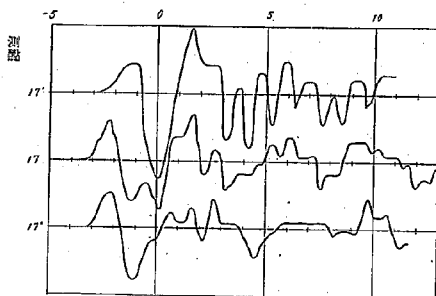
波形を記録せしめる上記の装置は
 灣内で波長の大きなものには適當し
 てるが海岸で急に水が跳ね上る時
 などには適當でない。かゝる場所では
 鉛直目盛桿を其の場所に立て之を
 背景にして波を活動寫真にとり之に
 よつて観測した。第30圖に兩観測の
 相違を示した。圖は測點 24 及 29 に
 於けるものである。起された波の急
 劇な昇降は浮子に依つては正確には
 記録し得ない事を示してゐる。以下
 列挙する記録は何れも浮子に依るも
 のであるから之に依つて急劇に跳ね
 上る波の最大の高さ等を論議する事
 は出来ないが、海岸に於ける波の大
 體の狀況は明らかにし得ると思ふ。

(ii) 波甲に依つて試験した結果

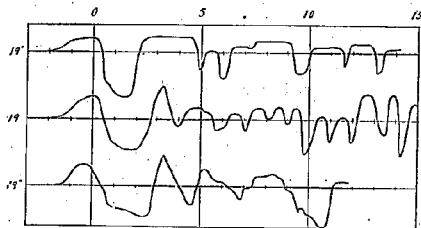
前項に述べた2種類の波の中先づ
 第28圖(a)に示した押波より初まる
 ものに就ての結果を次に列挙する。

a) 灣内各所の波形及傳播狀況

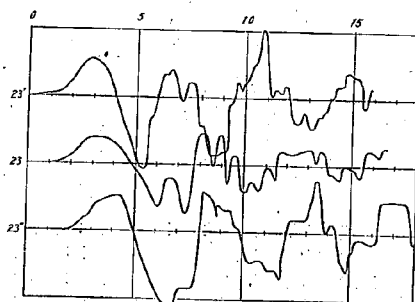
灣の中心線に沿ふ各所に於ける波
 形は第31圖に示す通りである。但し
 前述の通り測點 19 以外の各地點は
 各別々に記録をとり、各箇所では必
 ず3回宛の観測中各2回の結果だけ



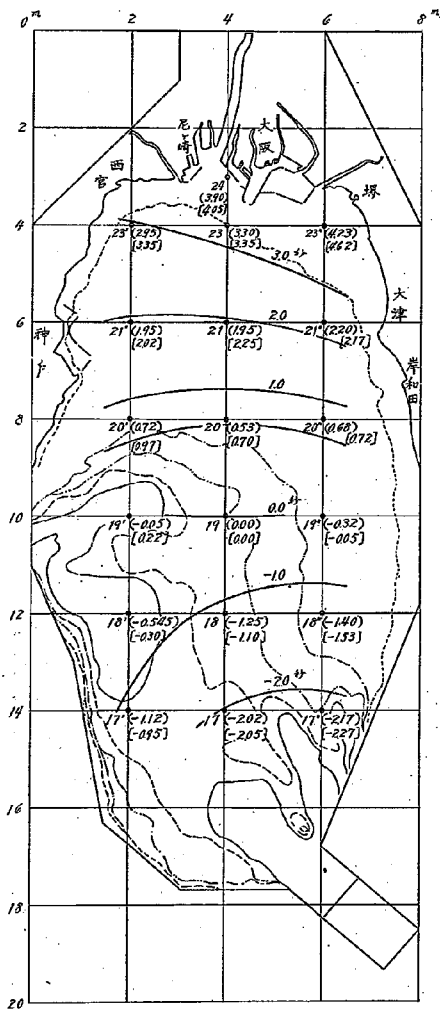
第32圖 測點 17', 17 及 17'' の波形の比較



第33圖 測點 19', 19 及 19'' の波形



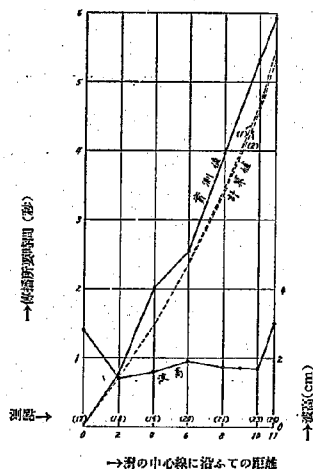
第34圖 測點 23', 23 及 23'' の比較



第 35 圖 甲波の最初の波の頂の傳播狀況、各測點の()内の數字は測點 19 を基準として頂が其の點に到達する迄の時間、太い線はこの場合の波の進行狀況を示す。[] 内の數字は乙波に就てその第 1 波が到達した時間、乙波に就ては(23)頁参照

を太い線と細い線とを以て圖に示した。各 2 回の波を比較するに概して著しい相違を認めないからその他の場合にも略。同様の波が発生してゐたと見得ると思ふ。17, 19 及 23 の記録をその兩側 2 ヶ所宛のものと比較して第 32, 33 及 34 圖に示す。

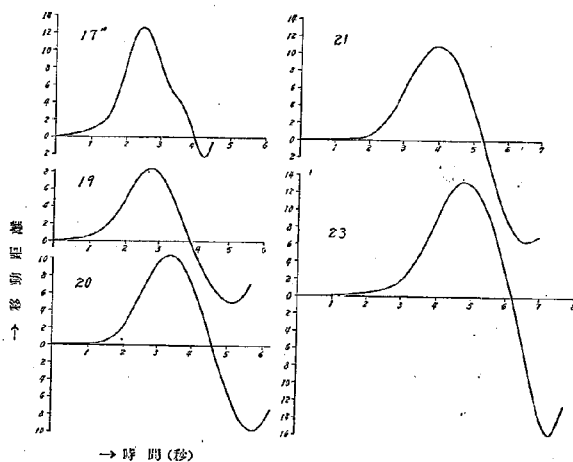
波の傳播速度は波形が極めて扁平な爲、記録からは正確に定める事は困難であるが、第 1 の波の最高點をとつて之を見た結果は第 35 圖に示す通りである。湖内各地點の()に記入した數字は波の頂が 19 に到達して後その地點に到達する迄の時間である。負號は 19 に達する以



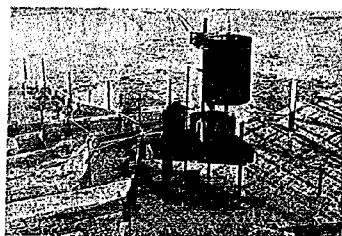
第 36 圖 湖の中心線に沿ふ波の傳播速度の實測値と計算値との比較、計算値 (1) は $\omega = \sqrt{gH}$ に依り (2) は $\omega = \sqrt{g(H+h)}$ に依る。茲に H は水深、 h は各地點の測定波高である。

前なる事を示す。この時間は記録装置の關係及波が各回毎に多少異つてゐる事等の爲に最大 0.2 秒程度の誤差があり得る様である。

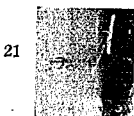
灣の中心線に沿ふ重力波としての傳播速度を計算し、之による傳播所要時間と測定した値との比較を第 36 圖に示した。測定した傳播速度が計算した値より小であるのは底面の摩擦抵抗に依ると思ふ。又測點 18, 19, 20 附近の實測の速度に異常が認められるのは、此の附近で水深が急に變化してゐる事に原因すると思ふ。これは從來餘り注意されない事柄と思ふが模型試験で平面と鉛直*



第 38 圖 表面水分子の移動速度、移動距離としては灣の長さの方向に投射した値をとる。

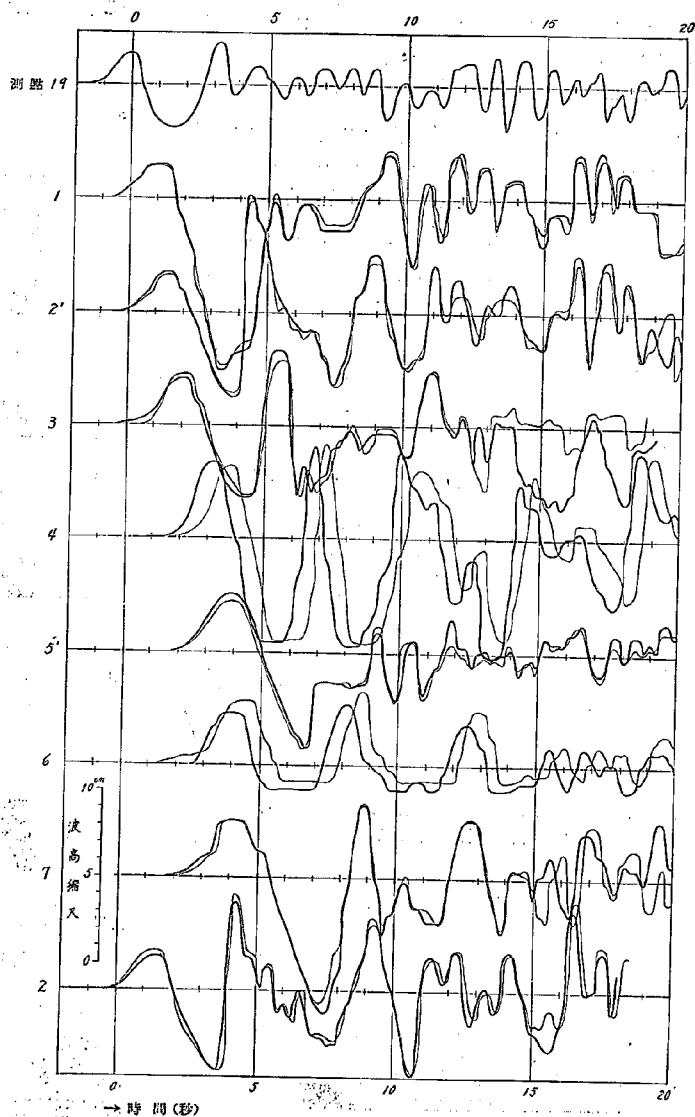


第 39 圖 岸に於ける波形記録装置

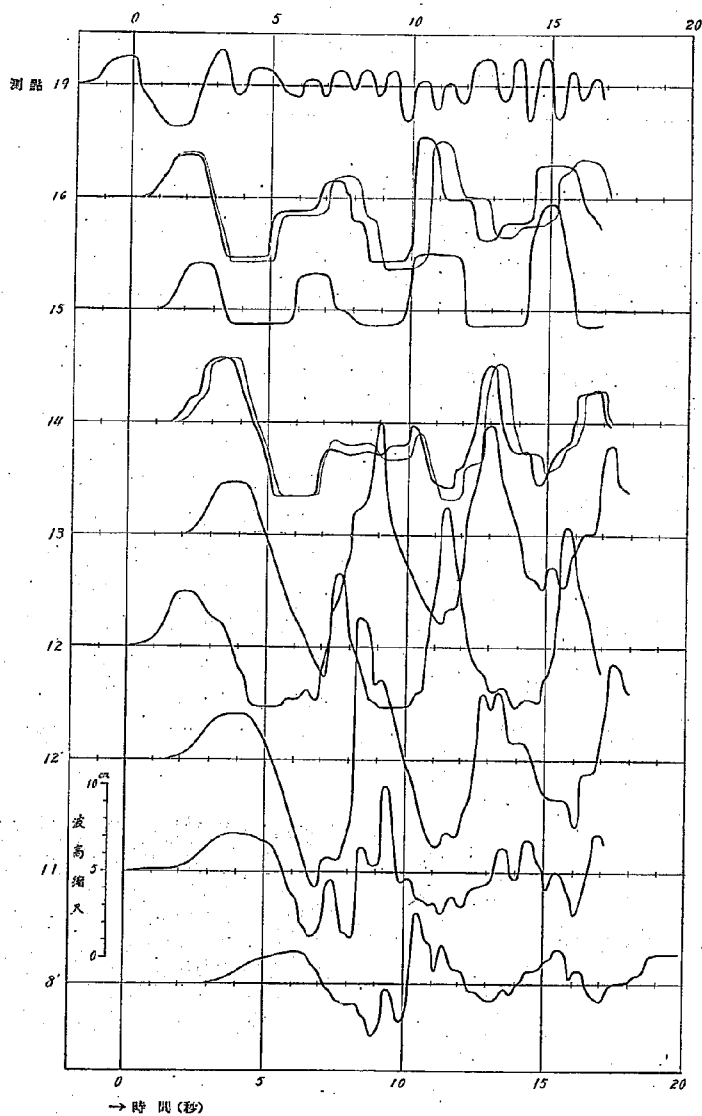


0 10 20 cm

第 37 圖 第 1 波の通過する間の表面水分子の動き。各點眞の左側にある縦の白い直線は灣の中心線である。



第 40 圖 海内沿岸各地の波形, 大阪湾に在来防波堤のみのある場合(其の1)



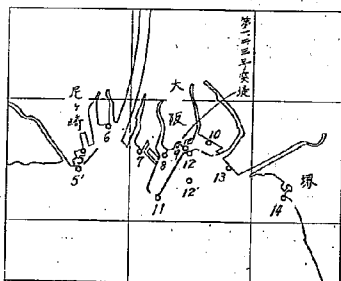
第 41 圖 湾内沿岸各地の波形, 大阪港に在来防波堤のみのある場合 (其の 2)

*との縮小率を著しく異にして試験を行ふ場合には十分に注意しなければならぬ事と思ふ。

b) 水分子の動き 小型試験に於けると同様の方法で表面の水分子の動きを観測した結果は第 37 及 38 圖に示す通りである。

c) 沿岸各地の波形 第 39 圖に示す装置を以て沿岸各地の波形をとつた結果は第 40 及 41 圖の如くである。此の場合浮子の位置は海岸の水際から約 10 cm 海岸線に直角の方向の水面上に置く。この場合水深が小なる爲波の谷では浮子の底が海底にあたる事がある。第 41 圖の 14 及 15 の記録の第 1 波の谷部分に水平な記録があるのは夫である。沿岸各地就中大阪附近の記録は實驗中に設けた諸種の防波堤の影響を受ける事は勿論であつて、之等に就ては後節に述べるが圖に示したものは大阪には在來の南及北防波堤のみがある場合である。

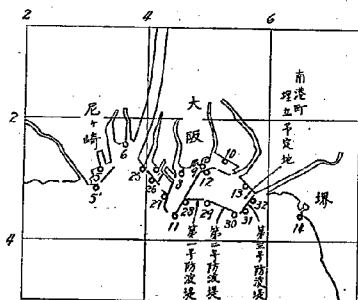
d) 大阪附近各種防波堤の影響 模型の防波堤の構造は厚さ約 0.5 mm の鉄板を小型



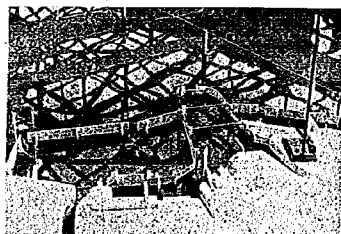
第 42 圖 大阪港在來防波堤

溝形鋼 (寸法約 $2.5 \times 2.5 \times 0.3$ cm) にて補強したものを使用した。模型の縦及平面の縮尺が著しく異なる爲に實際の防波堤の断面の形狀とは異つたものとなつた。その爲模型では實際よりも波の反射等の現象が稍、顯著に出る可能性があるが、海岸の波形の變化に對しては模型と實際との違ひは割合に渺ない事を期待して試験を行つた。

大阪附近の波形の變化を明らかにする爲に現在の防波堤の儘の状態と各種新計畫防



(a) 大阪港新計畫防波堤



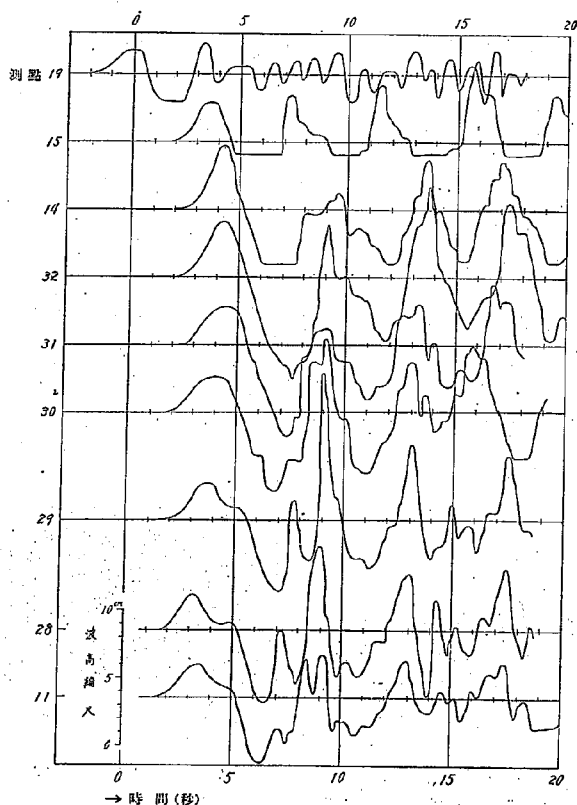
(b) 開寫眞

第 43 圖

波堤を設けた状態とに就て波形を記録せしめて比較研究した。以下順次に此等の波形記録を列挙する。

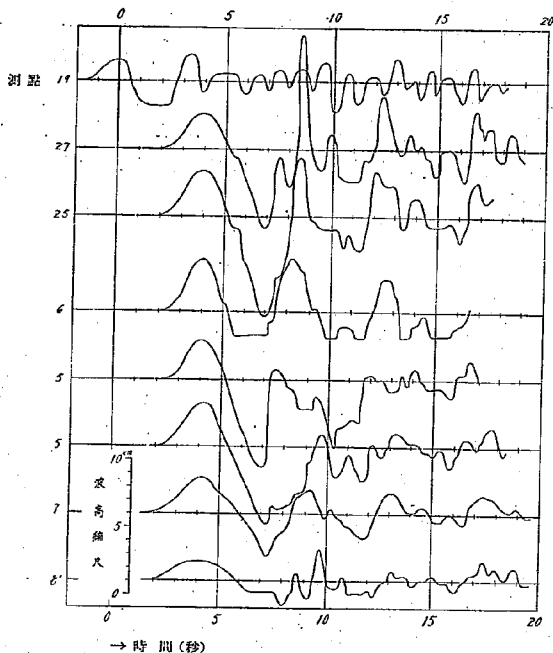
在来防波堤のみの場合 防波堤平面圖は第 42 圖に示す通りであつて模型の堤頂の高さは基準面上 $+3.3 \text{ cm}$ で實際の $+2.90 \text{ m}$ に相當する。此状態での波形は既に第 40 及 41 圖に示した通りである。

新計畫防波堤のある場合 新計畫防波堤は第 43 圖に示す通りであつて、その高さは基準面上 $+4.0 \text{ m}$ であつて舊防波堤の一部は嵩上げてその高さになる豫定であるから模型でもその通りにした。第 43 圖に記入した各點の波形記録は第 44 圖に示した通りである。

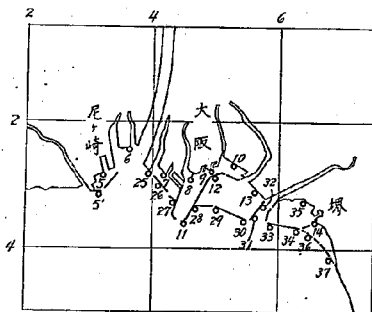


第 44 圖 (a) 新計畫防波堤を設置した場合の波形 (其の 1)

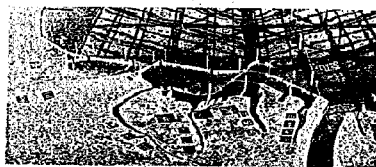
堺港防波堤のある場合 大阪府河港課の計畫に成る堺港の新防波堤 (第45 圖) を附加して各點の記録をとり第 46 圖に之を示した。堺港防波堤の高さは大阪新計畫防波堤同様基



第 44 圖 (b) 新計畫防波堤設置した場合の波形 (其の 2)



(a) 堺港計畫防波堤 (太い實線の部分)
破線は更に之を擴張した追加防波堤の 1 案



(b)

堺港計畫及擴張防波堤を取付けた状態
の寫眞

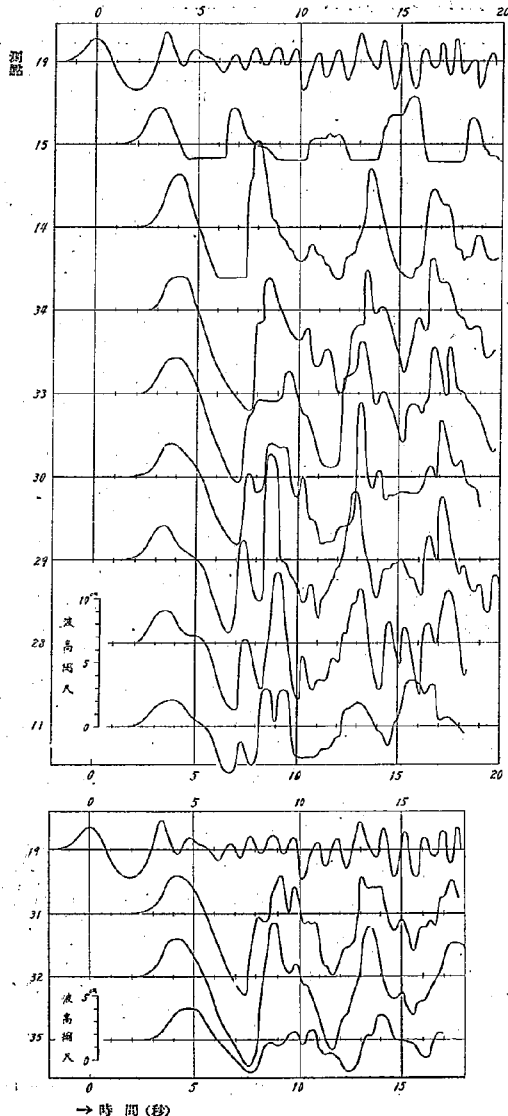
第 45 圖

準面上 +4.0 m である。

堺港南方に更に防波堤を追加した場合 堺港防波堤の南側は津浪に対して被害が大である様に観測されたので、之による被害を軽減する目的には第45圖に示した如き追加防波堤（堺港新防波堤に第45圖の破線の部分を構築したもの）が有効の様に考へ、之に就て試験した結果を第48圖に示した。

各種防波堤の波高に及ぼす影響 以上各種の試験に就て第1波及其後の最大の波の高さを比較して第48圖に示した。波形の記録は特に水面が急劇に上昇する場合には、第44、46、47圖等に示した如き浮子に依る記録は正確を期し難いから、第48圖ではすべて岸に鉛直の物差を立て、波を活動寫眞に撮影した結果によつて整理した。

第48圖に依れば第1波は在来防波堤Ⅰのみが存在する場合と更に新計畫防波堤Ⅱを設けた場合では、堤外に於ける波高に差を生じ第1波及最高波何れに就て

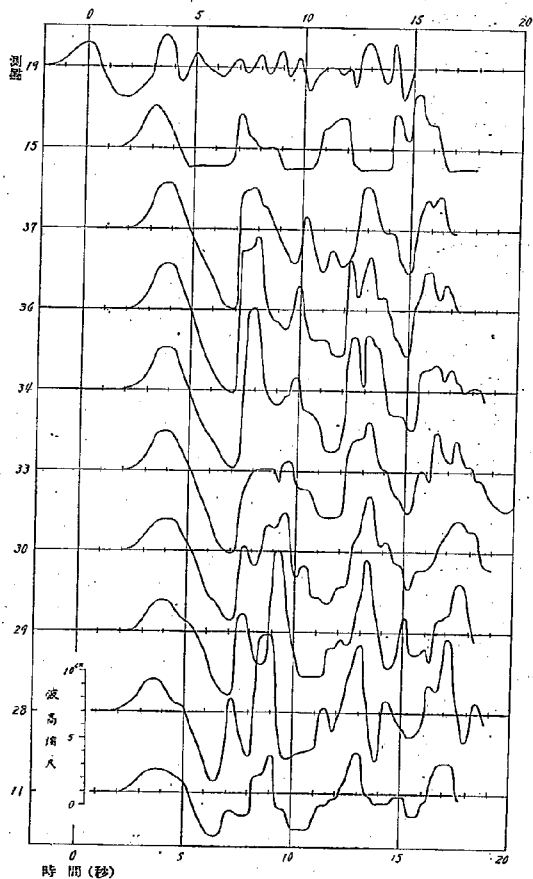


第46圖 堺港計畫防波堤を設けた場合の波形

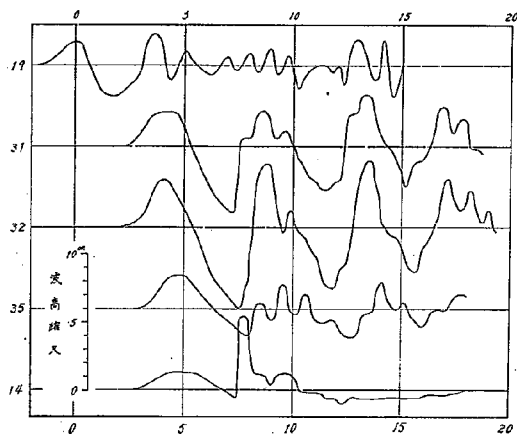
も防波堤 I の場合の測點 12 と之に相當する測點 29 とを比較するに後者の方が波高が小で II の效果を示してゐる。之は第三號防波堤による波の反射の影響であつて實際にもかゝる現象は考へ得られると思ふ。次に堤防波堤 III と同 IV とを設けた時には第 1 波では II の場合と著しい變化はないが、最高波に於ては III で著しく大となる。14 附近の波高が IV では救はれてゐる事を可なり明瞭に示してゐる。

(iii) 波乙に依つて試験した結果

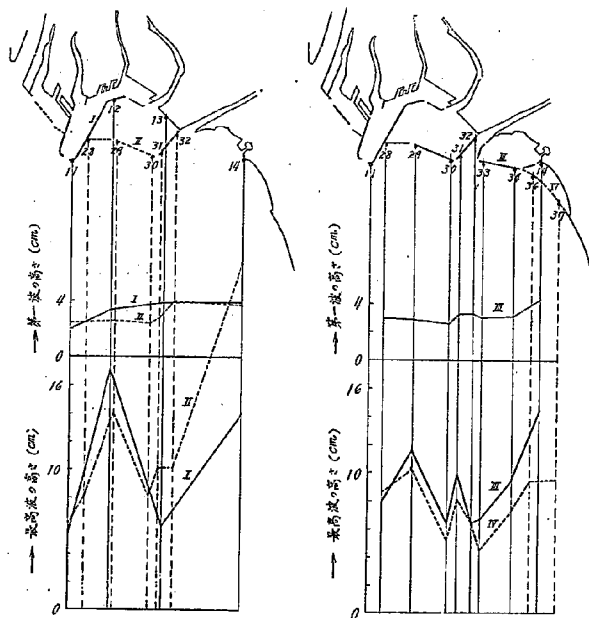
第 28 圖 (b) に示した波乙に依つて試験した結果を次に列挙する。波乙は引波から初ま*



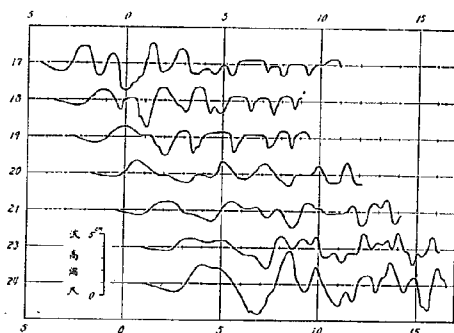
第 47 圖 (a) 第 45 圖 (b) の状態に於ける波形



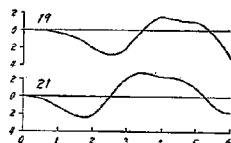
第 47 圖 (b) 第 45 圖 b の状態に於ける波形



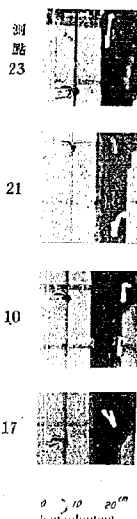
第 48 圖 乙波による試験結果；大阪附近各種防波堤の沿岸波高に及ぼす影響
圖の波高は各夫々の防波堤外側に於ける高さ



第49図 湖の中央に沿ふ各點の波形(乙波)

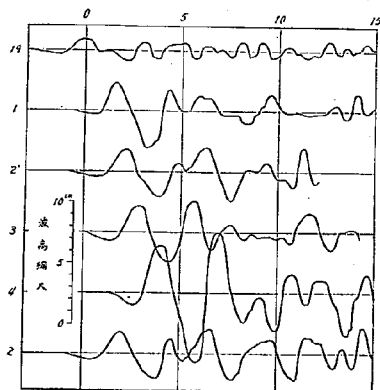


第50図 第1波の通過する間の表面水分子の移動速度(乙波)



第51図 第1波が通過する間の表面水分子の動き。左方の縦の白い直線は湖の中心線

るものであつて波形及週期等も甲とは異なる。即ち形の全く異つた波2種に就て試験して波形の影響を明らかにせんとしたものであつて整理の方法等は波甲の場合と全く同様であ

第52図 湖内沿岸各地の波形(乙波)
(其の1)

る。

a) 湖内各所の波形及傳播狀況 湖の中心線に沿ふ各點の波形の變化及第1波の頂の傳播狀況を第49及35圖に示した。

b) 水分子の動き 中心線に沿ふ3點の水分子の動きを第50及51圖に示す。

c) 沿岸各地の波形 第41及42圖に示したと同様の記録を波乙に就てとつた結果を第52及53圖に示す。

d) 大阪附近各種防波堤の影響
在來防波堤のみの場合 第42圖の狀態で記録をとつたものは既に第52及53圖

に示した通りである。

新計置防波堤のある場合 第 43 圖の状態

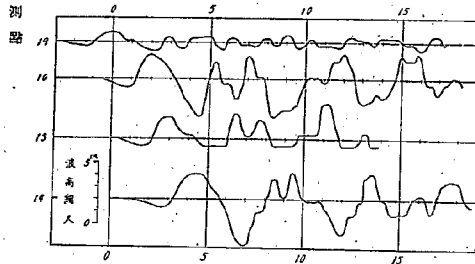
で波乙に就て得た記録は第 54 圖に示す。

堺港防波堤のある場合 第 44 圖の状態

で波乙に就て得た記録を第 55 圖に示す。

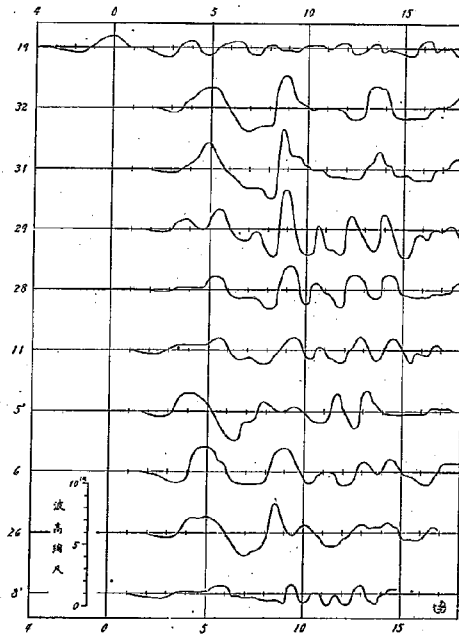
(iv) 灣内静振に就ての試験結果

灣内の静振の週期を見る爲に適當な地點で稍、長い時間(約 1 分 30 秒)の間波形を記録せしめた結果を第 56~59 圖に示した、この測定は何れも大阪外防波堤があり堺防波堤はない状態の下で行つた。測點 17° 及 24 (第 27 圖)では灣の長さの方向の静振、1'' 及 16' では幅の方向の静振を、又 28, 14, 15' 及 1', 4', 24 は各局部的な灣形の静振の記録を得る事を期待したのである。諸種の灣形の影響の爲に波形は非常に複雑であつて、簡単に之を構成する各種振動の週期及振幅を見出す事は困難であるが、各灣形に就て静振の週期を算定して比較した處何れも夫れに相當する週期を可なり明瞭に認める事が出来た。即ち灣の全體の長さの方向に就て見るに灣の中心線に沿ふての長さ $l=15.03\text{m}$, 中心線の平均水深 $H=0.62\text{m}$ であるから



第 53 圖 灣内沿岸各地の波形(乙波)

(其の 2)



第 54 圖 大阪港新計置防波堤を設置した場合の波形

(乙波)

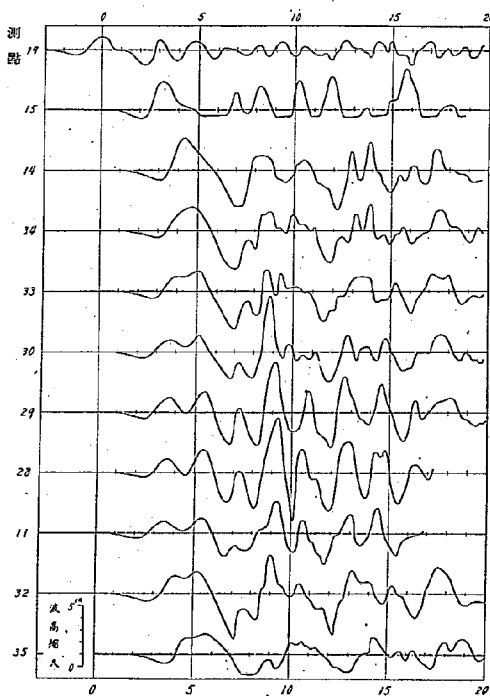
(29)

$T = \frac{2l}{\sqrt{gH}} = \frac{2 \times 15.03}{\sqrt{9.8 \times 0.62}} = 12.2$ 秒であつて第 56 圖 17° 及 24° の殊に後者の 40 秒以後の記録には週期約 13 秒のものが相當明瞭に認められる。計算値と多少異なるのは計算には中心線以外の深さの考へを入れなかつた爲と思ふ、灣全體の平均水深をとれば

$$T = \frac{2l}{\sqrt{gH}} = \frac{2 \times 15.03}{\sqrt{9.8 \times 0.527}} = 13.2 \text{ 秒となる。}$$

16', 1'', 15' 及 1' の 40 秒以後の記録には週期 7.5~8 秒の波が認められるが之は灣の幅方向に就て計算した値 $T = \frac{2 \times 8.00}{\sqrt{9.8 \times 0.48}} = 7.4$ 秒に近似の週期である。

大津の岬と測點 30 とをつなぐ直線内の灣形部分の振動週期を算定するに灣形の幅の方向に對しては $T = \frac{2l}{\sqrt{gH}} = \frac{2 \times 2.7}{\sqrt{9.8 \times 0.1}} = 5.51$ 秒又 奥行の方向に對しては $T = \frac{4l'}{\sqrt{gH}} = \frac{4 \times 0.95}{\sqrt{9.8 \times 0.12}} = 3.51$ 秒となるが 14 の記録には週期 3.5 秒が顯著である。



第 55 圖 堺港計畫防波堤を設置した場合の波形 (乙波)

4' の記録には神戸の 1 と大阪防波堤 11 附近とを連ねる一線に繞された小灣形の週期の影響があるらしく考へられる。然るにこの灣形の幅及奥行の方向の週期は夫、

$$T = \frac{2 \times 4.3}{\sqrt{9.8 \times 0.24}} = 5.62 \text{ 秒及}$$

$$T' = \frac{4 \times 1.9}{\sqrt{9.8 \times 0.25}} = 4.85 \text{ 秒}$$

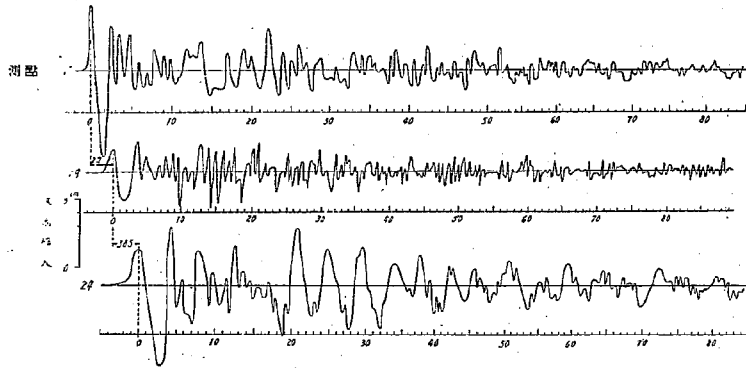
となり、4' には之に相當する顯著なものは認められない。4 には明らかに週期 4.5 秒の振動を認め得るが之は上記の T' に相當するものと考へられる。

[3] 相似律

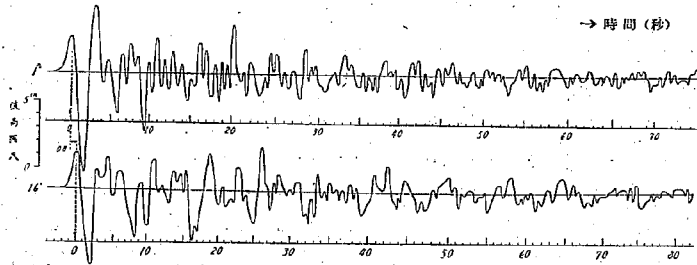
小型模型甲と同様の符號を用ふれば大型模型の縮尺は平面に於て 1/4000、鉛直に於て 1/50 であるから

$$\frac{\omega_0}{\omega} = \sqrt{\frac{H_0}{H}} = \sqrt{50} = 7.07 ;$$

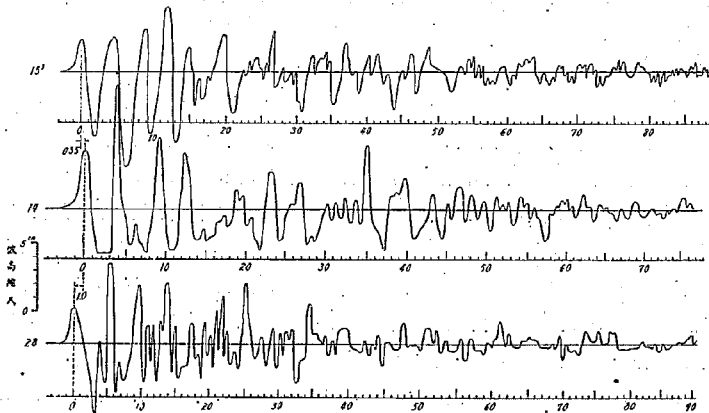
$$\frac{T_0}{T} = \frac{L_0}{L} \sqrt{\frac{H}{H_0}} = 4000 \times \frac{1}{7.07} = 566$$



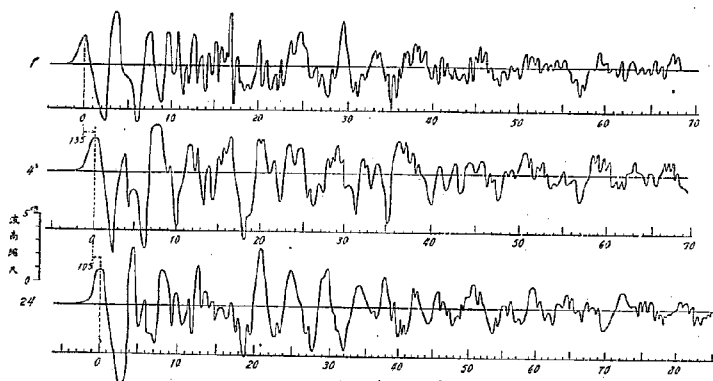
第 56 圖 靜振の週期測定; 測點 17°, 19 及 24 (第 27 圖参照)



第 57 圖 靜振の週期測定; 測點 1° 及 16'



第 58 圖 靜振の週期測定; 測點 28, 14 及 15'



第59図 静振の週期測定測点: 1', 4' 及 24'

即ち甲波の第1波に就て言へば湖の中央に於ての波高 1.6 cm は實際の 0.8 m, 同じ場所での波長 11.5 m は 46 km, 週期 4.7 秒は 44 分 20 秒に相當する。試験の第2波以下の形状等に就ては型來する津浪の週期が上記の如くである場合に限り相似の波形が起る事を期待し得る。即ち第1波の波高の變化等に就ては波の長さ及週期に影響される事小であるから一般性を有せしめる事が出来ると思ふが、第2波以下に就ては上記の如き特殊性を認めなければならぬ。甲、乙の二つの形の異つた波に就て試験したのは兩者に共通の現象を見出して結果に一般性を有せしめんとした爲である。たゞ遺憾ながら兩方の週期を著しく異ならしめる事が出来なかつたから、週期に關する限り第2波以下に對する適用の範圍は割合に制限された。

V. 結 論

以上の試験は一定週期の波を送つて主としてその海岸に於ける波形を観測したのであつて、波の週期を考へに入れた相似律の成立は特殊の場合に限るのであつて、之を以て津浪のすべてを律する事は出来ないが、津浪の大體の傾向と海岸に設けた防波堤が如何なる効果を擧げるかに就て推論する事は出来ると思ふ。尚上記の結果のすべての結論を此處に述べる積りはなく、記録そのものとして將來の參考になる事を豫期して必要以上と思はれる程詳細に記録を掲げた。記録装置は充分完全とは言ひ難いが一つの波が湖内に送り込まれた場合の變化の大體は知り得ると思ふ。

2種類の波の實驗結果の中、甲波即ち押波から始まるものが實驗回数も多く結果も顯著であるから主として之を検討する事とし、次に實驗の結果から結論して差支ないと思はれ

る主なる事柄を要約して掲げる。

1. 大阪は由良海峡から浸入する津浪に對しては極めて不適當な位置にあり、灣内の他の何れの海岸に於けるよりも津浪の勢力が集中されて大となる。

2. 在來の防波堤は津浪に對しては有効でない。在來の形では津浪の勢力は南防波堤の側に大であつて特に南防波堤の根元に近い屈曲部は浪の勢力を一箇所に集中する爲の導流堤の如き作用をなし、その爲にその附近（第 43 圖第一、二、三號突堤）に特に大なる被害を與へる處は充分にある。

3. 大阪港の新計畫防波堤の配置は上記の被害を軽減するには非常に有効である。但し第三號防波堤（第 43 圖參照）は他のものに比し特に大なる波を受ける事、従つて南港町埋立地（第 43 圖）には之に對する設備を充分にする必要がある。

4. 堺港は大阪港新計畫防波堤が出来た時には津浪に對し、夫がない時よりも状態が悪くなる。しかし現在大阪府河港課で計畫中の堺港新防波堤が築造されれば堺港正面の波は防ぐ事が出来、又大阪港第三號防波堤が受けるべき大なる波も軽減され結構であるが、現在の計畫の儘だとすれば第 45 圖測點 14 附近に波の勢力が集中され、ひいては港内及海岸低地の被害を免れ難い。依つて第 45 圖破線に示した如く追加防波堤を延長すれば、その被害を避け得られると思ふ。此の場合測點 37 から 11 まで防波堤の前面は折線状をなし、連り各堤間に統制を缺く憾みがある。依つて理想としては 11 から 37 まで一つの滑らかな弧を以て連結すれば被害軽減の上から一層の効果を期待し得ると思ふ。尙現在の大阪及堺兩港の防波堤の計畫の儘で施工しなければならぬ場合は、測點 28 附近の構造、測點 37 と 14 附近とを連ねる東西に延びる防波堤の構造は特に注意を要すると思ふ。

5. 北港防波堤、尼ヶ崎築港防波堤等に及ぼす津浪の力は割合に小であり且つ此等が完成の際にも新淀川口附近の状態は餘り變化しない。但し新淀川右岸の川口附近を埋立てた場合にはその埋立地は津浪による相當の被害を受ける様に考へられるから、寧ろ現在の儘にして埋立等を行はない方がよい。

6. 西宮附近は試験では著しく高い波が記録されてゐる、之は海岸線の屈曲が此の附近で著しい事が大きな原因であると思ふが、如何なる週期の波にも常に試験の如き現象が起るかは尙研究の餘地がある。即ち記録によれば測點 4 附近は 2 秒及 4.5 秒の週期が支配してゐる。之は測點 1 と 11 とを連ねる一線内の灣形の奥行の方向の振動週期が計算で約 4.8 秒となつてゐる事と大いに関係があると思ふ。即ち此の週期に近い波が造られて來た實驗の如き場合には西宮附近の波高は特に大となる事と思ふ。週期 4.5 秒は相似律によつて換算すれば 42 分 27 秒となる。

7. 神戸港は南防波堤（第 27 圖）が津浪の襲來する由良海峡に直接開いてゐる爲に大

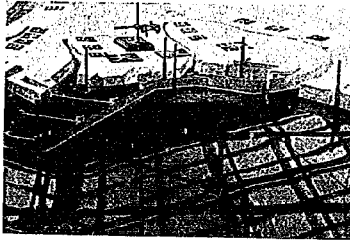
なる力を受け又東防波堤屈曲部でも波高は相當に大となる。但し神戸のある位置が大阪の如く浪の勢力が集中する様な場所でない爲に災害を受ける事は割合に少ないと思ふ。

8. 局部的灣形の靜振の週期を測定の結果西宮附近では約 4.5 秒—實際に換算して 42 分 27 秒—堺港附近 (大阪新防波堤が竣工した狀態で) は 3.5 秒—實際の 33 分 1 秒—となつてゐる。従つて送り込まれる波が之に共振する様なものであれば此等の土地での波高が大となる事が豫期される。神戸附近に於ける大阪灣全體としての幅の振動 (週期約 7.5 秒—實際の 1 時間 14 分 5 秒) 及大阪に於ける灣全體の縦の方向の振動 (週期約 13 秒—實際の 2 時間 2 分 38 秒) の振幅は試験には顯著ではないが由良海峡から送り込まれる波の週期が之に近似してをれば共振れが起る事を豫期しなければならぬ。

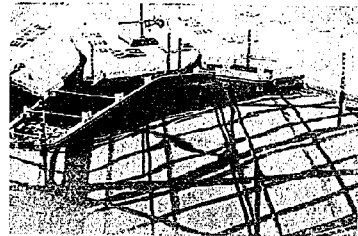
尙次頁以下に大型模型試験の岸に於ける波の状態を示す爲に、寫眞の代表的なものを列舉した。寫眞の大部分は 35 mm のフィルムに撮影した活動寫眞より選擇して引伸したものである。

附記 本試験に援助を與へられた日本學術振興會及實際の試験を擔任された本所員柄澤技手に對し厚く感謝の意を表する。

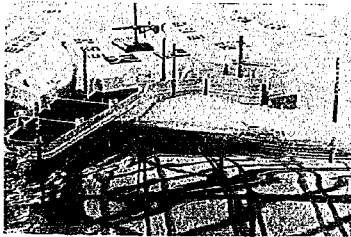
大型試験写真 (総て甲波によるもの)



第 60 図 (1) 大阪港在来防波堤のみの場合、静水面



第 60 図 (2) 同上、第 1 波の最高が防波堤に達した時



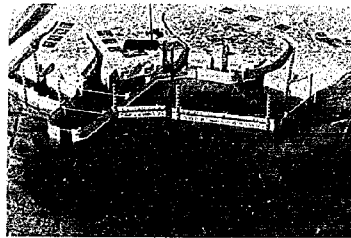
第 60 図 (3) 同上、(2) より 3.37 秒後



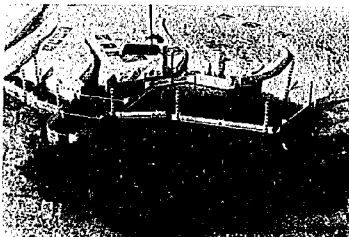
第 60 図 (4) 同上第 2 波の最高が防波堤に達した時 (2) より 5.18 秒後



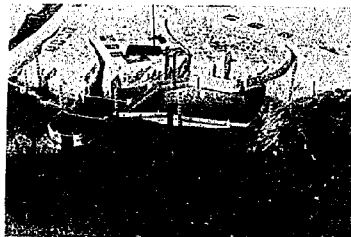
第 60 図 (5) 同上、第 2 波の最高が防波堤に達した時、渦巻



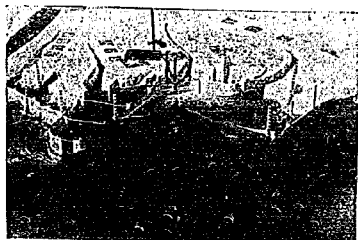
第 61 図 (1) 大阪港新計画防波堤がある場合、静水面



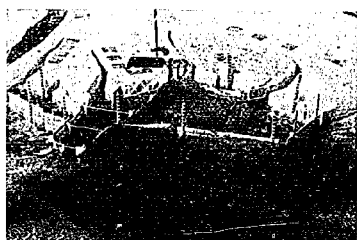
第 61 図 (2) 同上、第 1 波の最高が防波堤に達した時



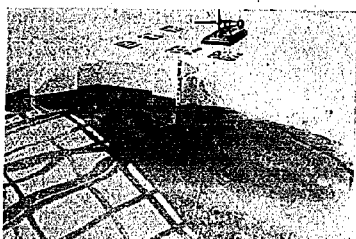
第 61 図 (3) 同上、第 2 波の最高が第 3 號防波堤に達した時；(2) より 5.0 秒後



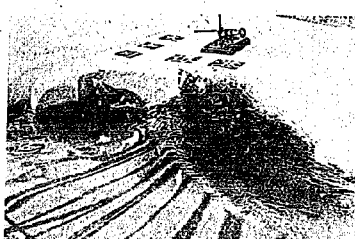
第 61 圖 (4) 同上、(2) より 5.31 秒後



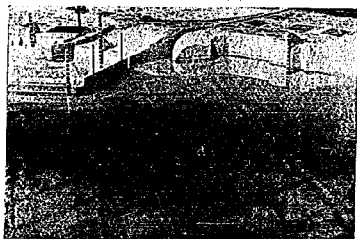
第 61 圖 (5) 同上、(2) より 5.69 秒後



第 62 圖 (1) 堺港 (大阪港に在来防波堤のみがある場合) 第 1 波が此の海岸での最高になった時



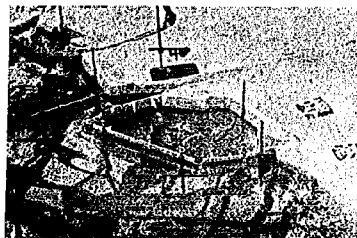
第 62 圖 (2) 同上、第 2 波が最高になった時 (1) より 3.8 秒後



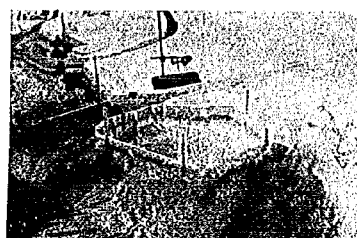
第 63 圖 (1) 堺港、(大阪港に新計画防波堤がある場合) 第 1 波が此の附近で最高になった時



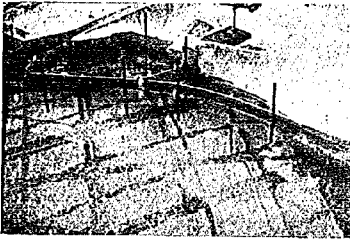
第 63 圖 (2) 同、第 2 波が最高になった時、(1) より 4.93 秒後



第 64 圖 (1) 堺港、堺港の計画防波堤がある場合、第 1 波が最高の時



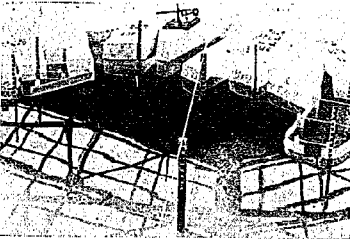
第 64 圖 (2) 同、第 2 波が最高の時 (1) より 3.75 秒後



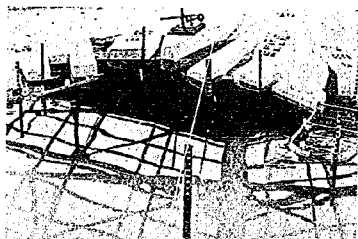
第 65 圖 (1) 堺港追加防波堤がある場合、
第 1 波の最高



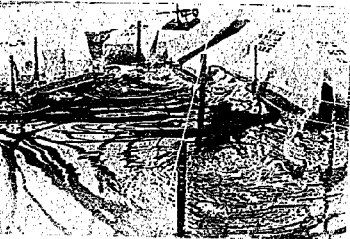
第 65 圖 (2) 同上、第 2 波の最高
(1) より 4.30 秒後



第 66 圖 (1) 大阪北港 (大阪港には在来
防波堤のみの場合) 静水面



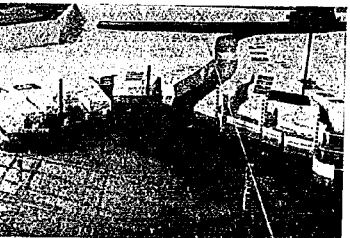
第 66 圖 (2) 同上、第 1 波の最高



第 66 圖 (3) 同上、第 2 波の最高、
(2) より 3.37 秒後



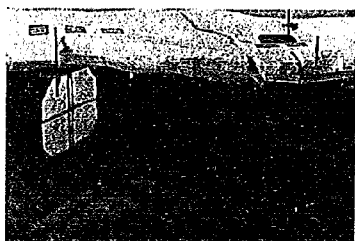
第 67 圖 (1) 大阪北港、北港新防波堤があり
大阪には新防波堤がある場合、第 1 波の最高



第 67 圖 (2) 同上、第 2 波の最高、(1)
より 4.25 秒後



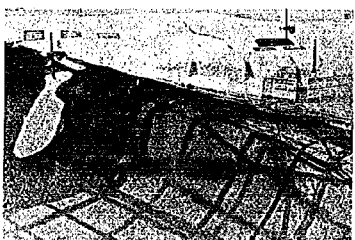
第 67 圖 (3) 同上、(1) より 5.30 秒後



第 68 圖 (1) 西宮港 (大阪港には新計
劃防波堤がある場合) 静水面



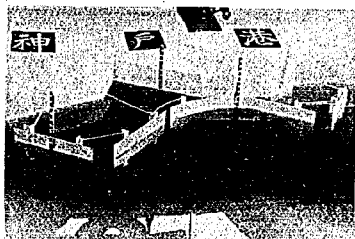
第 68 圖 (2) 同上、第 1 波の最高



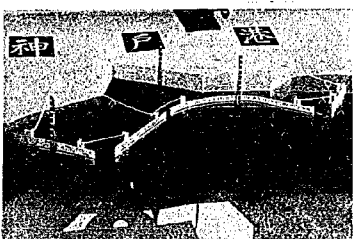
第 68 圖 (3) 同上、第 2 波 (2) よ
り 2.94 秒後



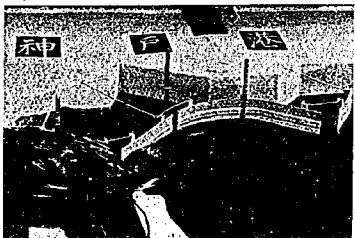
第 68 圖 (4) 同上、第 2 波 (2) よ
り 3.31 秒後



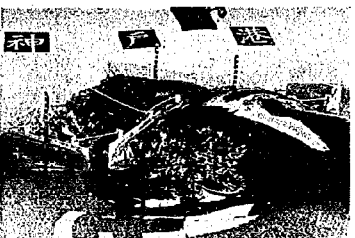
第 69 (1) 圖 神戸港 (大阪には花來防波
堤のみがある場合) 静水面



第 69 圖 (2) 同上、第 1 波の最高



第 69 圖 (3) 同上、第 2 波 (2)
の 2.62 秒後



第 69 圖 (4) 同上、第 2 波 (2)
の 3.25 秒後

道路舗装用瀝青乳劑の性狀に關する 基 本 的 研 究 (第5報)

瀝青乳劑の組織的性狀と道路舗装工學 に於ける特性との關係に就て

第 III 部 瀝青乳劑の電氣泳動現象より見たる性狀

内務技師 島 田 八 郎

目 次

I. 緒 言	(2)
II. 分散質粒子の界面動的電位 (ζ -電位) に就て	(3)
[1] 一般的考察	(3)
[2] 瀝青乳劑粒子の ζ -電位に關する二、三の考察	(5)
III. 瀝青乳劑電氣泳動實驗方法に就て	(9)
[1] 實驗方法の選定	(9)
[2] 界面移動法に於ける界面作成	(13)
[3] 界面移動法に於ける上液に就て	(15)
[4] 電氣泳動實驗に於ける電極に就て	(16)
[5] 瀝青粒子易動度	(17)
IV. 實驗操作及び實驗結果に就て	(24)
[1] 試 料	(24)
[2] 實驗裝置及び實驗操作	(24)
[3] N-社 I 號實驗結果	(27)
[4] O-社 J 號實驗結果	(30)
[5] B-社 A, B, C, D 號實驗結果	(32)
[6] M-社 E, F 號實驗結果	(44)
[7] E-社 G, H 號實驗結果	(48)
[8] 實驗結果の要約	(52)
V. 瀝青乳劑粒子易動度と瀝青乳劑の性狀との關係に就て	(55)
[1] 瀝青粒子易動度 (a_0) と瀝青乳劑分解値 (z.w.) との關係	(55)
[2] 瀝青粒子易動度 (a_0) と瀝青乳劑及び濾液の素水イオン濃度との關係	(56)
[3] 瀝青粒子易動度 (a_0) と瀝青乳劑分散度との關係	(56)
VI. 結 論	(58)

I. 緒 言

第 I 部, II 部の實驗的研究により道路鋪裝用瀝青乳劑の組織的性狀及び工學的特性を全く新しき視野より明かにした。緒言及び I 部概説に於て此種研究の必要なる所以を力説す。以上の諸節の結果より判斷するに瀝青乳劑に於ける瀝青粒子の負電荷を有する事は疑ふ餘地が無い。乳劑濾液の水素イオン濃度の異る事より瀝青粒子の周圍に OH^- イオンの吸着層の存在せる事を論じ、第 I 部 II 章 [3] 節に兩 E_{PH} , U_{PH} の差異より平均イオン濃度による ζ -電位を導き分解値 (z.w.) と比較せるも、其の際瀝青粒子の移動狀態にて測定される界面動的電位 (ζ -電位) を直接測定する事の必要ある所以を種々論究した。更に瀝青乳劑分散度⁶⁹⁾は粒子の電氣的エネルギーと密接なる關係を有するものであるが E_{PH} , U_{PH} より求めし ζ -電位とは關係無きが如く可成り不規則な値をもつてゐる。

實際上瀝青乳劑の内部組織なるイオン零圈氣の構造は乳化劑の組成により著しく異なるものにて親水疎水ゾルの成分の多寡により影響を蒙る事多く、單に ΔE_{PU} のみより分解値、分散度等を論ぜんが爲めには數多の假定を要し一般的結論に至らない。一般に乳劑内の安定は懸垂せる粒子が互に衝突するも密着せず相反撥する能力を有する事によるものなれば、電場内に於ける移動性を實測し其の易動度を定め其の値より更に界面動的電位差 (ζ -電位) を求め、 ζ -電位を以て安定度に対する關係を考究する事は各種の分散系の研究に於て常に行はれる手法である。其の例は Freundlich⁷⁰⁾ の著書にも多數引用されてゐる。Powis⁷¹⁾ の油-水乳劑の研究によるに平均直 2μ のものに對する粒子易動度 $\mu_0 = -32 \times 10^{-5}$ (cm/sec/volt/cm), ζ -電位 $= -46$ m.v. 程度である。瀝青乳劑は道路鋪裝主要材料とし世界各國に於て盛に使用されつゝあるも未だ斯かる立場より其の性狀を明かにせんと試みたものがない。従つて易動度 (μ_0) ζ -電位は其の値すら不明にて果して斯かる特性が實用上の諸性質と關係を有するや實驗的に定性定量的に研究されしもの無し。蓋し瀝青乳劑は操作中比較的分解凝集し易く、果してよく電氣泳動實驗に堪へ得るや疑問の點ありしによるらん。本研究は實際上道路鋪裝用材としての特性に主眼點を置き電氣泳動實驗を行へるものなるも、先づ瀝青乳劑に於て如何なる方法により瀝青粒子の ζ -電位を測定し得るやを吟味し實驗方法を定め、瀝青乳劑の二大分類による滲透、混合用の差異に就き考察し、更に乳劑分解値 (z.w.) と易動度 (μ_0) 又は ζ -電位とは如何なる關係にあるやを論究

69) 島田八郎：前掲 (1)

70) H. Freundlich：前掲 (35)

71) Frank Powis：Der Einfluss von Electrolyten auf die Potentialdifferenz an der Wassergrenzfläche einer Oeulsion und an einer Glas-Wassergrenzfläche, Zst. f. Phys. Chem., 89, 91, 1915.

した。更に I 部, II 部に論ぜし瀝青乳剤組織性状に関する重要な結果との関係を明かにせんと試みた。著者の瀝青乳剤分散公式⁷²⁾の正しい事を新なる實驗的見地より説明せん。以上の目的は各種外界の影響例へば卸装用碎石との相互作用, 乳剤氷結等による分解凝集等の意義を明かにする上に重要なものにて研究方法も多種多様に分類し得るも本研究に於ては下記の如き事項に就き實驗並に理論的考察を爲す。

- (1) 瀝青乳剤粒子界面動的電位 (ζ -電位) と粒子界面構造に関する考察
 - (2) 粒子易動度實驗方法に就き考究し瀝青乳剤に對する最も有効な實驗方法を選定し實驗裝置を改良す
 - (3) 國產道路舗装用瀝青乳剤 10 種に就き界面移動法を用ひ瀝青粒子易動度に關する各種の性状を明かにす
 - (4) 實測せる粒子易動度 (又は ζ -電位) と瀝青乳剤の一般的性状との比較研究をなす
 - (5) 2, 3 種の試料に就ては濾液による稀釋の ζ -電位に及ぼす影響を明かにす
- 以上の如く本研究は種々異なる方面より瀝青粒子 ζ -電位に關する性状を粒子易動度を基とし考察し, 第 I 部及び第 II 部の研究と共に瀝青乳剤の内部組織を明かにす。

II. 分散質粒子の界面動的電位 (ζ -電位) に就て

[1] 一般的考察

第 I 部 I 章 [2] 節に於て瀝青粒子の負電荷並びにイオン零圍氣に就き考察し同第 II 章 [3] 節に又 $4EP_0$ より此等の關係を歸納せしも間接的證明に過ぎない。今直接法とし瀝青粒子の電場内の移動能力を測り粒子の動的狀態に於ける分散媒に對する電位差を明かにし, 負電荷を有するものと其の泳動能力を吟味し間接法の結果とを比較し間接法にて得たる ξ -電位と茲に云ふ ζ -電位の意義を明かにす。

先づ第一に明かにすべきは電場内に於ける粒子の易動度 (a_0) と粒子の運動中に於ける分散媒に對する電位 (ζ) との關係である。兩者の關係は乳化剤の種類等により粒子周囲の吸着狀況の異なるに従ひイオン零圍氣の構造により異なるものにて簡単に劃一的に表示する事は出来ない。I 部 II 章第 10 圖はイオン零圍氣の一例を示すもので, 同 [2], [3] 節に瀝青乳剤に於て零圍氣に就き 2 種の形式の存在せる事を推論した。最もイオン分布の簡單な場合は Helmholtz⁷³⁾ の 2 重層構造にて粒子の周囲には構成原因の如何に拘らず 1 種のイ

72) 島田八郎: 前掲 (1) (68)

73) H. Helmholtz: Studien über elektrische Grenzschichten, Ann. d. Physik, 7, 337, 1879.

オンが粒子面に吸着分布され之に相對し異種の電荷の分布せるものである。更に距離の函数なる吸着力等を考慮に入れてイオン雰圍氣の擴散度を考察吟味せしものに M. Gouy⁷⁴⁾, D. L. Chapmann⁷⁵⁾ がある。Otto Stern⁷⁶⁾ は兩者を組合せ ζ -電位と溶液濃度との關係を實驗と比較した。A. Geymant⁷⁷⁾ は電離コロイド (ionized colloid) に Debye-Hückel⁷⁸⁾ の理論を應用し分散質粒子の分散媒に對するイオン雰圍氣を近似的に計算してゐる。

瀝青乳劑の場合果して上述 Helmholtz, M. Gouy, Chapmann, Otto Stern のイオン構造の何れの型に近きかを定める事は實用上、理論上頗る重要問題である。第 I 部, II 部の研究により兩者の構造の瀝青乳劑に存在せる事を實驗上明かにした。即ち保護ゾルを含む所謂親水的膜の形成されるものは比較的 Helmholtz の構造に近く、疎水的にて電解質の性質を多分に含有せるものは Gouy, Chapmann 等の擴散層に近い構造を有す。第 I 部 II 章 [3] 節 (8) 式に於ける係數 α_1 , α_2 , ψ' に適當な値を與ふる事により兩者のイオン構造となる。斯かる場合 ζ -電位をイオン雰圍氣構造上より如何に定義すべきかは可成り困難な問題である。例へば界面電位 (ϵ , 本研究第 I 部 II 章に論ぜし ϵ -電位とは異なる) と ζ -電位との關係に就き考察するも明瞭に定義する事は困難である。之に對する Smoluchowski⁷⁹⁾, Otto Stern⁸⁰⁾ の研究、最近の A. March⁸¹⁾ の研究によるも其の概念を與へ得るも個々の特性により可成り複雑せるもので、一般的分散系に於て共通な結論を述べる事は不可能である。從つて ζ -電位は直接法を用ひ ζ -電位として觀測するを要するものにて、第 I 部, II 部の研究結果より ζ -電位を得る事は不可能である。其結果イオン雰圍氣の更に一つの性狀を歸納し得べく、第 I 部, II 部に得たる結果と矛盾する事無く更に内部組織性狀を闡明する資料を與ふ。本研究に於ける瀝青乳劑 ζ -電位は瀝青粒子易動度よ

74) M. Gouy: 前掲 (33)

75) D. L. Chapmann: A Contribution to the theory of electrocapillarity, Phil. Mag., 25, 475, 1913.

76) Otto Stern: Zur Theorie der elektrolitischen Doppelschicht, Zst. f. Elektrochemie, 30, 508, 1924.

77) A. Geymant: Die elektrolitische Dissoziation ionogener Kolloide, Kolloid Zst., 33, 9, 1923.

78) P. Debye-Hückel: Bemerkungen zu einem Satz über die Kataphoretische Wanderungs-Geschwindigkeit suspendierter Teilchen, Physikal Zst. 25, 3, 49, 1924.

79) M. V. Smoluchowski: Anzeiger Akad. der Wiss. s. 182, Krakau, 1903; Graetz: Handbuch der Elektrizität und des Magnetism., 2, 337, 1914.

80) Otto Stern: 前掲 75)

81) A. March: On the adsorption theory of the electrokinetic potential, Trans of Paraday soc., 31, 10, 1468, 1935.

り直接定めんとするもので、先に述べし如く外部より添加されし電解質等により蒙る瀝青乳剤 ζ -電位の變化を論究せんとするものに非ず、第1章に述べし如き目的を以て行へるものである。

[2] 瀝青乳劑粒子の ζ -電位に關する二、三の考察

[1] 節に述べし如く一般界面の ζ -電位に關しては數式としても2種の形式あり、實際上瀝青乳劑には斯かる2種のイオン分布の存在せる傾向あるを述べた。本節に於ては更に此點を深く考察し斯かるイオン氛圍氣の有する系に於て界面動的電位 (ζ -電位) を如何に定義すべきや、且つ粒子電氣泳動に際しての性状を論究せん。[1] 節の2種のイオン氛圍氣を假にH型、G~C型とし兩者の特性の同時に可成り顯著に現れる場合をS型とす。勿論總ての場合S型にて純粹のH型、G~C型は存在せざるも、一方の特性の特に著しき場合は之を上述の如く稱へた。 ζ -電位を定義せんに

- (1) H型： 粒子周圍に不連続的電場がある、其の不連続點に於ける電場の強さの差異により ζ -電位を假定す
- (2) G~C型： 粒子周圍に緩慢な連続的に減少せる電場あり、粒子の運動に際して分散媒より切斷すべき所謂膨潤半徑により分離位置 (Abreissfläche) が走り、ミセル側と分散媒平均電場との差異により ζ -電位を假定す

兩者の區別は全く瀝青物質の吸着性及び乳化劑との相互の關係によるものであるが、要するに ζ -電位は安定な乳劑として存在せる瀝青粒子の浮遊狀態に於ける分散媒に對し有する電位從つて斯かる見地による電氣的エネルギーを示すものである。

今瀝青乳劑に一定の電場を與ふれば瀝青粒子は ζ -電位の値に應じ、電場の強さに應じ移動す。外部よりの電場により移動に際し瀝青粒子に伴れつゝあるイオン氛圍氣が如何なる性状を示すやは重要な研究を要すべき問題である。本研究電氣泳動實驗に於ては瀝青粒子の電場内の移動に關し特に問題を制限し、下記の如きものに就き考察せん。

- (1) 瀝青粒子は如何なる程度のイオン氛圍氣を伴ひ運動するや？ (例へばH型、G~C型の差異をも考察す)
- (2) 電氣泳動中瀝青粒子の周圍に伴はれるイオン氛圍氣は電場の爲め可逆變形又は非可逆變形をなすや？ 此問題に關聯し瀝青粒子の易動度は電場の強さにより異なるか？
- (3) 瀝青粒子易動度は移動速度の値により瀝青乳劑粘性の場合の如き異常性を示さるや？
- (4) 分散質粒子個々の曲率半徑と易動度從つて ζ -電位との關係を論究し、瀝青乳劑の場合に如何に取扱ふべきかを實驗的に考察す。

1~4 項は主として粒子易動度に於て明かにすべき性状である。實驗方法及び實驗結果より論究さるべき事項は I 章に列挙す。

以上の如く本研究は總て瀝青粒子の運動性を基準とし各種の特性を論究せるものなれば常に分散媒の粒子運動に對する抗力即ち粘性係数が主要な研究の對照となる。殊に後に示す如く粒子の運動に對する粘性係数のとり方は電氣泳動實驗値より ζ -電位を推論する場合直ちに重要な影響を及ぼす。Helmholtz-Smoluchowski⁸²⁾ は粒子の附近の液に於て一般分散媒内部と同じ程度の粘性係数を有するものとし(其の分散媒粘性係数を η_0 とす)粒子の運動に抗力を與へるとした。Lamb⁸³⁾ は斯かる問題の解決の爲め滑り摩擦係数を誘導した、然るに一方 Ettische, Zwanzig⁸⁴⁾ の流動電壓(Streaming Potential) 従つて ζ -電位が水壓の増加に伴ひ増大する實驗結果に合理的な解釋を與へんとし H. Reichert⁸⁵⁾ は ζ -電位の生ずる界面に接近せる位置に於て粘性係數(η)の著しく増大する事を假定した。即ち電氣二重層を一種の異常粘性(Abnormale Zähigkeit)の領域とした。本研究試料の瀝青乳劑の瀝青含有濃度は 50~60% にて可成り大にて乳劑としては構造粘性範圍である、更に H. Reichert の異常粘性なる現象を考慮に入れる必要あるとせば力學的取扱は複雑となる。事實瀝青乳劑に對し斯かる異常性の有無は不明にて實驗的に定められるべきものである、即ち先づ粘性係數は分散媒粘性係數(η_0)によるとし電氣泳動實驗結果より粘性係數の内容を吟味す。上記 1~4 項を實驗的に定めんに其の内容を更に説明せん。

(1) (1)~項に關する事は I 章, II 章 [1] 節に既に述べしものであるが、電氣泳動實驗より得たる ζ -電位と I 部乳劑濾液の P_H 差より得たる ξ -電位とを比較し、運動に伴ふイオン雰圍氣の範圍を推測し、既に瀝青乳劑粘性研究⁸⁶⁾に於て膨潤比率として全く力學系とし取扱ひ、Hatschek⁸⁷⁾ の粘性式に於ける分散質容積濃度 ϕ' と真容積濃度 ϕ の比 $\frac{\phi'}{\phi}$ より算定し、膨潤比率 $k=1.2\sim 1.6$ と得しものと比較す。斯くして粒子運動に伴ふイ

82) H. Helmholtz, Smoluchowski: 前掲 73), 79).

83) H. Lamb: On the theory of electric endosmose and the other applied phenomena and on the existence of a sliding coefft. for a fluid in contact with a solid, Phil. Mag., 25, 52, 1888.

84) G. Ettisch, A. Zwanzig: Ueber Variabilität des elektrokinetischen Potentialsprungs, Zst. f. Phys. Chem., 147, 151, 1930.

85) H. Reichert: Ueber Abweichungen von der Helmholtzschen theorie elektrokinetischer Erscheinungen, Zst. f. Phys. Chemie, 154, 337, 1931, Das ζ -Potential bei anomaler Zähigkeit in der Doppelschicht, Zst. f. Phys. Chemie, 159, 417, 1932.

86) 島田八郎: 前掲 2)

87) E. Hatschek: Die Viskosität d. Dispersoide, II, Emulsionen u. Emulsoide, Kolloid Zst, 8, 35, 1911.

オン界圍氣の狀態從つて H 型, G~C 型何れなるやを推定し得。

(2) 2~項に關する問題は從來餘り考慮せられず電氣泳動中粒子の周圍のイオン界圍氣は常に最初の形狀を保つと假定してゐる, H 型界圍氣に於ては斯かる假定は總ての場合成立つものであるがイオン界圍氣が擴散性を有する場合一應其變形性を吟味し置く必要がある。其の變形の一例とし H. H. Paine⁸⁸⁾, Bikerman⁸⁹⁾ は電氣泳動中に界圍氣の球狀より回轉楕圓體に變じつゝある事を論じた。瀝青乳剤の場合變形の存在の有無, 更に若し變形存在する場合電場の強さに關係を有するや, 變形は電場を取去る時元に戻るや實驗的に確めねばならない問題がある。

(3) 3~項粘性係數に關し考慮すべき事柄は既に詳しく述べた。

(4) 粒子半径 (r_a) と易動度 (a_0) との關係は常に此種電氣泳動實驗に於て論議され未だ多くの分散系に於て結論に至らない重要な課題である。殊に瀝青乳剤の如く一つの乳剤に屬する瀝青粒子の直径が一樣ならず, 一つの確率直径⁹⁰⁾にて定義される分散度を有するものに對しては慎重に考察するを要す, 即ち問題は二つに分る。

(A) 瀝青粒子個々の ζ -電位一定なるも半径 (r_a) により易動度 (a_0) 異なるや又は ζ -電位に應じ一定なるや?

(B) 瀝青粒子個々の ζ -電位一定ならず其の結果易動度 (a_0) 異なるや?

然るに瀝青乳剤の場合一つの系が與へられた以上各粒子の ζ -電位は個々粒子の大小に拘らず一定値を有するものと分散度を論じた, 實驗の部に述ぶるも顯微鏡法を用ひ兩者の區別を明瞭にする事は不可能である。粒子半径 (r_a)~易動度 (a_0) の關係に對する研究中二, 三のものを掲げ, 本研究と對比するに興味深し, 即ち Abramson⁹¹⁾ によるに固體分散質系 (懸濁液) に於ては易動度 (a_0) は粒子半径 (r_a) に無關係にして乳剤 (液體~液體分散系) に於ては粒子半径 (r_a) の増大する程易動度 (a_0) は増加し或一定値に近づくと, Meloin Money⁹²⁾ の油~水乳剤 (粒子直径約 4μ) の實驗に對する René Audubert⁹³⁾ の論究, H.

88) H. H. Paine: The relaxation term in Debye and Hückel's theory of ionic mobility, Proc. Camb Phil. Soc., 28, 83, 1932.

89) J. J. Bikerman: Zur theorie der Kataphorese und Elektrosiose, Zst.f. Phys. Chem., (A) 171, 209, 1934.

90) 島田八郎: 前掲 1), 69)

91) H. A. Abramson: The influence of size, shape and conductivity on cataphoretic mobility and its biological significance, J. of Phys. Chem., 35, 1, 289, 1931.

92) Meloin Money: Electrophoresis and the diffuse ionic layer, J. of Phys. chem, 35, 1, 331, 1931. Variation in the cataphoretic mobilities of oil drops in water, Phys. Review, 23, 396, 1924.

93) René Audubert: La Théorie de Debye-Hückel et le potentiel électrocinétique, J. de Chémie Phys., 30, 89, 1933.

B. Bull, R. A. Gortner⁹⁴⁾ の實驗的研究も結局粒子の個々の半徑(r_0)とイオン吸着性の關係を論ぜしもので其の目的を異にせる様である。類似のものとして毛細管内の流れに關し H. L. White, F. Urban, E. T. Krick,⁹⁵⁾ 駒形氏⁹⁶⁾等の流動電壓に於ける毛細管半徑(r_0)と界面電位差(ζ)の關係に就ての研究あるも實驗的には常に斯かる電氣的特性以外に力學的的特性例へば上記(3)項及び(2)項の影響も加はり此等の總和を測定す、即ち粒子半徑(r_0)—粘性係數(η_0)— ζ —電位—易動度(a_0)の關係を獨立に分離し求むる事は不可能である。斯くの如きものなれば合理的な假定の下に實驗を行ひ事實との矛盾の有無を吟味し其の特性を定むるより外に方法がない、本研究電氣泳動實驗に於ける主要なる假定は下記の如し。

- 1) ζ —電位に關しては分散度研究に於けるものと同じ、即ち一系に屬する瀝青乳劑の各粒子は直徑の大小に拘らず運動中もイオン氛圍氣の變形等なく一定の ζ —電位を有す。
- 2) 粒子泳動に對する流體の抵抗としての粘性係數は分散媒粘性係數(η_0)を以て示す。同様に電氣泳動基本式に於ける物質常數の一なる分散媒の電媒恒數(K)を η_0 と同じ意味により一定とす、即ち水の恒數(K_0)を以て示す。^{*}

今 E を試料乳劑に加へられたる電場の強さとするば分散質粒子移動速度は下記(23)式の如く示さる。

$$U = U(\zeta, E, K_0, \eta_0) = \frac{EK_0}{4\pi\eta_0}\zeta \dots\dots\dots(23)$$

94) H. B. Bull, R. A. Gortner: 前掲 65)

95) H. L. White, F. Urban, E. T. Krick: Stream potential determinations on glass capillaries of various size. J. of Phys. Chem., 36, 120, 1932.

96) 駒形作次: On the equations of streaming potential and electroendosmosis; Research. Electrotechnik. Lab., No., 362, 1934. On the equation of cataphoresis of spherical particle, Research electrotechnik. Lab., No. 387. 1935.

^{*} 一般に純粋なる液體以外例へば電解質等を含有せるものの電媒恒數(K)は種々の條件により變ず、殊に濃度、電場の週波數(f)により著しく其の影響を受く。H. Hellmann, H. Zahn,⁹⁷⁾ P. Walden, H. Ulich, O. Werner,⁹⁸⁾ Max Wien⁹⁹⁾ 等の高週波電場による實驗又は R. Fürth,¹⁰⁰⁾ R. Rechhold,¹⁰¹⁾ O. Milicka, A. Slama¹⁰²⁾ 等の Fürth 同轉格同體による 50% 程度の週波電場に於ける實驗研究等詳細なる論說あるも、要するに電解質により著しく異なるも其の代表的ものは水の恒數 $K \approx 80$ より一旦電解質濃度の増加に伴ひ $K \approx 60$ 内外に減少し更に K は増加し $(8 \sim 10) \times 10^{-2} N$ 程度の濃度に至り略々水の $K = 80$ に近く(例へば NaOH 溶液 $K \approx 86$, KOH 溶液 $K \approx 78$ の如き一定値である)、一樣なる溶液にても斯かる状態なれば瀝青乳劑の如く粒子周圍に於けるイオン氛圍氣狀態に於ては明確に定義する事困難にて、(23)式に於ては純溶媒の電媒恒數の値との解釋の下に $K \approx 80$ とし水の値を代入した。

但し、 A は 4 又は 6 を示す常數にて粒子の形狀による。詳細は II 章 [5] 節に述べる。
(23) 式より粒子泳動速度從つて易動度 (a_0) を得、同式の E , K_0 , ζ , $\eta_0 \sim U$ の關係は Helmholtz-Smoluchowski¹⁰³⁾ の關係式にて粒子に就き K_0 , ζ , η_0 の明瞭に常數とし定義された場合にみに適用される。然れども實驗としては (23) 式の成立すると否とに拘らず電場 (E) を與へた場合粒子泳動速度 (U) は常に測定し得。從つて本實驗の第一階梯に於ては常に $U \sim E$ 關係を考察する事となる。本節に述べし瀝青粒子のイオン雰圍氣に關する事實等先に掲げし 1~4 項の異常性又は (1)~(2) の假定の正否は總て實驗より得たる $U \sim E$ 關係により考察す。實用上易動度 (a_0) より $\zeta \sim$ 電位を換算する場合 (2) の假定により $\dots \eta_0 = 0.010 (20^\circ\text{C})$, $K_0 = 80 \left(\frac{\text{C.G.S.}}{\text{c.s.u.}} \right)$ とし上式に代入す。

以上の如く瀝青乳劑電氣泳動實驗には可成り複雑な問題あるも粒子易動度 (a_0) 又は $\zeta \sim$ 電位は定義される。更に後章、斯くして得たる測定値と鋪裝工學上の諸性質とを相對比し應用工學上の意義を明かにし、進んで未だ闡明せられざる瀝青乳劑の特性を明かにせんとす。

本研究としては電氣泳動實驗方法を選択し瀝青乳劑の研究に適せるものを先づ得る必要がある。未だ瀝青乳劑の此方面の研究皆無なれば先づ本研究に採用せし方法を詳細に記述する、將來に於ける實驗の一參考資料となすのみならず本研究の精度を知る上よりも必要である。

III. 瀝青乳劑電氣泳動實驗方法に就て

[1] 實驗方法の選定

II 章に詳論せし如く瀝青乳劑粒子等の $\zeta \sim$ 電位を嚴密に定義することの困難なる理由

- 97) H. Hellmann, H. Zahn: Ueber die Dielektrizitätskonstante verdünnter Wässeriger Elektrolyt Lösungen, Physik. Zst., 27, 636, 1926.
- 98) P. Walden, H. Ulich, O. Werner: Ueber Dielektrizitätskonstanten von Elektrolyt-Lösungen, Zst. f. Physikal Chemie, 129, 417, 1926.
- 99) Max. Wien: Ueber die Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante elektrolytischer Lösungen bei Hochfrequenz, Ann. d. Phys., 5 F., 11, 429, 1931.
- 100) R. Fürth: Die absolute Bestimmung von Dielektrizitätskonstanten mit der Ellipsoidmethode, Zst. f. Phys., 44, 256, 1927.
- 101) R. Rechhold; Untersuchung einiger wässerigen Elektrolyt Lösungen nach der Fürthschen Ellipsoidmethode, Ann. d. Physik, 83, 427, 1927.
- 102) O. Milicka, A. Slama; Neue Ergebnisse von Dielektrizitätskonstanten wässeriger Elektrolyt Lösungen mit Fürthschen Ellipsoidmethoden, Ann. d. Physik, 5 F., 8, 663, 1931.
- 103) Helmholtz-Smoluchowski; 前掲 82)

を明かにし実験よりは直接に粒子泳動速度のみを定め得る事を述べた。斯かる電場内に於けるイオン及びゾルの泳動に関する実験は舊くより行はれしもので H. Picton, S. E. Linder,¹⁰⁴⁾ W. R. Whitney, J. C. Blake¹⁰⁵⁾等の研究あり、1906年にU管法を E. F. Burton¹⁰⁶⁾が発表した。電気泳動実験を2種に大別すれば

- (1) 各粒子の泳動を各々に就き實測するもので常に顕微鏡により行はれる
- (2) 各粒子泳動の結果現れ来る直接的現象を観測するもの (Macroscopic method) にて各粒子全体の平均易動度とも稱すべきものを測る

兩者は實驗の終局の目的同一なる場合あるも實驗上の意義は頗る異なるものである。殊に試料が同一大きさのものに非ず澱青乳劑の如く分散度を有する場合は兩者の實驗は各々獨立せる重要な意義を有す。今若し(2)法により泳動速度を定めんとする場合II章に述べた假定(1)ををくに非ざれば實驗結果より簡明に易動度(a_0)~粒子半径(r_a)の關係を論究する事不可能である。今(1)、(2)法の何れが澱青乳劑電気泳動實驗に於て適當なるや一應吟味する必要がある。

(1)の顯微鏡法は R. Ellis¹⁰⁷⁾が1912年、油乳劑の研究に用ひしより H. R. Kruyt,¹⁰⁸⁾ A. E. Van Arkel,¹⁰⁹⁾ S. Mattson,¹⁰⁹⁾ P. Tuorila,¹¹⁰⁾ Enslin O., G. Lindau, R.

104) H. Picton, S. Ernst Linder: Solution and pseudo-solution, J. of Chem. Soc. 61, 148, 1892; 71, 568, 1897.

105) W. R. Whitney, J. C. Blake: Migration of colloids, J. Amer. Chem. Soc., 26, 1339, 1904.

106) E. F. Burton: On the properties of electrically prepared colloidal solutions, Phil. Mag., 11, 425, 1906.

107) R. Ellis: Die Eigenschaften der Oeemulsionen, I, Die elektrische Ladung, Zst. f. Phys. Chemie 78, 321, 1912.

108) H. R. Kruyt, A. E. Van Arkel: Eine Methode zur ultramikroskopischen Messung der kataphoretischen Geschwindigkeit, Kolloid Zst., 32, 91, 1923.

109) S. Mattson: Cataphoresis and the electrical neutralization of colloidal material, J. Physical Chem., 32, 1532, 1928: An improved cylindrical cell, J. Physical Chem., 37, 223, 1933.

110) P. Tuorila: Eine ultramikroskopische Methode zur Bestimmung der Ladungsgrösse kolloider Teilchen, Kolloid Zst. 44, 11, 1928.

* 顯微鏡を使用する關係上直径 0.2 mm, 長さ 25 cm 程度の圓筒容器又は平面硝子にて組立つた深さ 0.5 mm, 電極距離 5~10 cm の矩形容器, 短軸直径 1.62 mm, 長軸直径 12 mm の楕圓断面を有す容器等を使用するものにて其の缺點として下記の如きものを挙げ得。

(1) 乳劑内粒子濃度大なる場合測定不可能, (2) 比電導度大なるものは不適當, (3) 電極部の成極作用の影響をうけ易し, (4) 容器寸法小なる爲め分解性大なるものには不適當。

其の利點としては (1) 各粒子の運動を直接測定するもの故泳動速度に関する限り正確である。

(2) 容器内に於ける粒子速度の分布並に粒子大ききとの關係を明かに得。

Phodi¹¹¹⁾ 等が各種の形狀の容器を工夫改良せしが必要に一樣性乳劑 (Mono-disperse Emulsion) にて濃度小なるものに非ざれば不適當である。

然るに瀝青乳劑は著者の研究¹¹²⁾其他 Levi¹¹³⁾等の結果を見るも或分散度を有し (Poly-disperse Emulsion) 殊に褐色に着色し瀝青粒子濃度も 50~60% 程度にて取扱中分解され易く且つ比電導度の値も KCl ~溶液濃度 0.1N 程度に相當する如く大にして顯微鏡法は少くとも原乳劑に對しては不適當である。極度に稀釋せる瀝青乳劑に於ては特別の工夫により使用し得るものならんも試みなかつた。

斯かる見地より第2法の平均法 (Macroscopic method を意味す) を使用するべきである。此方法は E. F. Burton¹¹⁴⁾ の創めし界面移動法 (Boundary moving method) によるものである。界面移動法は分散系と他の液體との明瞭なる境界を作り其境界面の電場内に於ける移動速度より適當な方法により系内の粒子其のものゝ泳動速度を測定せんとするもので、從つて此方法にも可成り考慮に入れるべき問題あり。實驗條件も複雑となり常に條件を満足せるや吟味する必要がある。其の上現今使用されつゝありと文獻に發表されし裝置も瀝青乳劑に其の儘使用する事は瀝青乳劑の性質上不可能にて改良を要すべき點あり、後述の如く實驗的に研究し適當なるものを得た。本法を使用するに際し注意すべき二、三の事柄を列擧すれば下記の如くなる。

- (1) 試料瀝青乳劑と上液との間に明瞭なる界面を作り且つ實驗中も不連續界面に於て擴散等の現象の有無を確める事、又はイオン濃度の變化等による電解生成物の發生を防止すべき事
- (2) 乳劑部の全體が同一運動速度にて移動する様工夫すべく (從つて兩界面移動速度も同様) 若し異る場合には其の原因を明かにすべき事
- (3) 實驗裝置全體に對する主電極部に成極作用を生じ有効電壓の低下を來さざる事
- (4) 電流通過オーム損失による熱の發生又は裝置中の溫度不均一等により發生する内部の對流を防止すべき事
- (5) U 字管壁の電氣滲透 (Electrosmosis) により界面移動せざる事

111) Enslin O., G. Lindau, R. Phodius: Ueber eine verbesserte Bestimmung der elektro-phoretischen Wanderungsgeschwindigkeit suspendierter Teilchen und ein Verfahren zur Messung der Ladung hydrophober Sole, Kolloid-Zst., 70, 2, 189, 1935.

112) 島田八郎: 前掲 1), 89)

113) Mario Giacomo Levi: Studi e ricerca sulla emulsioni bituminose, Ann. d. Lovori Publici, Giugno, 1932.

114) E. F. Burton: 前掲 106)

(6) 装置 U 字管内の水柱差による水静脈の作用なき事

…等は常に實驗中満足しをる事を要するものにて研究試料に應じ装置を工夫すべきものである。

(4),(5)の現象は N. Mukherjee¹¹⁵⁾も指摘せる如く可成り重要なもので如何なる傾向に誤謬を生ずるや吟味しをく必要がある。電流オーム損失發熱の場合は内部温度は周囲より昇

る。Kruyt, Willigen の實驗せし場合は乳劑比電導度上液のものより大なる場合にて界面は第 23 圖 [a] の如く中央に於て上方に凸形となるも瀝青乳劑上液に於ては比電導關係反對なれば管内界面は [b] の如く中央上方に凹形となると考へられるも瀝青乳劑は可成り濃く着色

せるもので實驗中界面の形狀を判斷する事は不可能である。(5)の電氣滲透影響は硝子壁

(-) 電位なる電氣二重層を形成する爲め、管内にて界面は第 24 圖に示す如くなり泳動速度は

U 管壁に於ける移動にて測定するものにて瀝

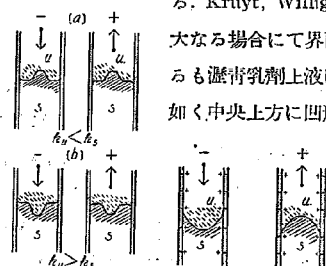
青粒子の (+) 極に泳動する場合には上昇下降界面にても共に移動速度は見掛上小さく測定される (Under-estimate)。

更に重要なるは界面に於ける電場の急變による影響であるが此點に關しては後節に述べる。從つて瀝青

乳劑に於ては實驗裝置に可成り工夫考案を要すべき事が分る。著者の使用せし實驗裝置の

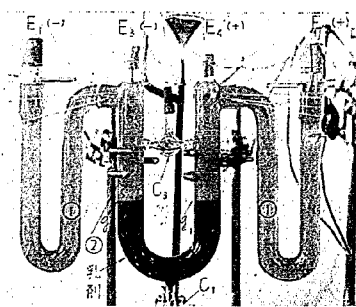
詳細は後章詳論するも説明の便宜上本裝置の概念を得る爲め測定用主要部分及び全裝置の

寫眞を掲ぐ、寫眞第 3、第 4 は此等を示す。



第 23 圖

第 24 圖



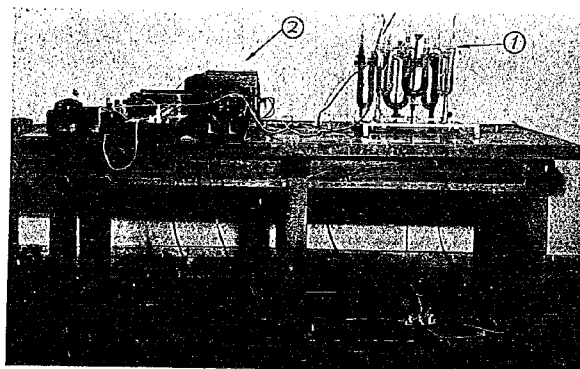
寫 眞 第 3

寫眞により明かなる如く本實驗に使用せし界面移動法は所謂 U 字管式にて大體の構造

115) J. N. Mukherjee: Sources of error in the measurement of electrical charge of colloidal particles by the method of moving boundaries; An improved method based on a direct measurement of the potential gradient; Proc. Roy. Soc. London A. 103, 102, 1923,

J. N. Mukherjee: Ueber die Eignung von Ueberschichtungsflüssigkeiten zur exakter Messung der kataphoretischen Wanderungsgeschwindigkeit nach der Methode der wandernden Grenzzone, Kolloid-Zst., 58 H 2, 155, 1932.

は Mukherjee,¹¹⁶⁾ Krut,¹¹⁷⁾ W. Hacker¹¹⁸⁾ の裝置並びに F. O. Howitt, E. B. R. Prideaux¹¹⁹⁾ の方法を基とし瀝青乳劑に適する様改良せしものである。改良せし理由竝に主要な諸點は本裝置利用上必要なれば次節より述べる。



寫眞第 4

寫眞第 4 の①は寫眞第 3 の測定用部を示すものにて瀝青乳劑と上液が明瞭な界面をなして装入された状態を示す。②は電気泳動實驗に使用せし各種の電氣的裝置を示すものである。寫眞第 3 は第 4 の①を更に拡大し示せるもので中央 U 管②の黒色部は瀝青乳劑にて色濃き他部は所謂上液と稱へるもので兩者の間には寫眞に示す如く g_1 , g_2 なる二つの界面を作る。 E_1 E_2 E_3 E_4 … は電極を示す、實驗に於ては中央 U 管部の兩界面 g_1 , g_2 の移動を測定す。其の他詳細は實驗裝置及び操作の節を見るべし。

[2] 界面移動法に於ける界面作成

本實驗に於ては常に兩界面の移動を測定するものなれば先づ明確な界面を作成する必要がある、即ち寫眞第 3 に示す如く試料乳劑と上液の間に同寫眞 g_1 , g_2 程度の界面を作ら

116) Mukherjee: 前掲 115)

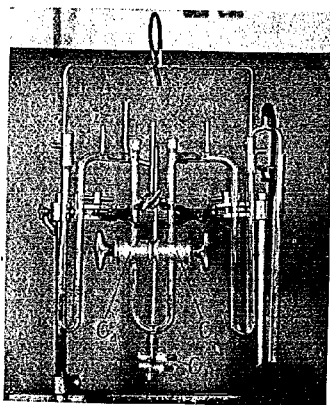
117) H. Krut: Die Methoden zur Bestimmung der Ladungsgrösse kolloider Teilchen, Kolloid Zst., 37, 258, 1925.

H. Krut, P. C. Van der Willigen: Ueber die Methodik der kataphoretischen Messungen bei Suspensoiden, Kolloid Zst., 44, 22, 1928.

118) W. Hacker: Ueber die Messung der Wanderungsgeschwindigkeit von Goldmizellionen durch Beobachtung der wandernden Grenze, Kolloid Zst., 62, H 1, 67, 1933.

119) F. O. Howitt, E. B. R. Prideaux: An improved form of macro-apparatus for cataphoresis, J. of Scientific Instr., 7, 89, 1930.

ねばならない、試料により操作を異にするものである。著者は先づ L. Michaelis,¹²⁰⁾ A. Galecki,¹²¹⁾ A. Steigmann,¹²²⁾ H. R. Kruyt,¹²³⁾ D. A. Macnnes, T. B. Brighton,¹²⁴⁾ C. Robinson, J. L. Moillet¹²⁵⁾ により順次改良されたコック式回轉界面作成法を試みし



寫 眞 第 5

が瀝青乳劑に於ては明確な界面を作り得ず、更に W. Hacker, F. O. Howitt, E. R. Prideaux¹²⁶⁾ 等の試みし如く U 字管最下部に注入穴を備へ、直徑約 0.5 mm 程度の毛細管を付し更に注入速度調節コックを付し常に水柱差約 5 mm~1 cm の下に極めて徐々に上液中に乳劑を注入す。瀝青乳劑は分解凝集し易きものなれば容器全體を濾液にて洗滌する等細心の注意の下に試み、10 種の瀝青乳劑中にて 1, 2 種のものを除き寫眞の如き界面を得、或る種のもの乳劑と濾液の表面張力の差特に大なる爲めか界面は一平面にならず注入の際に於ける特種な凸凹形狀を保持す。斯かる試料に對しては更

にコック式回轉界面作成法を再び試み不完全ながら實測し得る程度の界面を得。寫眞第 5 はコック回轉式泳動管を示す。製作の關係上管の直徑を約 0.9 cm とした。明瞭なる界面作成の點よりすれば泳動管の直徑小なる事望ましきも [1] 節に述べし (4) (5) 項の界面移動法に於ける缺點なるオーミック損失による對流及び電氣滲透作用が著しく現れて來る。

Kruyt¹²⁷⁾ によれば一般に硝子管直徑 0.2 cm ならば電氣滲透影響なしと述べてを。然

- 120) L. Michaelis: Elektrische Ueberführung von Fermenten, I, Das Invertion, Biochem. Zst., 16, 81, 1909.
- 121) A. Galecki: Koagulations-Studien an Goldhydrosol, Zst. f. Anorg. Chemie, 74, 175, 1912.
- 122) A. Steigmann: Ueber einen neuen Ueberführungs-Apparat, Kolloid Zst., 27, 37, 1920.
- 123) H. R. Kruyt: 前掲 117)
- 124) D. A. Macnnes, T. B. Brighton: The moving boundary method for determining transference numbers, III, a novel form of apparatus, J. Amer. Chem Soc., Vol. 47, 994, 1925.
- 125) C. Robinson, J. L. Moillet: The aggregation of colloidal electrolytes from transport number and conductivity measurements. Some benzidine dyes, Proc. Roy. Soc. A. Vol. 143, No. 850, 630, 1934.
- 126) W. Hacker; F. O. Howitt; E. R. Prideaux: 前掲 118), 119)
- 127) H. R. Kruyt: 前掲 123), 117)

るに R. Ellis¹²⁸⁾ は直径 2.5 cm; 1.4 cm の 2 本の泳動管を使用し實驗せしに兩者の結果 10 % の差異あり、且つ界面稍、凸狀を呈すと記述せるも著者は實驗中 1, 2 兩者大小比較せしに其差異を認めなかつた。

本實驗に於ては内徑約 0.9 cm 又は 2.2~2.3 cm の硬質硝子管を使用し異常なく實驗を行つた。寫眞第 3 は直径 2.2~2.3 cm の泳動管である。

[3] 界面移動法に於ける上液に就て

界面移動法に於ては必ず試料乳劑と界面をなし接する他の液を使用する必要があるは上述諸節により自ら明かである。界面とは試料濃度に変動的な変化のある點にて電場より見るも其の強さに何か不連續の變化のある如く推測さる。若し界面に於て電場に急變あれば粒子泳動速度も乳劑内部及び界面附近に於て變り、時には界面に電解生成物を生じ界面の擾亂を來す。斯かる場合界面の移動速度測定は困難となり、測定するも粒子の泳動速度とは可成り異なるものとなる。上記の影響を最小限度に減ずるには試料乳劑と接する液即ち上液の選擇が最も重要な事となる。此點に關し現代物理化學上二つの傾向がある、即ち

(A) 試料乳劑より分取せし濾液を適當とするもの

(B) 乳劑濾液は不適當にて別に上液を定むべきとするもの

(A) を主張するものに H. R. Kruyt, P. C. Van der Willigen,¹²⁹⁾ C. Robinson, J. L. Moilliet¹³⁰⁾ 等あり、其の理由を論じてゐる。輪率法の場合なれど D. C. Henry, J. Brittain¹³¹⁾ も濾液を適當としてゐる。(A) の反對とし最も簡明な理由として乳劑濾液の一般に比電導度異なる事を挙げ従つて界面に於て電場の強さの不連續を生ず、之を防ぐ爲め兩者の比電導度を同値になる様調節すべしとす。Pauli, Valkó¹³²⁾ は濾液は膜加水分解生成物を含む乳劑中のミセル部のものと非常に異つてゐるとし、W. Hacker¹³³⁾ も上液には不適當としてゐる。實際 E. H. Bückner, A. H. H. Van Royer¹³⁴⁾ が乳劑の射出流で實驗せし如くゾルの周囲の液の比電導度の差異により射出流の彎曲度が異なるものである。I. N.

128) R. Ellis: 前掲 (107)

129) H. R. Kruyt, P. C. Van der Willigen: Ueber die Methodik der kataphoretischen Messungen bei Suspensoiden, Kolloid-Zst. 44, 22, 1928.

130) C. Robinson, J. L. Moilliet: 前掲 (125)

131) D. C. Henry, J. Brittain: A comparison of results of measurements by transport and moving boundary methods and a theory of the latter method, cataphoresis, III, Trans. Faraday Soc., 29, 798, 1933.

132) Wo. Pauli, Emerich Valkó: Beiträge zur allgemeinen Kolloid Chemie, XIX, Kolloid-Zst., 38, 289, 1926.

133) W. Hacker: 前掲 (118)

134) E. H. Bückner, A. H. H. Van Royer: Bewegung von Flüssigkeitsstrahlen und Tropfen in einem elektrischen Felde. Kolloid-Zst., 49, 249, 1929.

Mukherjee¹³⁵⁾も界面移動法に於ける上液としての濾液の適否を論ぜしも結論に至らず、一般に濾液は上液として不適當なるも電解質を多量に含み分散質粒子の影響少き場合のみ可なりと論じてゐる。斯かる現状なれば濾液を上液とし使用する事の適否に對しては豫め定むる事出來ず、瀝青乳劑の場合如何に之を選択するかは重要な問題である。然れども上述諸説は個々の場合結論を與へざるも上液選擇に對する條件を與ふ。一方後述する如く Kohrausch-Weber¹³⁶⁾の條件を用ひ上液を求めんとするも瀝青乳劑の如く各種成分を多様に含有せるものに於ては不可能である。然らば上液選擇の基準は寧ろ實驗結果より逆に判斷すべきである。即ち電氣泳動實驗に於ける左右兩界面の移動速度(上昇下降)が常に確實に測定し得。若し上昇下降速度異なる場合も其の理由を明瞭に説明し得るやを吟味す。市販瀝青乳劑を試料とせし故先づ濾液を上液とするが實驗中の分解凝集の防止の點より考ふるも最も適當と考へらる。電場にての考察は後に之を行ふも少くとも瀝青乳劑實驗に於ては其の合理的なる事を確む。濾液は東洋濾紙會社製分析用の濾紙を用ひ作成す。顯微鏡にて分散質の有無を確めた。勿論ベントナイトの如き微細物を含有せるものは濾液内にても存在してゐる。斯かる濾液と原乳劑との比電導度は第 II 部の研究によるに可成り異なるもので濾液の比電導度は約 2 倍である。従つて兩者の間に於ける界面には不連續的電場が存在すと推定し得。若し W. Hacker¹³⁷⁾の主張せし如く界面移動法の界面を形成せる兩液の比電導度が最も主要なるものならば左右兩面の上昇下降速度に著しき差異を生じ又電解生成物を生じ實驗不能に至る筈である。然るに瀝青乳劑に於ては斯かる事實なく上記濾液を使用し實驗をなすに左右兩界面の上昇下降速度殆ど同一となる。

[4] 電氣泳動實驗に於ける電極に就て

電解質溶液に直流を通ずるに電極部に分解生成物を生ずる所謂成極作用は電氣泳動實驗電極部に於ても常に伴ふもので、殊に瀝青乳劑濾液の如く電解質の外ゾルの性質を有するゼラチン、ベントナイト等を含むものを上液とする場合電極に於ける此種影響は特に甚大

135) I. N. Mukherjee: 前掲 115)

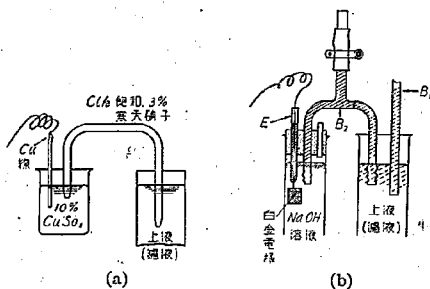
136) Kohlrausch-Weber; H. Weber: Partielle Differential Gleichung, I, 491, Braunschweig, 1900. 又は 144), 146) 参照.

137) W. Hacker: Zur Kohlrausch-Weberschen Theorie der wandernden Grenze, Kolloid-Zst., 63, 47, 1933.

Neue Untersuchungen zur Messung der Wanderungs-Geschwindigkeit kolloider Teilchen, Kolloid-Zst., 62, 37, 1933.

Ueber die Anwendung der Kohlrausch-Weberschen Theorie der wandernden Grenze bei Lösungen mehrerer Elektrolyte und bei kolloiden Lösungen, Kolloid-Beihfte, 41, H 4-7, 147, 1935.

にして其の障害を除く必要がある。A. Steigman¹³⁸⁾ は分解生成物の影響を除く爲め主 U 字管の両側に側管を設け、L. Michaelis¹³⁹⁾ は醗酵素の研究に於て無成極電極の使用を考案し、H. R. Kruyt¹⁴⁰⁾, The Svedberg, E. R. Jette,¹⁴¹⁾ C. Robinson, T. L. Moilliet¹⁴²⁾ も同じ原理による電極を使用した。瀝青乳剤の場合如何に側管を付するも單なる白金黒せる白金極にては直ちに (+) 極に上液中の電解生成物の沈積を生じ内部抵抗を増大し實驗不能となる。最初 L. Michaelis, A. Dombovice¹⁴³⁾ に従ひ第 25 圖 [a] の如く CLK~飽和寒天硝子橋を使用せし



第 25 圖

も上液内の電解質含有多量の爲めか擴散大に一方青色なる Cu^{+} イオンの滲透甚しく實驗繼續不能となる。

更に寒天橋を用ひず U 字管 B_2 にて主電極 (E) と連結す。主電極 (E) は NaOH の水溶液にて略、上液と同一程度の P_H を有するものの中に浸入す。第 25 圖 [b] に之を示す。 B_2 管の右側は電氣泳動管の側管を示すものである。 B_2 管の上部より NaOH 液及び上液を吸ひ上げ圖示の如き状態にて使用す。本實驗に於ては斯かる電極を (+) 極側のみ使用した。以上の改良により可成り長時間にわたり實驗を繼續し得。其の一例を述べんに D 號の實驗を見るに通常電極にては連續 10 分にて所要加電壓が $\frac{1}{2}$ に減少し使用に堪えざるも本改良電極によれば斯かる障害を全く除き得。

以上の如く瀝青乳剤電氣泳動實驗裝置に就き特に考慮を拂ふべき重要な諸點並びに改良せし二、三の點に就き述べた。[2]~[4] 節の各部分を組合せ第 IV 章 [2] 節に述べる如き裝置を完成す。

[5] 瀝青粒子易動度

[4] 節までに述べし改良等により泳動實驗を行ひ兩界面の上昇・下降は常に確實に行はれ

138) A. Steigman: 前掲 122)

139) L. Michaelis: 前掲 120)

140) H. R. Kruyt: 前掲 127), 117)

141) The Svedberg, Eric R. Jette: Cataphoresis of proteins, J. Amer. Chem. Soc., 45, 955, 1923.

142) C. Robinson, J. L. Moilliet: 前掲 125)

143) L. Michaelis, A. Dombovice: 前掲 24)

る事を明かにす、此際常に[1]節に列挙せし界面移動法にて起り得べき缺點を常に考慮に入れつゝ實驗を行ふべきである。さて界面移動と粒子の泳動等乳劑内部に於ける瀝青粒子及び電解質イオン易動度(mobility)と如何なる關係にあるや、且つ粒子易動度算定式との關係を明かにしをく必要がある。濃度の異なる2液の界面移動に關し理論的に考察せしは Kohlrausch,¹⁴⁴⁾ M. V. Laue,¹⁴⁵⁾ V. H. Weber¹⁴⁶⁾ にて界面に於ける Kohlrausch の ω 函数(Beharrlich Funktion)の連続性を假定せる場合の各種の界面攪亂の現象を論究してゐる。瀝青乳劑のイオンの構造は第I部、II部の研究にて可成り明かになるも今瀝青粒子をミセルと共に一つのコロイド(-)イオンをなすとし、第II部II章に述べし如く各種の慣性的影響を度外視し、第26圖の如く乳劑(s)の上部に瀝液ありて界面を作り泳動は總てイオンの電場の作用のみによるとすれば、下記(24)(25)(26)式の成立つ事は明かである

第 26 圖

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \alpha}{\partial t} &= -F \frac{\partial a \alpha}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \\ \frac{\partial \beta}{\partial t} &= -F \frac{\partial \beta \beta}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} &= -F \frac{\partial r \rho}{\partial x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (24)$$

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \alpha + \beta \dots\dots\dots (25) \\ -k \frac{\partial \varphi}{\partial x} &= i \dots\dots\dots (26) \\ k &= F^2[(\alpha + r)\alpha + (\beta + r)\beta] \end{aligned} \right\}$$

但し、 $\alpha, \beta, \rho, (\alpha', \beta', \rho')$: ρ は乳劑中の(+)イオン濃度、 α, β は(-)イオン濃度にて今假りに α を瀝青粒子(ミセル)濃度とし、 α', β', ρ' を上液に於ける値とす。但し上液内にては $\alpha'=0$ とす。

a, β, r : は濃度 $a(\alpha'), \beta(\beta'), \rho(\rho')$ のイオンの易動度即ちイオンの當量電導度を示すものにてイオンの界面電位、粘性係數等により定まるも、形式的に瓦當量に應じた電氣量を運ぶものにて分散質1粒子に對するものと異なる。

144) F. Kohlrausch: Ueber Konzentrations-Verschiebungen durch Elektrolyte in Innern von Lösungen und Lösungsgemischen, Göttinger Nachr., 1876, s. 213

145) M. V. Laue: Die Wanderung von Unstetigkeiten in elektrischen Lösungen, Zst. f. anor. Chem., 93, 329, 1915.

146) H. Weber: Ueber die Differentialgleichungen der elektrolytischen Verschiebungen, Sitz. Ber. d. Kön. Preuss. Akademie d. Wiss., 936, 1897, II.

$\varphi, -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$: ポテンシャル, 電場の強さ.

i, k : 電流の強さ, 比電導度.

F : 瓦當量により運ばれる電気量とす, 電気泳動の式と比較する場合は粒子易動度 a_0

粘性係数 η_0 を常に考慮に入れ ω 電位の影響を明かにすべきものとす.

上式より $\varphi, \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)$ を消去し且つ i を兩液中一定に與へられんとすれば k の各液に就き一定なる事等より下記 (27) 式を得, ω は所謂 Kohlrausch の ω 函數 (Beharrlich Funktion) である.

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = 0, \quad \frac{a+r}{a} \alpha + \frac{b+r}{b} \beta = \omega \dots\dots\dots (27)$$

斯かる見方による微分方程式の微分は常に如何に小なる極限をとつても瀝青粒子が無數存在せる場合を示すものである, 即ち理論の結果を實驗と比較するに注意を要する點である.

第 26 圖の界面の上下兩部に (27) 式を適用すれば k, ω は下式により示さる便宜上乳劑 (k_s, ω_s), 濾液 (k_u, ω_u) とす.

$$\left. \begin{aligned} k_s &= F^2[(a+r)\alpha + (b+r)\beta] \\ k_u &= F^2[(b+r)\beta'] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28)$$

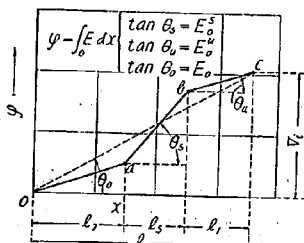
$$\left. \begin{aligned} \omega_s &= \left(\frac{a+r}{a}\right)\alpha + \left(\frac{b+r}{b}\right)\beta \\ \omega_u &= \left(\frac{b+r}{b}\right)\beta' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (29)$$

然るに本研究の實驗の場合は濾液の濃度も既に與へられたものであるから, 若し Kohlrausch-Weber の條件を満たす様界面移動が生ずるとすれば新に β' に應ずる層が試験開始以前の界面に發生する事となる. 上式は界面に於ける $\frac{\partial \varphi}{\partial x}$ の連続性に就ては關係が無い.

今界面 ($\alpha \neq 0, \alpha' = 0$) の移動速度 $\frac{dx_0}{dt}$ は第 26 圖により求めらる, 即ち x_0 に界面あり, dt 間に界面が $x_0 + dx_0$ に移動するとす, 界面の移動は今の場合 dx_0 の層の内側より出入する粒子 (α 濃度のも) の數を計算すれば求め得.

本實驗に於ては主電極間の全抵抗に應じ測定管内の電流密度 (i) は一定とす, 電流密度 (i) を定める單位流管の斷面内に於ては理論上粒子の無數を含むものにて (若し分散粒子の大きさに對應する單位流管を考ふ必要がある場合は自ら取扱ひを異にすべきである, 瀝青乳劑の場合は後者の方真に近き事を明かにす), 斯かる假定の下に dt 間に dx_0 層に出入する α 物質の増減より下式を得.

$$(\alpha - \alpha') dx_0 = a \cdot \left\{ F \left(\frac{i}{k_s} \right) \alpha - F \left(\frac{i}{k_u} \right) \alpha' \right\} dt = a \left\{ F \alpha E_0 - F \alpha' E_0 \right\} \times dt \dots\dots\dots (30)$$



第 27 圖

但し; E_0^s, E_0^u は $\frac{i}{k_s}, \frac{i}{k_u}$ にて乳劑濾液内の電場の強さ……を示す。今上液内に瀝青粒子無き場合は $\alpha' = 0$ にて (31) 式の如くなる。

$$\frac{dx_2}{dt} = (\alpha F) E_0^s = \alpha_0 E_0^s \dots \dots \dots (31)$$

但し a_0 は cm/sec/volt/cm にて示された粒子の易動度を示すものである。他側界面に於ける界面移動度も全く同様に求め得、他のイオンに就ても同様の関係がある。斯かる結果によれば左右兩界面は常

に同一電気泳動速度にて移動する事となる。Kruyt, Willigen¹⁴⁷⁾ は實驗結果の斯かる理論に一致せざる事より兩界面に於ける移動速度は移動方向側の電場の強さによるとと假定し、下記の如く電気泳動式を得た。浮遊粘土懸垂液に於ては斯くの如き傾向を示す。電気泳動 U 字管内の電位分布は、第 27 圖に示す如く乳劑部 (s) 上液部 (u) と三段に異なるものとし各部の電場の強さを計算す。x-軸は泳動管軸に沿ふ長さを示す、縦軸は電位を示す (第 28 圖參照)。

V_i : 補助電極間 ($E_3 \sim E_4$) 電位差

ab, oa, bc : ab 乳劑部 oa, bc 濾液部

k_u, k_s (ρ_u, ρ_s): 濾液 (上液) 乳劑の比電導度 (比抵抗)

l_1, l_2, l_3 : 第 28 圖に示す如く l_1, l_2 は上液 l_3 は乳劑内軸線に沿ふ長さ

V_i : 加電圧の一部 $E_3 \sim E_4$ 電極間電圧にてポテンチオメトリックにて測る

x_1, x_2 ; u_1, u_2 : t 秒間の上昇下降脚移動距離及び同平均速度

a_{01}, a_{02} : u_1, u_2 より換算されし粒子易動度 (cm/sec/volt/cm)

E_0, E_0^s, E_0^u : 平均電場強さ, 上昇下降脚有效電場の強さ

a_0 : 平均電場 E_0 より換算されし易動度

…等を示すとすれば上記各記號の關係を下記の如く示し得。

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= \frac{V_i}{l_1 + l_2 + l_3}, & E_0^u &= E_0 \cdot C_u, & E_0^s &= E_0 \cdot C_s \\ u_1 &= \frac{x_1}{t}, & u_2 &= \frac{x_2}{t}, & a_0 &= \frac{1}{2}(a_{01} + a_{02}) \\ i &= V_i \cdot \frac{1}{(l_1 + l_2) \frac{1}{k_u} + l_3 \frac{1}{k_s}}, & l &= l_1 + l_2 + l_3 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (32)$$

147) H. R. Kruyt, P. C. van der Willigen: 前掲 129)

$$E_0^u = E_0 \cdot C_u = E_0 \frac{k_s}{k_s \frac{l_1 + l_2}{l} + k_u \frac{l_2}{l}}, \quad E_0^s = E_0 \cdot C_s = E_0 \frac{k_u}{k_s \frac{l_1 + l_2}{l} + k_u \frac{l_2}{l}} \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$a_1 = \frac{x_1}{l} \cdot \frac{1}{E_0^u} = \frac{x_1}{l} \cdot \frac{1}{C_u E_0}, \quad a_2 = \frac{x_2}{l} \cdot \frac{1}{C_s E_0} \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$a_0 = \frac{x_1 + x_2}{2l} \cdot \frac{1}{E_0} \quad \dots\dots\dots (35)$$

瀝青乳劑の場合勿論 $C_u < C_s$ にて $E_0^s > E_0^u$ となり兩者の差異可成り大である、それ故 (34) 式の示すが如き a_{01} , a_{02} を測定し得るやは粒子泳動に於ける有効電場を定める上にも頗る重要である。D. C. Mac Innes, L. G. Longworth,¹⁴⁸⁾ H. P. Cady, L. G. Longworth,¹⁴⁹⁾ の實驗に於ては Kohlrausch-Weber の條件の時述べし如く界面に發生する新層とイオン濃度易動度との關係が研究されしも瀝青乳劑の本實驗に於ては乳劑と濾液との界面に新層の發生は總ての場合殆どなく、界面に於ける泳動現象は可成り上記の場合と異なるものと推測さる、從つて (31) 式の如く界面移動速度は E_0^s に比例すると考へることが出来ない。又瀝青乳劑の場合に於て (34) 式の如く E_0^s , E_0^u の區別が果して成立つや吟味する必要がある。(31) 式, (34) 式を誘導せし基本の假定は乳劑上液部各斷面は一様な電流密度 i を有すとし、即ち全電流を I , 泳動管斷面積を A とする時 $i = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta A}$ にて求め、 ΔA 内には常に試料粒子の無限數が存在せるものとしてゐる。然るに瀝青乳劑の瀝青粒子は直徑約 $1\mu \sim 5\mu$ 程度のものにてイオンの大きさに比し頗る大である。 $\Delta A \rightarrow 0$ は瀝青粒子の大きさに比し更に微小となる、即ち1個の粒子の泳動現象を考察する時平均的に取扱ひし上記の E_0^s , E_0^u を使用する事は事實と相反す、寧ろ平均電場 E_0 内に於ける有限大の球の運動と見做す方が適當である。

著者は第 II 部の乳劑比電導度 (k_s) ~ 瀝青質濃度 (ϕ) の關係に於て、各粒子の相互影響無き事を假定せる理論式に可成りよく一致せる事より判斷するも、電氣泳動中瀝青各粒子の電氣的相互影響は無きものと見做し得。斯かる理由により今瀝青乳劑の場合は乳劑濾液全回路により定まる抵抗による平均電流にて與へられる平均電場により粒子は泳動するものとする。即ち (32) 式の E_0 により粒子の泳動が生ず、斯かる場合には泳動管左右兩界面の上昇下降速度 x_1 , x_2 は同一となる。實驗に於ては後述するも他の影響により x_1 , x_2 稍

148) D. C. Mac Innes, L. G. Longworth: Transference numbers by the method of moving boundaries, Chem. Review, 11, 171, 1932.

149) H. P. Cady, L. G. Longworth: A modification of the moving boundary method for the determination of transference numbers, J. Amer. Chem. Soc. 51, I, 1656, 1929.

異なる事有り得るを以て (35) 式の如く其の平均をとり遷移粒子の易動度 (α_0) を求む。

次に第 II 章 [2] 節 (23) 式に述べし粒子泳動速度 U と電場の強さ E の關係式に就き二、三述べ II 章 [1] [2] 節の補足をなしをかん。

$$U = U(\zeta, E, K_0, \eta_0) = \frac{EK_0}{4\pi\eta_0}\zeta \dots\dots\dots (23)$$

但し、記號は II 章 [2] 節と同じ、(23) 式は元來 Smoluchowski¹⁵⁰⁾ によるものにて $A=4\pi$ である。Helmholtz,¹⁵¹⁾ Lamb¹⁵²⁾ は電媒恒数を考慮に入れず U, ζ, E …の關係を求めしものである。II 章 [1] 節に述べし Gouy,¹⁵³⁾ Chapmann¹⁵⁴⁾ 等の如く擴散性イオン雰圍氣を假定し P. Debye, E. Hückel は下記 (36) 式を得た。

$$\left. \begin{aligned} U &= \frac{EK_0}{4\pi\eta_0}\zeta \\ A &= 6 \dots \text{球狀}; \quad A = 4 \dots \text{回轉楕圓體長軸流れの方向にあり}; \\ A &= 8 \dots \text{回轉楕圓體短軸流れの方向にあり} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (36)$$

D. C. Henry¹⁵⁵⁾ は粒子、分散媒も夫、比電導度を有するものとし Debye, Hückel の解法により $U \sim \zeta$ 關係式を得てゐるが粒子物質の比電導度零となれば Smoluchowski¹⁵⁶⁾ 式となる。其の最も一般的なる式は、(37) 式の如く電氣二重層の厚みを粒子半径に比し極度に小とせず二重層内の電場分布 (φ) の影響をも考慮に入れたものである。球狀粒子として

$$\left. \begin{aligned} U &= \frac{K_0 E}{6\pi\eta_0} \left\{ \varphi_{r_0} + 3\alpha r_a^3 \int_{r_0}^{r_a} \frac{1}{r^5} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} dr - 2 \int_{r_0}^{r_a} \frac{1}{r^3} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} dr \right\} \\ \text{又は} \quad &= \frac{K_0 E}{6\pi\eta_0} \left\{ \varphi_{r_0} (1+\alpha) + 3\alpha r_a^3 \int_{r_0}^{r_a} \frac{\varphi}{r^3} dr - 2 \int_{r_0}^{r_a} \frac{\varphi}{r} dr \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (37)$$

(37) 式を得。但し、 r_a : 球の半径にて球をミセルとする。 φ_{r_0} : $r=r_0$ の φ にて (36) 式等の ζ に相當す。 φ : 電氣二重層内の電位の分布にて、ミセルに接近せる部分のイオン雰圍氣を示す。 $\alpha = \frac{k_2 - k_1}{2k_2 + k_1}$; k_2, k_1 , は分散媒、粒子物質の比電導度。

…等を示すも實際上二重層の厚み l 微小にして、 $r \geq r_a + l$, $l < r_a$ …に對し $\varphi \ll \varphi_{r_0}$ ならば遷移乳劑の場合の如く $k_1 = 0$ に對しては上述 (32), (36) 式の如くなる。

150) M. V. Smoluchowski: 前掲 79)

151) H. Helmholtz: 前掲 73)

152) H. Lamb: 前掲 83)

153) M. Gouy: 前掲 84), 74)

154) D. L. Chapmann: 前掲 75)

155) D. C. Henry: 'The cataphoresis of suspended particles, part I, the equation of cataphoresis, part II, a new experimental method and a confirmation of Smoluchowski equation, Proc. Roy. Soc., A, 133, 106, 1931.

156) M. V. Smoluchowski: 前掲 150), 79)

上記の如き電気泳動式は第 II 章に述べし粒子イオン氛圍氣に關する假定の外、粘性係數等流體力學の假定をも含むものである。即ち……

- (1) 粒子運動に關しては常に Naveir-Stokes の式が成立つ
 - (2) ζ , K_0 , η_0 …の明瞭に定義し得る事
 - (3) 粒子イオン氛圍氣 (從つて電場分布) は中心對稱又は軸對稱を有し、外部より電場又は粒子泳動により攪亂されず常に一定の分布をなすものとす
 - (4) 粒子の周圍の 2 重層の厚みは粒子半径に比し著しく小とす
- K_0 , ζ , η_0 の物理的意味は此種實驗に於て頗る重要なれば II 章 [2] 節に可成り詳しく述べた。

II 章 [2] 節に述べしイオン氛圍氣の變形による Bikerman¹⁵⁷⁾ の結果は下記 (38) 式の如く示さる。

$$U = \frac{K_0 E \zeta}{4\pi\eta_0} \cdot \frac{1}{1-b} \dots\dots\dots (38)$$

但し、 b : ミセル變形係數にて (38) 式の如く泳動速度を増大す。

瀝青乳剤電気泳動實驗に於ける重要なミセル構造に關する影響及び異常性に關しては II 章 [2] 節に項目別に詳論せるを以て本節に於ては省略するも次に實驗結果換算式を掲ぐ。

- a_0 : 粒子泳動による易動度 (cm/sec/volt/cm)
 η_0 : 分散媒粘性係數 (C.G.S.; Poise)
 E : 電場の強さ (volt/cm), K_0 : 分散媒電媒恒數 (C.G.S.E.S.U)
 ζ : 界面動電位差 (volt)

と單位を定むれば (36) 式は下記 (39) 式の如くなる。

$$a_0 = \frac{\zeta K_0}{6\pi\eta_0} \cdot \frac{1}{9} \cdot 10^{-4} \dots\dots\dots (39)$$

(39) 式より ζ ~ 電位を推定し得、後述實驗より求めし a_0 より必要に應じ ζ を換算するものにて其の意義に就ては II 章 [2] 節の論説を参照すべし。

上記の如く本節に於ては瀝青粒子の泳動に關聯し界面移動に關する二、三の考察をなし

- 1) Kohlrausch-Weber 説によるもの
- 2) Krut-Willigen 説によるもの
- 3) 瀝青乳剤級の場合には平均電場によるべき事

……の 3 者を比較對照し本實驗に於ては (3) 説によるべき事を理論上力説す、終りに粒子泳動式に關して其の二、三を引用論究す、次章より實驗結果に就き述べん。

157). Bikermann; 前掲 (89)

IV. 實驗操作及び實驗結果に就て

[1] 試料

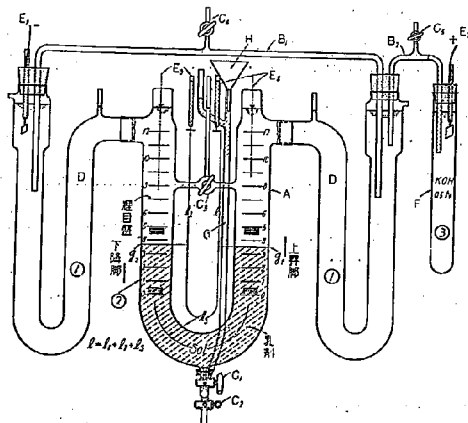
試料は第 I 部, II 部の研究に使用せしものにて特に記述する必要なきも便宜上名稱を掲ぐ程度にす。國產道路鋪裝用瀝青乳劑の混合滲透用 10 種に就き電気泳動に關する特性を明かにせしものである, 名稱及び用途分類を掲ぐ。

試料名	A	B	C	D	G	H	E	F	I	J
瀝青含有量 %	54.0	50.5	54.5	54.8	50.3	52.3	58.0	61.0	51.3	56.8
用途 (混合用 ⊙ 滲透用 ●)	●	●	⊙	⊙	●	⊙	●	⊙	●	●

第 III 章 [3] 節に述べし上液としての濾液の作成は乳劑粘性實驗の場合及び第 I 部, II 部の場合と全く同様に分析用濾紙を用ひ濾過す, 詳細は省略す。

[2] 實驗裝置及び實驗操作

第 III 章 [1]~[4] 節に詳論せし瀝青乳劑電気泳動實驗に關する種々なる考察より III 章 [1] 節に述べし寫眞第 3, 第 4 の如きものを得。裝置に關し實驗操作と關聯し二, 三主



電気泳動實驗裝置 (3号)

第 28 圖

平衡橋 B_1 使用。

No. 3 號管: No. 1 號管と全く同一なれども主 (+) 電極に無成極電極を使用す。

要な事柄を説明せん。第 28 圖は全裝置を示すものにて、本圖は試驗用泳動管中特に No. 3...と稱するものである。III 章 [4] 節に説明せる如く無成極電極を主 (+) 電極 E_2 に使用せるものである。其の他試驗泳動管としては No. 1, No. 2 を使用する, 三者の分類下記の如し。

No. 1 號管: 泳動管直徑
約 2.2~2.3 cm, 補助電極
 $E_2 \sim E_4$ 間の軸線に沿ふ
距離 $l = 36.11$ cm, 水壓

No. 2 號管: 第 III 章 [2] 節に述べし如く或種の試料にて No. 1, No. 3 にて界面作成困難なる場合に使用せしものにて同節寫真第 5 に之を示す。泳動管有効直徑約 0.9 cm, 補助電極間距離 $l=42.5$ cm.

後述實驗の部により明かなれども本實驗は主として No. 1, No. 3 號管にて行つた。第 29 圖は本裝置に於ける電氣的接続を示すものである。第 28, 29 圖の記號に就き説明を試みる。

$E_1(-)$, $E_2(+)$: 主電極にて蓄電池 120 V より抵抗器を使用し所要電壓 (V_0) を與ふ。 $E_2 \sim E_1$ 極により泳動管内に電流 (I) を通す。

$E_3(-)$, $E_4(+)$: 補助電極にて共に白金黒せる白金極にて位置を常に確實に保持し實驗中 $E_3 \sim E_4$ 極間の電位差をポテンチメトリック

に測る。 $E_3 \sim E_4$ 極間の電位差を V_i とす。 V_i を測るには別に 60 V 位の蓄電池より抵抗 R_2 , R_1 により圖示の如く電壓 V'_i , V''_i を定め電流計 G により平衡をみ、 $V_i = V'_i + V''_i \dots$ を得。

S_1 , S_2 : スウイッチ S_1 は V_i の測定用に使用すべきものにて先づ……の接続に於て $E_3 \sim E_4$ 間電壓の近似値を求め、更に --- の接続を行ひ精密調節をなす。 S_2 は必要に應じ $E_3 \sim E_4$ 間の電氣抵抗を測定する場合 $A, C \sim$ 橋 (bridge) に連結す。

B_1 , B_2 : 液體橋 (liquid bridge) にて B_1 は左右兩管水壓性差による界面移動を防ぐ。 B_2 は No. 3 無成極電極使用の際用ひるものにて III 章 [4] 節に説明せり。

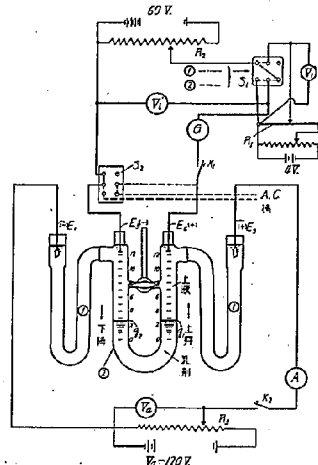
E_2 極: (+) 極部に於ける土液内 (濾液内) のゾル成分其の他による沈積作用を防ぐ爲めの無成極にて既に III 章 [4] 節に述べた。

①, ② 管: ②管中央管にて中央部 U 管下部に乳剤を入れる。①管は左右兩補助管にて全部濾液を滿たす。

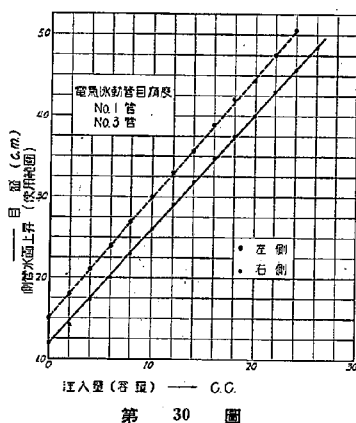
C_1 , C_2 , C_3 : コックにて明瞭な界面を作成する様乳剤を注入するに重要な役割をなすものである。 C_1 : 乳剤注入後速度調節用コック, C_2 : 注入側管補助コック, C_3 : 水位平衡コック。

l_1 , l_2 , l_3 : $E_3 \sim E_4$ 極間軸線に沿ふ長さ, $l_1 + l_2 + l_3 = l$ 。

以上の如く實驗裝置の構造に就き略し説明せるも本實驗に於ては溫度影響頗る大なれば



第 29 圖



右兩側も同一断面を有する事を示す。

實驗操作：實驗裝置の説明にて略。實驗操作も明かに推測し得るも第 28 圖により簡単に説明せん。 C_1 コックは注入管 G に附屬せるもので先づ G を濾液にて充分洗滌し C_1 を閉め乳劑を H より G に注入す。然る後中央管②の下部の凸部硝子拵合せに G 管の一端を第 28 圖に示す如く嵌め濾液を②管に注入し C_3 コックを開き兩側の水壓を調節す、更に液體橋 B_1 を用ひ平衡を保たしむる。 G 管の上部にある支管は乳劑注入に際し頗る重要な作用を呈す。今 C_1 を極めて僅か開き緩慢に②の底部より注入すれば左右に g_1, g_2 の明瞭な界面を作る。 g_1, g_2 が適當な高さに來りし時電極 E_1, E_2, E_3, E_4 を挿入し第 29 圖の如き電氣的接續をなし恒溫狀態に 60 分以上保ち然る後 E_1, E_2 間に適當な電壓 V_0 を與へ、 $E_3 \sim E_4$ 極間の電位差をポテンチメトリックに測定しつゝ、其の値に變動なき事を確かめつゝ、左右 g_1, g_2 界面の移動速度を硝子管壁の目盛又はカテトメーターにより讀む。第 II 章 [2] 節、第 III 章 [5] 節に詳論せし如く滲青粒子の泳動現象に關する異常性の有無を明かにする必要あれば常に 2 種以上の V_i 値を與へ異なる電場に対する界面移動速度を測定す。本實驗接續を第 28 圖の如くすれば右側 g_1 面は上昇し左側 g_2 面は下降す。實驗は下記の如き順序になす。

- (1) E_3, E_4 電極は管目盛 (12) と一致さす。
- (2) $E_3 \sim E_4$ 電極間電氣抵抗を $1000 \sim \infty$ A.C にて必要に應じ測定す。
- (3) V_0 従つて V_i に 3 種の値を與へ、各値に應じ界面上昇下降移動距離を測定す。
- (4) 滲青粒子易動度の値及び其異常性を明かにす。

以下實驗結果に就き記述せんに此種研究は未だ皆無の現狀なれば各試料に就き詳細に述べん。順序は試料の部に述べしものと相前後せるも大體に於て實驗結果の單純なものより記述す。

[3] N-社 I 號實驗結果

第 24 表 (1) (2) (3) (4) は界面移動距離 (x_1, x_2) の實測値にて, [2] 節に述べし I_1, I_2, I_3 は管目盛読みより之を得。以下記號に關しては (32) (33) (34) (35) 式を参照すべし。

V_1 : 9.4 V, 19.0 V, 28.0 V, 41.0 V, ……の 4 種を與ふ。

第 24 表 (1) (2) (3) (4) より第 31 圖 (1) (2) (3) (4) の如き移動距離 (x_1, x_2) ~ 時間 (t) の關係を得, 圖中 ● ○ ……は上昇下降移動距離を示すものにて, カテトメーターによる読みとす, $V_1 = 28$ V 對するものは管目盛による値をも記入す。各實驗値は殆ど同様の $x_1(x_2) \sim t$ 關係を示すものにて著しく規則正しき特長を示すもので二, 三主要な結果を列挙すれば下記の如くなる。

- (1) V_1 の小なる 9.4 V; 19.0 V の場合のみ移動距離 (x_1, x_2) ~ 時間 (t) 關係直線は原點を通らず, 即ち一定の時間後に泳動現象が現れてゐる, 他の V_1 の場合は原點を通る。
- (2) 上昇部 (●) の移動量常に下降部 (○) より大なる傾向がある。
- (3) 上昇下降部共に移動量 ~ 時間 (t) 關係は直線的である。
- (4) 上昇下降移動量の略, 一致せるものあり, 且つ管目盛によるもカテトメーターによるも大なる差異なし。
- (5) (2) の $x_1, x_2 \sim t$ 關係より判斷するに本實驗範圍に於ては構造粘性等力學的異常性なく II 章 [2] 節に述べし如く泳動式に於ける分散媒粘性係數 η_0 を適用せし事の正しき事を裏書す。又 II 章 [2] 節, III 章 [5] 節に述べし如く泳動現象中イオン氛圍氣の状態は變形せざる如く見ゆ。

以上の結果より更に電場の強さの差異によるイオン氛圍氣, 其の他粒子界面電位差 (ζ) に關する異常性の有無を明かにせん爲, 第 31 圖 (1) ~ (4), $x_1(x_2) \sim t$ 關係直線部より 20 分間の移動距離 (x_{1-20}, x_{2-20}) と V_1 の關係を求む, 第 31 圖 (5) は之を示すものにて上昇部 (●) 下降部 (○) 共に直線關係をなし第 31 圖 (1) ~ (4) 中上昇下降速度の一致せる ● は兩者 ●, ○ の中間に在る, 従つて (6) 項として次の如く追加し得。

- (6) 上昇下降兩移動速度は電場の強さ (即ち V_1) に對し全く正規的な事を明かにす。

(6) 項は瀝青乳剤の粒子イオン氛圍氣の研究に重要な根據を與へるものである。以上の實驗結果より粒子易動度 (α_0) 及び (33) 式の C_m, C_s を求め得。然るに上昇下降速度 (α_{m1} ,

第 24 表

試料名 I 號 實驗管 No. 1
 實驗溫度 17.0°C~17.5°C
 端子電壓 Va; ca. 30V 電流
 内部電壓 Vi; 9.5V 0.24×0.01A°

時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテト メーター, 管目盛	カテト メーター, 管目盛
	3.4 ¹² / ₂₀ 2.69cm	3.6 ⁴ / ₂₀ 2.68cm
4′ 30″	3.4 ¹¹ / ₂₀	3.6 ⁵ / ₂₀
7′ 0″		3.6 ¹³ / ₂₀
15′ 0″	3.4 ⁶ / ₂₀	3.6 ¹³ / ₂₀
21′ 10″		3.6 ¹³ / ₂₀
21′ 30″	3.4	3.7 ⁵ / ₂₀
28′ 0″		3.7 ⁵ / ₂₀
29′ 0″	3.3 ¹⁶ / ₂₀	
34′ 30″		3.7 ⁷ / ₂₀
37′ 0″	3.3 ¹³ / ₂₀	
41′ 0″		3.7 ¹³ / ₂₀
42′ 0″	3.3 ⁸ / ₂₀	

備考 右極を (+) とす。 實驗順位①

試料名 I 號 實驗管 No. 1
 實驗溫度 15.0°C~15.5°C
 端子電壓 Va; ca. 90V 電流
 内部電壓 Vi; 28V 0.74×0.01A°

時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテト メーター, 管目盛	カテト メーター, 管目盛
	2.5 ⁴ / ₂₀ 2.23cm	2.5 ¹⁰ / ₂₀ 2.44cm
6′ 0″	2.4 ¹⁰ / ₂₀	
7′ 0″		2.6 ⁹ / ₂₀
12′ 0″		2.6 ¹⁶ / ₂₀
13′ 0″	2.3 ¹² / ₂₀	
19′ 0″	2.3 ² / ₂₀	
19′ 0″		2.7 ⁸ / ₂₀
24′ 0″		2.8
25′ 0″	2.2 ⁸ / ₂₀	
29′ 40″	2.1 ¹⁶ / ₂₀	
31′ 0″		2.8 ¹⁷ / ₂₀
35′ 0″		2.9 ¹¹ / ₂₀
36′ 0″	2.1 ² / ₂₀	
43′ 30″		3.0 ⁹ / ₂₀
43′ 30″	2.0 ¹² / ₂₀	

備考 右極を (+) とす。 實驗順位③

試料名 I 號 實驗管 No. 1
 實驗溫度 16.0°C~16.5°C
 端子電壓 Va; ca. 60V 電流
 内部電壓 Vi; 19V 0.48×0.01A°

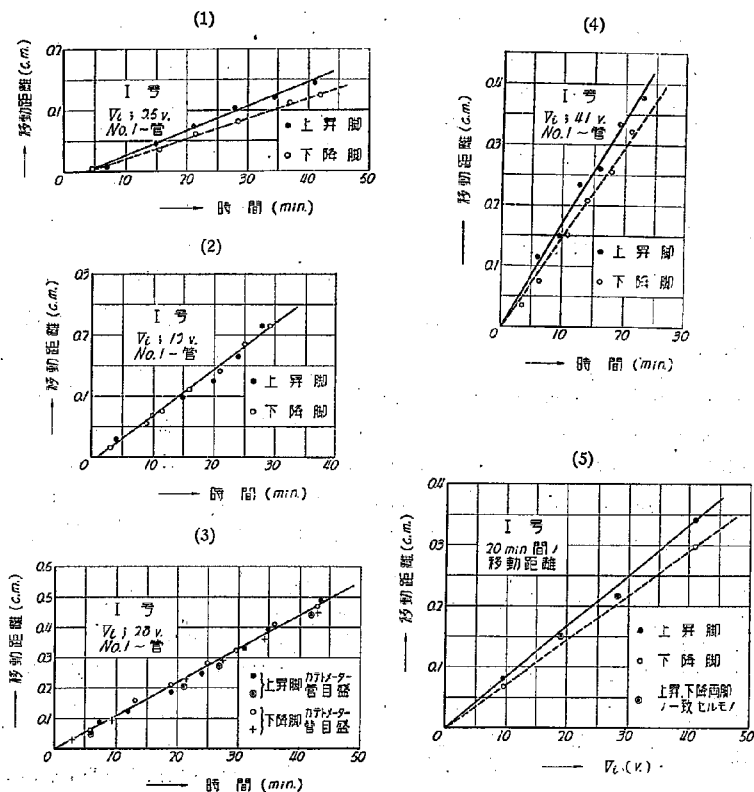
時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテト メーター, 管目盛	カテト メーター, 管目盛
	3.6 ⁶ / ₂₀ 2.84cm	3.5 ⁵ / ₂₀ 2.54cm
3′ 10″	3.6 ³ / ₂₀	3.5 ¹² / ₂₀
4′ 0″		3.5 ¹⁸ / ₂₀
9′ 20″	3.5 ¹⁶ / ₂₀	
10′ 0″		3.5 ¹⁸ / ₂₀
11′ 30″	3.5 ¹¹ / ₂₀	
15′ 0″		3.6 ³ / ₂₀
16′ 0″	3.5 ⁴ / ₂₀	
20′ 0″		3.6 ¹⁰ / ₂₀
21′ 0″	3.4 ¹⁸ / ₂₀	
24′ 0″		3.6 ¹³ / ₂₀
25′ 0″	3.4 ⁹ / ₂₀	
28′ 10″		3.7 ⁸ / ₂₀
29′ 0″	3.4 ³ / ₂₀	

備考 右極を (+) とす。 實驗順位②

試料名 I 號 實驗管 No. 1
 實驗溫度 17.4°C~17.3°C
 端子電壓 Va; 120V 電流
 内部電壓 Vi; 41V 1.04×0.01A°

時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテト メーター, 管目盛	カテト メーター, 管目盛
	3.3 ¹⁶ / ₂₀ 2.60cm	3.6 ¹¹ / ₂₀ 2.77cm
3′ 40″	3.3 ⁸ / ₂₀	
11′ 0″	3.2 ⁵ / ₂₀	
12′ 40″		3.8 ¹⁸ / ₂₀
14′ 0″	3.1 ¹⁴ / ₂₀	
16′ 0″		3.9 ³ / ₂₀
17′ 50″	3.1 ⁴ / ₂₀	
19′ 15″		3.9 ¹⁰ / ₂₀
21′ 0″	3.0 ¹¹ / ₂₀	
23′ 0″		4.0 ⁵ / ₂₀

備考 右極を (+) とす。 實驗順位④



第 31 圖

a_{02} 略、同一なれば泳動速度計算には電場としては C_0, C_u を考慮に入れざる平均電場 $E_0 = V/l_1 + l_2 + l_3$ (32) による假定の最もよく事實に合へる事を知る。

(7) 實驗中特に界面に新イオン層の發生するが如き傾向なし、即ち Kohlrausch-Weber 條件の如き現象が瀝青乳劑の場合には無い様である。

(7) 項の如く可成り確實な泳動現象を呈するものなれば (31) 式の如く電場とし E_0 を用ひる事も正しくない。 C_0, C_u 計算に對しての乳劑濾液の比電導度 k_0, k_u は第 II 部よりとる、 ζ -電位は (39) 式に、 $K_0 = 80, \eta_0 = 0.010$ とをき之を求む。

I 號結果下記に如し。

$k_n(\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$	k_s	$l_1(\text{cm})$	l_2	l_s	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_s}{l}$	C_u	C_s
0.00418	0.00155	9.31	9.32	17.48	0.516	0.484	0.549	1.482
a_{01}	a_{02}	a_0	$\zeta(\text{m.v.})$					
25.6×10^{-5}	21.0×10^{-5}	23.3×10^{-5}	49.3					

但し, a_0 (cm/sec/volt/sec)

[4] O~社 J 號實驗結果

實驗方法全く同一にて第 25 表 (1) (2) (3) はカテトメーターによる界面移動實驗結果を示すもので, l_1, l_2, l_s は必要に應じ管目盛より求む. $E_3 \sim E_4$ 電極間加電圧は 3 種とす.
 V_i : 9.8 v; 32.2 v; 42.1 v ……の 3 種を與ふ.

界面移動に關する時間的, 電場的 (V_i) 關係全く上記 I 號の場合と同様にて (1)~(7) 項までの特性が成立つ. 特に $V_i=9.8$ v に於ける移動距離 (x_1, x_2)~時間 (t) 關係稍不確實の如く見ゆるも傾向は全く同一である, 第 32 圖 (1) (2) (3) (4) は各表より求めし移動距離~時間關係である, 説明は省略す. 下降界面速度 (a_{02}) 上昇 (a_{01}) に比し可成り大である. III 章 [5] 節 Krut-Willigen の説によれば反對になるべきである. I 號の場合

第 25 表 (1, 2, 3)

試料名 J 號		實驗管 No. 1		試料名 J 號		實驗管 No. 1	
實驗溫度 16.2°C~16.4°C		電流		實驗溫度 17.0°C~17.0°C		電流	
端子電壓 V_a ; ca, 30 V		0.15 $\times$ 0.01 A		端子電壓 V_a ; ca, 90 V		0.5 $\times$ 0.01 A	
内部電壓 V_i ; 9.8 V				内部電壓 V_i ; 32.2 V			

時 間 分(°)秒(°)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
	カテトメ ーター, 管目盛	カテトメ ーター, 管目盛
0	2.9 $\frac{1}{20}$ cm	3.0 $\frac{14}{20}$ cm
6' 0"	2.9 $\frac{5}{20}$	3.0 $\frac{18}{20}$
7' 0"	2.9	3.1 $\frac{6}{20}$
11' 15"	2.8 $\frac{18}{20}$	3.1 $\frac{8}{20}$
12' 40"	2.8 $\frac{15}{20}$	3.1 $\frac{9}{20}$
14' 40"	2.8 $\frac{12}{20}$	3.1 $\frac{16}{20}$
16' 0"	2.8 $\frac{7}{20}$	3.1 $\frac{11}{20}$
17' 0"	2.8 $\frac{4}{20}$	3.1 $\frac{16}{20}$
20' 0"	2.8 $\frac{1}{20}$	3.2 $\frac{3}{20}$
25' 0"	2.8 $\frac{1}{20}$	3.2 $\frac{6}{20}$
26' 0"	2.8 $\frac{1}{20}$	3.2 $\frac{11}{20}$
31' 0"	2.8 $\frac{1}{20}$	3.2 $\frac{16}{20}$
35' 10"	2.8 $\frac{1}{20}$	3.2 $\frac{11}{20}$
37' 0"	2.8 $\frac{1}{20}$	3.2 $\frac{11}{20}$
42' 0"	2.8 $\frac{1}{20}$	3.2 $\frac{11}{20}$
43' 0"	2.8 $\frac{1}{20}$	3.2 $\frac{11}{20}$
47' 20"	2.7 $\frac{17}{20}$	3.2 $\frac{11}{20}$
52' 0"	2.7 $\frac{14}{20}$	3.2 $\frac{11}{20}$
54' 0"	2.7 $\frac{14}{20}$	3.2 $\frac{11}{20}$

時 間 分(°)秒(°)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
	カテトメ ーター, 管目盛	カテトメ ーター, 管目盛
0	2.6 cm	3.1 $\frac{8}{20}$ cm
3' 30"	2.5 $\frac{5}{20}$	3.2
4' 30"	2.5 $\frac{10}{20}$	3.2 $\frac{8}{20}$
6' 0"	2.5 $\frac{10}{20}$	3.2 $\frac{14}{20}$
7' 35"	2.5 $\frac{5}{20}$	3.3 $\frac{5}{20}$
9' 0"	2.4 $\frac{18}{20}$	3.3 $\frac{13}{20}$
10' 35"	2.4 $\frac{11}{20}$	3.4 $\frac{3}{20}$
12' 35"	2.4 $\frac{11}{20}$	3.4 $\frac{11}{20}$
14' 0"	2.4 $\frac{11}{20}$	3.4 $\frac{11}{20}$
16' 0"	2.4 $\frac{11}{20}$	3.4 $\frac{11}{20}$
17' 0"	2.4 $\frac{11}{20}$	3.4 $\frac{11}{20}$
18' 30"	2.4 $\frac{11}{20}$	3.4 $\frac{11}{20}$
20' 0"	2.4 $\frac{11}{20}$	3.4 $\frac{11}{20}$
23' 0"	2.4 $\frac{11}{20}$	3.4 $\frac{11}{20}$
24' 0"	2.4 $\frac{11}{20}$	3.4 $\frac{11}{20}$

備考 右極を (+) とす. ②の實驗後界面に電解による生成物を發生し, 抵抗増大す, 實際順位③

備考 右極を (+) とす. 實際順位①

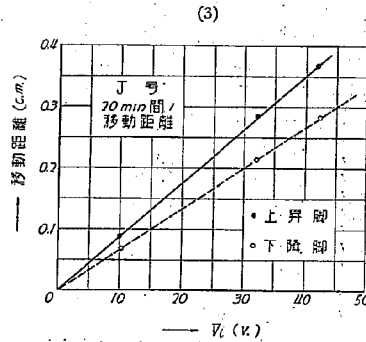
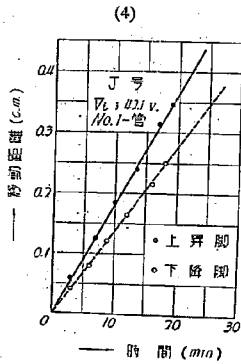
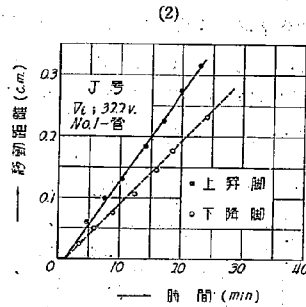
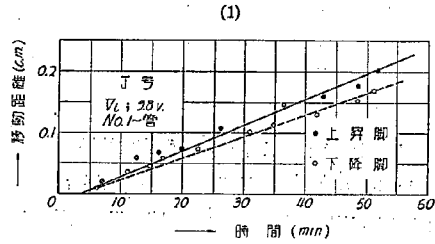
と同理由により平均電場 E_0 を基準とし計算す。

第 25 表 (3)

試料名 J 号 実験管 No. 1
 実験温度 $17.0^{\circ}\text{C} \sim 17.0^{\circ}\text{C}$
 端子電圧 V_a ; c_a , 120 V 電流
 内部電圧 V_i ; 42.1 V $0.69 \times 0.01\text{A}$

時間 分(秒)	界面位置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメ, 管目盛 2.8 $\frac{1}{20}\text{cm}$	カテトメ, 管目盛 3.1 $\frac{7}{20}\text{cm}$
3' 0"	2.7 $\frac{13}{20}$	
4' 10"		3.1 $\frac{19}{20}$
5' 0"	2.7 $\frac{5}{20}$	
7' 0"		3.2 $\frac{12}{20}$
8' 40"	2.6 $\frac{17}{20}$	
10' 0"		3.3 $\frac{4}{20}$
12' 0"	2.6 $\frac{8}{20}$	
13' 30"		3.3 $\frac{15}{20}$
16' 0"	2.5 $\frac{19}{20}$	
17' 0"		3.4 $\frac{10}{20}$
18' 0"	2.5 $\frac{11}{20}$	
19' 0"		3.4 $\frac{16}{20}$

備考 右極を(+)とす。 實際順位②



J 號試驗結果下記の如し。

$k_{10}(\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$	k_2	$l_1(\text{cm})$	l_2	l_3	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_3}{l}$	C_u	C_d
0.0028	0.00993	8.57	8.62	18.92	0.477	0.524	0.511	1.44
a_{01}	a_{02}	a_0	$\zeta(\text{m.v.})$					
25.9×10^{-5}	19.9×10^{-5}	22.4×10^{-5}	47.5					

但し, a_0 (cm/sec/volt/cm)

[5] B~社 A, B, C, D 號實驗結果

本試料中 A, B は滲透用, C, D は混合用である。A, B 號は略: I, J 號と同様に界面移動を測定し得るも, C, D 號の場合は後に述べる如く實驗上の困難に遭遇した。の其爲又新らしき事實を得實驗方法も工夫した。先づ A, B 號の結果より述べん。

A 號實驗結果: 第 26 表 (1) (2) (3) の各電壓 (V_i) に對する實驗結果に就き特に述べらる事無し。 $V_i = 22\text{V}; 29\text{V}; 37\text{V} \dots$ の 3 種とす。

界面移動距離 (x_1, x_2) ~ t 關係を見るに略: 上記 I, J 號の (1)~(7) 項と同様なるも二, 三稍: 異なるものあり, 即ち

第 26 表 (1, 2)

試料名 A 號			實驗管 No. 3			試料名 A 號			實驗管 No. 3		
實驗溫度 $16.7^\circ\text{C} \sim 16.8^\circ\text{C}$			實驗溫度 $16.2^\circ\text{C} \sim 16.5^\circ\text{C}$			實驗溫度 $16.2^\circ\text{C} \sim 16.5^\circ\text{C}$			實驗溫度 $16.2^\circ\text{C} \sim 16.5^\circ\text{C}$		
端子電壓 V_a ; ca, 150 V			電流			端子電壓 V_a ; ca, 200 V			電流		
内部電壓 V_i ; 22 V			$1.08 \times 0.01\text{A}^\circ$			内部電壓 V_i ; 29 V			$1.40 \times 0.01\text{A}^\circ$		

時 間 分(')秒(")	界 面 位 置		時 間 分(')秒(")	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚		左 脚	右 脚
	カテトメ, 管目盛	カテトメ, 管目盛		カテトメ, 管目盛	カテトメ, 管目盛
0	2.32cm	2.69cm	0	2.18cm	2.80cm
	$2.4 \frac{7}{20}\text{cm}$	$2.8 \frac{15}{20}\text{cm}$		$2.2 \frac{12}{20}\text{cm}$	$2.9 \frac{15}{20}\text{cm}$
4' 0"		$2.8 \frac{15}{20}$	3' 15"		$2.9 \frac{17}{20}$
8' 40"		$2.7 \frac{7}{20}$	5' 0"	$2.2 \frac{8}{20}$	3.0
10' 0"	$2.3 \frac{7}{20}$		6' 10"		$3.0 \frac{13}{20}$
12' 20"		$2.9 \frac{18}{20}$	8' 40"		$3.1 \frac{1}{20}$
16' 25"		$3.0 \frac{7}{20}$	11' 30"		$3.1 \frac{9}{20}$
17' 30"	$2.2 \frac{3}{20}$		13' 0"	2.0	
19' 15"		$3.0 \frac{17}{20}$	14' 30"		$3.1 \frac{19}{20}$
21' 30"	$2.1 \frac{7}{20}$	3.1	15' 30"		$3.2 \frac{7}{20}$
22' 40"			18' 10"		$3.2 \frac{14}{20}$
24' 15"		$3.1 \frac{7}{20}$	20' 10"	$1.8 \frac{8}{20}$	
20' 0"		2.90	21' 45"		$3.3 \frac{6}{20}$
20' 30"	2.07		23' 0"		
			8' 15"		2.90
			10' 10"	2.05	
			11' 0"		2.95
			12' 30"	2.00	
			16' 45"		3.18
			17' 30"	1.88	
			24' 0"		3.23
			24' 30"	1.75	

備考 右極を(+)とす。界面明瞭を缺くも實驗中沈積層の發生なし。實驗順位①

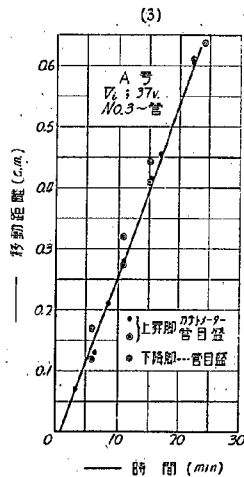
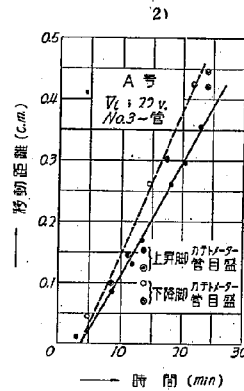
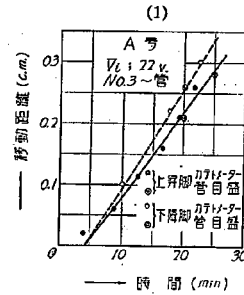
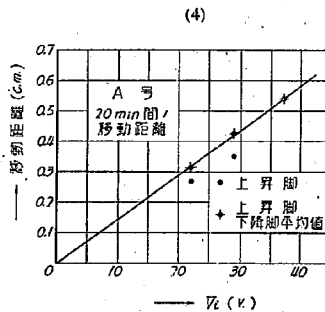
備考 右極を(+)とす。實驗順位②

第 26 表 (3)

試料名 A 號 実験管 No. 3
 実験温度 $16.6^{\circ}\text{C} \sim 17.2^{\circ}\text{C}$
 端子電壓 V_a ; ca. 250 V 電流
 内部電圧 V_i ; 37 V $1.75 \times 0.01\text{A}^{\circ}$

時 間 分(')秒(")	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメ ーター, 管目盛	カテトメ ーター, 管目盛
		$3.4 \frac{2}{20}\text{cm}$
$3' 15''$		$3.4 \frac{18}{20}$
$4' 25''$	$2.6 \frac{8}{20}$	
$6' 15''$	カテトメーター	$3.5 \frac{8}{20}$
$8' 30''$	の目盛外となり	$3.6 \frac{4}{20}$
$10' 45''$	たる故中止す。	$3.6 \frac{18}{20}$
$13' 0''$		$3.7 \frac{7}{20}$
$15' 15''$		$3.8 \frac{6}{20}$
$16' 45''$		$3.8 \frac{18}{20}$
$22' 20''$		$4.0 \frac{2-3}{20}$
$1' 15''$		3.30
$1' 20''$	1.67	
$7' 5''$		3.42
$7' 20''$	1.50	
$11' 45''$		3.58
$12' 0''$	1.35	
$16' 0''$		3.71
$16' 30''$	1.23	
$23' 30''$		3.91
$24' 0''$	0.98	

備考 右横を(+)とす。実験順位③



(1) 同じ傾向なるも V_i の 3 種の場合共に原點を通らず

(2) 下降部移動量 (○) と昇部 (●) より稍、多し

其の他は全く同一傾向を示した。第 33 圖 (1) (2) (3) (4) は第 26 表より求めし移動量～時間の關係である。上記の結果より粒子易動度 a_{01} , a_{02} , a_0 及び ζ ～電位を求め得る事も同じ。

A 號實驗結果下記の如し。

$k_u (\Omega^{-1} \text{cm}^{-1})$	k_s	$l_1 (\text{cm})$	l_2	l_s	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_s}{l}$	C_u	C_s
0.0091	0.00413	9.68	9.31	17.12	0.526	0.474	0.639	1.41
a_{01}	a_{02}	a_0	$\zeta (\text{m.v.})$					
0.325	33.5×10^{-5}	33×10^{-5}	69.9					

第 27 表 (1)

試料名 B 號
實驗溫度 $17.9^\circ\text{C} \sim 17.9^\circ\text{C}$
端子電壓 V_a ; 30 V
内部電壓 V_i ; 9.0 V

實驗管 No. 1
電流 0.0055A

時 間 分(°)秒(°)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	2.45cm $3.2^{18}/_{20}\text{cm}$	3.30cm $3.4^{12}/_{20}\text{cm}$
6' 48"		
8' 28"	$3.2^{15}/_{20}$	$3.4^{14}/_{20}$
13' 7"		
14' 26"	$3.2^{13}/_{20}$	$3.4^{17}/_{20}$
18' 52"		
21' 30"	$3.2^9/_20$	$3.4^{19}/_{20}$
23' 30"		
25' 48"	$3.2^9/_20$	$3.5^9/_20$
29' 30"		
33' 14"	$3.2^7/_20$	$3.5^9/_20$
36' 32"		
40' 16"	$3.2^5/_20$	$3.5^9/_20$
43' 25"		
47' 50"	$3.2^3/_10$	$3.5^{11}/_{20}$
50' 54"		
52' 35"	3.2	

備考 右極を(+)とす。内部電極間電氣抵抗
實驗前 1635 Ω 。後 1243 Ω 。實驗順位①

但し, a_0 (cm/sec/volt/cm)

B 號實驗結果: A 號と同じく滲透用乳劑にて實驗結果, I, J 號と全く同じ傾向を示すものにて, 界面上昇速度 (●) の方下降部速度 (○) より大となる。

$V_i = 9 \text{ V}; 16.3 \text{ V}; 25.3 \text{ V} \dots$ の

3 種を與ふ。

第 27 表 (1) (2) (3) 及び第 34 圖 (1)

(2) (3) (4) の意義全く上記の場合と同じなれば説明を省略す。

上記の實驗結果より直ちに a_{01} , a_{02} , a_0 ,

ζ を求め得。

B 號實驗結果下記の如し。

$k_u (\Omega^{-1} \text{cm}^{-1})$	k_s	$l_1 (\text{cm})$	l_2	l_s
0.00844	0.0048	9.55	8.70	17.00
$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_s}{l}$	C_u	C_s	
0.505	0.495	0.728	1.28	
a_{01}	a_{02}	a_0	$\zeta (\text{m.v.})$	
13.5×10^{-5}	12.3×10^{-5}	12.9×10^{-5}	27.3	

但し, a_0 (cm/sec volt/cm)

第 27 表 (2)

試料名 B 號 實驗管 No. 1
 實驗溫度 18.0°C ~ 18.0°C 電流 0.0113A°
 端子電壓 V_a ; 60 V 内部電壓 V_i ; 16.3

時 間 分(°)秒(°)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメ —ター, 管目盛	カテトメ —ター, 管目盛
	3.2cm	3.40cm
3' 16"	3.1 ¹⁸ / ₂₀	
4' 30"		3.5 ¹⁴ / ₂₀
6' 59"	3.1 ¹⁵ / ₂₀	
8' 20"		3.5 ¹⁶ / ₂₀
11' 14"	3.1 ¹² / ₂₀	
12' 44"		3.5 ¹⁹ / ₂₀
16' 35"	3.1 ⁹ / ₂₀	
18' 11"		3.6 ⁴ / ₂₀
21' 15"	3.1 ⁶ / ₂₀	
22' 30"		3.6 ⁷ / ₂₀
25' 47"	3.1 ⁴ / ₂₀	
27' 42"		3.6 ¹⁰ / ₂₀
30' 2'	3.1	
32' 22"		3.6 ¹³ / ₂₀
37' 51"	3.0 ¹⁸ / ₂₀	
40' 4"		3.6 ¹⁹ / ₂₀
45' 2"	3.0 ⁷ / ₂₀	

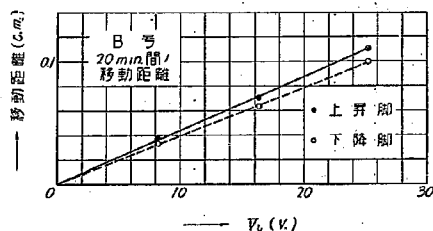
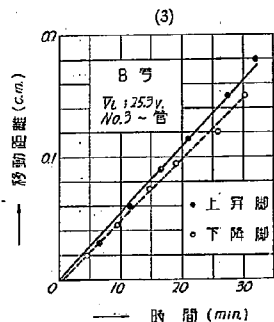
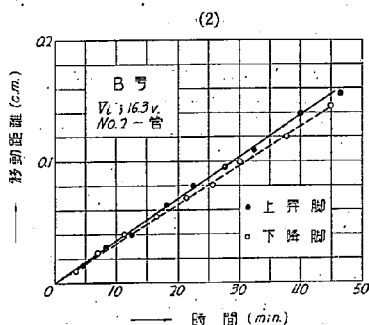
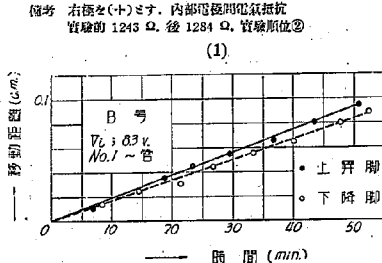
備考 右極を(+)とす。内部電極間電氣抵抗
 實驗前 1243 Ω 後 1284 Ω 實驗順位②

第 27 表 (3)

試料名 B 號 實驗管 No. 1
 實驗溫度 18.0°C ~ 18.0°C 電流 0.0171A°
 端子電壓 V_a ; 90 V 内部電壓 V_i ; 25.3 V

時 間 分(°)秒(°)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメ —ター, 管目盛	カテトメ —ター, 管目盛
	2.0 ⁹ / ₂₀ cm	3.55cm
4' 37"	2.0 ⁵ / ₂₀	
6' 33"		3.7 ⁸ / ₂₀
9' 25"	2.0	
11' 40"		3.7 ¹⁴ / ₂₀
14' 50"	1.9 ¹⁴ / ₂₀	
16' 28"		3.8
19' 3'	1.9 ¹⁰ / ₂₀	
21' 0"		3.8 ⁵ / ₂₀
25' 46"	1.5 ⁵ / ₂₀	
27' 22"		3.8 ¹² / ₂₀
30' 2'	1.8 ¹⁸ / ₂₀	
32' 2'		3.8 ¹⁸ / ₂₀

備考 右極を(+)とす。内部電極間電氣抵抗
 實驗前 1284 Ω 後 1262 Ω 實驗順位③



第 28 表 (1, 2, 3, 4)

試料名 C 號 稀釋濃度 60% 實驗管 No. 3
 實驗溫度 19.0°C ~ 18.5°C 電流
 端子電壓 V_a ; 220 V $0.55 \times 0.01A^\circ$
 内部電壓 V_i ; 11 V

時 間 分(秒)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメ ーター, 管目盛 3.2cm $2.3^{15}/_{20}cm$	カテトメ ーター, 管目盛 4.3cm $3.2^{13}/_{20}cm$
4' 30"	$2.3^{13}/_{20}$	
5' 10"		$3.2^{18}/_{20}$
8' 30"	$2.3^{10}/_{20}$	
9' 30"	$2.3^3/_{20}$	
10' 0"		$3.3^3/_{20}$
15' 30"		$3.2^{18}/_{20}$
16' 30"	$2.2^{10}/_{20}$	
22' 30"*	$2.2^4/_{20}$	
23' 40"		$3.4^3/_{20}$
27' 50"		$3.4^{12}/_{20}$
29' 20"	$2.1^{13}/_{20}$	
30' 30"		$3.4^{16}/_{20}$

* 30" 間停止す。

備考 右極を(+)とす。(+)極には, 無成極電極を用ふ。
 實驗順位①

試料名 C 號 稀釋濃度 80% 實驗管 No. 2
 實驗溫度 18.7°C ~ 18.6°C 電流
 端子電壓 V_a ; 60 V $10.22 \times 0.01A^\circ$
 内部電壓 V_i ; 15.4 V

時 間 分(秒)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメ ーター, 管目盛 5.4cm $2.7^8/_{20}cm$	カテトメ ーター, 管目盛 6cm $3.5^3/_{20}cm$
No. 1		
3' 30"	$2.7^8/_{20}$	
6' 0"	2.7	$3.6^2/_{20}$
8' 0"		$3.6^9/_{20}$
9' 0"	$2.6^{10}/_{20}$	
11' 30"		3.7
12' 30"	$2.6^4/_{20}$	
14' 0"		$3.7^9/_{20}$
15' 30"	$2.5^{14}/_{20}$	
16' 30"		$3.7^{13}/_{20}$
17' 30"	$2.5^8/_{20}$	
18' 30"		$3.8^2/_{20}$
20' 0"	$2.5^3/_{20}$	

備考 右極を(+)とす。電極位置左右, 13cm。
 實驗順位 ①

試料名 C 號 稀釋濃度 60% 實驗管 No. 3
 實驗溫度 18.5°C 電流
 端子電壓 V_a ; ca, 430 V $1.2 \times 0.01A^\circ$
 内部電壓 V_i ; 23 V

時 間 分(秒)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメ ーター, 管目盛 3.84cm $0.9^7/_{20}cm$	カテトメ ーター, 管目盛 3.62cm $1.0^{15}/_{20}$
2'		
2' 40"	$0.9^{12}/_{20}$	
7' 20"	$1.0^5/_{20}$	$0.9^{16}/_{20}$
11' 30"		$0.9^7/_{20}$
12' 0"	$1.0^{17}/_{20}$	
13' 45"	$1.1^3/_{20}$	
14' 30"		$0.8^{18}/_{20}$

備考 右極を(+)とす。(+)極には, 無成極電極を用ふ。
 實驗順位②

試料名 C 號 稀釋濃度 80% 實驗管 No. 2
 實驗溫度 18.7°C ~ 18.6°C 電流
 端子電壓 V_a ; 90 V $0.34 \times 0.01A^\circ$
 内部電壓 V_i ; 28 V

時 間 分(秒)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメーター	カテトメーター
1' 30"		$3.7^{15}/_{20}cm$
2' 30"	$2.5^{10}/_{20}cm$	
3' 30"		$3.7^5/_{20}$
4' 30"	$2.5^{16}/_{20}$	
7' 30"		$3.6^{10}/_{20}$
8' 30"	$2.6^{11}/_{20}$	
9' 30"		$3.6^4/_{20}$
10' 30"	$2.6^{17}/_{20}$	
13' 30"		$3.5^{18}/_{20}$
14' 30"	2.8	
16' 30"		$3.4^{13}/_{20}$
17' 30"	2.8	
18' 0"		$3.4^8/_{20}$
19' 30"	$2.8^9/_{20}$	
20' 30"		$3.3^{15}/_{20}$
21' 30"	$2.8^{15}/_{20}$	
22' 30"		3.3
23' 30"	$2.9^2/_{20}$	
24' 30"		$3.2^{15}/_{20}$

備考 左極を(+)とす。1 の實驗後極を反対にす
 實驗順位②

C 號實驗結果：混合用瀝青乳剤にて最初 No. 3 號泳動管により明瞭な界面を得んと工夫し第 28 圖のコック G_1 の開閉及び注入管 (C) 水柱差を適當にし數回繰返せしも失敗に終る。常に界面は鋸齒狀の凸凹甚しき面となる、之れ乳剤及び上液の表面張力の差異の大なる爲にて止むを得ず試料瀝青乳剤を濾液にて稀釋した。勿論稀釋する事により原乳剤の粒子界面電位差は影響を蒙る、即ち稀釋度に應じ ζ -電位が如何に變ずるかを知らる必要がある。濾液による稀釋の場合は ζ -電位の低下を來すものと推測し得るも未だ瀝青乳剤に對する此種研究の發表無し。唯著者¹⁵⁷⁾ が瀝青乳剤粘性の研究に於て粒子の界面動的電位差の項と稀釋濃度の直線關係式よりの偏差より稀釋による瀝青粒子 ζ -電位低下の問題を論じた。

今原乳剤を濾液にて 60%, 80% の稀釋濃度となし 24 時間放置し底部より取出し試料とした。(+) 電極は總て無成極即ち No. 3 號の場合の極により實驗す、左右兩界面 I, B 號の場合の如く明確ならざりしも實測に差支なく現状を保ちつゝ移動せし故其の儘實驗を行ふ。 C_m , C_s 計算に際し引用せし比電導度 k_s は第 II 部の研究結果より其稀釋度に應じ求め得。

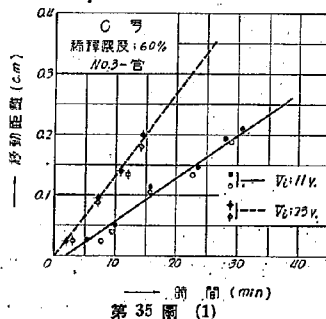
C 號稀釋濃度 60%……の實測値は第 28 表 (1) (2) に示す、電場は下記の V_1 により與へらる。 $V_1=11\text{ V}$; 23 V ……の 2 種とす。

第 35 圖は第 28 表 (1), (2) より求めしものである。 $V_1=11\text{ V}$, 23 V の場合に上昇下降速度同一なるも $V_1=11\text{ V}$ の場合のみ原點を通らざるも傾向は全く I, J 號と同じである。斯くの如く No. 3 號管使用の場合の左右兩界面移動速度の關係と次に述べら稀釋濃度 80%, No. 2 號管使用の場合に於ける兩者の關係とを比較すべし。III 章 [1] 節に述べし界面移動法實驗に於ける第 23 圖 [b] 及び第 24 圖に示せる如き現象の發生を示すものか更に研究を要すべきものである。

C 號稀釋濃度 80%：本試料にては濃度大なる爲か No. 3 號管にては實驗困難なりしを以て No. 2 號管を使用す。第 28 表 (3), (4) は實驗結果を示すものである、電場は下記 V_1 により與へらる。

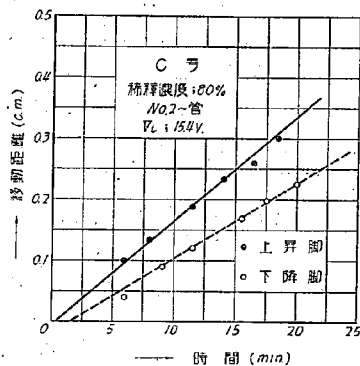
$V_1=15.4\text{ V}$; 28 V ……の 2 種とす。

第 35 圖 (2) (3) は第 28 表 (3), (4) より得し界面移動距離 x_1 , (x_2)~ t 時間關係を示

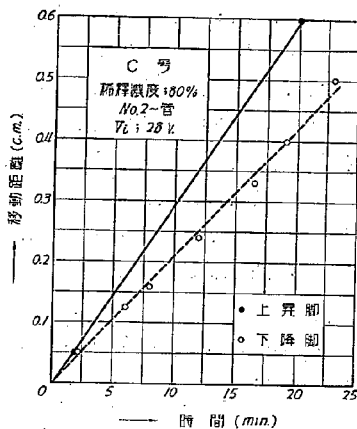


第 35 圖 (1)

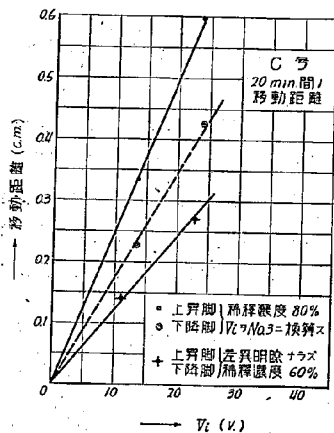
157) 島田八郎：前掲(2)。



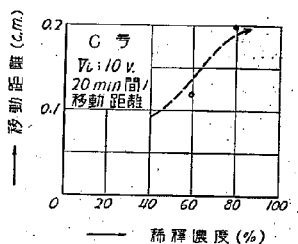
第 35 圖 (2)



第 35 圖 (3)



第 36 圖



第 37 圖

すもので總ての傾向は I 號等と同一なるも稀釋度 60%, No. 3 號管の實驗と比較するに上昇下降速度の差が著しい、即ち上昇部は下降部より大なる速度を示してゐる、Krytz-Willigen の現象 (E_0^s , E_0^u による) によるとすれば本實驗値とは反對になるべきである。又上述せし如く III 章 [1] 節の如き對流作用によるとすれば兩側に於て同じ程度の速度減少を表す管である。それ故實測せし斯かる現象は兩面に於ける粒子に對する粘性係數 (η_0) の見掛上の値の異なるによるものである。第 36 圖は 20 分間に於ける界面移動距離 (x_{1-20} , x_{2-20}) と加電壓 (V_L) との關係を示すものにて、稀釋濃度 60%, 80% の兩者の場合を記入す。80% の場合上昇●, 下降●速度の異なるを粘性係數の見掛上の値によると假定すれば 60% 場合との比較上、上昇下降の平均速度をとるべ

きである。第 35 圖, 第 36 圖に明かなる如く斯く稀釋せしものも力學的電氣學的に全く正規なる (Normal) 性状を示せし事は注目に値す。第 36 圖より $V_1=10$ V に對する 20 分間に於ける移動距離を明瞭に求め得, 第 37 圖は斯くして求めし移動距離と稀釋度 (%) との関係である。同圖縱軸距離は粒子易動度 (a_0) に比例する量にて其の變化は ζ -電位の變化傾向を示す。試験試料 2 種にて嚴密なる事は論じ得ざるも斯かる a_0 -濃度曲線より原乳剤の ζ -電位を推測し得。著者の粘性に於ける ζ -電位の變化傾向より判斷するも稀釋濃度 80 % 附近のものを以て原乳剤の易動度を示すものと解するに大なる誤差なし。今稀釋濃度 80% の實驗値より a_0 , ζ -電位等を求め原乳剤の値を推定す。

C 號結果下記の如し。

$k_w(\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$	k_s	$l_1(\text{cm})$	l_2	l_s	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_s}{l}$	C_{10}	C_0
0.00848	0.00381	8.80	7.70	19.6	0.457	0.54	0.600	1.34
a_{90}	a_{91}	a_0	$\zeta\text{m.v.}$					
52.6×10^{-5}	/	52.6×10^{-5}	100					

但し, a_0 (cm/sec/volt/cm)

第 29 表 (J, 2)

試料名 D 號 實驗管 No. 1
實驗溫度 $17.4^\circ\text{C} \sim 17.5^\circ\text{C}$ 電流 $(0.45 \sim$
端子電壓 $V_a; 30$ V $0.41 \times 0.01\text{A}^\circ$
内部電壓 $V_i; 7.3$ V

試料名 D 號 實驗管 No. 1
實驗溫度 $17.7^\circ\text{C} \sim 17.7^\circ\text{C}$ 電流
端子電壓 $V_a; c_a, .60$ V $0.93 \times 0.01\text{A}^\circ$
内部電壓 $V_i; 15.8$ V $\odot 0.88 \times 0.01\text{A}$

時 間 分()秒()	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
	カテトメ ーター, 管目盛	カテトメ ーター, 管目盛
0	4.11cm	3.98cm
	$4.6 \frac{1}{20}\text{cm}$	$4.6 \frac{7}{20}\text{cm}$
7' 0"		$4.6 \frac{18}{20}$
7' 30"		$4.7 \frac{1}{20}$
9' 30"	$4.5 \frac{12}{20}$	
11' 20"		$4.7 \frac{3}{20}$
17' 0"		$4.7 \frac{5}{20}$
18' 0"	$4.5 \frac{9}{20}$	
22' 30"		$4.7 \frac{7}{20}$
23' 30"	$4.5 \frac{7}{20}$	
31' 0"	$4.5 \frac{1}{20}$	
32' 0"		$4.7 \frac{11}{20}$
41' 0"	$4.4 \frac{14}{20}$	
42' 0"		$4.7 \frac{11}{20}$
50' 30"		

備考 右極を(+)とす。電極には白金黒を附
せず。實驗順位①

時 間 分()秒()	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
	カテトメ ーター, 管目盛	カテトメ ーター, 管目盛
0	3.63cm	4.13cm
	$4.4 \frac{0}{20}\text{cm}$	$4.6 \frac{18}{20}\text{cm}$
5' 0"		$4.7 \frac{3}{20}$
6' 20"	4.4	
9' 0"		$4.7 \frac{7}{20}$
10' 0"	$4.3 \frac{14}{20}$	
13' 30"		$4.7 \frac{13}{20}$
15' 30"	$4.3 \frac{6}{20}$	
20' 0"		4.8
21' 0"	$4.3 \frac{1}{20}$	
24' 30"		$4.8 \frac{1}{20}$
25' 30"	$4.2 \frac{14}{20}$	
26' 30"	④	$4.8 \frac{8}{20}$
30' 45"		$4.8 \frac{9}{20}$
31' 30"	$4.2 \frac{5}{20}$	
35' 0"		$4.8 \frac{11}{20}$
35' 40"	$4.2 \frac{3}{20}$	
41' 0"		$4.8 \frac{17}{20}$
41' 40"	$4.1 \frac{12}{20}$	
46' 30"		$4.9 \frac{1}{20}$
48' 0"	$4.1 \frac{8}{20}$	

備考 右極を(+)とす。(+)極には膠質物を沈
積す。下降脚界面に (1~2mm) 分離層を
生ず。實驗順位②

第 29 表 (3)

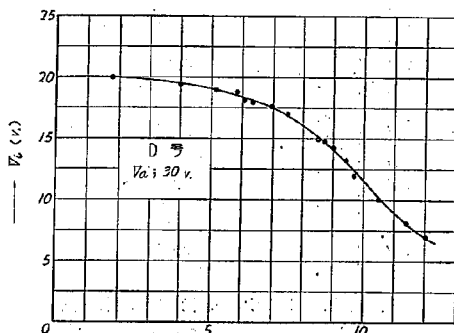
試料名 D 號 實驗管 No. 1
 實驗溫度 17.6°C~18.4°C 電流 $1.4 \times 0.01A^0$
 端子電壓 V_a ; ca. 90 V * $1.3 \times 0.01A^0$
 内部電壓 V_i ; 23.5~24 V

時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カタクメ —ター—, 管目盛 4.1 $\frac{9}{20}$ cm	カタクメ —ター—, 管目盛 4.23cm 4.8 $\frac{18}{20}$ cm
5′ 0″	4.0 $\frac{18}{20}$	
6′ 0″		4.9 $\frac{10}{20}$
8′ 30″	4.0 $\frac{13}{20}$	
10′ 30″		4.9 $\frac{14}{20}$
13′ 50″	3.9 $\frac{18-19}{20}$	
15′ 30″		5.0 $\frac{2}{20}$
20′ 0″	3.9 $\frac{8}{20}$	
21′ 30″		5.0 $\frac{8}{20}$ *
28′ 0″	3.8 $\frac{15}{20}$	5.0 $\frac{18}{20}$ *
29′ 30″		5.1 $\frac{4}{20}$
33′ 0″	3.8 $\frac{7}{20}$	
34′ 30″		5.1 $\frac{10}{20}$
38′ 30″	3.7 $\frac{15}{20}$	
40′ 0″		5.2 *
51′ 0″	3.6 $\frac{17}{20}$	
52′ 20″		5.2
55′ 45″	3.5 $\frac{10}{20}$	
58′ 30″		5.2 $\frac{7}{20}$

備考 右縁を(+)とす。*₁ 1′30″ 休止電極を
 掃除す。*₂ 1′10″ 同上。實驗順位③

間が如何に變化せるかを明かに示してゐる。

下降部 (○) は實驗の時間内にては略々正規性狀を示すも上昇部 (●) は最初 I 號の場



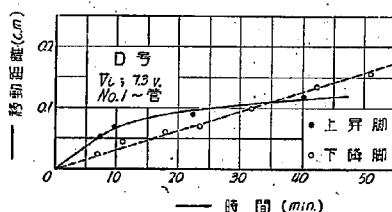
第 38 圖

(40)

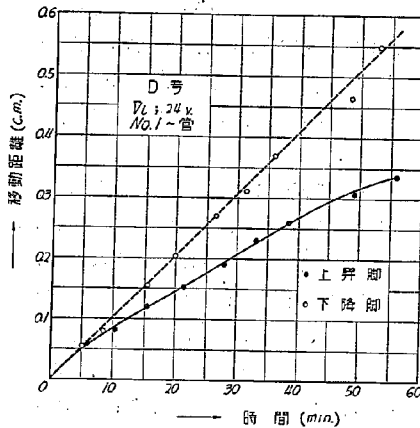
D 號實驗結果: C 號と同様混合用乳劑で
 ある本試料は最初 II 章 [4] 節の無成極電
 極の研究に使用せしものである。No. 1 號管
 にて實驗し得る場合も可成り多數あるも D
 號に於て特に著しき差異を示した。No. 3 號
 管の優秀な點を示す爲一應實驗結果を述べ
 ん。第 29 表 (1) (2) (3) は No. 1 號管による實
 驗結果にて電場強さは下記 V_i により與ふ。

$V_i = 7.3 V: 15.8 V \quad 25 V \dots$ の 4 種
 を加ふ。

本實驗に於ては (+) 主電極に常に沈積物
 を生じ (+) 極側の上昇速度は直ちに低減す
 るものである。10 分以上實驗を繼續する事不
 可能となる。即ち主電極に於ける沈積物の影
 響により有効 V_i 電位著しく減少す。第 38
 圖は其の一例を示すものである。電流通過後
 5 分にて既に V_i の減少が現れ 10 分にて 1/2
 に減少した。第 39 圖 (1) (2) (3) は上記第 29
 表 (1) (2) (3) より得しものにて界面移動時



第 39 圖 (1)

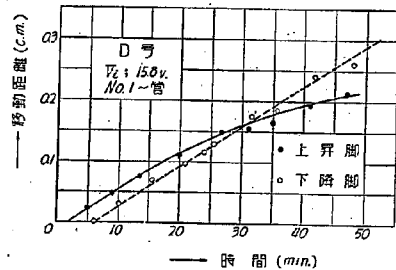


第39圖(2)

第30表(1)

試料名 D 號		實驗管 No. 3	
實驗溫度 17.6°C~18.2°C		電流	
端子電壓 V_a ; c_a , 175V		0.50×0.01A°	
内部電壓 V_i ; 8.5V			
時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置		
	左 脚	右 脚	
0	カテトメ, 管目盛 — — —, 3.5cm	カテトメ, 管目盛 — — —, 3.3cm	
6′ 30″	2.6 ¹⁴ / ₂₀ cm	2.7 ⁹ / ₂₀ cm	
7′ 40″			
9′ 30″	2.6 ¹¹ / ₂₀	2.7 ¹¹ / ₂₀	
10′ 30″	2.6 ⁹ / ₂₀	2.7 ¹⁴ / ₂₀	
17′ 0″	2.6 ⁴ / ₂₀		
18′ 0″		2.7 ¹⁸ / ₂₀	
21′ 15″	2.6 ³ / ₂₀		
22′ 15″		2.7 ²⁰ / ₂₀	
32′ 30″	2.5 ¹⁹ / ₂₀		
33′ 30″		2.8 ⁵ / ₂₀	
39′ 10″	2.5 ¹⁰ / ₂₀		
40′ 30″		2.8 ¹² / ₂₀	
43′ 15″	2.5 ⁸ / ₂₀		
46′ 30″		2.8 ¹⁵ / ₂₀	
50′ 0″	2.5 ⁵ / ₂₀		
51′ 30″		2.8 ¹⁹ / ₂₀	
57′ 0″	2.5 ³ / ₂₀		

備考 右極を(+)とす。(+)極には無成極電極を用ふ。實驗順位①



第39圖(3)

第30表(2)

試料名 D 號		實驗管 No. 3	
實驗溫度 18.7°C~19.5°C		電流	
端子電壓 V_a ; c_a , 300V		0.9×0.01A°	
内部電壓 V_i ; 15V			
時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置		
	左 脚	右 脚	
0	カテトメ, 管目盛 — — —, 3.5cm	カテトメ, 管目盛 — — —, 3.3cm	
	2.30cm	2.6 ¹⁶ / ₂₀ cm	
3′ 30″		2.7 ¹ / ₂₀	
4′ 20″	2.2 ¹⁹ / ₂₀		
8′ 0″		2.7 ² / ₂₀	
8′ 45″	2.2 ⁹ / ₂₀		
11′ 45″		2.7 ¹⁰ / ₂₀	
13′ 0″	2.2 ⁶ / ₂₀		
17′ 30″		2.7 ¹³ / ₂₀	
18′ 40″	2.2 ² / ₂₀		
21′ 30″		2.8	
22′ 0″	2.1 ¹⁹ / ₂₀		
27′ 40″		2.8 ⁸ / ₂₀	
28′ 30″	2.1 ⁹⁻¹⁰ / ₂₀		
31′ 15″		2.8 ¹¹ / ₂₀	
32′ 30″	2.1 ⁵ / ₂₀		
36′ 0″		2.8 ¹⁸ / ₂₀	
38′ 0″	2.0 ¹⁹ / ₂₀		
41′ 45″		2.9 ⁴ / ₂₀	
42′ 40″	2.0 ¹⁶ / ₂₀		
50′ 30″	2.0 ⁹ / ₂₀		
54′ 30″		2.9 ¹¹ / ₂₀	
55′ 30″	2.0		
61′ 30″		2.9 ¹⁹ / ₂₀	
62′ 30″	1.9 ⁸⁻¹⁰ / ₂₀		

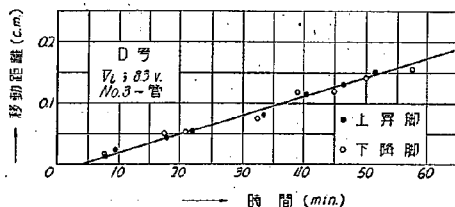
備考 右極を(+)とす。(+)極には無成極電極を用ふ。實驗順位②

第 30 表 (3)

試料名 D 號 實驗管 No. 3
 實驗溫度 19.7°C~19.2°C 電流
 端子電壓 V_a ; ca, 500V $1.4 \times 0.01A^\circ$
 内部電壓 V_i ; 25V

時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚 カソード, 管目盛	右 脚 アノード, 管目盛
0	$2.0^{15}/_{20}cm$	$2.86^{5}/_{20}cm$
3′ 15″		2.8
4′ 15″	$2.0^{10}/_{20}$	
5′ 40″		$2.9^{1}/_{20}$
7′ 0″	$2.0^{5}/_{20}$	
9′ 30″		$2.9^{2}/_{20}$
10′ 15″	$1.9^{3}/_{20}$	
13′ 45″	1.9	
14′ 40″		2.9
17′ 30″	$1.8^{14}/_{20}$	
19′ 0″		$2.9^{12}/_{20}$
21′ 30″	$1.8^{8}/_{20}$	
26′ 45″	$1.7^{16}/_{20}$	
30′ 0″	$1.7^{7}/_{20}$	
34′ 40″	$1.6^{13}/_{20}$	
38′ 10″	$1.6^{8}/_{20}$	
40′ 30″	1.6	
42′ 0″		$3.1^{3}/_{20}$
15′ 45″		3.74
22′ 0″		3.8
31′ 0″		3.85
36′ 15″		3.9
42′ 0″		3.94

備考 右極を(+)とす。(+)極には無成極電極を用ふ。上昇脚界面に粒子立昇る如き傾向をとり、不明瞭となる散管目盛にて測定す。實驗順位③



第 40 図 (1)

動管による實驗結果より D 號も界面移動に關し I 號の如き一般の場合と同様の傾向を示す事を明かにした。一方試料の成分により電氣泳動的にも可成り複雑な現象の生じ得る事

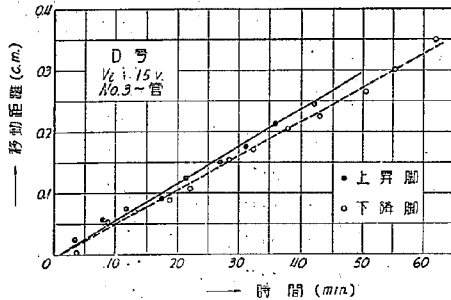
合の如く下降部に比し略 1 同一なる速度を有するも第 38 圖の影響にて直ちに速度を減じてゐる。斯かる結果なれば(+)極を無成極とする必要を生じ茲に No. 3 號管を使用す。

No. 3 號管による實驗結果: 實驗方法其他條件全部同一なれば結果のみ簡単に記述す。電場は下記の V_i により與へられる。

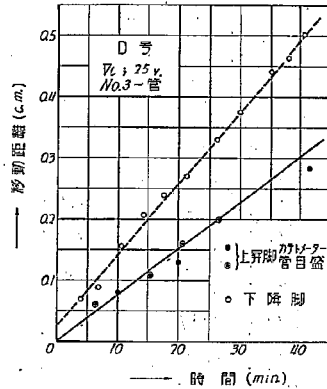
$V_i = 8.5 V; 15 V; 25 V \dots$ の 3 種を加ふ、第 30 表 (1) (2) (3) は 3 種の實驗値を示す。實驗結果を見るに $V_i = 8.5 V; 15 V \dots$ の場合は界面上昇下降速度略 1 同一にして一般の場合と全く同様な移動をなすも、 $V_i = 25 V$ の場合に至り上昇側速度著しく減少する傾向が現れて来る、本實驗は 8.5 V; 15 V; 25 V の順序に連續し行へるものである。如何に無成極電極を使用するも長時間電流を通ずる事により (+) 極部に成極作用を發生するものである。第 40 圖 (1) (2) (3) は第 30 表 (1) (2) (3) を圖示せるものである。更に著しき事は $V_i = 25 V$ の場合に至りて上昇脚界面に於て粒子立昇り界面攪亂するが如き傾向を示し測定不

可能となる。本實驗の場合は正規の場合にて上昇下降同一速度なれば 3 種の V_i に対する 20 分間の移動を見るに上昇部無き場合は下降側速度を標準とす、第 41 圖は斯くして求めし移動距離 (x_{12-20}) ~ V_i 關係である。上記 2 種の泳

を知った。第41圖は電気泳動的にも正統的な事を示す、同圖“○”は No. 1 號管による實驗結果“φ”は No. 3 號管による結果を示すものである。斯くの如く、○、φ…點の全く同一直線上に來りしは注目に値するものである。I、J 號等と同様に粒子易動度 (a_0) を明瞭に定義し得、第41圖より a_0 及び ζ -電位を換算した。



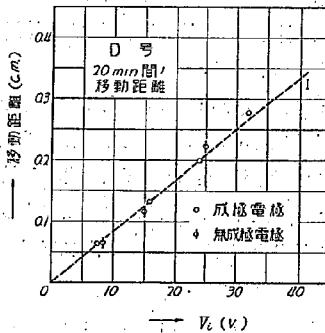
第40圖(2)



第40圖(3)

D 號實驗結果下記の如し、

$k_n (\Omega^{-1} \text{cm}^{-1})$	k_s	$l_1 (\text{cm})$	l_2	l_s	$\frac{l_1 + l_2}{l}$	$\frac{l_s}{l}$	C_u	C_s
0.0108	0.00470	3.5	3.3	29.31	0.191	0.790	0.500	1.15
a_{01}	a_{02}	a_0	$\zeta \text{ m.v.}$					
/	26×10^{-5}	26×10^{-5}	55.2					



第41圖

但し、 a_0 (cm/sec/volt/sec)

上記 C 號實驗結果と比較するに同じ混合用なれども C 號の場合と異り界面に立昇りの傾向等發生し實驗に困難を伴つた。D 號は多量の保護ゾルを含有せるもので商品名としてはセメント混合用と稱せられてゐる。電気泳動的に見たる易動度は $a_0 = 26 \times 10^{-5}$ にて C 號に比し約 1/2 である。然るに分解値 (安山岩) は反對に C 號の 1/2 程度である。此一例を見るも分解値と易動度 (a_0) を比較する場合成分異なる乳剤に對しては特に保護ゾルの影

第 31 表 (1, 2, 3)

試料名 E 號 實驗管 No. 1
 實驗溫度 18.5°C ~ 18.7°C 電流 0.0033A
 端子電壓 Va; 30 V
 内部電壓 Vi; 9.0 V

時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
	カテトメ, ター, 管目盛	カテトメ, ター, 管目盛
0	3.70cm 4.1 ¹¹ / ₂₀ cm	4.10cm 4.3 ¹⁹ / ₂₀ cm
3′ 30″		4.4
4′ 45″		4.4 ² / ₂₀
7′ 20″	4.1 ⁷ / ₂₀	4.4 ⁵ / ₂₀
8′ 45″	4.1 ⁵ / ₂₀	4.4 ⁶ / ₂₀
11′ 10″	4.1 ³ / ₂₀	4.4 ⁹ / ₂₀
12′ 35″	4.1 ³ / ₂₀	4.4 ¹² / ₂₀
14′ 35″	4.1 ³ / ₂₀	4.4 ¹⁵ / ₂₀
17′ 0″	4.1 ³ / ₂₀	4.4 ¹⁸ / ₂₀
18′ 45″	4.1 ³ / ₂₀	4.4 ¹⁸ / ₂₀
20′ 13″	4.1 ³ / ₂₀	4.4 ¹⁸ / ₂₀
23′ 60″	4.0 ¹⁸ / ₂₀	4.4 ¹⁸ / ₂₀
25′ 45″	4.0 ¹⁸ / ₂₀	4.4 ¹⁸ / ₂₀
30′ 35″	4.0 ¹⁸ / ₂₀	4.4 ¹⁸ / ₂₀
31′ 58″	4.0 ¹⁸ / ₂₀	4.4 ¹⁸ / ₂₀
36′ 13″	4.0 ¹⁸ / ₂₀	4.5 ² / ₂₀
38′ 35″	4.0 ¹⁸ / ₂₀	4.5 ² / ₂₀
40′ 50″	4.0 ¹⁸ / ₂₀	4.5 ² / ₂₀
43′ 55″	4.0 ¹⁸ / ₂₀	4.5 ² / ₂₀

備考 右極を(+)す。内部電極間電氣抵抗
 實驗前 2203Ω, 後 2187Ω, 實驗順位 1

試料名 E 號 實驗管 No. 3
 實驗溫度 18.2°C ~ 18.2°C 電流 0.01015A
 端子電壓 Va; 90 V
 内部電壓 Vi; 27.8 V

時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
	カテトメ, ター, 管目盛	カテトメ, ター, 管目盛
0	3.9cm 3.55cm	4.39cm 4.6 ¹⁹ / ₂₀ cm
7′ 25″		4.7 ¹¹ / ₂₀
8′ 25″	3.8 ⁶ / ₂₀	4.7 ¹⁵ / ₂₀
9′ 42″	3.8 ⁸ / ₂₀	4.8 ³ / ₂₀
11′ 45″	3.7 ¹⁸ / ₂₀	4.8 ⁶ / ₂₀
13′ 18″	3.7 ¹⁵ / ₂₀	4.8 ¹⁰ / ₂₀
14′ 40″	3.7 ⁹ / ₂₀	4.8 ¹⁴ / ₂₀
16′ 22″	3.7 ⁶ / ₂₀	4.8 ¹⁷ / ₂₀
17′ 30″	3.7 ³ / ₂₀	
18′ 55″	3.7 ³ / ₂₀	
20′ 17″	3.7 ³ / ₂₀	
21′ 28″	3.7 ³ / ₂₀	
22′ 40″	3.7 ³ / ₂₀	
23′ 55″	3.7 ³ / ₂₀	
25′ 3″	3.7 ³ / ₂₀	

備考 右極を(+)す。内部電極間電氣抵抗
 實驗前 2257Ω, 後 2250Ω, 實驗順位 3

試料名 E 號 實驗管 No. 2
 實驗溫度 18.5°C ~ 18.2°C 電流 0.0068A
 端子電壓 Va; 60 V
 内部電壓 Vi; 21.3 V

時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
	カテトメ, ター, 管目盛	カテトメ, ター, 管目盛
0	3.6cm 4.0 ¹⁸ / ₂₀ cm	4.23cm 4.5 ⁹ / ₂₀ cm
4′ 20″	4.0 ⁸ / ₂₀	4.5 ⁹ / ₂₀
5′ 20″		4.5 ¹² / ₂₀
8′ 30″	4.0 ⁶ / ₂₀	4.5 ¹⁵ / ₂₀
9′ 45″	4.0 ³ / ₂₀	4.6 ¹ / ₂₀
11′ 35″	4.0 ³ / ₂₀	4.6 ⁴ / ₂₀
12′ 57″	3.9 ¹⁹ / ₂₀	4.6 ⁸ / ₂₀
15′ 10″	3.9 ¹⁵ / ₂₀	4.6 ¹² / ₂₀
16′ 40″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁵ / ₂₀
18′ 27″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁸ / ₂₀
19′ 35″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁸ / ₂₀
20′ 52″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁸ / ₂₀
22′ 0″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁸ / ₂₀
23′ 23″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁸ / ₂₀
25′ 7″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁸ / ₂₀
26′ 18″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁸ / ₂₀
29′ 32″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁸ / ₂₀
30′ 50″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁸ / ₂₀
33′ 13″	3.9 ¹¹ / ₂₀	4.6 ¹⁸ / ₂₀

備考 右極を(+)す。内部電極間電氣抵抗
 實驗前 2187Ω, 後 2259Ω, 實驗順位 2

遷を考慮に入れる必要のあることが分る,

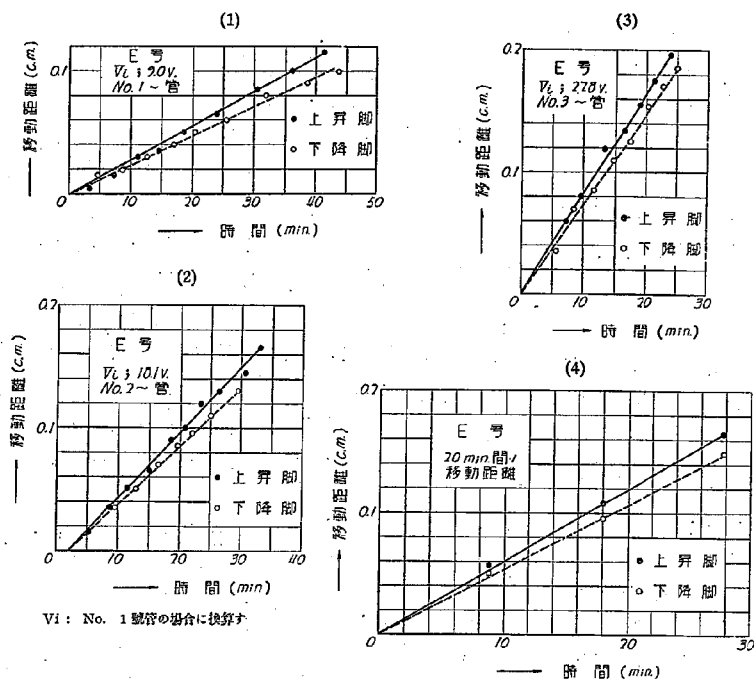
Pickering 乳劑に就て特に然りとす。

[6] M~社 E, F 號實驗結果

本試料も滲透混合用のものである、一般に電氣泳動實驗は滲透用容易なれば滲透用 E 號より述べん。

E 號實驗結果：第 31 表 (1) (2) (3) は實驗結果を示すものにて左右界面移動に関する移動距離 (x_1 , x_2) ~ 時間關係は一般性的のものと同じものにて力學的に少しも異常性なき事を明かにす、電場は下記の V_i により與へられ。

$V_i = 9.0 \text{ V}; 18.1 \text{ V}; 27.8 \text{ V}; \dots$ の 3 種



第 42 圖

を加ふ。且つ泳動管も No. 1, No. 2, No. 3 …… と各種のものを使用せしに全部明瞭に界面移動を測定し得た。第 42 圖 (1) (2) (3) は第 31 表 (1) (2) (3) より得たる關係式である。粘性係數等全く正規性である、更に 20 分間の移動距離 (x_{1-20} , x_{2-20}) ~ 電壓 (V_i) 關係を第 42 圖 (4) の如く求む。此關係より見るも全く電氣的にも正規性なる事を知る、従つて粒子易動度 (a_0), ζ ~ 電位も容易に求め得。

E 號實驗結果下記の如し。

$k_u (\Omega^{-1} \text{cm}^{-1})$	k_s	$l_1 (\text{cm})$	l_2	l_s	C_u	C_s
0.00479	0.00217	8.30	7.90	19.91	0.599	1.326
a_{01}	a_{02}	a_0	$\zeta (\text{m.v.})$			
18.0×10^{-5}	17.4×10^{-5}	17.7×10^{-5}	37.5			

但し, a_0 (cm/sec/volt/cm)

然るに混合用 F 號の實驗は困難であつた。

F 號實驗結果：先づ泳動管内に界面作成せんに種々困難あり，No. 1 號，No. 3 號にて數回試みたるも終に失敗す。III 章 [2] 節寫眞第 5 の如きコック C_4 , C_5 付き No. 2 號管を用ひた，使用に際し常に濾液にて全體を潤しコック (C_4 , C_5) を閉ぢ倒位置に於て

第 32 表 (1, 2, 3)

試料名 F 號 稀釋濃度 80% 實驗管 No. 2
實驗溫度 16.1°C
端子電壓 V_a ; 100V 電流 $0.25 \times 0.01A$
内部電壓 V_i ; 35V

時 間 分(°)秒(°)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメ ーター，管目盛	カトデメー ター
3' 0"	界面齒狀を呈し	15.3 ¹⁸ / ₂₀
6' 50"	測定困難となる	15.4 ¹¹ / ₂₀
11' 20"	以下省略す。(界	15.5 ⁹ / ₂₀
15' 0"	面擾亂は全く電	15.5 ¹¹ / ₂₀
22' 40"	角平均原因に由	15.6 ⁹ / ₂₀
27' 10"	るものでない)	15.7 ¹⁴ / ₂₀
31' 20"		15.7 ¹⁹ / ₂₀
		15.8 ¹¹ / ₂₀

備考 右極を(+)とす。

試料名 F 號 稀釋濃度 80% 實驗管 No. 2
實驗溫度 16.1°C~16.5°C
端子電壓 V_a ; ca, 62 V 電流 $0.15 \times 0.01A$
内部電壓 V_i ; 22 V

時 間 分(°)秒(°)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	同上理由により	カトデメー ター
0'	測定省略す。	
14' 30"		15.8 ¹³ / ₂₀
20' 10"		15.9 ¹⁵ / ₂₀
28' 30"		16.0 ⁹ / ₂₀
35' 20"		16.1 ⁹ / ₂₀
40' 0"		16.1 ¹³ / ₂₀
45' 0"		16.2 ² / ₂₀
		16.2 ¹² / ₂₀

備考 右極を(+)とす。

空気を追ひ出しつゝ乳劑を注入しコック (C_1) を閉ぢ正規の位置となし全装置を固定し全體に濾液を満し，平衡状態となし然る後コック (C_4 , C_5) を静かに且つ速に開く。斯くするも明瞭な界面を得る事難く遂に原液を濾液にて稀釋濃度 80 % となすも尙齒狀界面を呈した。本章 [5] 節 C 號の場合の論說に従ひ稀釋濃度 80 % に對する結果により原乳劑の性状を推測した。第 32 表 (1) (2) (3) は實驗結果を示す。

試料名 F 號 稀釋濃度 80% 實驗管 No. 2
實驗溫度 15.5°C~16.1°C 電流
端子電壓 V_a ; ca, 150 V $0.355 \times 0.01A$
内部電壓 V_i ; 50 V

時 間 分(°)秒(°)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	管 目 盛	カテトメ ーター，管目盛
		5.4cm
		13.7 ⁸ / ₂₀ cm
1' 0"	3cm	
3' 20"		13.8 ⁸ / ₂₀
10' 15"		14.0 ⁷ / ₂₀
11' 0"	2.72	
13' 0"		14.1 ⁴ / ₂₀
15' 50"	2.62	
41' 30"		14.8 ¹¹ / ₂₀
42' 0"	2.18	
49' 0"		14.9 ¹ / ₂₀
50' 0"	1.97	
64' 0"		15.3 ¹³ / ₂₀
65' 0"	1.76	

備考 右極を(+)とす，電極位置左右共 16cm
 $l=42.5cm$

電場の強さは下記加電壓 V_i にて與へらる。

$V_i=22V$; $35V$; $50V$ ……の 3 種を加ふ，界面の齒狀は特に左側下降脚に於て甚し

く、實驗は $V_1=50$ V, 35V, 22 V の順序に行ひし爲 $V_1=50$ V の場合は上昇下降速度略、同一に觀測されしも $V_1=35$ V, 22 V の兩者にては上昇部のみに於て實測するも下降部實測は遂に中止す。

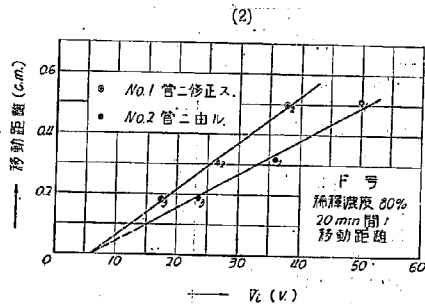
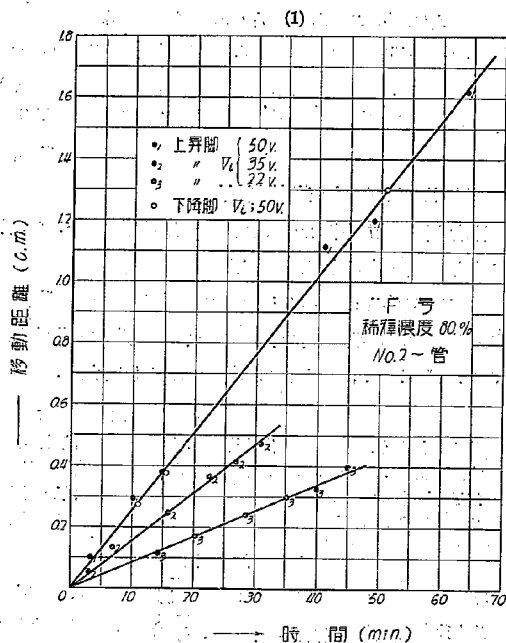
第 43 圖 (1) は移動距離 (x_1, x_2) ~ 時間の關係を示すものにて “●” 上昇部 “○” 下降部を示す。更に 20 分間移動距離 (x_{1-20}, x_{2-20}) ~ V_1 の關係を求めんに本實驗は No. 2 號管 ($l=42.5$ cm) ならば No. 3 號管 ($l=36.11$ cm) に比し同じ V_1 に對し電場の強さ少し。No. 1, No. 3 の場合に換算するを要す。

第 43 圖 (2) の内 “○” 記號は No. 3 號管に換算せる V_1 に對する 20 分間移動距離 (x_{1-20}, x_{2-20}) と V_1 との關係を示す。

F 號による實驗結果を見るに特異な性狀を示した、即ち電氣泳動現象に於て力學的異常性無き事は I 號等多くの乳劑と全く同様なるも電氣的には異常性ある如く、第 43 圖 (2) の示す如く或

V_1 以上に於て移動距離 (x_{1-20}, x_{2-20}) が始めて測定されるかの如き傾向を示す。易動度 (a_0) 等の換算には正規に達せし狀態に於ける値を用ふ。斯くの如く定義する事により a_0 ~ 電位を求め得。

F 號實驗結果下記の如し。



第 43 圖

$k_{11}(\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$	k_2	$l_1(\text{cm})$	l_2	l_3	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_3}{l}$	C_u	C_s
0.00635	0.00234	13.0	10.6	18.9	0.555	0.445	0.567	1.54
a_{01}	a_{02}	a_0	$\zeta(\text{m.v.})$					
35×10^{-5}	/	35×10^{-5}	67.8					

但し, a_0 (cm/sec./volt/cm.)

[7] E~社 G, H 號實驗結果

兩者も同一會社製にかゝる滲透混合用乳劑である。兩者は界面作成及び實驗を容易に行ふ事を得。先づ G 號より述べん。

G 號實驗結果：第 33 表 (1) (2) (3) は No. 1 號管による實驗結果にて特に No. 3 號を使用する 必要なく兩界面共に一様に異常なく移動す、電場は下記の電壓により與へらる。 $V_1=7.6\text{ V}$; 18 V ; 27 V の 3 種を加ふ。

第 33 表 (1, 2, 3)

試料名 G 號 實驗管 No. 1
實驗溫度 $18.2^\circ\text{C} \sim 18.3^\circ\text{C}$ 電流 0.0047 A
端子電壓 V_a ; 30 V
内部電壓 V_i ; 7.6 V

試料名 G 號 實驗管 No. 1
實驗溫度 $18.3^\circ\text{C} \sim 18.3^\circ\text{C}$ 電流 0.01 A
端子電壓 V_a ; 60 V
内部電壓 V_i ; 18 V

時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	2.53cm $2.9 \frac{4}{20}\text{cm}$	2.58cm $2.8 \frac{6}{20}\text{cm}$
8′ 48″	$2.8 \frac{8}{20}$	
9′ 10″		$2.9 \frac{3}{20}$
16′ 20″	$2.8 \frac{11}{20}$	2.9
18′ 53″		
22′ 33″	$2.8 \frac{13}{20}$	
24′ 16″		$2.8 \frac{18}{20}$
29′ 25″	$2.8 \frac{17}{20}$	
30′ 26″		$2.8 \frac{14}{20}$
31′ 53″	$2.8 \frac{18}{20}$	
33′ 3″		$2.8 \frac{13}{20}$
35′ 10″	$2.9 \frac{1}{20}$	
36′ 31″		$2.8 \frac{12}{20}$
39′ 30″	$2.9 \frac{2}{20}$	
40′ 45″		$2.8 \frac{10}{20}$
43′ 21″	$2.9 \frac{5}{20}$	

時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	2.41cm $2.7 \frac{18}{20}\text{cm}$	2.70cm $2.9 \frac{5}{20}\text{cm}$
10′ 51″		$3.0 \frac{2}{20}$
12′ 51″	$2.7 \frac{7}{20}$	
13′ 39″	$2.7 \frac{6}{20}$	
14′ 52″		$3.0 \frac{6}{20}$
16′ 17″	$2.7 \frac{2}{20}$	
18′ 38″		$3.0 \frac{11}{20}$
20′ 17″	$2.6 \frac{18}{20}$	
24′ 9″		$3.0 \frac{18}{20}$
25′ 30″	$2.6 \frac{14}{20}$	
26′ 47″		$3.1 \frac{10}{20}$
29″ 4″	$2.5 \frac{15}{20}$	

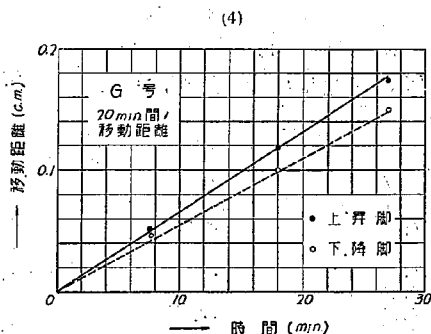
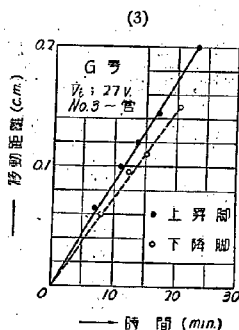
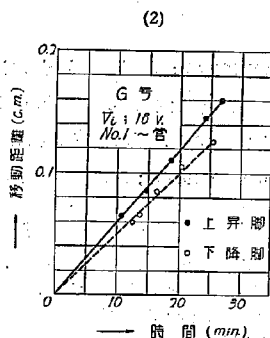
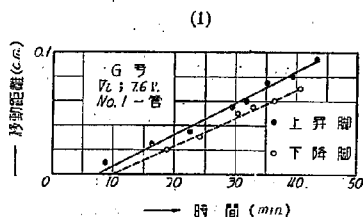
備考 右極を(+)とす 内部電極間電氣抵抗
實驗前 1508Ω . 後 1546Ω . 實驗順位③

備考 右極を(+)とす. 内部電極間電氣抵抗
實驗後 1508Ω . 實驗順位①

試料名 G 號 實驗管 No. 1
 實驗溫度 18.3°C ~ 18.3°C 電流 0.0149A
 端子電壓 V_a ; 90 V
 内部電壓 V_i ; 27 V

時間 分(秒)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメ ーター, 管目盛 2.5 ¹⁴ / ₂₀ cm	カテトメ ーター, 管目盛 3.1 ¹⁰ / ₂₀ cm
6' 58"		3.2 ³ / ₂₀
7' 58"	2.5 ² / ₂₀	
10' 57"		3.2 ¹⁰ / ₂₀
12' 20"	2.4 ¹⁵ / ₂₀	
13' 42"		3.2 ¹⁴ / ₂₀
15' 14"	2.4 ¹² / ₂₀	
17' 8"		3.2 ¹⁸ / ₂₀
20' 35"	2.4 ⁴ / ₂₀	
23' 15"		3.3 ¹⁰ / ₂₀

備考 右極を(+)とす。内部電極間電氣抵抗
 實驗前 1546 Ω 。後 1502 Ω 。實驗順位③



第 44 圖

上昇速度 (●) 常に大にして力學的にも電氣的にも全く異常性なき事を示す。第 44 圖
 (1) (2) (3) (4) は此等移動量の諸關係を示すものにて説明省略するも本試料が如何に正規
 性なるやを示す。

斯くの如きものなれば粒子易動度 (a_0) 及び ζ -電位も全く一般の場合と同様に求め得。

G 號實驗結果下記の如し。

$k_u(\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$	k_s	l_1	l_2	l_3	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_3}{l}$	C_u	C_s
0.00796	0.00325	9.59	9.30	17.11	0.525	0.475	0.592	1.451
α_{01}	α_{02}	α_0	$\zeta(\text{m.v.})$					
19.6×10^{-5}	16.9×10^{-5}	18.3×10^{-5}	38.7					

但し, α_0 (cm/sec/volt/cm)

H 號實驗結果: H 號は混合用なれども他の混合用乳劑 C, D, F 號等と異り電氣泳動實驗に全く困難なく No. 3 號管をも用ひす No. 1 號管にて實驗を完了す。且つ界面作成も明瞭に爲すを得、電場は下記の電壓により與へられる。

$V_i=8.6\text{ V}; 19.1\text{ V}; 29.5\text{ V} \dots$ の 3 種を加ふ。第 34 表 (1) (2) (3) は實驗結果を示す。

第 34 表 (1, 2, 3)

試料名 H 號		實驗管 No. 1		試料名 H 號		實驗管 No. 1	
實驗溫度 17.6°C~18.1°C		電流 0.00455A*		實驗溫度 18.1°C~18.7°C		電流 0.0093A*	
端子電壓 Va; 30V				端子電壓 Va; 60V			
內部電壓 Vi; 8.6V				內部電壓 Vi; 19V			
時 間 分(')秒(")	界 面 位 置		時 間 分(')秒(")	界 面 位 置			
	左 脚 カテトメ —ター, 管目盛	右 脚 カテトメ —ター, 管目盛		左 脚 カテトメ —ター, 管目盛	右 脚 カテトメ —ター, 管目盛		
0	2.63cm 3.0 ⁷ / ₂₀ cm	2.38cm 2.8 ¹⁰ / ₂₀ cm	0	2.43cm 2.8 ⁷ / ₂₀ cm	2.58cm 3.0 ¹⁰ / ₂₀ cm		
4' 55"		2.8 ¹³ / ₂₀	4' 23"		3.0 ¹⁶ / ₂₀		
6' 4"	3.0 ⁴ / ₂₀		4' 55"	2.8 ² / ₂₀			
10' 26"		2.8 ¹⁹ / ₂₀	6' 29"		3.1		
11' 12"	3.0		8' 36"		3.1 ³ / ₂₀		
13' 31"		2.9 ³ / ₂₀	11' 37"		3.1 ⁷ / ₂₀		
14' 54"	2.9 ¹⁸ / ₂₀		15' 18'		3.1 ¹⁶ / ₂₀		
16' 52"		2.9 ⁵ / ₂₀	18' 38"		3.2 ² / ₂₀		
18' 39"	2.9 ¹⁵ / ₂₀		21' 16"		3.2 ⁷ / ₂₀		
21' 9"		2.9 ⁸ / ₂₀	22' 7"		3.2 ⁹ / ₂₀		
22' 7"	2.9 ¹³ / ₂₀		23' 8"		3.2 ¹² / ₂₀		
27' 37"		2.9 ¹² / ₂₀	24' 12"		3.2 ¹³ / ₂₀		
29' 3"	2.9 ⁶ / ₂₀		25' 0"	2.6 ⁶ / ₂₀			
40' 3"		3.0 ⁴ / ₂₀	25' 25"		3.2 ¹⁴ / ₂₀		
41' 28"		3.0 ⁶ / ₂₀					
42' 55"	2.8 ¹⁸ / ₂₀						

備考 右極を(+)とす。内部電極間電氣抵抗
實驗前 1587Ω 。後 1607Ω 。實驗順位①

備考 右極を(+)とす。内部電極間電氣抵抗
實驗前 1607Ω 。後 1649Ω 。實驗順位②

第 34 表 (3)

試料名 H 號 實驗管 No. 1
 實驗溫度 18.7°C~18.8°C 電流 0.0145A°
 端子電壓 V_a ; 90 V
 内部電壓 V_i ; 29.5 V

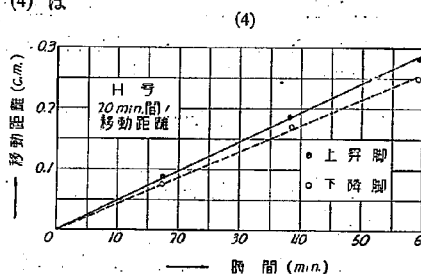
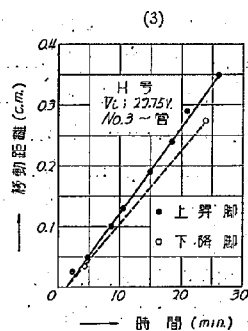
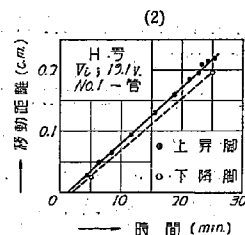
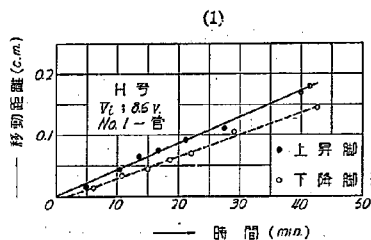
時 間 分(′)秒(″)	界 面 位 置	
	左 脚	右 脚
0	カテトメ —ター— 管目盛 2.6 $\frac{3}{20}$ cm	カテトメ —ター— 管目盛 2.85cm 3.3 $\frac{6}{20}$ cm
2′ 16″		3.3 $\frac{10}{20}$
4′ 16″	2.5 $\frac{16}{20}$	
4′ 48″		3.3 $\frac{16}{20}$
8′ 45″		3.4 $\frac{6}{20}$
10′ 35″		3.4 $\frac{11}{20}$
15′ 0″		3.5 $\frac{3}{20}$
18′ 27″		3.5 $\frac{13}{20}$
20′ 53″		3.6 $\frac{3}{20}$
23′ 58″	2.3 $\frac{6}{20}$	
25′ 58″		3.6 $\frac{16}{20}$

備考 右極を(+)とす。内部電極間電気抵抗
 實驗前 1650Ω。後 1614Ω。實驗順位③

電気泳動に関する特性は全く I, J 號等一般的のものと同様力學的にも電氣的にも正規性である。第 45 圖 (1) (2) (3) (4) は界面移動に関するものにて (1) (2) (3) は各 V_i に對する移動距離 (x_1 , x_2)~時間關係、(4) は 20 分間移動距離 (x_{1-20} , x_{2-20})~ V_i 關係を示す。

上記の關係より粒子易動度 (α_0) 及び ζ ~電位を求め得。

H 號實驗結果は下記の如し。



第 45 圖

$k_n(\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$	k_s	$l_1(\text{cm})$	l_2	l_s	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_s}{l}$	C_u	C_s
0.0078	0.0031	9.57	9.42	17.22	0.525	0.475	0.579	1.463
a_{01}		a_{02}		a_0		$\zeta(\text{m.v.})$		
29.5×10^{-5}		27.3×10^{-5}		28.4×10^{-5}		60.1		

但し, a_0 (cm/sec/volt/cm)

斯くの如くして國產道路舗装用瀝青乳劑の電氣泳動實驗を行ひ其の結果を各試料に就き詳細に述べた, 次節に其の全般にわたれる傾向を要約せん.

[8] 實驗結果の要約

上記各節に示す如く瀝青乳劑中, 滲透用 6 種, 混合用 4 種に就き第 IV 章に詳論せし實驗方法を用ひ, II 章 [1], [2] 節, III 章 [5] 節に述べし粒子移動性從つて界面移動に關する特性を考慮に入れつゝ實驗を行つた. 本實驗は總て左右兩界面の中, 右側上昇, 左側下降の狀態である. 試料 10 種は電氣泳動實驗結果より分類せんに種々の方面よりなし得るも下に實驗結果の著しき特長と共に之を列擧す, 但し混合用のものには◎を附す.

- (1) No. 1, No. 3 號管にて界面明瞭に作成し得るもの……I 號, J 號, A 號, B 號, E 號, G 號, H 號◎, C 號◎稀釋濃度 60%, D 號◎.
- (2) No. 1, No. 3 號管にて界面明瞭ならざるも, No. 2 號管にて實驗し得る程度の界面を得るもの……C 號◎稀釋濃度 80%, F 號◎稀釋濃度 80%.
- (3) 原乳劑にて界面作成困難なるもの……C 號◎, F 號◎.
- (4) (+) 主電極部に於ける沈積作用甚しく無成極を必要とするもの……A 號, C 號◎, D 號◎, F 號◎.
- (5) (+) 主電極部に於ける沈積作用僅少にて特に無成極を必要とせざるもの……I 號, J 號, B 號, E 號, G 號, H 號.
- (6) 界面上昇及び下降速度 (a_{01} , a_{02}) の實測値に就て

$a_{01} > a_{02}$ …となりし場合……I 號, J 號, B 號, C 號◎, D* 號◎, E 號, G 號, H 號◎
($x_1 > x_2$)

$a_{01} < a_{02}$ …となりし場合……A 號
($x_1 < x_2$)

$a_{01} \doteq a_{02}$ …となりし場合……I 號, A 號, F 號◎
($x_1 \doteq x_2$)

一種の乳劑にて a_{01} , a_{02} の關係に就き 2 様あるは加電壓 V_1 の値により兩者の現れる事を示すものである, * のある D 號◎は長時間の實測後に $a_{01} < a_{02}$ …の傾向現

れしも本来 $a_{01} > a_{02} \dots$ と解すべき理由あれば一方のみ記入す。

- (7) 界面移動速度に關し V_i の小なる場合、移動距離～時間關係に於て慣性あるも總て直線的關係を明瞭に示してゐる。即ち粒子泳動は力學的に全く正規的で粘性係數は本實驗範圍に於て構造性を示さない(瀝青乳劑其のものゝ粘性と比較すべし)。
- (8) 一定時間内に於ける移動距離 x_{1-20} , x_{2-20} と加電壓 (V_i) の關係は全く直線的である。但し F 號③のみ V_i に對し x_{1-20} , $x_{2-20} \sim V_i$ 直線原點を通らず異常性を示すも V_i の小なる部分を除きては直線關係を保つ。
- (9) Kruly-Willigen の電場強さ (E_0^* , E_0^u) 計算に於ける係數 (C_u , C_s) は總て……
 $C_u < C_s \dots$ にて C_s 約 2 倍以上大である、從つて $E_0^u = E_0 C_u$, $E_0^* = E_0 C_s$ に於ては
 $E_0^u < E_0^*$ にて略: $E_0^u = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}\right) E_0^*$ である。

以上の如く各試料により特性異なるも實驗結果の示す如く界面移動速度を可成り明瞭に測定した、特に重要な結果は上記 (6) (7) (8) (9) 項である、此等により瀝青乳剤の電氣泳動に關する殆ど總ての特性を判斷し得、(6) 項によるに $a_{01} \cong a_{02}$ とあるも $a_{01} < a_{02}$ の場合の差異は最も少く a_{01} , a_{02} の差異の最大な場合にても 10 % 内外である。此事實は先に III 章 [5] 節に述べし有效電場の強さのとり方に對する指針を與ふものである。Kruly-Willigen の假定によれば $E_0^* < E_0^u$ 從つて $x_1 < x_2$ ($a_{01} < a_{02}$) となり、且つ $x_2 \cong (2 \sim 3) x_1$ 程度の移動差あるべきである、本實驗結果にては試料 10 種の内 1 種のみ $x_2 > x_1$ なる傾向を呈したのみである。 $x_1 > x_2$ なる移動距離を示すは主として上昇側は濾液内に浸入して行くを以て抵抗力比較的小なるによらん、且つ Kohlrausch-Weber の理論の示す如き新層の發生もなく、從つて界面移動量より粒子移動度 (a_{01} , a_{02} , a_0) を計算せんに電場とし實驗結果各節に述べし如く平均電場の作用せるものとした、各表に於ける a_0 は兩側より求めし a_{01} , a_{02} の平均値である。

(6) (7) (8) (9) 項より界面移動量 Δx_1 (又は Δx_2) は下式 (40) により示し得。

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_1 \text{ (又は } \Delta x_2) &= K \cdot V_i \cdot \Delta t \\ \text{又は} \quad \Delta x_0 &= K I \cdot E_0 \cdot \Delta t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (40)$$

但し、 Δx_0 ; Δx_1 , Δx_2 の平均値、 Δt ; Δx_0 の移動に要す時間、 V_i ; 加電壓、 E_0 ; 平均電場の強さ、 $K I$; 比例常數にて試料の粘性係數、電媒恒數と關係を有するものである。今 III 章 [5] 節に引用せし (23) 式… $U = U(\zeta, E_0, K_0, \eta_0) \dots$ と比較せんに

$$\frac{\Delta x_0}{\Delta t} = U = (K I) E_0, \quad U = \frac{\zeta K_0}{4 \pi \eta_0} E_0$$

上記實驗結果 (6) (7) (8) (9) 項によるに ($K I$) なる常數は時間 (t)、速度 (U)、電場の強さ (E_0) 等を含まない、從つて下記 (41) 式の如き關係を得。

$$\text{常数} = (KZ) = \frac{K_0 \zeta}{4\pi\eta_0} \dots\dots\dots (41)$$

即ち瀝青乳劑に於て電気泳動式に現れ来る物質常数 K_0 , η_0 , ζ , ...は II 章, III 章 [5] 節に述べし如く可成り複雑な概念を有し詳細に吟味せるも, 一般に η_0 係数は U の函数, K_0 は E_0 の函数となり得るものであるが實驗的結果により物質に就き一定の値を有し異常性を示さない事を明かにす。且つ泳動中イオン雰囲気の変形等も實驗誤差範囲以内にては全く無く, 唯保護ゾルの多量に含有せると想像される混合用乳劑に於ては種々實驗上の困難があつた。(41) 式の結果より更に上記 (9) 項に附加すれば

- (10) η_0 常数, K_0 常数.....の正規性の成立つ事實より ζ ~電位の計算に於て η_0 値とし, 又純濾液の値 K_0 値とし, 水の値をとりし事の妥當なる事を明かにす。

更に本研究に於て原乳劑にては實驗困難なりしものを利用し稀釋する事の影響を推測す。即ち

- (11) 原乳劑を濾液にて稀釋する場合粒子 ζ ~電位に及ぼす影響を測定し, 粘性實驗に於ける Einschnitz 影響と比較す。

以上 (1)~(11) 項に至る研究結果により II 章, III 章 [5] 節に列擧せし瀝青乳劑電気泳動實驗に於ける各種の疑問に對し明快な解答を與ふる事を得た。下記第 35 表に全部取摺め之を示す, ◎は混合用乳劑を示す。

第 35 表

試料名	$a_0 \times 10^{18}$ (cm/sec/volt/cm)	ζ (m.v.)	t (°C) (平均値) を示す
I	23.3	49.3	17.0
J	22.4	47.5	17.0
A	33.0	69.9	16.7
B	12.9	27.3	18.0
C◎	52.6	100.0	18.7
D◎	26.2	55.2	18.5
E	17.7	37.5	18.5
F◎	35.0	67.8	16.0
G	18.3	38.7	18.3
H◎	28.4	60.1	18.0

左表の如く瀝青乳劑の易動

度は一般に混合用のもの大き

く $a_0 = (13 \sim 53) \times 10^{-8}$

cm/sec/volt/cm にて ζ ~電

位は (27.3~100) m.v. の範

圍に在る。第 II 部 II 章 [2]

節に得たる乳劑濾液の水素イ

オン濃度 E_{PH} , U_{PH} の關係

より推定せし ζ ~電位より甚

しく大である。

a_0 値を見るに D 號のみ混

合用なれども $a_0 = 26 \times 10^{-8}$ (cm/sec/volt/cm) 程度にて比較的少く, D 號は保護ゾルを特
に多量に含有せるもので, 斯かるゾルの保護膜の影響により混合用としての特性を示すも
のである。 a_0 ~値より見たる重要な特性は次章に述べん。

V. 瀝青乳剤粒子易動度と瀝青乳剤の性状との關係に就て

瀝青乳剤の電気泳動實驗より推定される粒子易動度 (a_0) 従つて界面動的電位 (ζ) の物理的意義に關しては既に第 I 章に述べ、第 II 部乳剤の水素イオン濃度と分解値の關係を考察せし場合に述べし如く安山岩碎石等による分解作用は必ずしも界面動的電位差 (ζ) のみによらざるも ζ 電位の瀝青乳剤分解値に對し示す一般的傾向を明かにした。従つて上記 IV 章に於て得たる ζ 電位及び易動度 (a_0) と乳剤の各種特性との關係を考察する場合も全く同様の論説の成立つものである。I 章にも述べし如く碎石による分解値の如く多くの複雑せる作用により與へられるものでなく、理想的な状態を示す特性例へば分散度の如きものと a_0 値 (ζ 電位) とを比較すれば明確な結果を求め得、殊に親水ゾルの成分を含有せるものを乳化剤として使用せる場合其の影響により瀝青粒子に薄膜の影響を與へ分解値等に對しては非常に顯著なる特性を ζ 電位の大小に拘らず示す。今斯かる見地より下記の如く電気泳動實驗より得たる粒子易動度 (a_0) と二、三の他の特性とを比較せん。

- (1) 瀝青粒子易動度と瀝青乳剤分解値 (z.w.) との關係。
- (2) 瀝青粒子易動度と瀝青乳剤及び濾液の水素イオン濃度との關係
- (3) 瀝青粒子易動度と瀝青乳剤分散度との關係

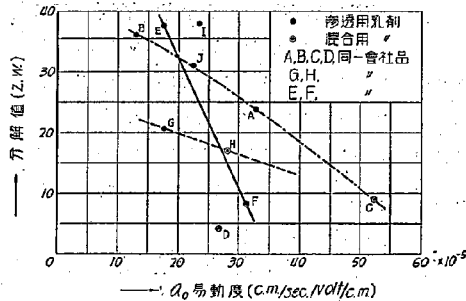
其の他粘性に於ける關係あるも上記 3 項は直接密接なる關係を有し最も重要なものである。

[1] 瀝青粒子易動度 (a_0) と瀝青乳剤分解値 (z.w.) との關係

本試料に對する分解値は緒言 II 章 [3] 節に述べし如きものにて、IV 章 [1] 節にも記入せし如く輝石安山岩碎石による分解値である。瀝青粒子の易動度 (a_0) 及び ζ 電位換算値は IV 章 [8] 節第 35 表の値をとる。兩者を圖示すれば第 46 圖の如くなる。
 “●”…は滲透用, “○”…は混合用乳剤を示す。

同圖中の —, ———, ———

——, は同一會社製品の實驗結果を結びたるものであるが、I 號、D 號のみは特に他のものとは異なる範圍に在る、即ち分解値殊の外小なるも (z.w. = 4.5) 粒子易動度 (a_0) は他種乳剤の滲透用程度の値である。IV 章 [8] 節に詳論せる如き理由により、第 46 圖によるに易動度 (a_0)

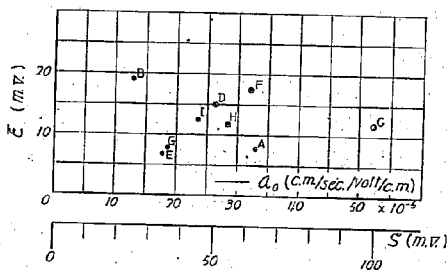


第 46 圖.

(ζ ~電位)と本実験による如き分解値との間には總ての乳劑に成立つ密接な關係が無き如く見ゆ。勿論同一會社製品に就き考察すれば分解値(安山岩碎石)の小なるものは易動度(a_0)が大なる事が明瞭に示されてゐる。全體としては唯其の傾向あるかの如く分布せるに過ぎない。斯かる事實は第 II 部に述べし瀝青乳劑分解作用の論說を更に強調せるもので、必ずしも ζ ~電位の値のみによらず粒子周囲の保護ゾルの影響及び碎石による吸水作用も頗る重要な作用を呈するものなる事を示し、第 II 部 IV 章[4]節と同様に論じ得。

[2] 瀝青粒子易動度(a_0)と瀝青乳劑及び濾液水素イオン濃度との關係

第 I 部 II 章[3]節に於て緒言 II 章による分解値と乳劑及び濾液の水素イオン濃度($E P_H$, $U P_H$)の差 $E P_H - U P_H = \Delta E P_u$ との關係に就き種々論究し、一方 $E P_H$, $U P_H$ より $\frac{[\text{OH}']^E}{[\text{OH}']^U}$ を求め平均 Donnan 電位差($\bar{e}$)を計算し同[3]節第 9 表の如きものを得た。 $\bar{e}$ ~電位と ζ ~電位を比較せん爲 ρ 係數等を誘導した。 $\bar{e}$ と ζ の間には密接な關係あるも個々乳劑のイオン雰囲気状態により異なるものである。第 47 圖は實驗より得たる ζ ~電位



第 47 圖

と $\bar{e}$ ~電位の關係を圖示せるもので、同圖より明かなる如く $\bar{e}$ ~ ζ の全般的關係を推測する事は出来ない。一方第 6 圖の分解値~ $\Delta E P_u$ 關係、第 46 圖の分解値~ ζ 電位關係を比較するに實用上 $\bar{e}$ ~電位は現在に於ては左程重要性無きものと推測さるもイオン構造を示す上に役立つ、即ち B 號がイオン雰

圍氣構造として G-C 型、C 號が H 型を著しく示す事を知る。

[3] 瀝青粒子易動度(a_0)と瀝青乳劑分散度との關係

[1], [2] 節共に複雑な現象を含める實驗値を基とせる論說にて多くの不確實な事實を分離し得ず、従つて全般に通ずる法則的な結論を得なかつた。著者は瀝青乳劑の分散度に關する研究をなし確率直徑等が如何なる他の量により定義されるかを知つた。其の際粒子易動度(a_0)従つて ζ ~電位が瀝青粒子の大きさに及ぼす影響の有無を論じ、一方本實驗的研究に於ては III 章[5]節に述べし理由により、界面移動法による實驗に於ける粒子の大きさには確率直徑(D_w)を標準とすべき事を述べた。

緒言 II 章[2]節により試料瀝青乳劑の分散に關しては

第一確率直徑 $\overline{D_w}$ } の値を得 (第 2 表).
第二確率直徑 D_w }

D_w は平均直径 D_0 より計算に求めしもの、 D_w は直接實測分布値より得しものである。第2表、第35表より第48圖に示す如く $\bar{D}_w$ (又は D_w) $\sim \alpha_0$ (又は $\zeta \sim$ 電位) の關係を求め、同圖中十點は $\bar{D}_w \sim \zeta$ 關係、 Δ 點は $D_w \sim \zeta$ 關係を示すものである。

十 Δ 點は可成り不規則に分布せる如く見ゆるも元來十 Δ 値には實驗上差異あるものにて、兩者の平均位置を結べば略々直角双曲線上に分布せるものゝ如し。——は實測點を結べる曲線にて、-----は直角双曲線を示すものである。以上の如く $\bar{D}_w \sim \zeta$ の間には可成り密接な關係の存在せるを示すも、分解値水素イオン濃度と比較せし場合の如き例外なく全試料同じ傾向にある事を示すものにて頗る重要な特性を示すものである。 $\bar{D}_w \sim \zeta$ の關係式とし著者¹⁵⁸⁾は下記(41)式の如きものを得てゐる。

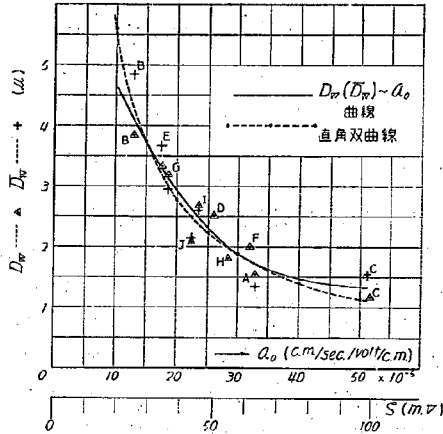
$$D_w \propto \frac{1}{\sqrt{-\gamma_{AB} + B\zeta^2}} \quad \text{.....(41)}$$

但し、 γ_{AB} は分散質と乳化溶液間の界面張力、 B ；常數……を示すものにて今 $\gamma_{AB}=0$ とすれば(41)式は下記(42)式となる。

$$\bar{D}_w \propto \frac{1}{\zeta}, \quad \bar{D}_w \cdot \zeta = \text{定數} \quad \text{.....(42)}$$

$D_w \sim \zeta$ の關係は直角双曲線にて示さる。第48圖の實驗結果を示すものは斯かる事實の成立つ事を立證せるものである。III章[5]節に述べし易動度と粒子大きさに關する關係は不均一系に於ては上記假定の事實に矛盾せざる事を示す。少くとも瀝青乳剤に於ては α_0 と粒子大きさととの關係及び分散に關する特性が實驗的に明かになり、下記の如く明確に定義し得、即ち

瀝青乳剤に於て (特に變性變質せる場合を除き) 粒子大きさに關し確率直径をとる時分散狀態を明瞭に示し得るのみならず、斯かる分散狀態は電氣泳動實驗結果よりも之を



第 48 圖

158) 島田八郎：前掲 1), 69)

立證し得。

以上3項に就き考察するも瀝青乳劑に於ける易動度 (α_0) 又は ζ -電位は瀝青乳劑内部組織に對し如何に重要なものなるかを明かにし得。

ζ -電位を基とせる研究は將來の發展に俟つべきものである。

VI. 結 論

第 I 部, II 部の瀝青乳劑の電解水溶液としての研究の各結論に詳論せし如く瀝青乳劑の性狀を眞に理解し内部組織を明かにせんには瀝青粒子の易動度を直接測定し粒子の有する界面動的電位 (ζ -電位) を明かにする必要があつた。然るに此種研究は未だ無く従つて ζ -電位の程度すら判明しをらざる現狀である。斯かる有様なれば如何なる方法により所期の目的を達し得べきやも不明である。瀝青乳劑の電氣泳動的研究は將來に對する發展上より見るも頗る重要にして且つ必要である。本研究に於ては瀝青乳劑電氣泳動に關する事は勿論、實驗に際し考慮すべき事柄をも各章に於て詳論せしも今其の内主なるものを列舉すれば下記の如くなり、各項に對し夫、明確な解答を與ふる事を得。

- (1) 瀝青乳劑は界面電位差 (ζ) を有するや。
 - (2) 瀝青乳劑粒子 ζ -電位は他の量を以て明瞭に理論上、實驗上定義し得るものなるや。
 - (3) 瀝青乳劑粒子 ζ -電位と易動度との關係を明かに定義し得るや。
 - (4) 易動度 (α_0) は力學的に正規性なるや、即ち泳動速度により構造粘性的抵抗をうけるや。
 - (5) 易動度 (α_0) は電氣的に正規性なるや、即ち電氣泳動電場の強さと粒子泳動速度の關係直線的なるや。
 - (6) 従つて瀝青乳劑の ζ -電位は力學的電氣的に正規性なるや。
 - (7) 濾液による稀釋の乳劑の ζ -電位に及ぼす影響の有無。
- 斯かる瀝青乳劑の内部組織等粒子イオン雰囲気に關する問題の外實驗方法に關する闡明すべき多くの重要な問題がある。其の内主要なものに (8)~(11) 項の如きものがある。
- (8) 瀝青乳劑電氣泳動法として如何なる方法を選ぶべきや。
 - (9) 實驗裝置に關し電極、上液等を始め改良すべき點なきやを考察し界面作成に就き考察す。
 - (10) 實驗方法として選擇せし界面移動に於ける界面移動速度に關し論究し、分散質粒子の易動度との關係を明かにす。
 - (11) 實驗値を各方面より考察し易動度 (α_0) より ζ -電位の誘導關係を明かにす。

以上實驗に關する事も重要にして之により本研究の意義を更に明かにするものであるが其の詳細は各章の要約を参照すべく、更に第 IV 章に於て斯くして得たる易動度 (α_0) 又は ζ ~電位と瀝青乳劑の他の主要なる性状とを比較した。實驗結果の主なるものとしては (12)~(14) 項の如きものを得。

- (12) 本實驗試料たる瀝青乳劑 10 種の易動度 (α_0) 及び ζ ~電位は下記の範圍にあり、且つ力學的電氣的に正規性である。

α_0 (cm/sec/volt/cm): $(13\sim53)\times 10^{-5}$ (cm/sec/volt/cm).

ζ (m.v.) : 27.3~100 (m.v.)

- (13) 瀝青乳劑分解値 (z.w. 安山岩碎石による) 及び乳劑、濾液の水素イオン濃度より誘導されし $\bar{e}$ ~電位と易動度 (α_0) との關係を考察し、水素イオン濃度に關する特性と ζ ~電位に關するものとの實際上に於ける意義を明かにす。

- (14) 特に ζ ~電位と瀝青乳劑分散度との關係を明かにし分散理論式の示す結果を直接的に電氣泳動實驗より立證するを得。

以上簡單に述べしも各章の研究により瀝青乳劑の電氣泳動的研究に際し必要な諸性質を各方面より考察し、瀝青粒子の易動度及び ζ ~電位に關する特性を明かにし、斯かる見地より見たる瀝青乳劑の内部組織を明かにし得、主要なる資料を求める事を得。

第 I 部、II 部、III 部の各研究は互に密接な關係を有するものにて瀝青乳劑の粒子のイオン氛圍氣に關する特性、内部組織は各結論を綜合し論究すべきである。各部の結論に於ては斯かる點に少しく觸れ特に第 III 部のものに於ては斯かる見地より論究せしにより今特に別章を設けざるも各部の結論を参照し瀝青乳劑の電氣的特性及び内部組織を容易に明かにし得。

附記 本實驗に關しては土屋直君の助力を謝す。

土木試験所出版圖書

報 告

- 第一號 {路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告} 大正十四年 三 月發行
 {瀝青質材料並瀝青質混合物に關する 研究第一報}
- 第二號 {瀝 青 質 材 料 針 度 に 就 て} 大正十五年 一 月發行
- 第三號 {「グアイアログ」に依る路面凹凸測定、瀝青混合物に關する} 同 二 月發行
 {研究、「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て}
- *第四號 {急硬セメントに關する 試 驗 報 告} 同 五 月發行
- *第五號 {簡易鋪裝に關する 試 驗 報 告} 昭和二年 三 月發行
- *第六號 {混凝土及鐵筋混凝土抗拉力試驗報告} 同 五 月發行
- *第七號 {八幡製鐵所副産部製品、瀝青質材料、瀝青質鋪裝、「セメント」類及揮發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績} 同 七 月發行
- *第八號 {瀝青質材料標準試驗方法、石材類標準試驗方法} 同 十 月發行
- *第九號 {急硬性「セメント」に關する試驗、「ソリデチット」の耐壓強度に關する試驗、「ブロック」に關する試驗、高知縣黒瀬川産砂に關する試驗、多摩川産砂利及砂に關する調査、石材類試驗成績} 同 十一月發行
- *第十號 {路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第一)} 昭和三年 三 月發行
 {道 路 構 造 振 動 試 驗}
- *第十一號 {瀝青滲透ブロック試驗成績、鋪裝工事用サーフェス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗、常願寺川産砂に關する試驗} 同 七 月發行
- *第十二號 {アスファルト・ブロック試驗成績、各種アスファルト・ブロック比較試驗成績、石油アスファルトとコール・タール・ビッチとの混合物に關する試驗、瓦斯爐及炭炭爐タール及ビッチに關する試驗成績、コール・タール・ビッチ中の純瀝青に就て、大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化、石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響、標準砂モルタルの強度に及ぼす火山灰及石粉の影響} 昭和四年 一 月發行
- 第十三號 {ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗、橋梁用敷板強度試驗、舊版稱鐵材の腐蝕に關する調査、鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗} 同 五 月發行
- *第十四號 {瀝青乳劑及ビチヌマルス鋪裝に關する試驗} 同 十二月發行
 {瀝 青 滲 透 ブ ロ ッ ク に 關 する 試 驗
 {瀝 青 質 材 料 の 滲 透 性 に 關 する 試 驗
 {瀝 青 質 材 料 の 粘 度 及 膨 脹 係 數 に 關 する 試 驗}}
- *第十五號 {北上川降開式轉動堰模型試驗、電氣鉗接法による鐵筋の接合 現場打混凝土の耐壓試驗報告} 昭和五 年 二 月發行
- *第十六號 {路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第二)} 同 五 月發行
 {瀝青滲透ブロック鋪裝試驗、工事用石材試驗成績}
- *第十七號 {路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て(第三)} 同 五 月發行

- *第十八號 { 混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試験、鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響並に之に應ずる設計及工法に就て(一) } 昭和五年十月發行
見察工上施設修工事用角礫灰岩砂利及砂に關する試験、鐵筋混凝土道路橋設計資料、各種土木工事用材料試驗成績
- *第十九號 { 路面構造の運輸經濟に及ぼす影響並に之に基く道路設計の } 同 十一月發行
基本に關する研究(第四)
- 第二十號 { 東京山手赤土の彈性的性質に關する試験(一)、基礎の沈下 } 昭和六年六月發行
試驗、國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案
- 第二十一號 { 背水曲線の一般の解法、單絞拱の振動に關する理論並に實 } 同 十二月發行
驗混凝土鋪裝の繼目に關する試験、河水のボルトランド・セメントに及ぼす影響、標準砂モルタルの強度に及ぼす石粉の影響、瀝青乳劑試驗成績
- 第二十二號 { 地震時土壓の實驗的研究、混凝土鋪裝繼目用エラストイト } 昭和七年五月發行
試驗、高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試験、基礎の沈下量算定法(第二)、新土壓計算圖表
- 第二十三號 { 簡易鋪裝に關する質地比較試験、銷矢板試験、大和川筋鐵 } 同 七月發行
ノ湖地に關する調査(第一)
- 第二十四號 { 道路の背水曲線の設計に就て、阻柱に關する試験、乳劑の } 昭和八年六月發行
粘度に就て、府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案、碎石の磨損率に關する一試験、三陸津浪調査報告、本邦產鋪裝用石村(附錄)
- *第二十五號 { 本邦鋪裝用タールの性質に就て、横溢流堤流量試験、擁壁の } 同 十一月發行
安定増大に關する一提案及之に關する試験、砂利層の支持力に關する試験(第一報)、銷矢板試験(續)、エタニツト・バイブ試験
- 第二十六號 { 地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法、田中 } 昭和九年三月發行
村簡易溢流堤に關する水理試験、瀝青鋪裝切取試驗體の性質、道路鋪裝用瀝青乳劑の性状に關する基本的研究(第1報)、自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其の一)
- 第二十七號 { 道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て、津浪の } 同 六月發行
災害輕減に關する模範試験、津浪の變形の理論、三陸津浪調査報告(追加)、自動車に關する研究(其の二)、瀝青透入マカダムに關する試験(第一報)
- 第二十八號 { 地震動による土壓堤の變形、銷着鋼引張試験用小型驗片、 } 同 十月發行
國產瀝青乳劑試驗成績、骨材及び類似材料の靱性に關する研究、鐵筋コンクリート無絞拱の經濟的並に耐震的設計(1)
- 第二十九號 { 矢板擁壁の拉板に作用する力に關する試験、瀝青繼目材試 } 同 十二月發行
驗成績、南洋材カボール並にターペンタインの物理的諸性質に關する試験、道路鋪裝用瀝青乳劑の性状に關する基本的研究(第2報)、阪神地方沿岸風水害調査報告
- 第三十號 { 道路鋪裝用瀝青乳劑の性状に關する基本的研究(第3報)、 } 昭和十年四月發行
鐘口狀河口に於ける水流に就て、下關海峡の潮流に關する模範試験、基礎版の基本的研究(第1報)、溢流堤下流洗削防止に關する一試験、國道鐵筋拱桁橋標準設計案
- 第三十一號 { 土砂の安定強度試験、本邦鋪裝用タールの性質(其のII)、 } 同 八月發行
道路鋪裝用タール乳劑に關する研究(第1報)、擁壁裏込の土壓輕減の效果に關する試験、浦戶港々口の潮流に關する試験(第1報)

第三十二號 {本邦道路橋の重量、道路鋪裝用タール乳劑に關する研究
(第2報)、河川彎曲部に於ける水流に就て、タールとア
スファルトとの混合物の鋪裝材としての性質、タール鋪裝
と水稻の發育との關係、オートランドセメントの凝結後に
於ける溶解物のPHに就て、王泊堰堤の漏水の温度及水
素イオン濃度、 } 昭和十一年十一月發行

第三十三號 {砂利路面工の配合比に關する試験、鋼橋銲接歪縮試験、
基礎版の基本的研究(第2報)基礎銲、道路鋪裝用アスフ
アルトの力學的特性に就て(其の1)、停止波に就て、 } 昭和十一年三月發行

第三十四號 {瓦斯切斷による銲接の強度に及ぼす影響、防波堤の
安定に關する一試験、二、三の土木材料の比熱測定結果に就
て、二、三の外國製鋪裝用瀝青乳劑の性状に就て、土砂の安
定強度に及ぼす加壓回数の影響、土工事用金屬材料分析
試験、種々の土工事用材料に關する試験、施工方法による
砂利路面工の耐力の比較試験、鐵筋コンクリート無紋拱
の經濟的並に耐震的設計(2)、 } 昭和十一年六月發行

第三十五號 {基礎版の基本的研究(第3報)圓形基礎版、浦戶港々口の潮
流に關する試験(第2報)、アスファルト混合タールの鋪裝
材としての性質、鋪裝コンクリートの力學的性質に關する
試験、道路鋪裝用瀝青乳劑の性状に關する基本的研究(第
4報)、 } 昭和十一年八月發行

其 他

本 邦 道 路 橋 輯 覽

大正十四年十二月發行

本 邦 道 路 橋 輯 覽(増補)

昭和三年三月發行

*第六回國際道路會議に關する報告書

昭和七年四月發行

土木工事用材料標準試驗方法

昭和七年十二月發行

本 邦 道 路 橋 輯 覽 第三輯

昭和十一年十一月發行

(*印は殘部なし)

昭和十一年十月二十七日 印刷

昭和十一年十一月一日 發行

内 務 省 土 木 試 驗 所

東京市本郷區駒込上富士町四十六番地

電話大塚(86) {自3101番
至3103番

印刷者 井 上 源 之 丞

東京市本所區麩橋一丁目二十七番地ノ二

印刷所 凸版印刷株式會社本所分工場

東京市本所區麩橋一丁目二十七番地ノ二