土木試験所報告

第三十六號

昭和十一年　第四册

瀝青透入マカダムに關する試験（第2報）……山田　元・船山晴雄

熔接鈑桁突縁鈑剛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輕減に關する模型試験……松尾春雄

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（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	零	1
57	〃　10行	27%	37%
64	第 24 表中	驗試片	試驗片
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

土木試驗所報告

第三十六號

序　言

本報告は「瀝青透入マカダムに關する試驗（第2報）」「熔接鈑桁突緣鈑衝合接手の接合角度に就て」「大阪港附近の津浪の災害輕減に關する模型試驗」「道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第5報）」等を輯錄せるものである.

瀝青透入マカダムに關する試驗（第2報）　は曩に報告せる第1報に引續き施行せる試驗結果により，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鋪裝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.

熔接鈑桁突緣鈑衝合接手の接合角度に就て　は接合角度の變化に伴ふ接手强度の增減竝に主應力の分布狀況を同厚鈑竝に異厚鈑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輕減に關する模型試驗　は大阪港附近の在來及び新計畫防波堤の由良海峽より灣內に侵入する地震及び暴風による津波に對する災害輕減の效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關し，3種類の縮尺の異つた模型に就て試驗を行ひ，尙灣內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.

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（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，電場內に於ける乳劑瀝青粒子の易動度を測定し，實驗方法に關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

內務省土木試驗所長　內務技師　物　部　長　穗

目　　次

瀝青透入マカダムに關する試驗（第2報）…… 1

內務技師　山　田　　元
內務技手　船　山　晴　雄

熔接鋲桁突縁鋲衝合接手の接合角度に就て…… 13

內務技師　青　木　楠　男

大阪港附近の津浪の災害輕減に關する模型試驗…… 81

內務技師　松　尾　春　雄

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第5報）…… 119

內務技師　島　田　八　郎

瀝青透入マカダムに關する試驗(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 試驗の經過及結果 ……(2)
III 要　約 ……(8)

I. 緒　　言

アスファルト透入マカダム鋪裝の內，針度 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，甲種道路試驗機を用ひて試驗し，通過荷重最大 8,470 瓲，相當交通量最大 302,664 瓲に達するまでの經過及結果は本所報告第二十七號「瀝青透入マカダムに關する試驗(第1報)」に報告したが，之等各種の內砂利道を基礎とせるもの3種を除いては未だ破壞せず，從つて該報告に於ては其優劣に就ては略ゝ之を明かにするを得たが，其耐力及破壞に至るまでの經過等に就ては未だ之を詳にするを得なかつた．本報告は該試驗を更に續行して斯種鋪裝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壞するものを生ずるに至るまでの經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. 試驗の經過及結果

[1] 試 驗 荷 重

今回試驗の荷重は第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 瓲，相當交通量 61,855 瓲に達せしめた，第 1 報試驗より通算すれば最大荷重 10,375 瓲，最大相當交通量 361,102 瓲である．

[2] 試驗結果概說

路面の內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ずることは出來ない．

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

如く，全試驗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內外兩側部の盛上り高を示せば第4表の如く，試驗終了後に於ける路面狀況は第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) 主としてニウマチック・ゴム輪帶の通過せし徑路は通過荷重約 9,000 瓲，相當交通量約 338,000 瓲に達したるも未だ破壞の徵を示せるものなく，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經路に於ても通過荷重約 8,800 瓲．相當交通量 361,000 瓲以上に達したるも未だ破壞の徵候なし．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輾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 瓲（內鐵輪 7,553.7 瓲），相當交通量約 358,000 瓲に達したが破壞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) 路面の破壞は主として (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壞は (1) 路面の低下，(2) 無荷重部分の盛上り，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上り高は一般に外側の方內側に比し遙に大きい．之は，車輪の上部內側に傾けること，外側無荷重部分の幅員內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憾はあるが，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期試驗の終りに第 7，第 8 徑路間隙の隆起が增大

した外甚しき變形なく最大路面低下量 10 mm に滿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尠く，特に原層厚 1 cm に對する平均單位低下量は本報試驗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壞を生じないが略ゝ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 に達したが何等破壞の徵候なく尚充分の耐力を有して居る．

No. 3　本報試驗中のソリッド・ゴム輪帶に因る路面低下量は最大 6 mm に過ぎず，全試驗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尚充分耐力を殘して居る．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　試驗用車輪の性狀

P はニウマチック・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 直徑 (cm)	輪帶寸法 幅 (cm)	荷重 (kg)	路面との接觸面 長 (cm)	路面との接觸面 幅 (cm)	路面との接觸面 面積 (cm²)	變形量 (mm)	壓力度 輪帶幅 1 cm につき (kg/cm)	壓力度 單位面積 (kg/cm²)	標準許容荷重に對する倍率	構造令規程 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)[1]	37.0	152	5.83(8.10)[1]	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	4.95(6.68)	2.32	1.07
	G	89.85	8.75	1028	19.0	6.3	98.3	11.0	163	10.45	1.74	1.30
3	*S*	98.98~98.43	7.62	1341	—	7.62	—	—	177	—	—	1.42
4	*S*	98.58~97.39	7.70	1360	—	7.70	—	—	177	—	—	1.42
5	*P*(4.23)	81.92	10.00	907	26.0	6.8	162(121)	33.5	133	5.60(7.50)	2.35	1.06
6	*G*	78.11	8.75	911	15.0	6.1	78	10.1	149	11.70	1.54	1.19
7	*G*	78.11	8.75	957	15.5	5.8	80	10.5	165	11.95	1.62	1.32
8	*P*(3.52)	79.38	10.00	781	29.0	6.0	165(124)	36.0	130	4.73(6.30)	2.02	1.04
	G	78.11	8.75	949	17.0	6.2	86.0	10.5	153	11.00	1.61	1.29
計	A(1,5及8*P*)	—	—	8,304	—	—	—	—	—	—	—	—
	B(2,5*P*)	—	—	8,425	—	—	—	—	—	—	—	—
	C(5*P*)	—	—	8,557	—	—	—	—	—	—	—	—

（標準許容荷重はニウマチック 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 と同工なるに試驗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〻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 に比し稍〻大であるが一般に變形量に

第 2 表　　試　　驗

（輪帶種別 P はニウマチック・ゴム，

試驗			項目	車輪番號 ＼ 作輪用帶	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報試驗	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		通過荷量	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	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/m² 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
主として從輪	主として働輪	主として働輪	働輪	從輪	計	働輪	從輪	計	
1,626.3	6,377.1[1]	1,602.0	—	34.3	34.3	49.1	770.9	820.0	1) 内 107.9 は從輪
1,195.1	1,301.3	5,507.4[2]	634.8	3,155.9	3,790.7	602.1	5,341.3	5,943.3	2) 内 101.1 は從輪
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	
1,277.6	—	—	—	—	—	—	—	—	
1,277.6[1]	851.5	855.8	619.3	279.2	898.5	574.1	298.6	872.7	1)内 57.6 迄は働輪
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，ゴム輪帯に對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

車輪 No. 4　　重量 1,360kg　　輪帯幅 1cm につき 177kg

試驗番號		第1報試驗 No. 1		第2報第1期 No. 2			第2報第2期 No. 3			金　計		摘　要
通過荷重(噸) 相當交通量(噸)		區域1～8,12,13, 5,648.4 區域 14　5,535.3 183,293		1,277.6 41,479			627.6 20,376			14 以外 7,553.6 14　7,440.5 245,148		
表層種別	表層厚(cm)	平均路面低下量(mm)	原層厚1cmに對する平均低下量(mm)	平均路面低下量(mm)	最大路面低下量(mm)	原層厚1cmに對する平均低下量(mm)	平均路面低下量(mm)	最大路面低下量(mm)	原層厚1cmに對する平均低下量(mm)	平均路面低下量(mm)	原層厚1cmに對する平均低下量(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[1]	17.0	1.72	50.2[2]	10.05[2]	1) 全層減失せる箇中途低下量着無
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[2]	10.52[2]	2) 全層厚50mm以上なるも精確度不明
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	

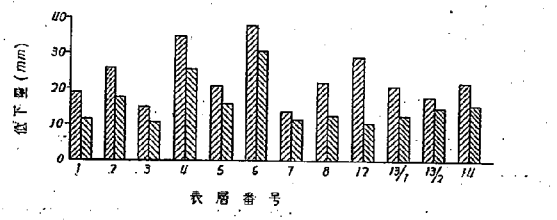
第 4 表　無荷重部分の盛上り量比較

表層番號	層厚(cm)	外側				內側				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	
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	外側中 No. 2 に連接せる一部を除く
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	

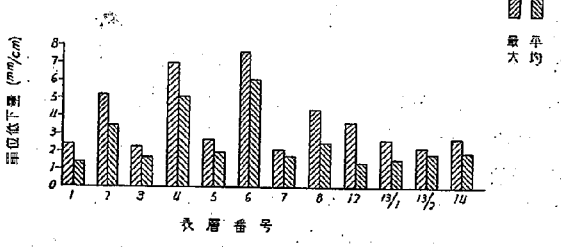
龜裂を生じたが耐力は尚充分の餘裕があるが No. 3 に比しては稍〻劣れるもの〻如し，ゴム輪帶による變形は極めて輕微にして未だ大なる影響なし．

No. 8　本工はアスファルト使用量尠き割合に結果良好にしてゴム輪帶は勿論鐵輪帶に對しても尚充分餘力があり層厚 5 cm の表層中に於ては成績最も優秀である．鐵輪帶による路面の低下量，外側盛上り量はアスファルト單位使用量の尠い割合に大である．

No. 12　同工の No. 1 に比し，鐵輪帶に因る沈下量は大差なく却つて稍〻大であるが無

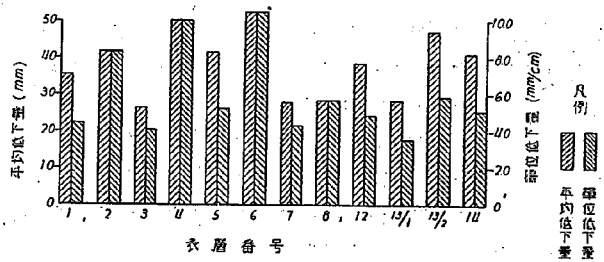


(a)　最大及平均低下量



(b)　原層厚 1cm に対する單位低下量

第 1 圖　鐵輪帶に由る路面低下量



第 2 圖　鉄輪帶による平均路面低下量

荷重部分の盛上り量は最大 21 mm，平均 7~8 mm にして頗る僅少である．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來るのは明かである．

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% に上り明かに過量であるにも係はらず一般に變形量尠く，鐵輪帶による路面低下量及無荷重部分の盛上り等は同厚のもの>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樣である．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 と略ゝ同樣である．

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 の內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强度大にして從つて變形量尠し．

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)．但し基礎上面との楔合不充分なる時アスファルト透入量を 1.54 kg/m²/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)，同樣の基礎を有しアスファルト單位透入量略ゝ同樣なる厚 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，從つて耐力大であるが本報試驗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，變形量を尠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ずる爲には表層と基礎上面との結合を强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强度大である.

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減工により(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)の耐力は材質試驗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) 塡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), 從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 kg/m²/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 kg/m²/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壞しない. アスファルト透入單位量 2 kg/m²/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.

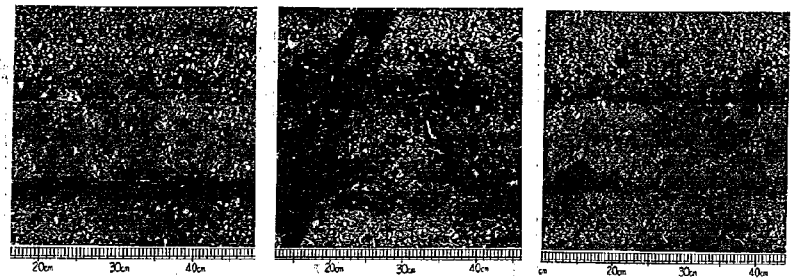
17) 層厚 6.5 cm のものに對し透入單位量 1.85 kg/m²/cm は必ずしも過量に非ず，此

爲變形量特に增大せりとは認められぬ (No. 3 と No. 7). 但し 1.56 kg/m²/cm に於ても表面弛緩游離の徵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>如くである(No. 7).

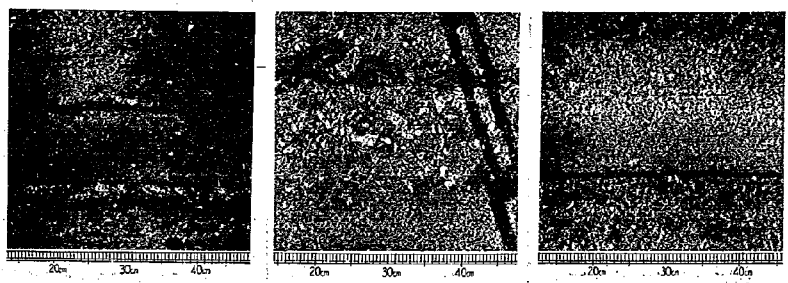
18) 層厚 5 cm のものに對してアスファルト透入單位量 1.54 kg/m²/cm は未だ過少ではない (No. 8). 2.5 kg/m²/cm 以上を使用するはゴム輪帶に對しても 安定强度充分でない.

(e) 修 理

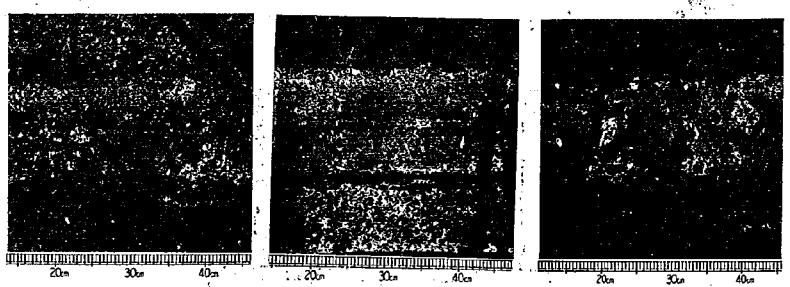
19) 骨材大なるか, アスファルト透入量少き爲が路面粗鬆となり表面主骨材游離の徵候を生じたるときアスファルト乳劑及細骨材を用ひて封緘工 (第1報 No. 1 の場合) を施行すればその耐力を增大する上に於て極めて有効である.



No. 1　No. 2　No. 3

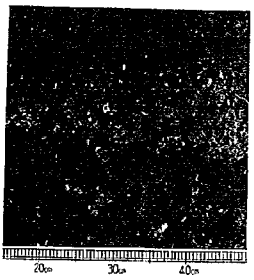


No. 4　No. 5　No. 6

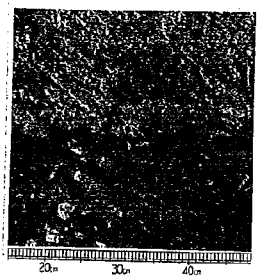


No. 7　No. 8　No. 12

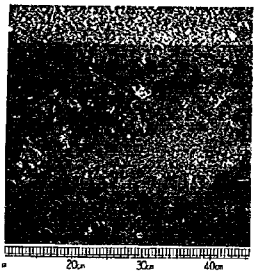
第3圖　試驗終了後の路面



No. $13/_1$



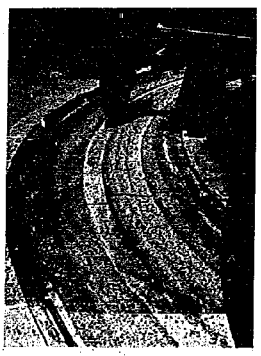
No. $13/_2$



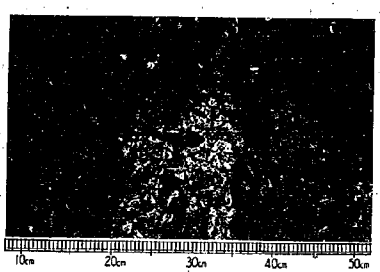
No. 14

No. 2 破損狀況

No. 4 破損狀況



No. 6 破損狀況



No. 12 破損狀況

第3圖 試驗終了後の路面

熔接鈑桁突縁鈑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. 從來の實驗に對する考察 …… (3)
[2] Patton の實驗 …… (3)
[3] Dahlem の Staatlichen Materialprufungsamt 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强度 …… (10)
[6] 接手に働く垂直竝に接線應力 …… (10)
[7] 最大主應力說より見たる斜截接手の角度 …… (11)
[8] 最大主歪說より見たる斜截接手の角度 …… (12)
[9] 最大剪斷力說より見たる斜截接手の角度 …… (12)
[10] 最大彈性歪エネルギ不變說より見たる斜截接手の角度 …… (14)
[11] 前揭諸說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　說 …… (16)
[13] 紙製試驗片による實驗 …… (16)
[14] モルタル試驗片による實驗 …… (20)
[15] 平鋼切溝試驗片による實驗 …… (23)
[16] 平鋼小型熔接試驗片による實驗 …… (31)
V. 實物試驗 …… (32)
[17] 試驗片の形狀寸法 …… (32)
[18] 試驗片の製作 …… (35)
[19] 母材强度試驗 …… (37)
[20] 熔接工檢定試驗竝に熔着鋼强度試驗 …… (40)
[21] 引張强度試驗 …… (42)
[22] A 及 A′ 種試驗片引張强度 …… (43)
[23] B 及 B′ 種試驗片引張强度 …… (47)
[24] C 及 C′ 種試驗片引張强度 …… (52)
[25] 接手部主應力の測定 …… (55)
[26] A種試驗片の主應力分布 …… (59)
[27] B種試驗片の主應力分布 …… (59)
[28] C種試驗片の主應力分布 …… (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當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] 實驗の目的

熔接鈑桁の突縁斷面は，其腹鈑との連結に鋲結鈑桁の如く山形鋼を必要とせざるが故に平鈑を使用することが多い．而して其斷面積は鈑桁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，從來は多く鋲結鈑桁突縁蓋鈑に於けるが如く，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丶，接合用の隅肉熔接施工のために各突縁鈑の幅員を變化せしむるの必要上，斷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枚鈑の使用せらるゝことが多い．從つて曲げモーメントに應じて鈑厚を變化せしめんとする場合，厚さを異にする2枚の厚鈑の接合を行はねばならぬ．

これが接合法としては衝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，衝合熔接の强度は母材の夫の 80～95% を普通とし，これに對する設計許容强度も橋梁建築物等に於ては母材の夫れの 75～85% を認むるに過ぎない．

從つて充分なる强度を有する接手を得んがためには添接鈑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，鋲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，隅肉熔接が衝合熔接に比し，其持久性の劣れることが立證せらるゝに至り，反覆衝撃荷重をうくる構造物に於ては，添接鈑による接合法は益〻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衝合接合の强さを漸次增大せしめ，其信賴さを逐次高めつゝある狀況にある．

よつて今後の突縁鈑の接合法としては，添接鈑の使用は喜ばれず，衝合接合が主として用ひらるゝものと考へて過りない．而して衝合熔接の强さの不足は，接手を突縁の長さの方向に直角に設けず，これを斜めに，矢筈形に，或は階段形に設けて，其熔接面を增大せしむることによつて補はんとしてをる．併しこれ等の工法の優劣は勿論，同一工法に於ても，其斜設角度或は構造配置等に定說なく，突縁鈑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．

從つてこの種熔接鈑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の1枚鈑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があると云はねばならぬ．

著者はこの點に鑑み，これ等各種の接合方法を理論的竝に實驗的に比較研究し，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衝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

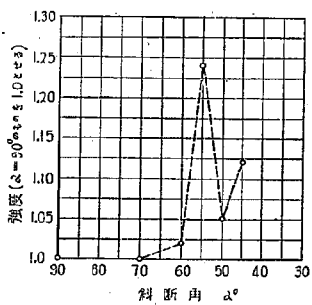
厚さの同一なる突縁鈑の接合に關しては Kiew の Patton 教授による實驗がある．同氏は Mies 氏が突縁鈑の接手に於て衝合熔接の强度の不足を，斜截による熔接部の增大によつて補はんとすることの無効なることを論斷せるに對し，第1圖に示す6種の接合方法につきての實驗によつて，これに對する反證を擧げたものである．卽ちこれ等6種の接合の强度を第1種のもの>强度に比較するとき第1表の如き結果が得られてをる．

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% の强度增加となつてをる．この場合の斜截角度は 45° であるが，Patton 教授は更に第2圖に示す試驗片を用ひて斜截角度による强度の變化を求めてをる．試驗片の斜截角は $\alpha=90°, 70°, 60°, 55°, 50°, 45°$

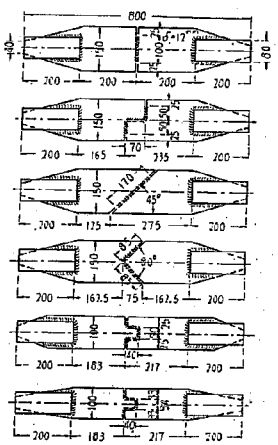
第1表　接手の種類による强度の變化

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

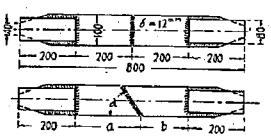
P_1：接手 I の强度
P_n：各種接手の强度



第3圖　Patton の實驗
斜截角による接手强度の變化



第1圖　Patton の實驗
接手强度比較試驗片



第2圖　同上　斜截角度による强度の變化に關する試驗片

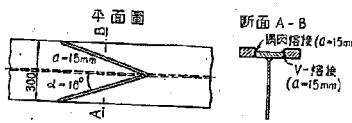
の6種であつて，角度の變化に伴ふ强度の增大は第3圖に示すが如く $\alpha=55°$ に於て著しく有利となつてをる．

試驗片の切斷狀況は $\alpha\geqq60°$ のものに於ては，切斷はすべて接手沿ひに起つてをり，$\alpha=45°$ に於ては母鈑が切斷してをり，$\alpha=55°$ 及 50° のものに於ては兩樣の切斷が起つてをる．Patton 敎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 $\alpha=55°$ 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强度の變化が漸變的でなく $\alpha=55°$ に於て甚しく不規則である事で，同種試驗片數が僅かに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大な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强度の增減に就て，母材と接手材との强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 Materialprutungsamt 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，其主鈑桁突緣鈑の接合法として第4圖の如き工法を提言してこれが實施を見たが，これに先つて其强度試驗を Dahlem の國立試驗所にて行つてをる．



第4圖 Schlachthof 橋の主鈑桁突緣の接手

接手は第4圖にて明かなるが如く厚さを異にする2突緣鈑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．

試驗片は3種，內2種は模型試驗片であり，1種は實大試驗片である，模型試驗片の試驗成績を示すと第2表の如くである．

第2表 突緣鈑接手强度試驗

試驗片番號	厚突緣鈑斷面			薄突緣鈑斷面			熔接斷面	切斷箇所	極限强度
	幅 cm	厚 cm	斷面積 cm²	幅 cm	厚 cm	斷面積 cm²	cm²		kg/cm²
1	12.00	2.97	35.64	11.96	1.50	17.94	(DIN 4100 による)	母鈑	3560
2	7.99	3.64	29.08	7.97	2.99	23.83	24.3	熔接繼目	2480

第1試驗片が其母鈑に於て切斷せることは，接手の計算に DIN 4100 に從ひ，交番應力による應力の增大を見込みたるに對し，試驗が單なる引張なりしが爲に接手强度が母鈑强度に優りたる事によるものである．第2試驗片は接手に於ける切斷を確實ならしむるために熔接繼目を滑く施工せるものにして，其切斷は繼目沿ひに起つてをる．第3の試驗片は其接合部母鈑斷面を Schlachthof 橋主鈑桁斷面 300 mm×25 mm に相當せしめたる實

大試驗片にして，其熔接部斷面積 156 cm² に對し最大荷重 496 t，切斷强度 31.7 kg/mm² を示した．

本試驗は實施せる工法にて所要の强度を期待し得るや否やを確めたるに過ぎず，其斜截角に 18° を採用せることに對しても特別なる理由を說明してをらない．

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

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

ρ'：接合部に作用する合成應力

ρ：直角斷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强度は增加することゝなる．

歐洲諸國の熔接構造物の示樣書の主なるものを檢するに，鈑桁突緣の衝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樣書の第 25 條に於ては「引張側突緣鈑の衝合は長手方向に 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，本示樣書の發布が 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挾み得ないところである．

又 1936 年發布獨逸熔接鈑桁道路橋假規格（DIN E 4101）及同國々有鐵道鈑桁鐵道橋規則に於ては，引張側突緣の衝合は斜截角を 45° とな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 $\alpha=45°$ のものが $\alpha=90°$ のものに比して大なる疲限度を示せるによるもので α の變化による各種强度の增減については充分檢討されてをらない．

[4] Otto Graf の疲試驗

Otto Graf が 1933 年各種の熔接接手について行つた疲試驗中に直截並に斜截の衝合接手の比較が行はれてをる．兩者とも同厚の鈑を V 形に衝合せたもので，底面を再熔接せるものと然らざるものとが試驗されてをる．試驗の成績は第 3 表の如く

第 3 表　衝合接手疲試驗成績
（Otto Graf 氏による）

熔接の種類			
引張疲限度 (kg/mm²)	底面再熔接せざるもの.	12	17
	底面再熔接せるもの.	18	22

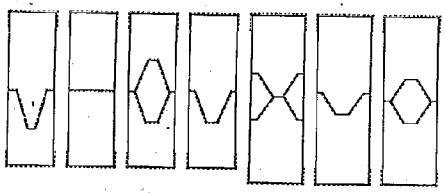
で斜截せるものが遙かに大なる引張疲限度を有し，更に再熔接せるものが一層良好の成績を示してをる．

本試驗にては斜截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，接手の斜截が動荷重をうくる構造物の鈑桁突緣の接合法として直截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，突緣接手工法の强度比較試驗を行つてをる．

突緣接手としては第5圖に示す如く各種考案されてをるが强度試驗は試驗機械の能力の關係から試驗材を長手の方向の數片に切斷し，各〻について引張試驗を行つてをる．從つて試驗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．



第5圖 實驗に供されたる各種突緣接手工法

試驗は4回にわかれて行はれてをるが，各〻の試驗成績について接手直角のものと傾斜せるものとの强度を比較すれば第4表の如くである．

第4表 田端大橋突緣接手强度試驗

第 1 回 試 驗

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

試驗片番號	接手種類	傾斜角	試驗片斷面 幅 mm	試驗片斷面 厚 mm	引張强度 kg/mm²	備考
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 驗

（鐵道省官房研究所製作，直流熔接，電極棒研究所製，徑 4 mm 塗布棒，使用鋼板厚 25 mm）

試驗片番號	接手種類	傾斜角 α	試驗片斷面 幅 mm	試驗片斷面 厚 mm	引張强度 kg/mm²	備考
熔着鋼	—	--	徑 9.9mm		46.0	伸率 21% (l=50mm)
No. 1, 1	V	90°	45.95	20.24	43.9	熔接部切斷
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	熔接端部より龜裂を發し試驗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	熔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	熔接部切斷
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	熔接部切斷
平均					40.5	
No. 3, 2	X	39°40′	79.92	20.37	46.9	熔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	熔接端部より龜裂を發し試驗片に直角の方向に母材切斷
No. 4, 3	X	39°40′	79.68	20.25	38.3	
平均					41.8	

第 3 回試驗（抜萃）

（川崎造船所製作，直流及交流熔接，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 幅 mm	試驗片斷面 厚 mm	引張强度 kg/mm²	備考
熔着鋼	—	—	徑 9.9mm		40.6	伸率 21% (l=50mm)
E1 b	V	90	39.97	25.17	36.4	熔接部切斷
E1 a	V	21°50′	39.93	24.97	38.6	試驗片平行部端にて母材切斷
E1 c	V	21°50′	39.90	25.14	50.4	熔接に沿ひて切斷
平均					(50.4)	
F1 a	V	90	40.15	25.06	37.7	熔接部切斷
F1 b	V	21°50′	39.97	24.82	41.8	熔接部外切斷
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	熔接部切斷
E2 a	X	21°50′	39.90	24.90	37.9	試驗片平行部端にて母材切斷
E2 c	X	21°50′	39.80	25.17	50.2	熔接部に沿ひて切斷
平均					(50.2)	
F2 a	X	90	40.16	24.92	37.3	熔接部切斷
F2 b	X	21°50′	40.09	24.65	49.2	熔接部に沿ひて切斷
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	熔接部切斷
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	熔接部切斷
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 驗 (抜萃)

(試驗片製作要項第3回に同じ)

試驗片番號	接手種類	傾斜角 α	試驗片斷面 幅 mm	試驗片斷面 厚 mm	引張强度 kg/mm²	備考
熔着鋼			徑 9 mm		40.6	伸率 21% (l=50mm)
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	熔接端部より母材切斷
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	

これ等の諸試驗片は現場に於ける鈑桁突縁鈑の熔接と類似の條件を滿足せしむるため，熔接する兩試料を固定せる狀態にて接合したるものなるも，製作後試驗片を取外し，更に數片に截斷せるが故に，各試驗片に殘留する元應力は比較的僅少なるべしと推定せらる．

第1回試驗については，試驗片の切斷狀況を明かにするを得ざるも，恐らく試驗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．接手平均强度 46.5 kg/mm² はこれを熔着鋼 45.0 kg/mm² に比較するとき約 3% の增大であるが，熔着鋼の强度がすでに母材强度に匹適してをり，試驗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强度增大を推定することは困難である．只 α=16°40′ の傾斜接手に於ては其强度は母材の全强度を發揮せしむるに充分なる値に達し，熔着鋼の强度を以て其强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來る．

第2回試驗について見るに接手强度は V 接ぎ，X 接ぎの如何又傾斜角の如何を問はず，孰れも熔着鋼の强度に達してをらぬ．殊に X 接ぎの試驗片にては强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．從つてこの試驗の結果から見て傾斜角の變化に伴ふ强度の增減を推斷することは妥當でないと信ずる．傾斜角 α=39°40′ の試驗片に於て母材の切斷せるもの>中に强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，熔接端に存在した熔着鋼のもつ缺陷が，切缺作用の原因をなし，斯くの如き强度低下を起したるものと認められる．

第3回試驗に於ては其熔着鋼の强度が前2回の試驗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 $\alpha=90°$ のものに於ては其切斷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 $\alpha=21°50'$ としたるものとの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 E1a, 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來る．

尙この試験に於て $\alpha=90°$ 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．

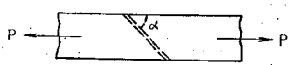
第4回試験は第3回試験と全く同一の條件にて行はれたものであるが，傾斜接手の試験片にて把握部附近の母材が比較的低強度にて切斷せるもの多く，この資料を以ては接手を傾斜することによる強度の變化を推斷することは困難である．

以上鐵道省に於ける實驗の結果より見るに，試驗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截が強度增大に効果あることを證してをると云つて大過ないと信ずる．尙傾斜角は $\alpha=16°40'$, $21°50'$, $39°40'$ 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斷し難い．

III. 斜截せる接手の應力强度

[6] 接手に働く垂直並に接線應力

第6圖の引張試驗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

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

P：試驗片のうける張力

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 を求めると

$$T=P\cos\alpha \quad \cdots\cdots(3)$$

$$N=P\sin\alpha \quad \cdots\cdots(4)$$

α：斷面の斜傾角

從つて斜截斷面のうける接線應力 σ_T 及垂直應力 σ_N は

$$\sigma_T=\frac{T}{F_\alpha}=\frac{P\cos\alpha}{\frac{F}{\sin\alpha}}=\sigma\frac{\sin 2\alpha}{2} \quad \cdots\cdots(5)$$

$$\sigma_N=\frac{N}{F_s}=\frac{P\sin\alpha}{\frac{F}{\sin\alpha}}=\sigma\sin^2\alpha \quad \cdots\cdots(6)$$

$$F_s=\frac{F}{\sin\alpha}: \text{斜截断面の断面積}$$

となる，これ等の式に於ては諸應力が斷面に均等に分布されるものと假定してをる．

［7］ 最大主應力說より見たる斜截接手の角度

今接手の切斷が斜截斷面の最大主應力が單純引張による極限强度に達した時に起るものと假定すると，前揭斜截斷面に働く接線應力 σ_T 及び垂直應力 σ_N による最大主應力 σ_1 は

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

$$=\frac{\sigma\sin^2\alpha}{2}+\frac{1}{2}\sqrt{\sigma^2\sin^4\alpha+4\frac{\sigma^2\sin^2 2\alpha}{4}}$$

$$=\sigma\frac{1}{2}\sin^2\alpha[1+\sqrt{1+4\cot^2\alpha}]=\sigma.K_1$$

こゝに

$$K_1=\frac{1}{2}\sin^2\alpha[1+\sqrt{1+4\cot^2\alpha}] \quad \cdots\cdots(7)$$

σ_1 の値は α の減少と共に低下する．從つて切斷が接手沿ひに必ず起るものとすれば，接手の傾斜を急にするほど有利と云ふことになるが，或傾斜角に達した時に母鈑の强さに匹敵する强度を示す筈である．

直截斷面に働く應力 σ は接手を斜めにすることによつて $\frac{1}{K_1}$ 增とすることが出來る．一方衝合熔接に對する許容强度が母鈑の夫れの 75% とすれば，接手を斜めにすることによる割增が $\frac{1}{0.75}$ に達した時に熔接接手と母鈑の强度が相對することゝなる．卽ち

$$K_1=0.75$$

$$\frac{1}{2}\sin^2\alpha[1+\sqrt{1+4\cot^2\alpha}]=0.75$$

$$\alpha\fallingdotseq 40°40'$$

となり，斜截角度を 40° 以下とすることは無意味である．今 $\alpha=90°$ のときの K_1 の値と，各種の α の値のときの値の比 卽ち $\frac{K_{1\frac{\pi}{2}}}{K_{1\alpha}}=\frac{1}{K_{1\alpha}}$ を圖表に描けば第7圖曲線(1)の如くである．$\frac{K_{1\frac{\pi}{2}}}{K_{1\alpha}}=\frac{1}{0.75}=1.33$ の場合が接手の强度と母鈑の强度とが同一になると考へられる點である．

［8］最大主歪說より見たる斜截接手の角度

接手斷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．從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壞時の歪量に達した時に破壞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强度に達して切斷が起ることゝなる．今一般鋼材と同樣 $\frac{1}{m}=\frac{3}{10}$ を採るならば

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

こゝに

$$K_{\mathrm{II}}=\sin^2\alpha(0.35+0.65\sqrt{1+4\cot^2\alpha}) \quad \cdots\cdots\cdots(8)$$

$\varepsilon_1 E$ の値は直角斷面に作用する應力 σ へ K_{II} を乘じたもので，K_{II} の値は K_{I} と同樣 α 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，熔接接手の許容强度の母材許容强度に對する低下を相殺するに至る角度を求むるならば

$$K_{\mathrm{I}}=0.75$$

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

$$\alpha\fallingdotseq 34°20'$$

となり，最大主應力說による場合の $\alpha=40°40'$ に比して幾分急角度の斜截を要することゝなる．K_{I} の場合と同樣 $\alpha=90°$ の場合の K_{II} と任意の α に對する K_{II} との比 $\frac{K_{\mathrm{II}\frac{\pi}{2}}}{K_{\mathrm{II}\alpha}}=\frac{1}{K_{\mathrm{II}\alpha}}$ を示せば第7圖曲線 (II) の如くである．

［3］に掲げたる Dresden Schlachthof 橋の突緣鈑接手强度の算出は本說によつたもので，$\alpha=18°$ に採つたことにより $\frac{1}{K_{\mathrm{II}}}$ の値は 2.38 となつてをる．

［9］最大剪斷力說より見たる斜截接手の角度

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

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

が單純引張による破壊時の最大剪斷力に達した時に破壊が生ずると假定する．單純引張による最大剪斷應力は引張應力の$\frac{1}{2}$になるが故に

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

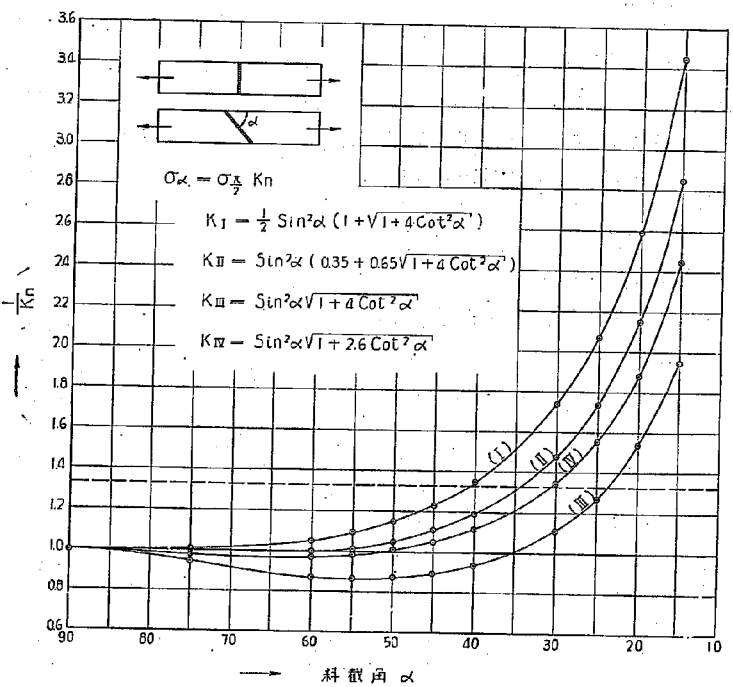
が單純引張强度に達した時に破壊を起すことゝなる．今これを斜截接手の場合に適用すると

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

こゝに

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

K_{III} の値は α が減少するにつれて一旦增大し，最大値に達して再び遞減する．K_{III} の



第 7 圖　斜截角と接手强度の增加

最大値は

$$\frac{dK_{III}}{d\alpha}=0 \qquad \alpha\fallingdotseq 54°40'$$

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

$$K_{III}=1 \qquad \alpha=35°$$

に於て $\alpha=90°$ の場合と同値となる．従つて斜截角度は少くも 35° となさゞれば何等の効果なきことゝなる．

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る角度は

$$K_{III}=0.75 \qquad \alpha\fallingdotseq 23°30'$$

となる．この値は前掲2説によつて得たる角度 $\alpha=40°40'$，$\alpha=34°20'$ 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 $K_{III\alpha}$ の比 $\dfrac{K_{III\frac{\pi}{2}}}{K_{III\alpha}}=\dfrac{1}{K_{III\alpha}}$ の變化は第7圖曲線 (III) によつて知ることが出來る．

[10] 最大彈性歪エネルギ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 $m=\dfrac{10}{3}$，$\sigma_N=\sigma\sin^2\alpha$，$\sigma_T=\dfrac{1}{2}\sigma\sin 2\alpha$ とすれば

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

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

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

こゝに

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

が單純引張强度に達した時に切斷することゝなる.

K_{IV} の値は α の減少と共に一度增大し 64°20′ にて最大値となり 52°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} の場合と同樣である．從つて α は少くも 52°20′ となさゞれば接手强度增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

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

$$\alpha=30°30'$$

となる．この値は前揭最大主歪說によつた場合と近似してをる.

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

[11] 前揭諸說によつて與へらるゝ接手角度に對する考察

[7] 乃至 [10] に說いたところは，母材の許容强度に對し，衝合熔接接手の許容强度が今日夫れの 75% 迄認められるゝに過ぎざるための許容强度の低下を，接手を斜めにすることによつて起る發生應力の低下，卽ち接手强度の增大にて補はんと試みたものである.

而して破壞の原因たるべき發生應力に對しては各種の假說あり 各〻得失ありて，何れを採るべきかは容易に定め難い．こゝには試みに前揭4說を採りて，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　彈性破壞に關する諸說より求めたる接手角度

彈性破壞の假說	最大主應力說	最大主歪說	最大剪斷力說	最大彈性歪エネルギ不變說
接手角度	40°40′	34°20′	23°30′	30°30′

且つこの角度は接手と母材との强度の差 (この計算にては許容强度の比 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 假說中 α の最大値を與ふるものは最大主應力說，最小値を與ふるものは最大剪斷力說であり，其範圍は 23°30′～40°40′ で比較的狹い値である．而して最大剪斷力說にては $\alpha=35°$ 以上にて發生應力はむしろ增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 の角度の範圍は前揭諸說により大體 25°～35° 程度を適當とすることゝなる.

IV. 豫備試驗

[12] 概說

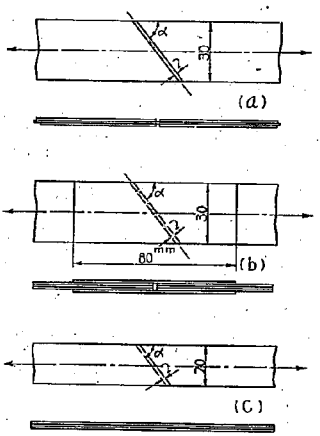
[11] に說きたる接手の斜被による接手部發生應力の減少に伴ふ接手の强度增加の狀況を確めんがために，鋼材實物試驗片による實驗に先つて，紙製，モルタル製，平鋼製の小型試驗片を用ひて豫備試驗を行つた.

小型豫備試驗片の製作にあたつて，最も困難を感ずることは，熔接衝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强度低き試驗片を得ることである．この意味からは平鋼製の試驗片は全く條件に適せず，接手の强度を小ならしめんがためには切缺を附するのほかなく，切込を有する試驗片について行つた結果には必ず切缺作用による强度の變化を伴ふことゝなる.

この點より見るとき，紙製試驗片にて接手に相當する位置を潤し，其部分の强度を低下せしめたもの及びモルタル試驗片にて接手に配合わるきモルタルを用ひ其部分の强度を低下せしめたるものは，全然切缺の作用をうけてをらぬ.

併しこれ等の豫備試驗に使用した材料が實緣に使用する鋼材とは全く彈性を異にした材料であり，且つ接手部の强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，これ等の豫備試驗によつて得られた結果も，單に接手角度の變化による强度變化の大勢を窺ふの資料たるにすぎない.

[13] 紙製試驗片による實驗



第 8 圖　紙製試驗片

紙製試驗片の形狀は大體第 8 圖指示の (a) (b) (c) 3 種に分類される.

a 種は幅員 30 mm 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 2 mm 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.

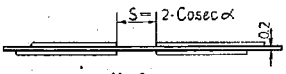
b 種は a 種と逆に接手に相當する 2 mm の間隙を有する幅 30 mm 3 枚重ねのケント紙の兩側に接手を有せざる同幅のケント紙を貼付したもので，接手の角度は a 種と同樣である.

c 種は幅員 20 mm のケント紙を 3 枚アラビヤ糊にて密着せしめたる後，試驗前に中央部接手

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驗を行つた．水を塗布したる後の時間並に塗布の水量は，各試驗片とも出來得る限り，均一ならしむることに努めた．

接手の傾斜角度は 90°, 80°, 75°, 70°, 65°, 60°, 55°, 50°, 45°, 40°, 35°, 30°, の 12 種である．

a 種試驗片の成績　この試驗片に於て，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强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 ($\alpha=90°$) にても切り込みの深さの 10 倍に達してをる．從つて Wawrziniok 氏が軟鋼について行つた實驗の結果，卽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，この紙製試驗片の場合にも大體適用し得るものとすれば，切り込みは大體に强度に影響せざるものと信じて大過あるまい．



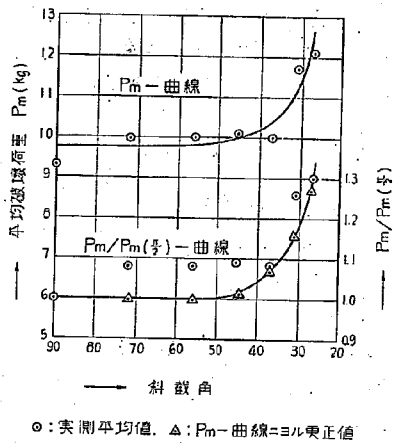
第 9 圖

試驗は各斜裁角度毎に 2 試驗片を用ひ，其平均値をもつて實驗値とした．試驗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 種紙製試驗片引張試驗成績

斜裁角度 (α)	破壞荷重 P(kg)	平均破壞荷重 P_m(kg)	$P_m/P_m\left(\frac{\pi}{2}\right)$	$P_m/P_m\left(\frac{\pi}{?}\right)$ (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

この試驗成績を第 10 圖によつて見るに，大體斜裁角 90°～55° の間に於ては强度の增大は認められないが，α が 50° を越すと急激に增加してをる．[III] に於ける諸說は其理論を彈性式に置きたるものなるが故に，これらの說より導きたる結論を紙製試驗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，斜裁角度の變化に伴ふ强度の增加模樣のみを比較するときは，最大主歪說によりたる結果に最も近似してをる．



⊙：実測平均値，△：Pm－曲線ニヨル更正値

第 10 圖　a 種紙製試驗片の試驗成績

この試驗片では切り込み作用の影響がないものと假定出來る範圍内では，切り込みの深さ卽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．從つてこの形の試驗片については接手部材料の强度と母材强度との比率を決定することが出來ぬ．併し實驗に用ひた斜截角度の最小値 $\alpha=27°$ に對し，强度の增加は 30% に達してをる．この增加は接手部材料の强度が母材に對し75%に相當するときの所要斜截角を與へるもので，$\alpha=27°$ は [III] の最大剪斷力說と最大彈性歪エネルギ不變說とにて決定した兩角度の中間に位してをる．

b 種試驗片の成績　この試驗片は a 種の試驗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，同時に接手部の强度と母材部の强度とを 2：5 に一定せしめた．接手部の强度は母材部の夫れの 40% に當る．

この種の形狀の引張試驗片に於ても，斷面の急激の變化を免れざるが故に切缺作用の影響皆無なりとは云ひ難い．併し切缺の幅員が 2 mm に對し，全厚が $3\times0.2=0.6$ で a 種の場合よりも 0.2 mm 大ではあるが，形狀の相違を問題にしないとすれば Wawrziniok

第7表　b 種紙製試驗片引張試驗成績

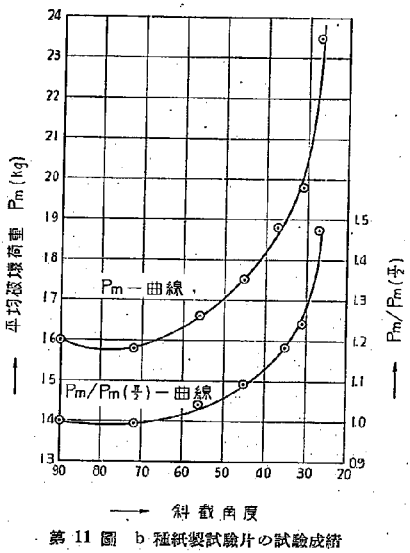
斜截角度 (α)	破壊荷重 P(kg)	平均破壊荷重 P_m(kg)	$\frac{P_m}{P_m\left(\frac{\pi}{2}\right)}$
90	16.0	16.0	1.00
72	15.5 16.0	15.8	0.99
56	16.2 17.0	16.6	1.04
45	17.5 (16.0)	17.5	1.09
37	19.5 18.0	18.8	1.18
31	19.0 20.6	19.8	1.24
27	22.9 24.0	23.5	1.47

氏の實驗結果からみて，其切缺作用はさほど重大視すべき量ではないと信ずる．試驗片は各斜截角とも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 圖について强度の增加狀況を見るに $\alpha=90°$ より 68° に至る間は强度の低下を示し，68° を越すに及んで漸次强度の增大を示し，$\alpha=27°$ に至つて $\alpha=90°$ の强度に比し 47% 增の値に達してをる．これより斜截角の增加に伴ふ强度の增大は急激であつて，曲線は縱軸に切せんとする狀況を示してをる．

α が 90°～68° の間にて强度の一旦低下するの傾向は最大剪斷力說及び最大彈性歪エネルギ說によつて求めたる結果と同樣である．

接手部と母材との强度の比は 40% なるが故に斜截による增大が 150% に達して兩者相殺することゝなる．この實驗の範圍にては $\alpha=27°$ にて 147% に達したるに過ぎない．



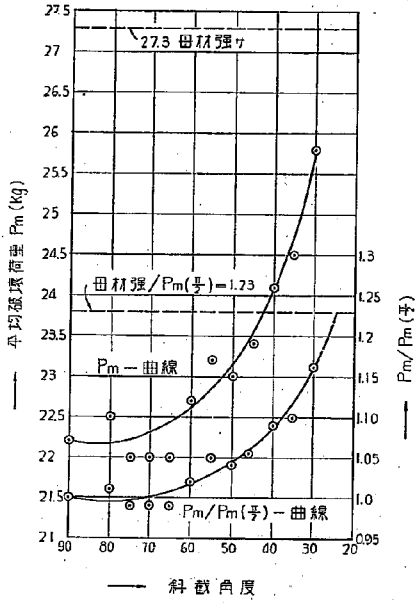
第 11 圖　b 種紙製試驗片の試驗成績

c 種試驗片の成績　この試驗片に於ては接手部の强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，試驗片の形狀の急激なる變化等による惡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驗に至るまでの時間を一定ならしむることに困難がある．

試驗片は斜截角 90°～30° 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．

この試驗片の成績について見るも α が 90°～70° の間にては其强度が低下してをり，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壞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强度は 27.3 kg にてこれを $\alpha=90°$ の浸潤せるものの强度 22.2kg 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强度の增加は實驗の最少角 $\alpha=30°$ に於て 1.16 倍までに達するも，未だ接手部强度を母材强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 (0)曲線にて點線の部



第 12 圖 c 種紙製試驗片の成績

第8表 c 種紙製
試驗片引張試驗成績

斜截角度	試驗片數	平均破壊荷重 P_m(kg)	$\frac{P_m}{P_m(\text{手})}$
母材（乾燥ケント紙）	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

分は實驗範圍外へ曲線を延長したもので，これを正しとすれば $a=25°$ にて接手は母材に相當した強度を有することゝなる．

紙製試驗片の成績に對する考察　3 種の紙製試驗片について求めた實驗結果に於て，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增加との關係が，[III] に揭げた諸說の孰れかの結果とよく傾向が一致してをることで，a 種試驗片が角度の大なる間は，殆ど強度の變化を示さゞる點は最大主歪說の結果と近似し，b 及 c 種が大なる角度にて強度の低下を示せる點は，最大剪斷力說又は最大彈性歪エネルギ不變說の示す結果と相似てをる．紙製試驗片の強度試驗の結果を，彈性理論に基く諸說に比較することは幾分妥當を缺くの點あらんも，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，これ等試驗片の示すところは，斜截角度の減少と共に強度は增大し，Patton 敎授の實驗に於けるが如き，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] モルタル試驗片による實驗

この實驗はモルタル引張試驗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

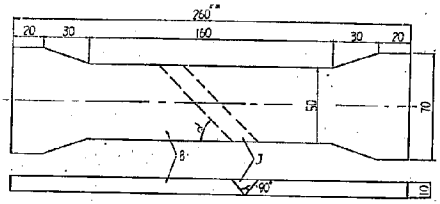
第9表　モルタル試験片引張試験成績
(B：母材部モルタル，J：接手部モルタル)

試験片番號		斜截角度 α	破壊荷重 P_α(kg)	$\frac{P_\alpha}{P_{\frac{\pi}{2}}}$	摘　要
	B	配合 1:1	170		水セメント比 35%
	J	配合 1:2	153		J 强度 / B 强度 = 90%
	1	90	134	1.00	接手に沿ひて切斷
	2	75	112	0.84	
I	3	60	155	1.16	接手部分にて試驗片に直角に切斷，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	
	7	30	185	1.38	母材部切斷
	B	配合 1:1	200		水セメント比 35%
	J	配合 1:3	53*		$\frac{P_{\frac{\pi}{2}}}{\text{B 强度}} = 55\%$
	1	90	110	1.00	接手に沿ひて切斷
	2	75	61	0.55	
II	3	60	84	0.76	
	4	55	102	0.93	接手部分にて試驗片に直角に切斷，從つて α の小なる試驗片にては切斷線は母材を通る
	5	50	104	0.95	
	6	45	122	1.11	
	7	30	141	1.28	
	B	配合 1:1.5	190		水セメント比 40%
	J	配合 1:3.5	87		$\frac{\text{J 强度}}{\text{B 强度}} = 46\%$, $\frac{P_{\frac{\pi}{2}}}{\text{B 强度}} = 32\%$
	1	90	61	1.00	接手沿ひに切斷
	2	75	65	1.07	〃
III	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驗片に直角母材部に入る
	7	30	140	2.30	接手部より試驗片に直角に切斷，切斷は半は母材部なり
	B	配合 1:1.5	157		水セメント比 40%
	J	配合 1:3.5	91		$\frac{\text{J 强度}}{\text{B 强度}} = 58\%$, $\frac{P_{\frac{\pi}{2}}}{\text{B 强度}} = 40\%$
	1	90	63	1.00	接手沿ひに切斷
	2	75	40	0.64	〃
IV	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驗片に直角に切斷
	7	30	133	2.11	

* 印を附したるものは試驗片に缺點ありたるために强度の著しく低かりしものにして，强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．

試驗片の形狀寸法は第 13 圖の示す如くで，接手部は其斷面形を直角 2 等邊三角形とし V 形衝合熔接に對應せしめた．試驗片の製作は先づ良質のモルタルにて母材部を形成し，接手部には其形狀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．



第 13 圖 モルタル試驗片

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．

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

試驗の成績を全般的に見るに，其強度，切斷狀況等甚しく不規則にして，斜截角の變化による強度の增減を判定する材料たり得るものは極めて少數である．今總試驗片 14 組の中より切斷狀況も合理的であり，強度の變化も漸變的である 4 組の成績を揭ぐれば第 9 表の如くである．

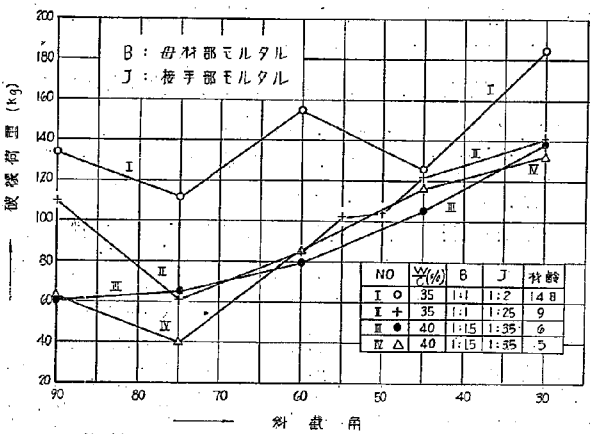
第 9 表の試驗成績によると接手を斜截することによる強度の增加は紙製試驗片に於けるが如く規則的の變化を示してをらないが，大體に於て強度は α の減少と共に一度は低下したる後再び增大し，$\alpha=90°$ の場合の強度以上に達し得ることが明かである．

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 號試驗片に於ては $\alpha=60°$ に於けるもの＞強度が特に大なること，$\alpha=55°$ 及 50° のもの＞強度が試驗片斷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 $\alpha=60°$ 附近にて最少強度を示し，$\alpha=45°$ にて略，$\alpha=90°$ の場合の強度に達する．この試驗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% 程度の試驗片である II，III，IV 試驗片の成績を見ると大體 $\alpha=75°$ 附近にて最少強度を示し，$\alpha=90°$ の場合と同等の強度を示すのは $\alpha=60°$ 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，強度の增大の割合は急激であると云ふことが出來る．

モルタル試驗片にては母材と接手材との強度の比を種々に變更して，これによる強度增

大率の變化を確めんと試みたものであるが，試驗片用の材料たるモルタルの性質上試驗結果に可成の不均一性現はれ，接手の斜截角度竝に接手材料の强度の差による接手强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 圖　モルタル試驗片の引張强度と斜截角との關係．

[15] 平鋼切溝試驗片による實驗

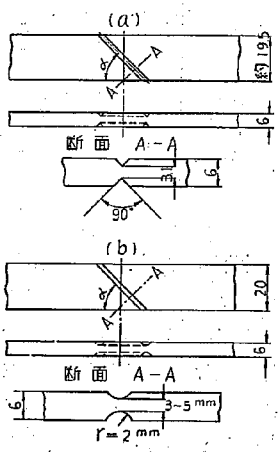
平鋼に切溝をつくり，この部分の强度を低下せしめて，これを熔接接手に擬せんとするものである．切溝の形狀寸法からこれを2種に分つ．

a **種試驗片**　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，其斜截角を 90°，75°，60°，55°，50°，45°，40°，35°，30° の 9 種とする．

b **種試驗片**　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 d 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 にて各種毎に斜截角を 90° 乃至 30° の 12 種に變へた．

これ等兩種試驗片共に，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げらるゝ關係上强度の增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，接手の斜截角の變化に



第 15 圖　平鋼に切溝を附したる試驗片

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.

試驗片の製作に用ひた鋼材は 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號試驗片 (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.

降伏點强度 20.4 kg/mm², 極限引張强度 35.7 kg/mm²

伸率 20% (標點距離 200 mm)

a 種試驗片の成績 この試驗片に於て, 母材と接手材との强度の比としては, 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 $\alpha=90°$ の場合の强度を見るに, 切溝單位斷面積當强度平均 64 kg/mm² に達し, 切溝による强度の增大の顯著なることが認められる. 從つてこの試驗片の母材と接手材との强度の比は, 母材の平均强度を 43 kg/mm² と假定すれば, これに基く母材强度約 5000 kg と $\alpha=90°$ の切溝を有するときの平均强度 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 の變化によつて增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 種平鋼切溝試驗片の成績

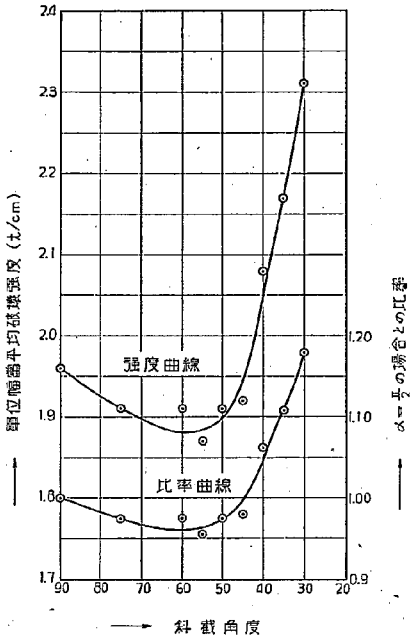
傾斜角 α	試驗片數	切溝部厚 (mm)	試驗片平均幅員 B(mm)	平均破壞荷重 P (kg)	單位幅當破壞强度 P/B (kg/cm)	$\alpha=90°$ のときを 1 とせる P/B の比率
90	2	3.1	19.5	3830	1960	1.000
75	2	〃	19.5	3730	1910	0.974
60	3	〃	19.5	3730	1910	0.974
55	3	〃	19.4	3640	1870	0.954
50	3	〃	19.3	3690	1910	0.974
45	2	〃	19.6	3750	1920	0.980
40	2	〃	19.3	3990	2080	1.061
35	2	〃	19.4	4190	2170	1.107
30	2	〃	19.6	4520	2310	1.179

斜截角に伴ふ接手强度の增減は, 第 16 圖によつて明かなるが如く, 90°~44° の間は其强度低下し, これより α の減少するにつれて, 急激に增加してをる. 强度は $\alpha=60°$ にて最低値を示し, $\alpha=45°$ にて直截の場合と略ゝ同値となる. これ等の關係は [III] の最大剪斷力說, 最大彈性歪エネルギ不變說の傾向と一致してをる. これ等の諸說の說く破壞は, 彈性理論の適用せらるべき極限値と考へて至當なるべく, 從つて本試驗片についても, 其降伏點强度をもつて比較對照すべきを妥當と信じ, 各試驗につきて荷重—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驗片とも殆んど同

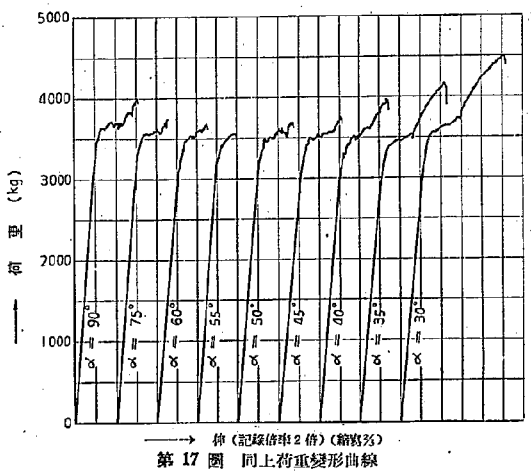
値の降伏點荷重を示し，其間に何等の區別が認められない．この原因は接手部の强度が切溝の影響にて增大し，切溝部に破壊の生ずる前に，母材部に降伏を起し，各試驗片に一樣に現はれたる降伏點は，接手に關する强度にあらずして，母材部全體の降伏點を示すものであることが認められる．この場合の單位應力を求むるに，降伏點荷重平均3500kg と見做し，母材斷面平均19.5×6.0 とすれば，約 30 kg/mm² の降伏點强度を示すことゝなる．平軟鋼の降伏點强度として正當の數字である．

b 種試驗片の成績　先づ接手部の强度と母材との强度の比を確むるために，接手部厚の異りたる 5 種につき夫々 $\alpha = 90°$ の場合の强度を比較するに第 11表の如くである．

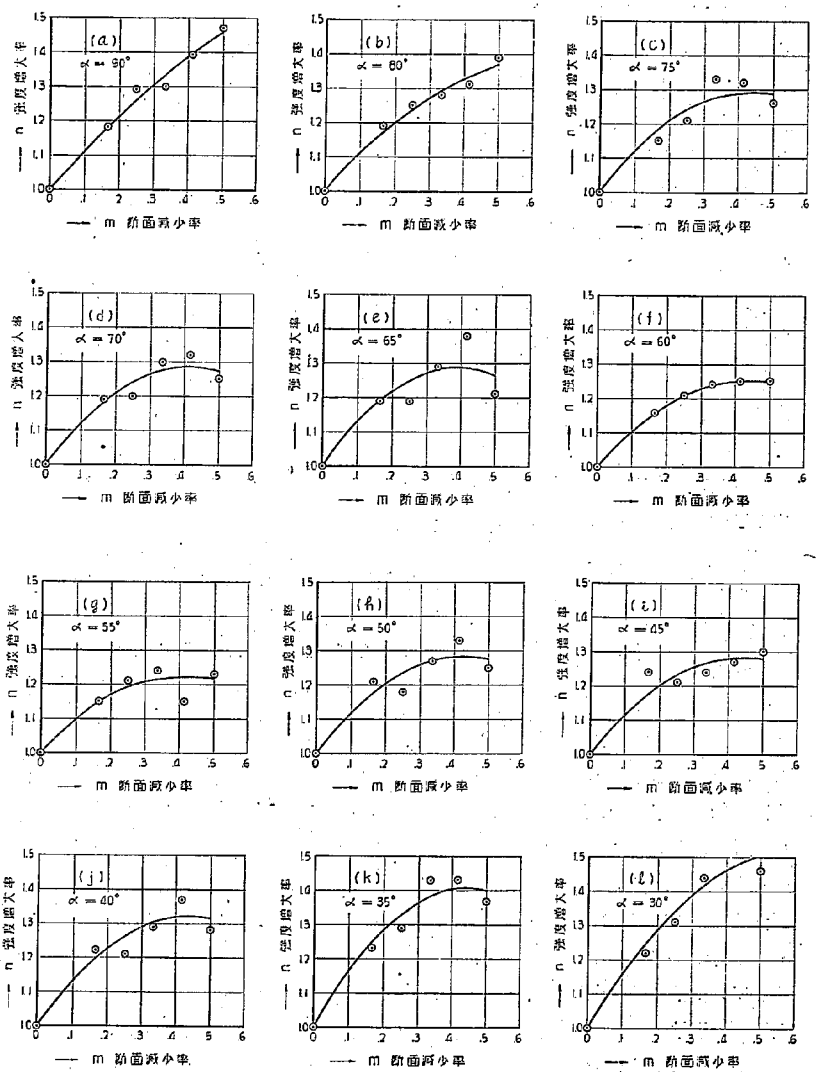
第 11 表の結果によると，切溝部斷面積の 50% 減に對しては强度の增大率は 47% に達し，斷面積の減少 10% につき 9.5 %の强度增加となり，其增加の割合が略々直線的であることは第 18 圖 (a) によつて知ることが出來る．橫軸に斷面減少率 (m)，縱軸に强度增加率 (n) を採つたもので，兩者の關係を他の試驗片の傾向より見て m の 2



第 16 圖　a 種平鉚切溝試驗片の成績



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增加率と斷面減少率との關係

第 11 表　切溝による強度の増加 ($\alpha=90°$)

切溝部の厚 t(mm)	切溝部断面積 A(cm²)	断面減少率 $m=1-\frac{A}{1.2}$	破壊荷重 P(kg)	極限強度 σ(kg/cm²)	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	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になる.

$$\alpha=90° \qquad n=-0.466\,m^2+1.150\,m+1$$

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.

$\alpha=90°$ の場合について行つたと同樣の方法によつて, $\alpha=80°\sim30°$ の 11 種の場合の切溝による強度の增加率を求めると, 第 12 表及第 18 圖 (*b*) 乃至 (*l*) の如き結果が求められ, 斜破角 α の變化に應じ, 強度增加率と斷面減少率との間に, 次の關係があることがわかる.

$$\alpha=80° \qquad n=-0.861\,m^2+1.169\,m+1$$
$$\alpha=75° \qquad n=-1.543\,m^2+1.350\,m+1$$
$$\alpha=70° \qquad n=-1.700\,m^2+1.397\,m+1$$
$$\alpha=65° \qquad n=-1.868\,m^2+1.463\,m+1$$
$$\alpha=60° \qquad n=-1.358\,m^2+1.175\,m+1$$
$$\alpha=55° \qquad n=-1.508\,m^2+1.151\,m+1$$
$$\alpha=50° \qquad n=-1.572\,m^2+1.333\,m+1$$
$$\alpha=45° \qquad n=-1.495\,m^2+1.305\,m+1$$
$$\alpha=40° \qquad n=-1.662\,m^2+1.455\,m+1$$
$$\alpha=35° \qquad n=-2.100\,m^2+1.845\,m+1$$
$$\alpha=30° \qquad n=-1.441\,m^2+1.726\,m+1$$

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 (*l*) 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 t の各種毎に, 斜破角度の變化に對する強度增大の狀況を見るに, 大體第 19 圖に示すが如き傾向を採ることがわかる.

第 12 表　切溝による強度の増加 ($\alpha=80°\sim30°$)

切溝部の厚 t(mm)	切溝部断面積 A(cm²)	断面減少率 $m=1-\frac{A}{1.2}$	$\alpha=80°$ 破壊荷重 P(kg)	極限強度 σ(kg/cm²)	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

$\alpha=75°$ 破壊荷重 P(kg)	極限強度 σ(kg/cm²)	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値	$\alpha=70°$ 破壊荷重 P(kg)	極限強度 σ(kg/cm²)	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

$\alpha=65°$ 破壊荷重 P(kg)	極限強度 σ(kg/cm²)	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値	$\alpha=60°$ 破壊荷重 P(kg)	極限強度 σ(kg/cm²)	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

$\alpha=55°$ 破壊荷重 P(kg)	極限強度 σ(kg/cm²)	強度増加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値	$\alpha=50°$ 破壊荷重 P(kg)	極限強度 σ(kg/cm²)	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

$\alpha=45°$				$\alpha=40°$			
破壊荷重 P(kg)	極限强度 σ(kg/cm²)	强度增加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値	破壊荷重 P(kg)	極限强度 σ(kg/cm²)	强度增加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更生値
—	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

$\alpha=35°$				$\alpha=30°$			
破壊荷重 P(kg)	極限强度 σ(kg/cm²)	强度增加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 更正値	破壊荷重 P(kg)	極限强度 σ(kg/cm²)	强度增加率 $n=\frac{\sigma}{3570}$	n 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

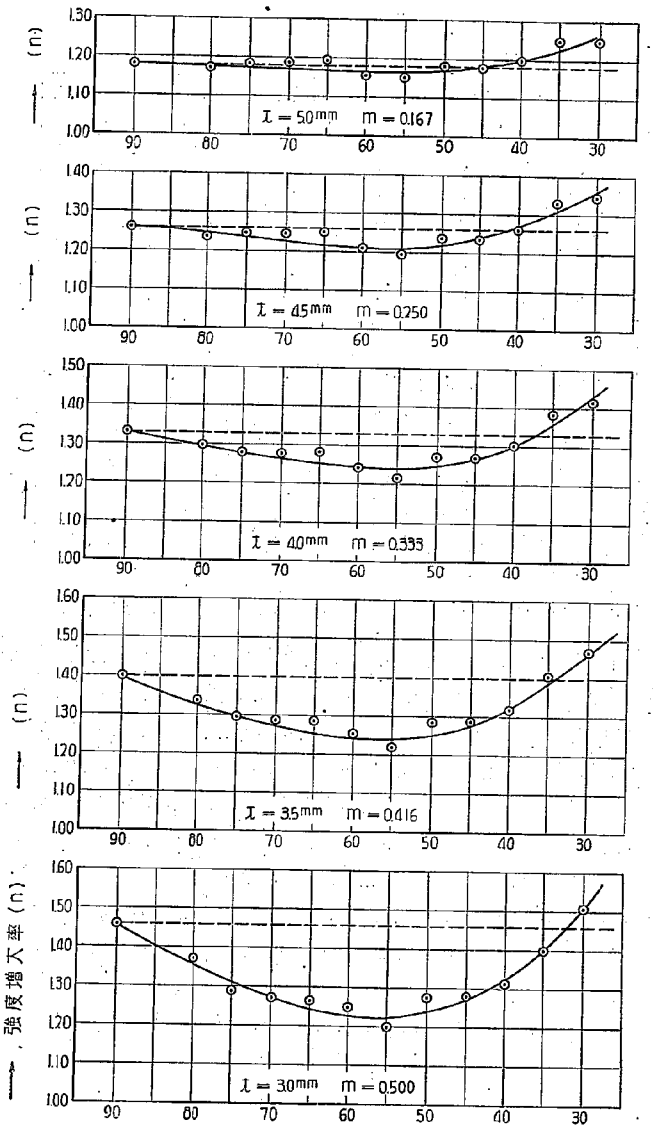
* 表中 —— 線を附したるものは其切斷が切溝部以外へ亘りたるもの.

第 19 圖について見るに，切溝の深淺に拘らず强度は $\alpha=90°$ より斜截角度の減少と共に遞減し，$\alpha=45°\sim32°$ 附近に至つて $\alpha=90°$ の場合の强度まで回復し，これより α の減少につれ更に强度を增してをる．この强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强度の增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 $\alpha=90°$ に於ける强度增加率を標準とし，これに對する α の變化と强度變化との關係を論ずることに止める．

先づ强度の變化の割合を見るに，切溝の淺きもの卽ち t の大なるものほど變化が少く，$t=5.0$mm にては $\alpha=90°\sim45°$ の間は殆んど變化なしと云ひ得る程度なるに對し，$t=3.0$mm に至りては $\alpha=90°$ の場合と最低强度の場合とにて强度に 20% の相違が現はれてをる．

最低强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，一旦低下した强度が $\alpha=90°$ の强度に回復する角度は，t の大なるほど大にして次の値を持つてをる．

(mm) $t=$	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
$\alpha'=$	45°	42°	37°	34°	32°

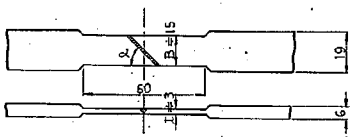


第 19 圖 各種の切溝の深さに於ける斜截角度と強度增大との關係

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强度が一旦低下し最低値に達して後强度は再び增大し，其變化の割合は母材と接手との强度の差の大なるほど著しいことが知られる．

[16] 平鋼小型熔接試驗片による實驗

比較的高强度の平鋼に第 20 圖の如き平行部を作り，これに平鋼强度に比して低强度の熔接棒を使用して接手を設け，これが接手角度を 90°～30° 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，斜截角と接手强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，平鋼の强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强度に影響を及ぼしたりと推定せらるゝ節あり，且其影響の度が試驗片により一定せざりし結果として，接手强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．



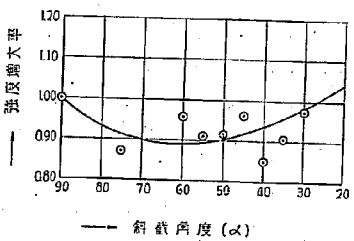
第 20 圖　平鋼小型熔接試驗片

平鋼の强度はこれの實測値を有せざるも，熔接試驗片の示せる降伏點が各試驗片とも殆んど一定値にして約 35 kg/mm² 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，平鋼强度は少くも 55 kg/mm² を有したるものと推定せられる．

次に熔着鋼の强度は直角接手のもの＞成績より見て 46 kg/mm² 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/mm² 前後の强度を標準とせるものなるが故に，この 46 kg/mm² 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．

試驗片の平行部斷面約 15×3 mm，平鋼原斷面は 19×6 mm である．試驗は 5 噸多能試驗機を使用し，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，其强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樣 $\alpha=90°$ より斜截角の減少に伴ひ一旦强度は低下し，或一定値に至つて再び强度は增大するものと認められる．



第 21 圖　平鋼小型熔接試驗片の斜截角と强度增加率との關係

第 13 表 平鋼小型熔接試驗片成績

接手斜截角度(α)		接手部形狀 幅員 B(mm)	厚 t(mm)	斷面積 A(cm²)	破壞荷重 P(kg)	極限强度 $\frac{P}{A}$(kg/cm²)	平均極限* 强度 (kg/cm²)	α=90°の場合の强度との比 (n)
90°	1	14.9	2.98	0.444	2090	4710	4680	1.00
	2	15.0	2.98	0.447	2080	4650		
75°	1	15.0	3.00	0.450	1820	4040	4040	0.87
	2	15.0	3.03	0.455	1670	3670		
60°	1	15.0	3.00	0.450	2030	4510	4470	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	4260	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	4310	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	4520	0.97
	2	15.0	3.12	0.468	2010	4290		
40°	1	15.1	2.98	0.450	1700	3780	3960	0.84
	2	15.0	3.01	0.452	1790	3960		
35°	1	15.0	3.04	0.456	1900	4170	4220	0.90
	2	15.0	3.06	0.459	1960	4270		
30°	1	15.0	2.99	0.449	1990	4430	4560	0.97
	2	14.9	3.02	0.450	2110	4690		

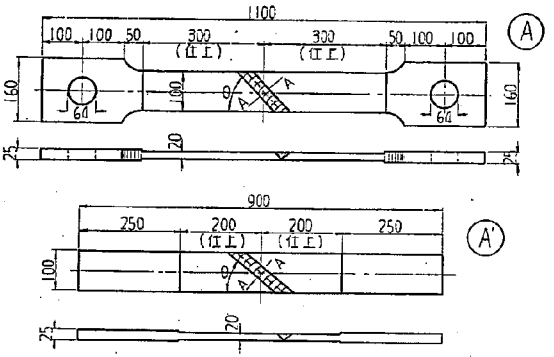
備考 * 極限强度 3800 kg/cm² 以下のものはこれを除外す.

V. 實物試驗

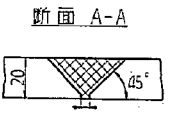
[17] 試驗片の形狀寸法

試驗片はこれを大體3種に分類する. A 種試驗片は同厚の突綴鈑の接合, B 種及 C 種は異厚の突綴鈑の接合をかたどつた物である.

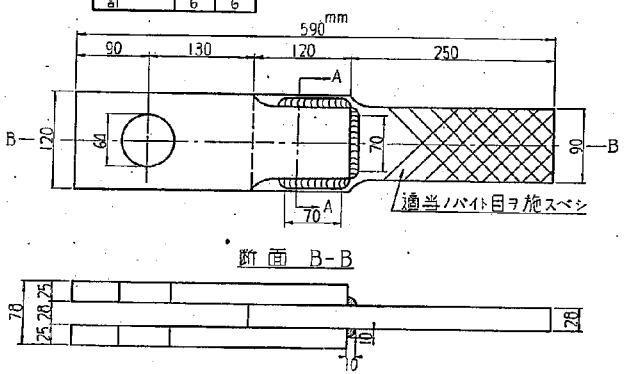
第 22 圖は A 種試驗片を示すもので, 厚 25 mm の母材を用ひ, V 形衝合熔接にて接合してをる. 試驗片平行部は熔接後幅員 100 mm, 厚 20 mm に仕上け, 接手の斜截角度は 90°, 75°, 60°, 55°, 50°, 45° の6種とした. 各斜截角に對し試驗片 2 個を作製し, 其一つは接手强度のほかに接手部の應力分布を觀測するに便なる樣, 端部を鋲結とし, 荷重の增減加除を自由ならしめた. 第 22 圖 A はこの試驗片を示すものである. 他の一つ

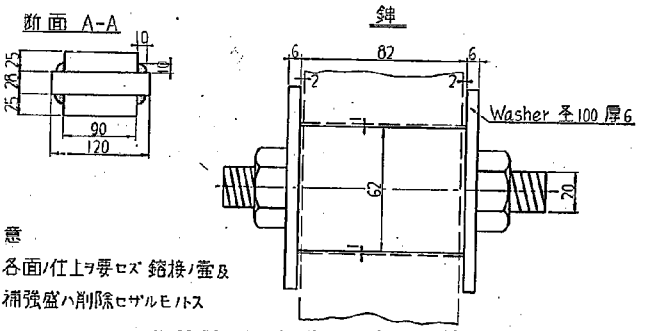


番号	θ	試験片数 A	試験片数 A'
1	90	1	1
2	75	1	1
3	60	1	1
4	55	1	1
5	50	1	1
6	45	1	1
計		6	6



第 22 圖 A 種及 A′ 種試驗片

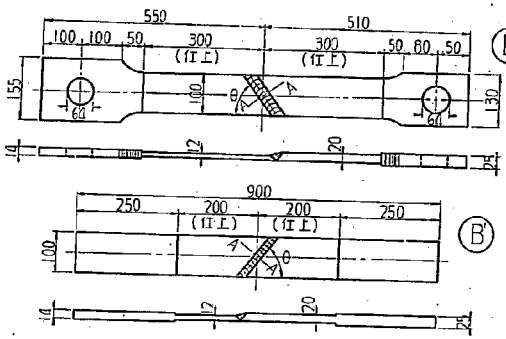




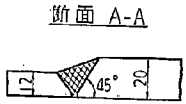
注意

各面ノ仕上ヲ要セズ 鎔接ノ壜及
補強盛ハ削除セザルモノトス

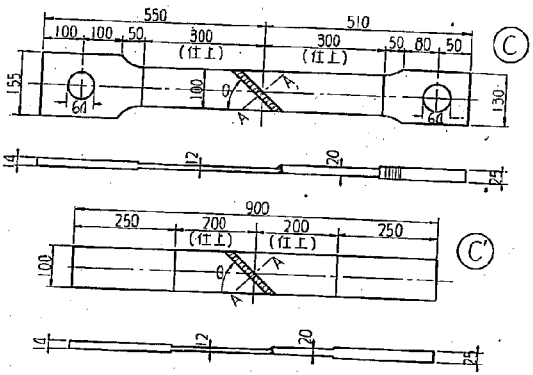
第 23 圖 試 驗 片 取 付 裝 置



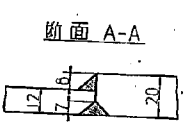
番号	θ	試驗片數 B	試驗片數 B'
1	90	1	1
2	75	1	1
3	60	1	1
4	55	1	1
5	50		1
6	45	1	1
計		4	6



第 24 圖 B 種及 B′ 種試驗片



番号	θ	試驗片數 C	試驗片數 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



第 25 圖 C 種及 C′ 種試驗片

は單に强度試驗のみを目的として製作せしめたもので第 22 圖 A′ はこの試驗片を示す.

A 種試驗片と鉚結せらるべき試驗片取付裝置並に鉚の構造は第 23 圖の如くである.

B 種試驗片は厚 25 mm と 14 mm の鋼板を衝合熔接にて接合したもので, 試驗片平行部第 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 種と同樣の目的にて試驗片を B 種及 B′ 種の 2 種とし, 前者には斜裁角90°, 75°, 55°, 45° の 4 種, 後者には A 種と同樣の 6 種を製作した.

C 種試驗片は B 種と同樣厚 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 形衝合熔接と, 上面に施工した隅肉熔接とを組合せたもので Schlachthof 橋に於ける突緣鈑接合法に準じたものである. 試驗片斜裁角

の變化，其製作數，C 種と C′ 種とを區別したる點等 A 種試驗片の場合と全く同一である．

[18] 試驗片の製作

試驗片の製作にあたつて特に注意を拂つたことは，試驗片の破壞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驗片平行部にて特に熔接部のみの斷面を縮少せしむる方法と，斷面を變化せしめず母材の强度に比して低い强度を有する熔着鋼を使用する方法とがある．前者は試驗片斷面形の變化に伴ふ應力分布の偏倚が，其强度に與へる影響を避け難く，試驗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，後者の低强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强度が母材の强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，熔着鋼には强度 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，低强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．

試驗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．

以上のほか試驗片の製作に關する各種要項は下揭試驗片製作示方書に據つた．

突縁鈑熔接接手試驗片製作示方書

第 1 條　本試驗片は熔接による應力傳達の狀況を明かにし，且其破壞試驗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從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（强度 44～50 kg/mm²）を使用すべし.

鋼材供試體として試驗片の製作に使用する鋼板より JES 第1號試驗片を削成し，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經たるものを使用し，電極棒により熔着せられたる熔着鋼の抗張力 38～42 kg/mm², 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 の平鈑上にビードを置き，其厚さ約 12 mm に達するまで盛上げたるもの2個を提出すべし.

第3條 工 作

1. 母材は工作に先ち，叮嚀に歪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 30～45 度の適當の角度に削殺し，下面には融合に必要なる直角斷面を殘すべし.

3. 試驗片取付孔は圖示の位置に正確に鑽孔し，「マクレ」を除去し，兩面に輕く「皿モミ」を行ふべし.

第4條 施 工

1. 熔接に際しては熔接機竝に電極棒は常に同一のものを使用し，各試驗片毎に熔接電壓，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錄を提出すべし.

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 60～90 度，兩結合材片の間隙及補强盛は適當にこれを定め，熔接終了後補强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，補强盛はこれを適當に定め，熔接終了後，壺竝に補强盛を除去し，表面仕上を行ふべし.

第5條 熔 接 工

1. 直接熔接に從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驗に合格するものたるべし.

2. 技倆檢定試驗用の供試體製作には突緣鈑熔接接手試驗片製作に使用するものと同一の電流熔接機竝に電極棒を使用し，熔接部の引張强度 38 kg/mm² 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，圖の點線に從つて 3 片にこれを切斷し，日本標準規格第 20 號鋼板引張試驗片に準じたる形狀に形成し引張試驗を行ふ.

供試體熔接部の補强盛は約 1.5 mm とす.

供試材の創成竝に引張試驗は當所に於て行ふものとす.

試驗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 7½ 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″/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愼重に施工せられ，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，最後の仕上層には楕形運行を用ひた. 第 14 表は試驗片 A_5 及 B_1 の運棒狀況を示したものである.

第 14 表　試驗片製作にあたつての運棒法

試驗片番號	斜戧角	各層運棒狀況 1層	2	3	4	5	6	7	8	9	10	斷面
A_5	45°	↑	∿∿	↑	↓	∿∿	↑	↓	↓	∿∿	⊔⊔	
B_1	90°	↓	∿∿	↑	↓	↑	↑	↑	⊔⊔			

使用電壓は 18 乃至 20 V.，電流は 170～200 Amp. の範圍に變化してゐるが 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 表は各試驗片製作にあたつての電壓，電流，電極棒使用量，作業時間を示したものである.

[19]　母材强度試驗

試驗片製作用の母材は既述の如く，構造用壓延鋼に比して强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强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驗片母材としての使用に差支へないものと認めた. 强度は 25 mm 鈑が特に大であり，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强度である. 第 16 表は兩回の試驗片製作にあたつての母材强度試驗の結果である.

尙これ等鋼材に對しては後に試驗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 鈑試驗片 (斷面 12.1×24.9 mm) について行つた引張試

第 15 表　試驗片製作に際しての使用，電壓，電流，電極棒長及作業時間

試驗片番號	斜載角	使用電壓 V	使用電流 Amp	電極棒使用量 直徑	長	本數	作業時間 h m
A_1	90°	20	200	$\frac{3}{16}$″	14″	9.9	0—30
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 厚(mm)	幅(mm)	断面積(mm²)	降伏點強度(kg/mm²)	極限強度(kg/mm²)	標距(mm)	伸率(%)
(1) 25 mm鈑 1	24.9	12.3	306	32.0	56.5	200	20.5
(1) 25 mm鈑 2	24.9	12.1	301	31.1	56.1	〃	20.0
(1) 25 mm鈑 平均	—	—	—	**31.6**	**56.3**	—	**20.3**
(1) 14 mm鈑 1	13.7	21.9	300	28.4	48.3	200	23.5
(1) 14 mm鈑 2	13.7	21.8	299	28.1	47.2	〃	26.0
(1) 14 mm鈑 平均	—	—	—	**28.3**	**47.8**	—	**24.8**
(2) 25 mm鈑 1	24.9	12.5	311	33.7	66.8	200	23.5
(2) 25 mm鈑 2	24.8	12.5	310	33.5	66.9	〃	18.5
(2) 25 mm鈑 平均	—	—	—	**33.6**	**66.9**	—	**21.0**
(2) 14 mm鈑 1	22.1	13.8	305	23.7	52.0	200	25
(2) 14 mm鈑 2	22.0	13.9	306	28.6	51.4	〃	23
(2) 14 mm鈑 平均	—	—	—	**26.2**	**51.7**	—	**24**

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.

引張試驗機	松村式 5 瓲多能試驗機
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

試驗片は基本荷重 200 kg にて基本讀數を採り，荷重を $P_1=600$ kg まであけ觀測し，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 まであけて變形を測定し，再び P_0 まで復歸せしめて殘留變形を求む. 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

$$\varepsilon=\alpha \cdot \sigma^b \qquad b=1$$

の關係ありとすれば

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

となる. 從つて標距 $l=10$ cm なるが故に求むる彈性係數は

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

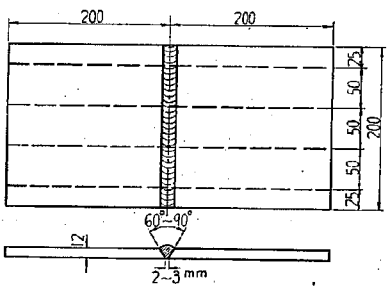
となる.

第 17 表　彈性變形觀測表

荷重		應力 σ (kg/cm²)	彈性變形 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		$[\sigma]=10{,}374$	$[\varepsilon]=98.90$

[20]　熔接工檢定試驗竝に熔着鋼强度試驗

芝浦製作所製直流電弧熔接機と米國 GE 會社製F型電極棒を使用し，この熔接工檢定試驗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 形衝合熔接試驗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.



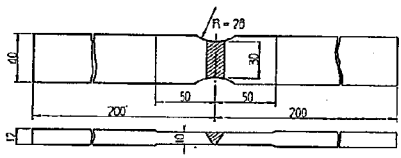
第 26 圖　熔接工檢定試驗用試驗片

第 18 表　熔接工檢定用試驗片作業成績

試驗片番號	作業電流 (Amp)	作業電壓 (V)	電極棒使用量 本數	電極棒使用量 體積	作業時間 (分)
			本	cm³	
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圖の試驗體は指示の點線に從ひ3個の引張試驗片に削成する．其仕上寸法第27圖の如くである．切斷が必ず熔接部に生ずる樣 $R=28$ mm，深 5 m の切缺を附した．この切缺は試驗に表はるゝ强度を增大せしむる傾向に働くものと考へらるゝが，其程度は本試驗の結果の大綱を左右する程のものでないと信ずる．第19表が其引張試驗成績である．



第27圖　熔接檢定工引張試驗片

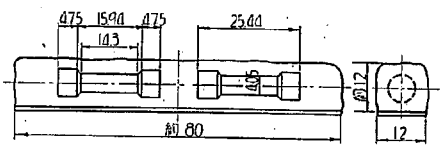
第19表　熔接工檢定引張試驗成績

試驗片番號	斷面			極限强		備考
	厚 (mm)	幅 (mm)	斷面積 (mm^2)	最大荷重 (kg)	强度 (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**	

上記の試驗成績を見るに 1，2 の例外を除けば殆んど全部が 44.7 前後の引張强度を有して，極めて良好なる成績を示してをる．これを母材の强度に比較するに，第1回製作の 25 mm 鋲の場合其約 80%，第2回製作の 25 mm 鋲にて 67%，14 mm 鋲にては同樣に95% 及 85% となつてをる．

上記の成績に鑑るに，本試驗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倆を有することは明かであり，其强度が比較的均一に現はれてをる點から見て，充分信賴し得べき熟練者であることが認められる．

以上の熔接工技倆檢定試驗の接手强度から構造用壓延鋼の衝合接手としての G.E. 會社 F型電極棒の强度を明かにすることが出來たが，更に熔着鋼としての强度竝に其延性を確むるための試驗を行つた．實驗に用ひた熔着鋼强度試驗片は當土木試驗所報告第 28 號所載「熔着鋼引張試驗用小型試驗片」に說きたるところにより第 28 圖指示の小



第28圖　小型引張試驗片

型試驗片を用ひた．試驗片製作示方書第2條に示した熔着鋼供試體は上記小型試驗片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回試驗片製作にあた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　小型試驗片製作作業成績

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.

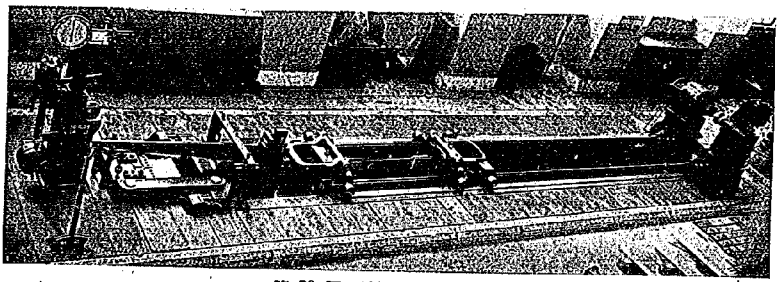
熔着鋼强度試驗の結果によると其平均降伏點强度 29.1 (kg/mm²)，平均極限强度 40.4 (kg/mm²)，伸率 23.7% にして，示方書の規格を充分滿足してをる．第 21 表は第1回，第2回試驗片製作にあたつての熔着鋼强度試驗成績である．

第 21 表　小型試驗片による熔着鋼强度試驗成績

試驗片番號	直徑 (mm)	斷面積 (mm²)	降伏點强度 (kg/mm²)	極限强度 (kg/mm²)	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] 引張强度試驗

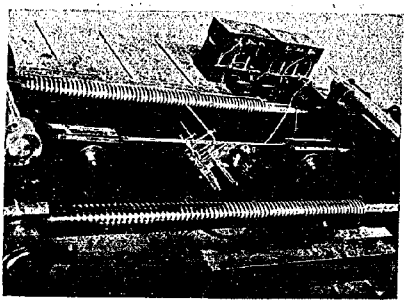
各試驗片の引張試驗は土木試驗所備付 100 t 水平引張試驗機を用ひた．本機は第 29 圖の機構を有し，載荷は螺旋裝置により，移動「クロスヘッド」は一對の螺旋錐の回轉によつて水平支柱に沿つて移動する．螺旋錐の回轉は右端の3相整流子電動機によつて行はれ，これが操縱は左端計測裝置側にて行ふことが出來る．「クロスヘッド」の移動速度は負荷狀



第 29 圖　100t 水平引張試驗機

態にて 1～50 mm に連續變化することが出來，荷重の計算は振子力計により自記記錄裝置を有し，指定の許容誤差は最大 0.5 以下である．試驗片の最大長は 4 m，この場合の徑程 1 m となつてをる．

突縁鋲接手試驗片の把握は A, B, C, 試驗片の如く極限强度のほかに接手附近の應力分布を求めんとする試驗片に於ては，先づ第23圖に示せる試驗片取付裝置を楔形金物にて取付け，更にこれへ徑 62 mm の鋲を用ひて試驗片を連結し，荷重の加除を自由ならしめた．A′, B′, C′ 試驗片の如く單に極限强度を求むるのみの試驗片にては直接試驗機の「クロスヘッド」へ楔形金物を用ひて試驗片を取付けた．第 30 圖は B 種試驗片の取付狀況を示すものである．



第 30 圖　引張試驗中の B 種試驗片

[22]　A 及 A′ 種試驗片引張强度

本試驗片は第 22 圖に示すが如く同厚の突縁鋲 (t=25 mm) の V 形衝合接手に於て，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．

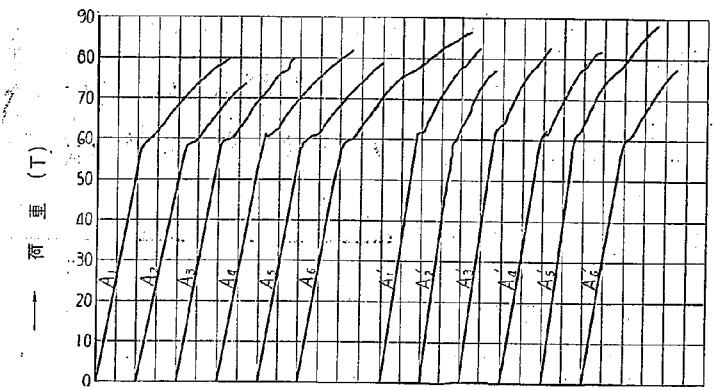
各試驗片の强度試驗の結果第 22 表の如くである．

第 22 表に掲げたる强度は極限强度であつて，これが降伏點强度については觸れてをらない．この理由は試驗片の性質上，接手の降伏點强度を觀測することが困難であるためである．引張試驗に際して求めた第 31 圖の各試驗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 卽ち應力强度としては 28.5～31.5 kg/mm² にして [19] 節に示せる母材の降伏點强度に相當してをり，接手の强度を論ずるの資料た

第 22 表　A 及 A′ 種の試驗片引張強度表

試驗片番號	斜截角 θ	幅員 (mm)	厚 (mm)	斷面積 (cm²)	強度 最大荷重 kg	強度 極限強度 (kg/mm²)	強度 平均強度 (kg/mm²)	θ=90° の強度との比	試驗機械の運轉速度 mm/min
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 試驗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．



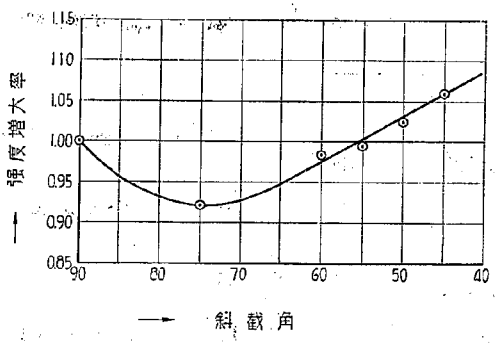
→ 伸 (記錄倍率 1 倍) (縮寫 2/3)

第 31 圖　A 及 A′ 種試驗片荷重變形曲線

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′ 種試驗の強度も，豫備試驗について求めたると同樣に，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

接手強度が漸次增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) 節の平鋼切溝試驗片に於ける結果と甚だ類似してをる．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% の强度の增大は困難の樣に考へられる．



第 32 圖　A 及 A′ 種試驗片强度の變化

今各試驗片について其切斷狀況を調ぶるに，其切斷方向は多少の例外あるも大體に於て $\theta=50°$ までは接手に沿ひて熔接部に切斷が起つてをり，$\theta=45°$ に至つては試驗片の長手に直角に切斷してをる．又第 33 圖及第 34 圖について各試驗片の切斷面を見るに，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．下揭は各試驗片の切斷狀況を示す．

A 及 A′ 種試驗片切斷狀況

A_1：熔接部の中央にて接手の方向に沿ひて切斷，下緣中央部に熔込不充分なりと思はるる部分あり．

A_2：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，切斷は接手の方向に沿つて起つてをる．

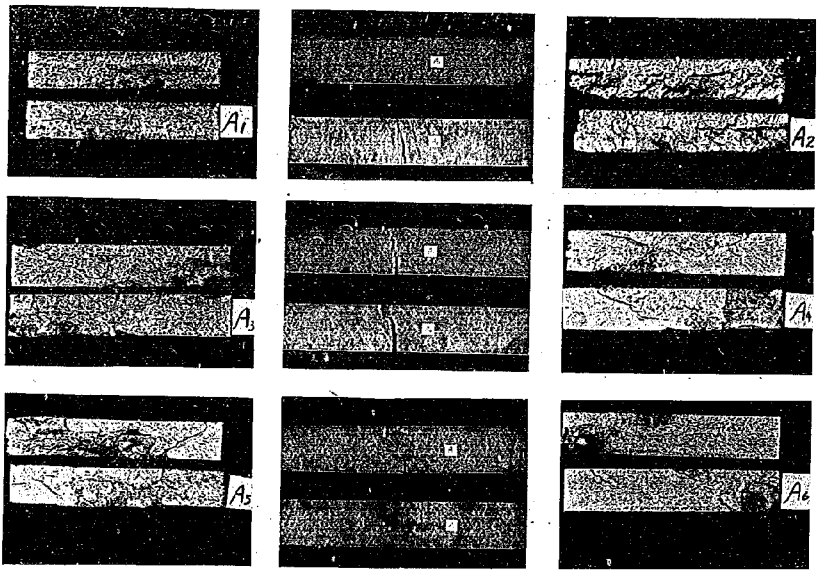
A_3：A_2 同樣熔接作業は比較的良好である．切斷は其半は接手方向に沿ひ，他半は試驗片の方向に直角であるが，切斷線は熔着鋼內に存してをる．

A_4：氣泡の存在顯著なり，切斷の傾向は A_3 と略ゝ同樣，試驗片の方向に直角に切斷した部分の端部が僅かに母材部に浸入してをる．

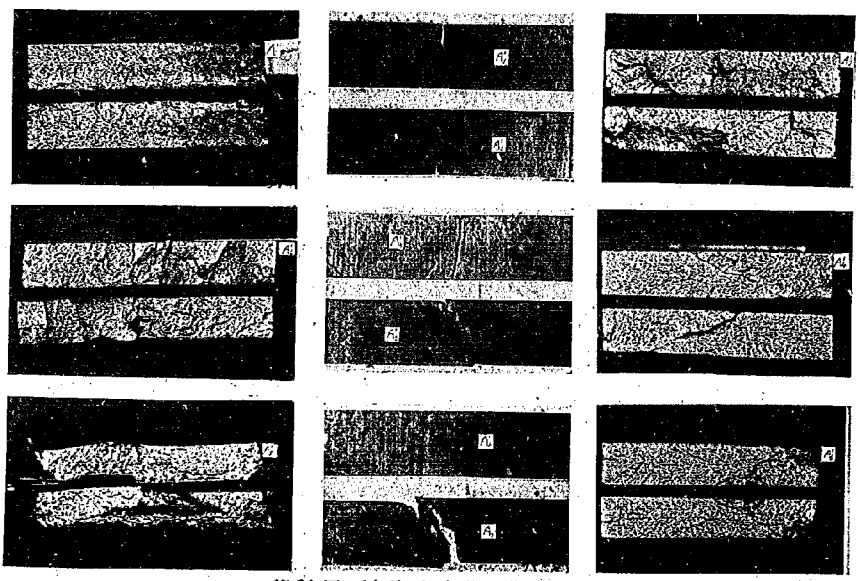
A_5：氣泡の存在が顯著である．切斷は其 ¾ が略ゝ接手の方向に沿ひ，殘部の ¼ は試驗片の方向に直角である．切斷は略ゝ熔接部內に起つてをる．

A_6：切斷は一側の熔接部中央より起り，試驗片の方向に全く直角に大部分母材內に起つてをる．斷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：切斷線の方向は約 85° の傾斜を有し，略ゝ接手方向に一致してをる．切斷線は熔接部の片側約 ¼ の線に起つてをり，斷面を見るに幾分母材部の切斷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

られる，熔接部の氣泡が相當認められる．

A'_2：切斷線の方向は約 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：切斷は一側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．從つて切斷面の 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氣泡が認められる．

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．然るに本試驗片の强度は僅かに 39.6 kg/mm² にて母材强度 56.3 kg/mm² 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．

以上各試驗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，斜截角度の小と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．本試驗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°～55° 附近であり，試驗片の强度もこの角度を超ゆるとき $\theta=90°$ の場合の强度以上に達してをる．

又，大部分の試驗片にては其切斷線の一端は一側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形衝合の底部より起るものであることを示してをるもので，本試驗片の施工にあた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創成の際，削り取られたるものとは考へらるゝも，尚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′ 種試驗片の引張强度

本試驗片は第 24 圖に示せるが如く，異厚の突縁鋼（厚 25 mm 及 14 mm）を V 形衝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 種試驗片 4 箇，B′ 種試驗片 7 箇で其强度試驗成績第 23 表の如くである．

第 23 表の强度成績を見るに試驗片强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樣に見受けられるが，この原因は試驗片が異厚の

第 23 表　B 及 B′ 種試驗片引張强度成績

試驗片番號	接手斜載角	幅員 B (mm)	薄突緣鈑厚 t_1(mm)	厚突緣鈑厚 t_2(mm)	最小斷面積 $B\times t_1$ (cm²)	最大荷重 P(kg)	薄突緣鈑强度との比 *2	試驗機械の運轉速度 mm/min
B_1*1			11.5	20.0	11.5	53 000	0.855	7
B'_1*1	90°	100	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 回製作試驗片，其他は第 2 回製作試驗片とす．

*2 薄突緣鈑の强度を 12.0×5,170=62,000 kg と假定す．

鈑の接手試驗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，各試驗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．よつて先づ各試驗片の切斷狀況を第35圖及第36圖について調べることゝする．

B 及 B′ 種試驗片切斷狀況

B_1：(第 1 回製作) 切斷は熔接部薄突緣鈑寄にて，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．

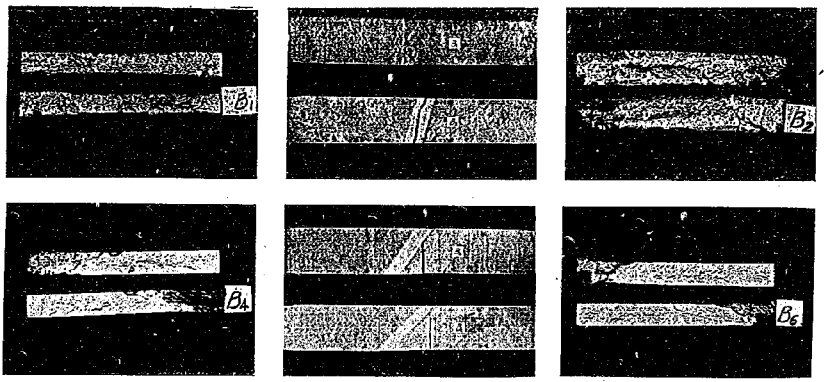
B_2：切斷は熔接部中央，接手沿ひに起つてをる．熔接部には幾分の氣泡を認むるも熔込其他比較的良好である．

B_4：切斷線の 1/3 は薄鈑寄りの熔接緣部に沿つてをり，其他は試驗片の方向に直角に薄鈑が切れてをる．熔接部には可成の氣泡が見受けられる．この試驗片の强度が B'_4 に比して低いことはこれに原因するものと考へる．

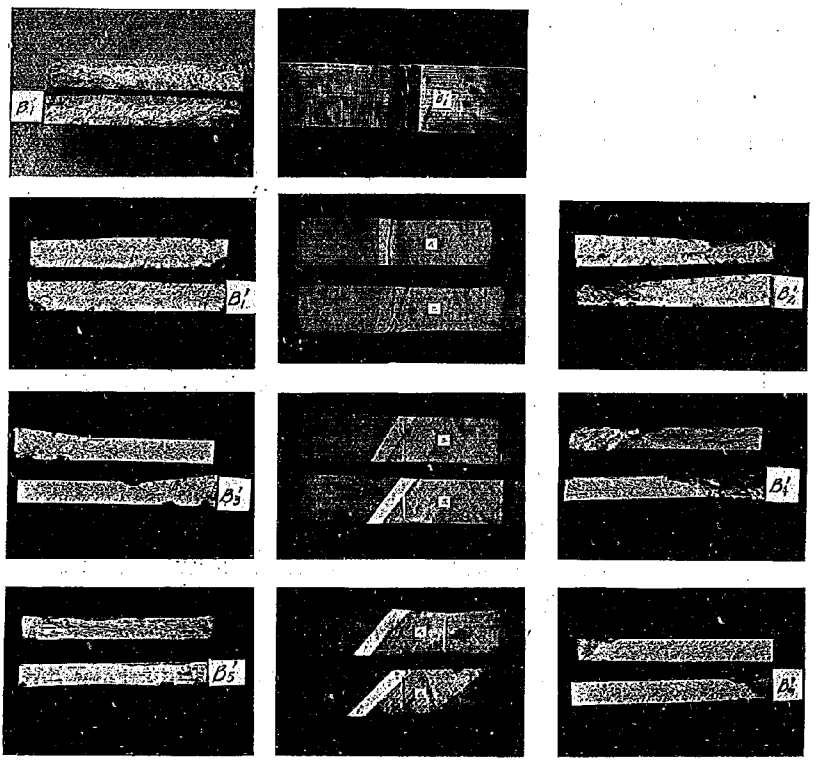
B_6：切斷は大部分薄鈑內にて試驗片の方向に直角に起つてをり，其一部約 1/5 が熔接部薄鈑側に沿つてをる．切斷面を見るに可成の氣泡が認められ底部の熔込の不充分な感がある．

B'_3：(第 1 回製作) 熔接部の中央にて略〻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 と殆ど同樣の切斷狀況を示してをり，熔接の施工も頗る良好で



第 35 圖　B 種 試 驗 片 切 斷 狀 況



第 36 圖　B′ 種 試 驗 片 切 斷 狀 況

ある.

B'_2：切斷線の上半は熔接部內にて試驗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．

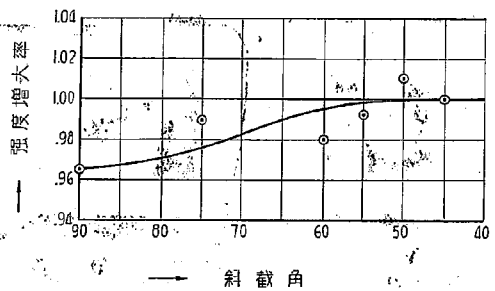
B'_3：片側熔接部分の中央附近より發した龜裂は試驗片の方向に直角に母材部を通して他側に及んでをる．切斷面の約¼を占むる熔接部分の施工は良好である．

B'_4：龜裂は薄鈑寄りの融合面に沿つて，試驗片の幅員約 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．切斷面中熔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．

B'_5：切斷は全く薄鈑母材中に起り，接手中央と切斷線までの距離は約 10 cm である．

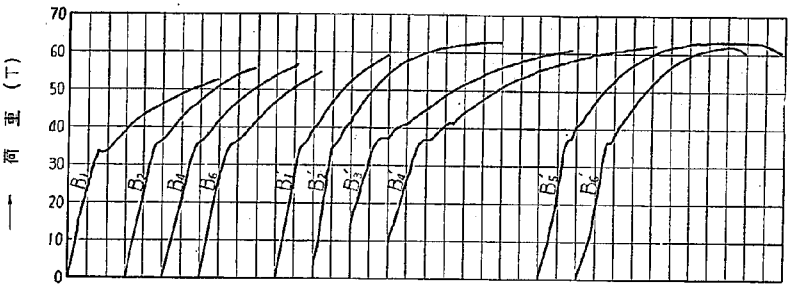
B'_6：切斷は大部分母材內に起つてをり，僅かに試驗片幅員の 1/5 にあたる部分が熔接部融合面に沿つて生じてをる．この部分の熔接の施工は必しも良好とは云へない．

以上の試驗片切斷狀況より見ると，接手の斜截角度が 60° 以下卽ち B_3 又は B'_3 以下の試驗片になつて，切斷が母材部にも生ずるに至り，50° に達すれば接手の强度は薄鈑の强度を越え，切斷は母材內に起ると考へられる．併し B_5 又は B'_5 以下のものにて其强度が薄鈑の强度に比して著しく劣つてをるものは，多く切斷が一部熔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れるものが多い．今第 2 回の製作試驗片について，特に熔接部の熔込不充分と認められる B_4 及 B_6 を除外して，其殘餘のものにつき，其强度と薄鈑の假定强度との比を圖表に表して見ると第 37 圖の如くなる．



第 37 圖 B 及 B′ 種試驗片强度の變化

この結果によると，異厚突緣鈑の衝合接手に於て，接手の强度を薄鈑に相當した强度まで增大せしむるに必要な斜截角は，同厚突緣鈑の衝合接手にて，接手の强度を鈑の强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，厚鈑 20 mm，薄鈑 12 mm 卽ち其比率 0.6，鋼材と熔着鋼の强度の比 0.85 の場合，斜截角は 50° にて充分である．この値は鈑厚の比率竝に鈑の幅員に依て變化すべきことは當然である．



伸（記錄倍率1倍，但B'5及B'6ハ2倍）（縮寫½）

第 38 圖　B 及 B′ 種試驗片荷重變形曲線

尙本試驗片についても試驗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．標距としては試驗機械のクロスヘッド間を採つてをり，試驗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雜であつてこれをもつて各試驗片の性能を判斷することは困難であるが，各試驗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，各試驗片とも 34～36 t 附近にて降伏點に達してをること，A 及 A′ 種試驗片の同曲線に比して伸びの大なることである．この降伏點强度は 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强度が薄鈑の强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．B′5 試驗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，比較的强度の劣つてをる試驗片は，其破壞狀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も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．

尙この試驗成績から考へらるゝことは，一般に異厚の鈑の衝合熔接に於ては其强度計算に喉厚として薄鈑厚を採ること、なつてをる．この方法を $\theta=90°$ の場合の試驗に適用すると，熔着鋼の單位强度は平均 47.1 kg/mm² となり，熔着鋼試驗の結果とあまりに懸離れた數値となる．其切斷の狀況より見ても，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，$\theta=90°$ の試驗片にて熔着鋼强度は平均 40 kg/mm² となり，熔着鋼試驗の結果と略ゝ一致する．

[24] C 及 C′ 種試驗片引張强度

本試驗片も B 及 B′ 種と同樣，異厚の尖緣鈑の接手試驗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樣 90° 乃至 45° の 6 種とした．

本試驗片の接手强度は前面隅肉熔接の强度を衝合熔接の强度の 75% に採るとき，$\theta=90°$ にて

$$P=40.4\times100\times(7+8\times0.7\times0.75)=45{,}300\ \text{kg}$$

となり，薄鈑の假想强度 $4780\times12=57{,}400$ kg の約 79% であり，この接手强度を B 又は B′ 種試驗の衝合熔接の場合に比較すると甚だ低い．從つて試驗片の切斷は全部接手沿ひに起つてをり，接手の斜截も其强度を母材强度まで增大せしむることが困難であつた．

第 25 圖の斷面にて隅肉熔接と衝合熔接との間に 5 mm の間隙を殘してをるが，この間隙を置かず V 形衝合熔接を更に大となせば，接手强度は $\theta=90°$ のとき 65,000 kg 附近まで增大せしむることが出來る．

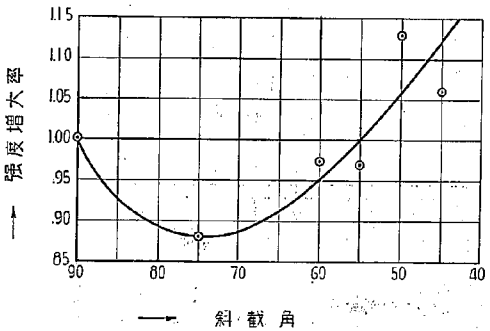
第 24 表 C 及 C′ 種試驗片の引張强度試驗成績表

驗試片番號	接手斜截角 θ	幅員 B (mm)	薄突緣鈑厚 t_1(mm)	厚突緣鈑厚 t_2(mm)	最小斷面積 $B\times t_1$ (cm²)	最大荷重 P(kg)	$\theta=90°$ の强度との比	試驗機械の運轉速度 mm/min
C_1	90°	100	11.5	20.0	11.5	39 500		7
C'_1			12.0	19.7	12.0	49 200		6
平均						**44 350**	1.000	
C_2	75°	100	11.5	20.0	11.5	36 000		7
C'_2		99.8	12.0	19.2	12.0	42 000		6
平均						**39 000**	0.880	
C_3	60°	100	11.5	20.4	11.5	39 400		7
C'_3		99.5	11.8	19.3	11.7	47 000		6
平均						**43 200**	0.974	
C_4	55°	100	11.8	20.0	11.8	34 600		7
C'_4		98.9	11.5	19.0	11.4	51 400		6
平均						**43 000**	0.970	
C_5	50°	100	12.0	20.0	12.0	44 800		7
C'_5		99.0	11.9	19.1	11.8	55 600		6
平均						**50 200**	1.130	
C_6	45°	100	11.5	20.0	11.5	44 500		7
C'_6		100	11.2	19.7	11.2	49 900		6
平均						**47 100**	1.062	

以上接手强度が母材强度に達せず，試驗片全部が接手に沿ひて切斷したことは，一面に於て接手强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來る．

各試驗片の引張强度は第 24 表の如くである．

第24表の試驗成績によつて斜截角と接手强度との關係を見るに第39圖の如き傾向を採り，既述各種豫備試驗又は A 及 A′ 種試驗片に就て求めたる結果とよく類似してをる．この試驗片に於ては，$\theta=90°$ の際の强度を薄鋏の强度に達せしむるには 29% の强度增大を要するが，これがための斜截角は第 39 圖の曲線より判斷するとき $\alpha=30°$ 程度に減少せしむる必要がある．



第 39 圖　C 及 C′ 試驗片强度の變化

各試驗片の切斷は全部熔接線に沿つて起つてをるが，其切斷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．

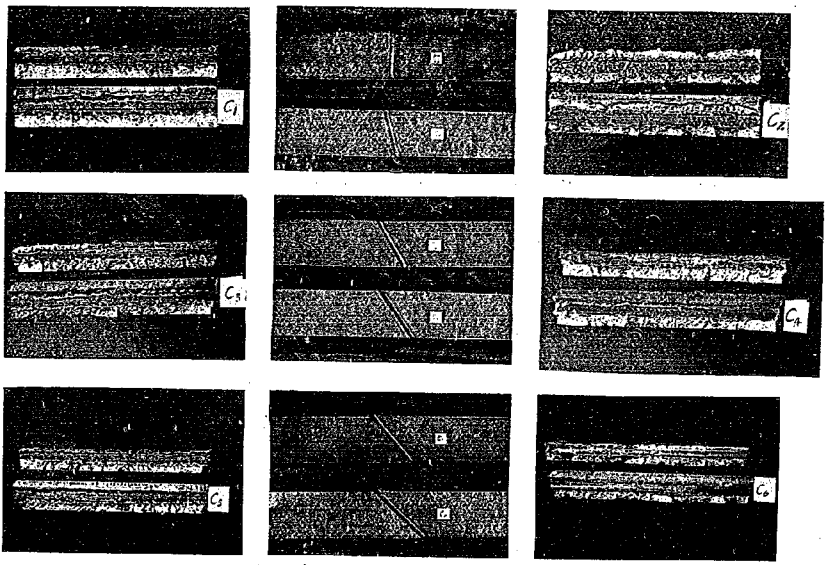
C 及 C′ 種試驗片切斷狀況（第 40 圖及第 41 圖）

C 種試驗片　　C 種試驗片の切斷は C_4 以外の各試驗片にては隅肉熔接，衝合熔接，孰れも喉厚に沿つて生じてをる．C_4 は隅肉熔接が薄鋏側融合面に接近して破斷してをり，他の試驗片に比して施工不良である．强度試驗の成績もこの試驗片は他のものに比して著しく劣つてをる．

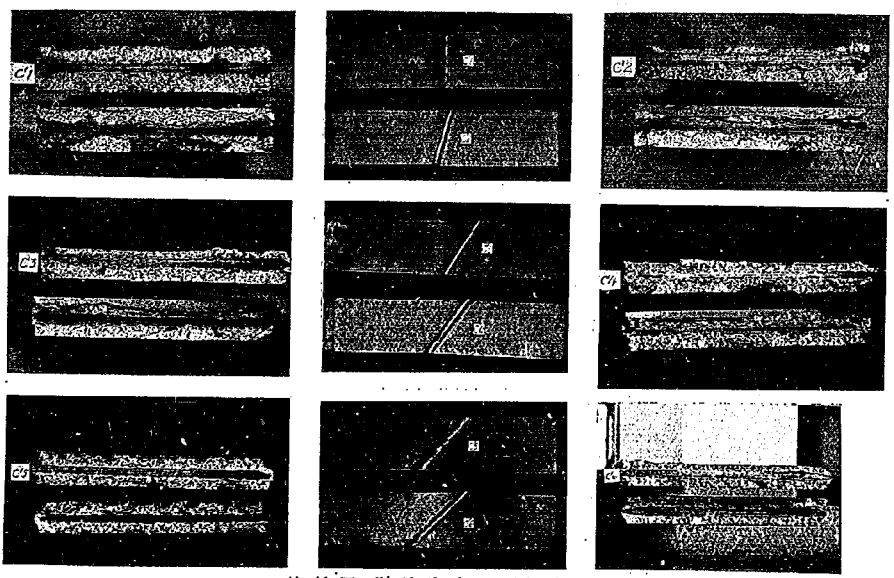
第 24 表の成績を見るに，一般に C 種試驗片の强度が C′ 種に比して低い，この原因は V 形衝合熔接の內部に殘した間隙 d は 5 mm なるに對し，實際熔着せざる部分の寸法は 6～7 mm に達し，衝合熔接の喉厚が所期の寸法に達せざりしことによるものである．各試驗片の d の値は下表の如くである．

試驗片番號	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，底部間隙なき衝合熔接を行ふとき特別の注意を拂はざる限り，底部の熔込不充分となることは當然であつて，C′ 種試驗片に於てはこの熔込不充分による强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：隅肉熔接の切斷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．衝合熔接部にては切斷面の約$\frac{1}{3}$に特に著しい，$d=5$ mm.

C'_2：兩熔接とも切斷は喉斷面，氣泡の存在は隅肉熔接部にて斷面の 1/10 衝合熔接部にて 1/5 の部分が顯著である，$d=5$ mm.

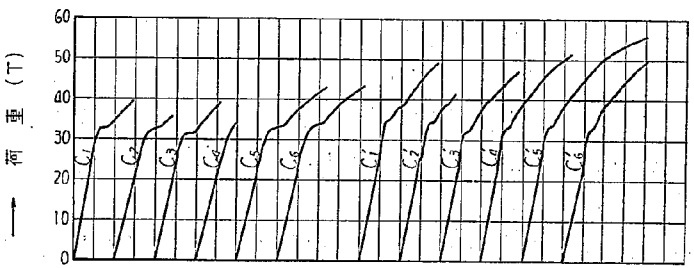
C'_3：氣泡は殆ど認められない，兩熔接とも切斷は喉斷面，$d=5$ mm.

C'_4：切斷は各熔接とも喉斷面，$d=3$ mm.

C'_5：衝合熔接の切斷は喉斷面，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 表に表はれ强度が著しく高いことも，この原因によるものである，$d=5$ mm.

C'_6：切斷は孰れも喉斷面，氣泡殆どなし，$d=5$ mm.

各試驗片の强度が 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．この試驗片についても第 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′ 種試驗片荷重變形曲線

點は薄鋼の夫れであること，C_2 C_4 等の試驗片が降伏點を越して間もなく切斷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狀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あることは衆知の事柄である．本試驗に於ては既述の諸試驗によつて靜力學的に見たる强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．從つて本節以下に於てこれが應力分布の狀況を求め，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 種の接手の縱斷面的に見たる應力分布狀況は第 22 圖，第 24 圖及第 25 圖

の斷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 種の順に增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，$\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{2}}$，$\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}}$，$\varepsilon_{\alpha+\frac{3}{4}\pi}$ 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 $\sigma_{\frac{\pi}{2}}$ 竝に其方向 α は次式によつて表はされる．

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

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_{\frac{\pi}{2}}}=\frac{m.E}{2.d}\left[\frac{S}{m-1}\pm\frac{\sqrt{D^2_\alpha+D^2_{\alpha+\frac{\pi}{4}}}}{m+1}\right]=\frac{m.E}{2.d}\left[\frac{S}{m-1}\pm\frac{\sqrt{D_\alpha{}^2+(2\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}}-S)^2}}{m+1}\right]$$

こゝに

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

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

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

d＝變形測定の標點距離

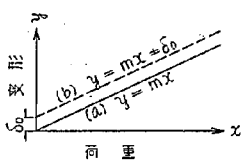
今變形が單位 mm，倍率 1000 倍にて測定せられ $d=2$ cm，$E=2{,}100{,}000$ kg/cm²，$m=\frac{10}{3}$ とすれば

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_{\frac{\pi}{2}}}=\frac{10\cdot2{,}100{,}000}{3\cdot2\cdot2\cdot10{,}000}\left[\frac{S}{2.33}\pm\frac{\sqrt{D^2_\alpha+(2\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}}-S)^2}}{4.33}\right]=175\left[\frac{S}{2.33}\pm\frac{\sqrt{D^2_\alpha+(2\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}}-S)^2}}{4.33}\right]$$

となる，$d=1$ cm の場合は係數 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驗片絲部にては適當の形狀の締付金物を用ひ，中央部に於ては磁力取付裝置を採用した．

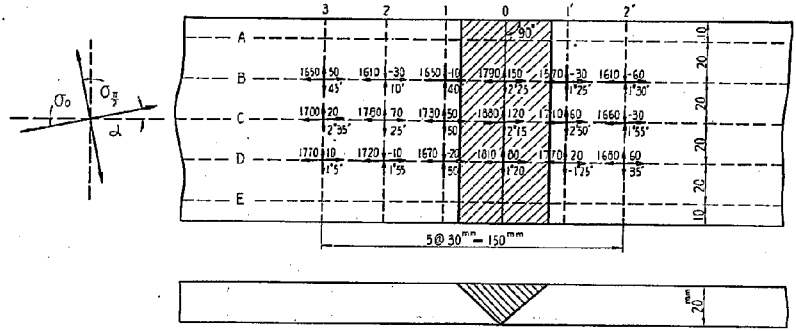
1 點の廻りにて測定した各組の變形の和は前揭の如く定數であるべきなるも，實測の數値は必しもこの條件を滿足しない．從つてこれ等を上式に代入して主應力を求むるためには實測値の更正を必要とする．



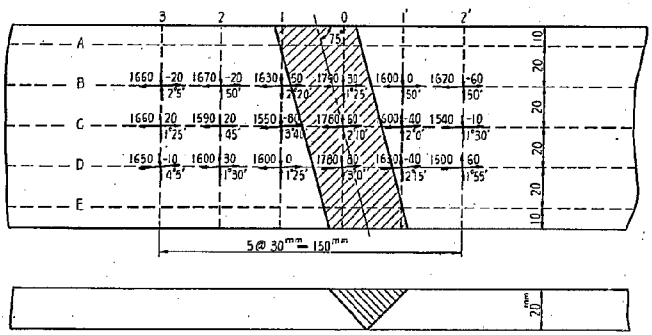
第 43 圖

この更正は大體次の階梯にて行つた．

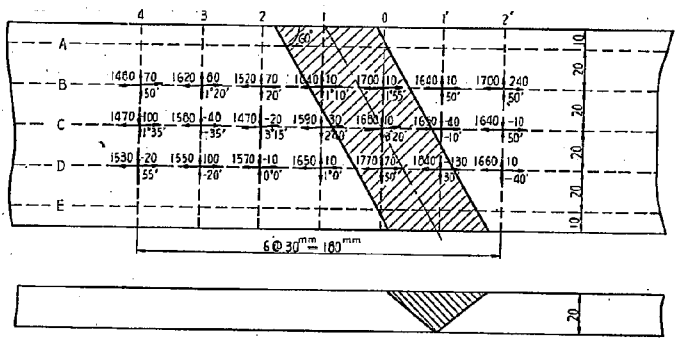
1. 荷重に伴ふ變形量を圖表に現はすとき第 43 圖(b)直線の如く原點を通過せざるものがある．この原因は測定器の取付にあたつての誤差によるものと認めて(a)直線の如き數値を採るものとして其値を更正した．



A_1 試驗片

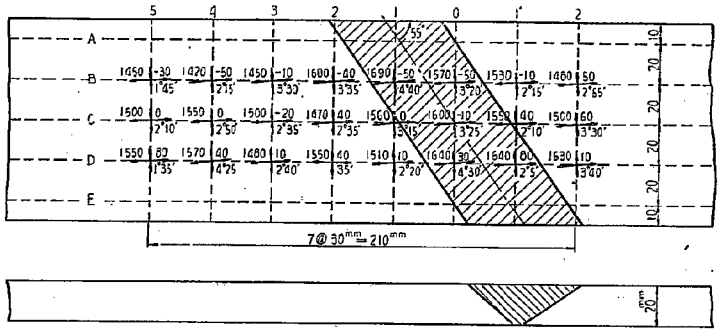


A_2 試驗片

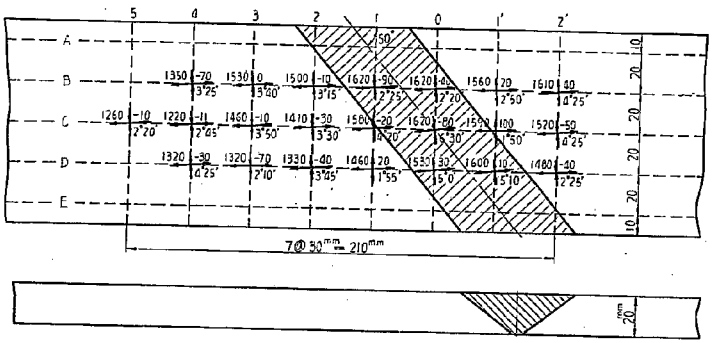


A_3 試驗片

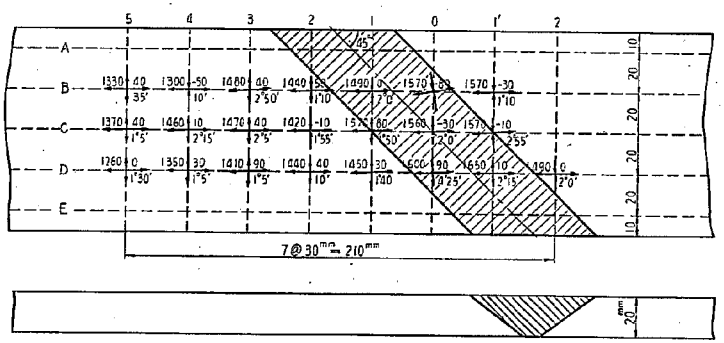
第 44 圖　A 種試驗片主應力分布



A_4 試驗片



A_5 試驗片



A_6 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 $S=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{2}}=\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{4}}+\varepsilon_{\alpha+\frac{3\pi}{4}}$ が滿足されざる場合は，各觀測値の誤差は其絶對値に比較するものとしてこれを按分した．

變形測定點は各試驗片とも其幅員 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．測定點はすべて試驗片の表面 (V 形熔接の) に限つた．

荷重の載荷は大體各試驗片降伏點强度の $\frac{1}{2}$ を標準とし，荷重の增加階梯は 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，其平均値をもつて觀測値とした．

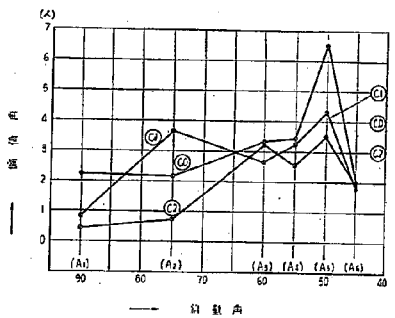
[26] A 種試驗片の主應力分布

A 種試驗片は衝合熔接を有する同厚の突縁鈑の接手なるが故に，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，接手の傾斜の增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．

本試驗片の平均の降伏點强度は約 60 t なるが故に觀測は其半 30 t にとゞめた，卽變形量を荷重が 0 より 30 t に至るまでの間 3 t 毎に測定し，觀測値の更正を行ひたる後其應力の方向竝に大きさを求めた．A_1 乃至 A_6 の各試驗片に於て荷重 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，接手斜線角 α の減少と共に增加し，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ゐる．

今接手附近試驗片中心線上の 3 點に於ける主應力線偏倚の狀況を圖表に示せば第 45 圖の如くである．各點とも $\alpha=90°$ より $\alpha=50°$ まで順次增大し，中央 C_0 點は最大 6°30′ に達してゐる．各點とも $\alpha=45°$ に於て約 2°55′ に減少してゐるが大體の傾向として，接手の傾きの增加と共に偏倚は增すものと認められる．

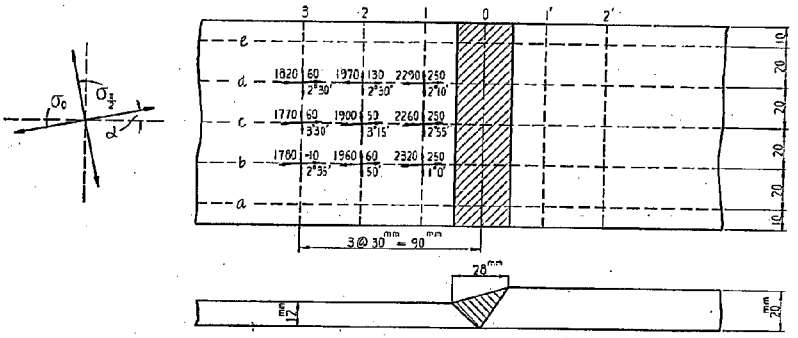


第 45 圖　接手附近試驗片中心線上の主應力の偏倚

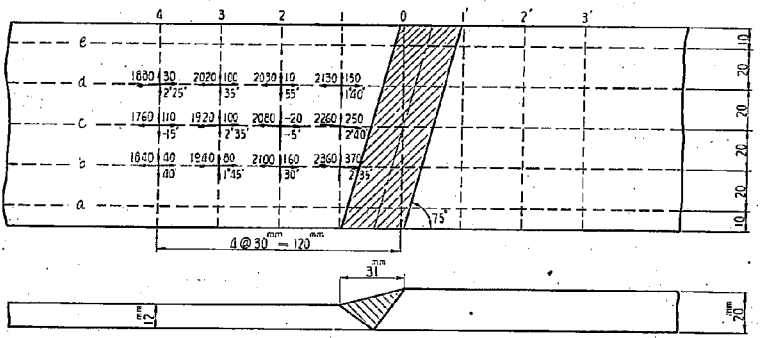
主應力の大きさは應力が斷面全體に均等に分布するものとすれば $\frac{30000}{20}=1500\text{kg/cm}^2$ なるに對し，σ_0 の最大値 1600～1800 kg/cm² 程度に達するに過ぎない．

[27] B 種試驗片の主應力分布

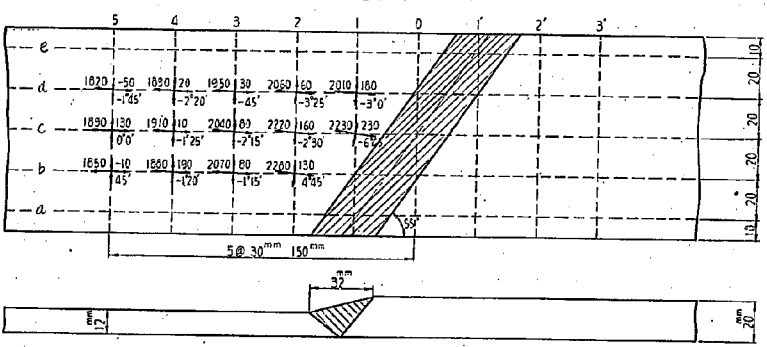
この試驗片は厚さを異にする 2 突縁鈑の衝合接手である (第 24 圖參照)．從つて其主應



B_1 試驗片

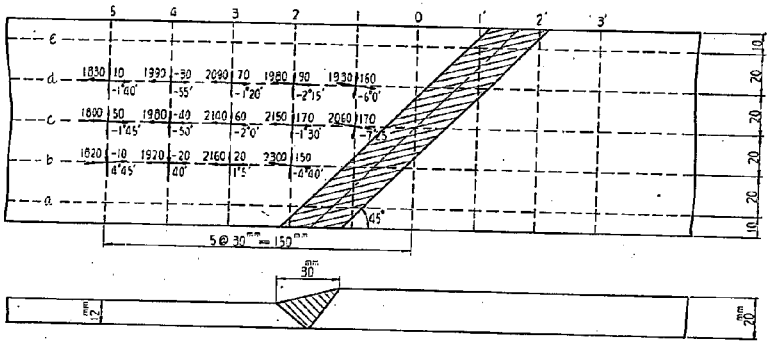


B_2 試驗片



B_4 試驗片

第 46 圖 B 種試驗片主應力分布



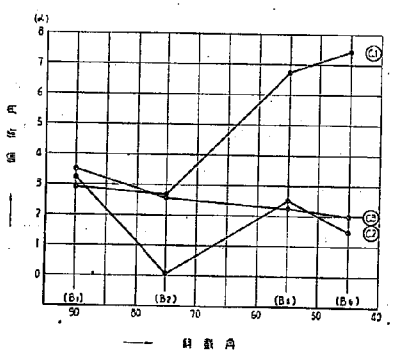
B_6 試驗片

第 46 圖　B 種試驗片主應力分布

力の大きさは兩突縁鈑にて全く其數値を異にするがこの接手の强度は薄突縁鈑の强度を標準とすべきものなるが故に厚鈑側の應力につきては左程重要性を認めない．よつて主應力の觀測も薄鈑側にのみ限定した．

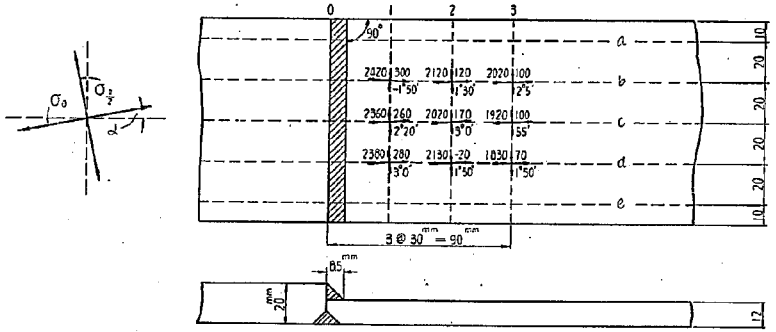
試驗片の降伏點約 35 t なるに徹し應力測定の最大荷重は其 $\frac{1}{2}$, 16 t とし，2 t をきに應力の觀測を行つた．最大荷重 16 t の場合の主應力分布第 46 圖の如くである．熔接接手部は其表面傾斜せるが故にこの部分の應力測定は省略した．

A 種試驗片に於けると同様に試驗片中心線上の接手に最も接近せる觀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 C_3 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 C_1 點にては斜截角の變化と共に增大し $\alpha=45°$ に至つては偏倚 7°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．

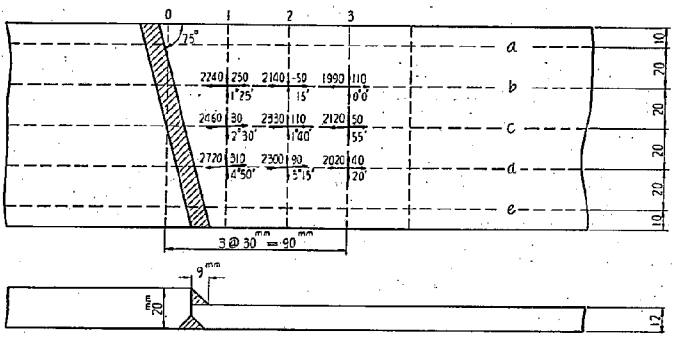


第 47 圖　接手附近試驗片中心線上の主應力の偏倚

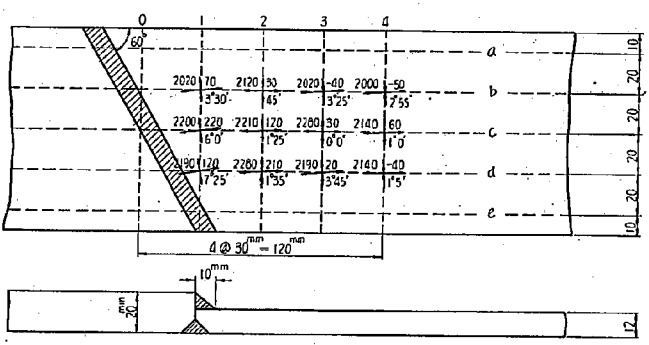
主應力 σ_0 の大きさは應力が薄鈑の斷面に均等に分布する場合 $\frac{16000}{12}=1340 kg/cm^2$ となるに對し，B_1 試驗片にて第 1 列の平均 2290 kg/cm², 第 2 列の平均 1940 kg/cm², 第 3



C_1 試驗片

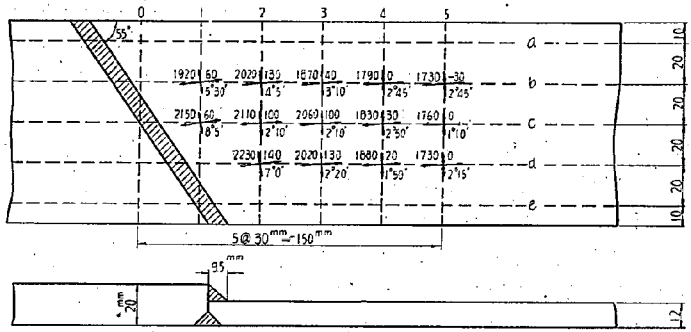


C_2 試驗片

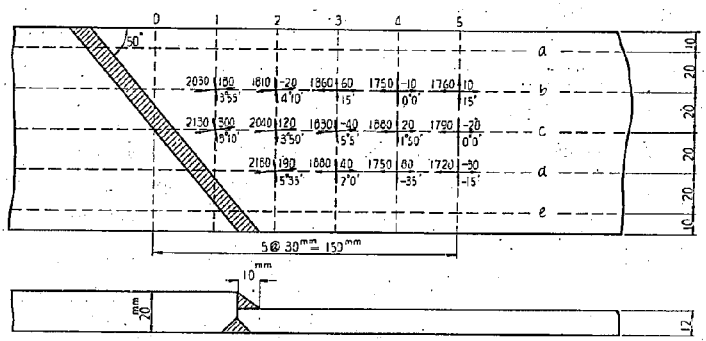


C_3 試驗片

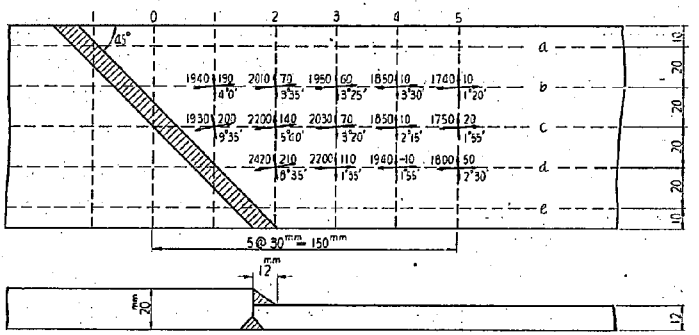
第 48 圖 C 種試驗片主應力分布



C_4 試験片



C_5 試験片



C_6 試験片

第 48 圖　C 種試験片主應力分布

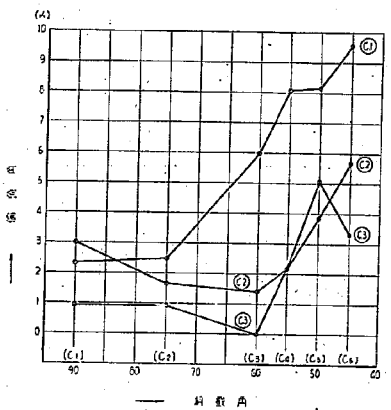
列の平均 1790 kg/cm² にして 64～34% の増大を示してをる．この原因として先づ考へらるゝものは薄鈑と厚鈑との偏心に基づく曲げの影響である．應力が兩鈑斷面に均一に分布し其偏心が $e=4$ mm なりと假定した場合の曲げモーメントは $M=16000\times4=64000$ kg. mm にて，この曲げによる縁應力は ±266 kg に達するにすぎない．然るに第1列に於ける増大は其約 3.5 倍 950 kg/cm² に及べる點を考ふるとき，この接手の縦斷面に於ける應力の偏倚單純なる偏心による曲げとして考へらるゝ以上に著しく其表面側への應力線の集中の顯著なるべきことを想像せしむるものである．

B_2, B_4, B_6 試驗片の主應力の大きさについても同様のことが適用出來るが，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鈑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 種試驗片の主應力分布

この試驗片もB種と同様厚さを異にする突縁鈑の接手であつて，接手に隅肉熔接を併用してをる點から，斷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鈑側に限定した．測定にあたつての載荷も 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狀況第 48 圖の如くである．試驗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揭兩種と同様であり，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 圖によつて明かである．C_1 點に於ける最大傾斜は $\alpha=45°$ にて 9°35′ に達し，前揭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．



第 49 圖　接手附近試驗片中心線上の主應力傾倚

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/cm² 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. この實驗は突縁鈑の衝合熔接に於て其接手を斜截することによる接手强度の變化竝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, 突縁鈑の接手としては各種の階段形をなしたるものよりも $\alpha=45°$ の傾斜せる衝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 $\alpha=55°$ の際が最も大なる强度を示してをる. 併しこの $\alpha=55°$ に於ける最大强度に對しては充分な信賴を置き難い.

3. Schlachthof 橋架設にあたつての實驗では $\alpha=18°$ 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鈑の接手は $\alpha=30°$ 乃至 $45°$ に傾斜せしむべしと定めてをり, 1936 年の獨逸熔接鈑桁道路橋規格では $\alpha=45°$ とせよと規定してをる.

5. Otto Graf 教授の實驗では $\alpha=90°$ と $\alpha=45°$ の衝合熔接とでは其疲限度に 12 對 17 (kg/mm²) 又は 18 對 22 (kg/mm²) 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 $\alpha=21°\ 50'$ とせるものが同種の $\alpha=90°$ のものに比して顯著な强度增加を示しをる例が見受けられる.

7. 物體破壞に關する諸假說によつて斜截接手の應力を調べるに, 最大主應力說竝に最大主歪說によれば破壞の原因たるべき接手部應力は α の減少と共に低下し, 最大剪斷力說竝に最大彈性歪エネルギ不變說によれば破壞の原因たるべき應力は α の減少と共に一度增大し, 最大値に達して後漸次減少する.

今破壞原因たるべき應力の最大となる角度を α_1, $\alpha=90°$ の時と同値なる角度 α_2 竝に接手材の强度が母材の强度の 75% なりとし, 此低下を相殺し得るまでに破壞の原因たるべき應力の低下する角度を α_3 とする時, 上記諸說によつて得らるゝ角度は次表の如くである.

	破壞應力の最大となる角度 α_1	$\alpha=90°$ と同等の應力となる角度 α_2	接手材の强度低下を相殺する角度 α_3
最大主應力說	—	—	40° 40′
最大主歪說	—	—	34° 20′
最大剪斷力說	54° 40′	35°	23° 30′
最大彈性歪エネルギ不變說	64° 20′	52° 20′	30° 30′

後の 2 說によれば α が 一定値以上にてはむしろ接手を傾斜せしめざる方可なりとの結論となる．又接手材の强度が母材の 75 % の場合，これを回復するまで接手强度を增大するためには $\alpha=25°\sim35°$ の角度に採るを妥當なりと結論される．

8. a 種紙製試驗片（第 8 圖）に於ては $\alpha=90°\sim55°$ の間にては强度に殆んど變化なく，更に α の減少に伴ひ强度は急激に增加する．$\alpha=90°$ の時の接手强度を 30 % 增大せしむるに要する斜截角は $\alpha=27°$ である．30 % の增大とは接手材强度が母材の夫れの 75% なりしとき，これを相殺するに必要なる增大率である．强度增大の傾向は最大主歪說による場合と近似してをる．

9. b 種紙製試驗片（第 8 圖）に於ては接手部と母材との强度の比は 40 % であるに對し，接手斜截による强度變化は $\alpha=90°$ より一旦減少し，再び增加する．$\alpha_1=78°$; $\alpha_2=68°$ にしてこれより接手强度は急激に增大してをる．又接手材强度の 30 % 增の接手强度をうるためには $\alpha=30°$ を要する．增大の傾向は最大剪斷力說又は最大彈性歪エネルギ說によつた場合と近似してをる．

10. c 種紙製試驗片（第 8 圖）に於ては其强度變化の傾向は b 種試驗片と大差ない．接手材强度の 30% 增の接手强度を得るためには $\alpha=23°$ を要する．

11. モルタル試驗片（第 13 圖）にても强度は斜截角の減少と共に一旦低下し，再び增大の傾向を採る．接手材と母材との比約 90 % の試驗片にては $\alpha_1=60°$, $\alpha_2=45°$ に對し，强度の比が 40～50 % の試驗片にては $\alpha_1=75°$, $\alpha_2=60°$ となつてをる．30 % 增の接手强度を得るためには前者にては $\alpha=30°$，後者にては $\alpha=60°$ 程度となる．

12. 平鋼切溝試驗片（第 15 圖）にては，a 種は接手材と母材との强度比 77 % にて，$\alpha_1=60°$, $\alpha_2=45°$ にしてこの角度を越したる後の强度增加は極めて急激である，$\alpha=25°$ にて 30% の接手强度が得られる．

b 種試驗片にては，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. 平鋼小型熔接試驗片（第 20 圖）に於ては試驗結果不規則にして斜截角度による强度變化を確め得ざりしも，接手强度が一旦低下し，再び增大の傾向を採ることは明かである．

14. 實物試驗として厚 25mm（仕上厚 20 mm）の同厚鈑の V 形衝合熔接（A 種），厚 25 mm 及厚 14 mm（仕上厚 12 mm）の異厚鈑の V 形衝合熔接（B 種）及び V 形衝合と隅肉熔接の混用（C 種）せる 3 種の試驗片の試驗を行つた．

熔接部の强度と母材との强度の比は 25 mm 鈑にて 70～80 %, 14 mm 鈑にて 85～95% である.

A 種試驗片にては斜截角と接手强度との比は最大彈性歪エネルギ不變說の場合に酷似する. $\alpha_1=75°$, $\alpha_2=55°$ で, 試驗片に用ひた最小角 $\alpha=45°$ にては, 增加率 6 % にすぎず, 接手材の母材に對する强度低下 80 % を回復するための 26 % の增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.

各試驗片の切斷は大體 $\alpha_2=55°$ 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 種試驗片にては接手の强度を薄鈑の强度に達せしむるには $\alpha=50°$ にて充分である. この場合の接手材と母鈑との强度比は 96 % 程度である.

C 種試驗片の接手部强度は薄鈑の約 80 % で, これに對し $\alpha_1=74°$, $\alpha_2=55°$ である. $\alpha=45°$ までの試驗片による實驗結果から推定するとき, この接手部强度の低下を回復するための斜截角は $\alpha=30°$ 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强度は α の減少に伴つて一旦減少するものと考ふべきで, この强度が $\alpha=90°$ の場合の强度に回復する角度は接手材と母材との强度比が實際熔接接手の場合の如く70～90% 前後のとき, $\alpha_2=55°$～$45°$ と推定する. 從つて斜截角度は少くも $\alpha=45°$ とせざれば, これによる引張强度の增大は期待出來ず, もし接手部材料の强度の弱さを回復すべき目的を達するためには, 少くも $\alpha=35°$ 以下とせざれば充分なる效果は擧げ得ないこととなる. 但し $\alpha=45°$ に於ても其疲限度の增大せらるゝ點から見れば, $\alpha=90°$ とな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. 實物試驗片 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 種の如く同厚鈑の接手にても, 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° 30′ 程度であり應力の大きさは平均應力の 20 % を越さない.

異厚鈑を接合した 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 $\alpha=45°$ のとき前者が 7° 25′ に對し後者は 9° 35′ に達してをる. 兩者とも薄鈑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. このことは接手を縱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 の減少卽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 橋の施工にあたつて考案された新なる接手の形式ではあるが, 單純な V 形衝合なる 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輕減に關する模型試驗

[昭和11年9月5日由良要塞司令部許可濟]

內務技師　松尾春雄

目　次

I. 概　要 …… (1)
II. 小型試驗甲 …… (2)
[1] 裝　置 …… (2)
[2] 試驗の種類及觀測の方法 …… (3)
[3] 試驗の結果 …… (4)
III. 小型試驗乙 …… (7)
[1] 裝　置 …… (7)
[2] 試驗の結果 …… (8)
IV. 大型試驗 …… (12)
[1] 裝置及觀測方法 …… (12)
[2] 試驗の結果 …… (14)
(i) 波 …… (14)
(ii) 波甲に依つて試驗した結果 …… (17)
(iii) 波乙に依つて試驗した結果 …… (26)
(iv) 灣內靜振に就ての試驗結果 …… (29)
[3] 相似律 …… (30)
V. 結　論 …… (32)

內容梗概

大阪灣內各地特に大阪附近の津浪の災害輕減の爲に，防波堤等の配置を如何にすべきかを模型に就て試驗した結果である．大型模型は寸法 8×20×1.2m のもので之に就ては，灣內各地の波形の變化を觀測しその記錄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，その他大阪灣內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壞等であつて，直接風に原因するものは割合に尠なかつた．

本試驗は大阪に於ける此種の災害を輕減する爲に，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灣內に於ける波形の變化等を明にする爲に行つた模型試驗であつて，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啻に大阪に止らず，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驗を行ふ必要があると思ふ.

本試驗は裝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.

試驗は3種類の異つた縮尺の模型を用ひた．その中小型試驗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，由良海峽以外の鳴戸海峽，明石海峽等が大阪灣内の津浪に對し如何に影響を及ぼすかをも明らかにし，小型試驗乙は甲よりも縮尺の稍〻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種の小型試驗は主に大型試驗の準備のものであるが最後の大型試驗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錄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
裝置全體の寸法		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	1/75 000
	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.

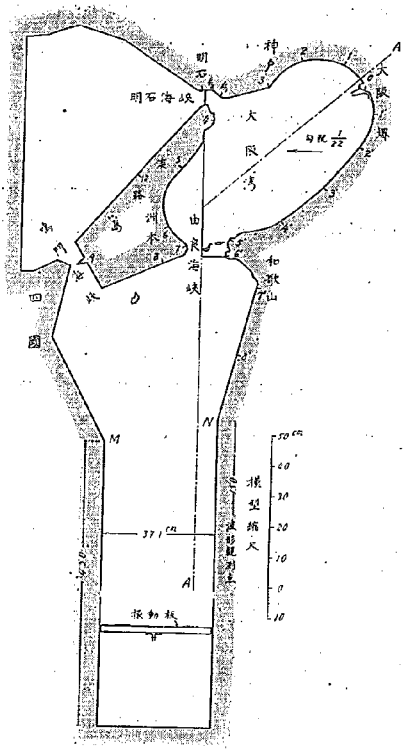
	波高(靜水面上の高さ)	波長	週期
大型 模型	1.6cm	11.5m	4.7秒
(實物	0.8m	46km	44分20秒)
小型乙模型	2.1cm	4.95m	2.75秒
(實物	3.15m	111.2km	1時間24分)
小型甲模型	2.95cm	2.92m	1.7秒
(實物	5.90m	219km	2時間30分)

II. 小型試驗甲

[1] 裝置

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〻相似の模型を木にて作る.圖の MN より下方は實際とは異るが太平洋から津浪が襲來すれば略〻等深線に

直角な進行方面をとるものとして，之より下方は同一斷面を有する一樣な水路とし，その他端に波の發生裝置を設けた(第2圖)．第1圖のMは四國の蒲生田岬に，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，灣內は略〻平均の海底面をとり，平面圖に示す通り明石海峽と由良海峽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．

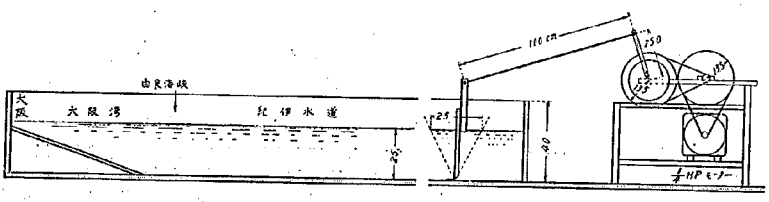


第 1 圖　小型模型甲平面圖

波は第2圖中央部に示す裝置にて發生せしめる．卽ち幅 37 cm，高 35.5 cm 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 50 cm 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］ 試驗の種類及觀測の方法

先づ紀伊水道及灣內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，又灣の內外各地に於て最高波高が如何に異るかを觀測し，次に紀伊水道より來る津浪に對し由良海峽以外の



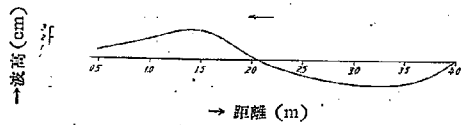
第 2 圖　小型模型甲縱斷面圖　斷面 A–A

鳴戸海峽及明石海峽等が大阪灣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觀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，觀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銀面上にて讀み取つた．

[3] 試驗の結果

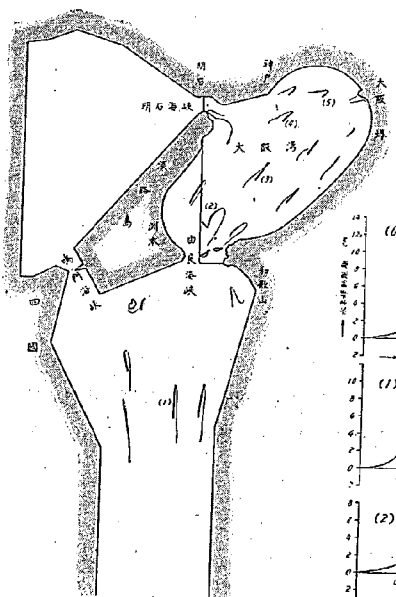
(i) 波形及波の進行方向の變化

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．

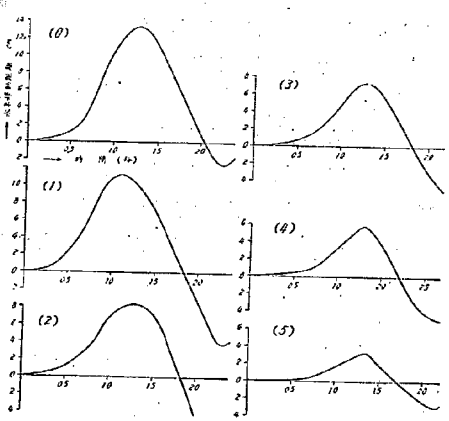


第 3 圖　紀伊水道に於ける波形（T'=2秒のもの）

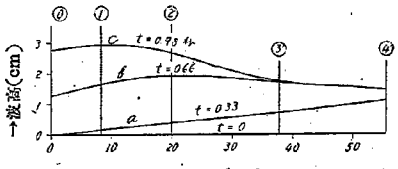
波の傳播速度 ω は波長が大である爲に正確に觀測する事が困難であつたが 3 回觀測の平均値は ω=154cm/秒 である．即ち波の週期 T=2.5秒 とすれば波長 $L=\omega T$= 385 cm となる．第 3 圖によれば波長は約



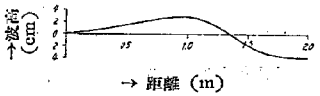
第 4 圖　浮子の移動軌跡
運動は太い線に初まり細い線に終る



第 5 圖　灣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 圖參照，(0) は直水路の波形觀測點（第 1 圖參照）に於けるもの



第 6 圖　灣內に於ける波形



第 7 圖　紀伊水道に於ける波形(T'=0.8秒)

4 m となつてゐるが之は觀測の誤差による事と思ふ.

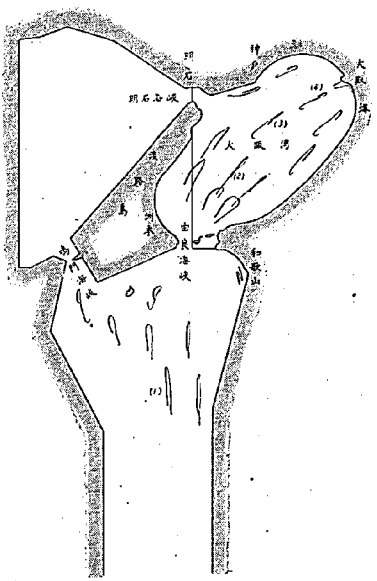
上記の波が由良海峽から灣內に入つた場合水面上の浮子の動きは第 4 圖に示す通りであつて，その中の (1) 乃至 (5) に就て水平移動速度を觀測した結果は第 5 圖に示す.

灣內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 圖の灣內 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．模型の灣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.

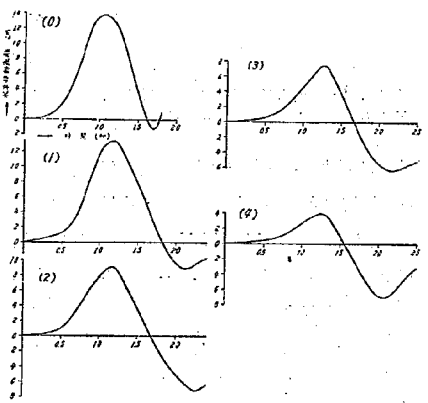
b)　週期の短い場合　T'=0.8秒

前項の週期の長い時と同樣の事項に就て觀測した結果は第 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

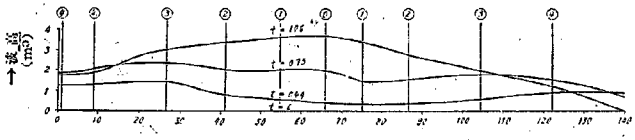


第 8 圖　浮子の移動軌跡

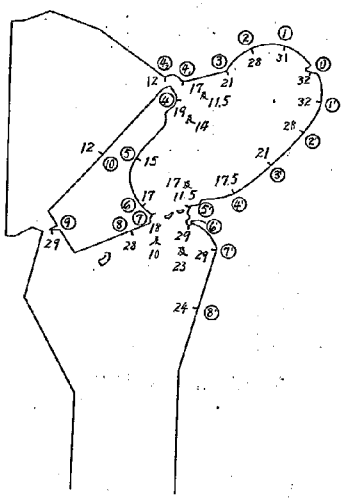


第 9 圖　水分子の移動狀況

浮子の番號は第 8 圖參照
倘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 10 圖　灣內に於ける波形
大阪附近で波高が變化し初めんとする時($t=0$)より次第に變化する狀態を示す。



第 11 圖　灣內各地の最高波高　數字は靜水面上の高さ(mm)($T'=2$ 秒の場合)

の週期は $T=1.9$ 秒, 傳播速度を a) の 場合と同樣 $\omega=1.54$m/秒 とすれば,波長 $L=\omega T'$ $=2.92$m となる.

(ii)　灣內各地の最高波高

上記 a) の場合に灣內外各地の靜水面上の最高波高(4回觀測の平均)は第 11圖に記入した如く1, 0及 1′ 卽ち尼ケ崎·大阪及堺附近では灣內の其の他の地に比し著しく大である. この場合の紀伊水道に於ける波高は第3圖に示した通りであつて靜水面上 29 mm である.

(iii)　各海峽の影響

紀伊水道から津浪が襲來する場合, 由良海峽以外の鳴戶及明石海峽が如何なる影響を及ぼすかを見る爲に, 水の表面に浮子を撒布してその移動狀態を見た. 第 12 圖は $T'=2$ 秒の場合に浮子が前進を繼續する時間の中だけ(約 1.4 秒間第 5 圖(1)參照) 露出を與へてその移動狀態を見たものである. 之に依れば灣內の津浪に對しては鳴戶及明石兩海峽の影響は僅に明石海峽に面する地附近に認められるのみである. 卽ち此等兩海峽を塞いだ狀態で試驗しても此等近接地點以外に關する限り殆ど影響がない事を知る. 第 13 圖は同樣に $T'=0.8$ 秒に就て試驗したものである.

(iv)　相似律

今　L_0 及 L……夫々實際及模型の平面の長さ

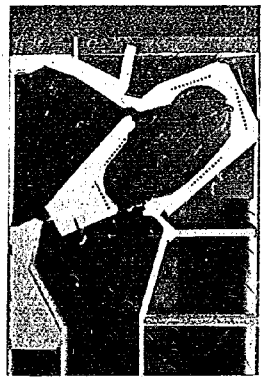
H_0 及 H……夫々の水深

ω_0 及 ω……夫々の波の傳播速度

v_0 及 v……淺海波に於ける水分子楕圓運動の夫々の最大速度

r_0 及 r……その楕圓運動の夫々の長半徑

第 12 圖　波の進行狀態，最初の波が前進する間隙出を與へたもの（$T'=2$秒）



第 13 圖　波の進行狀態（$T'=0.8$秒）灣内の波の週期に相當する間隙出を與へたもの（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

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

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

從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 2.92m 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 驗 乙

[1] 裝　置

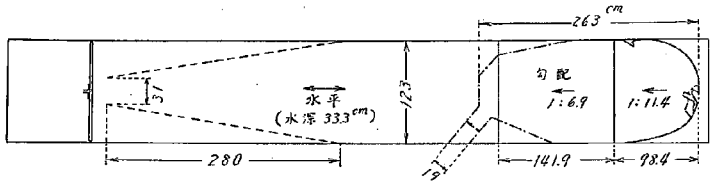
前項の試驗によつて大阪附近の津浪の狀態を見るには，明石及鳴戸兩海峽は之を無視して試驗しても差支ない事を知つたから，この試驗では專ら大阪灣だけの模型に就て行つた．水槽は第 1 圖と同一のものであるが，模型は第 14 圖に示す如く縮尺は平面に於て 1/12500，鉛直方向に於て 1/150 である．小型試驗用に於て波の進行方向は灣の長軸に略〻平行であ

る事を知つたらこの試驗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驗する爲に，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樣にし，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驗した．この最後のものでは波は由良海峽に相當する部分より送り込む樣にした．波の發生裝置は第2圖に示したと略ゝ同樣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ゝ同樣であるが，特に防波堤附近の波の狀態を詳にする樣に努めた．

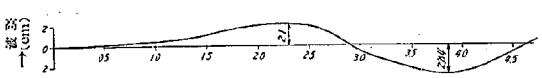
[2] 試驗の結果

(i) 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

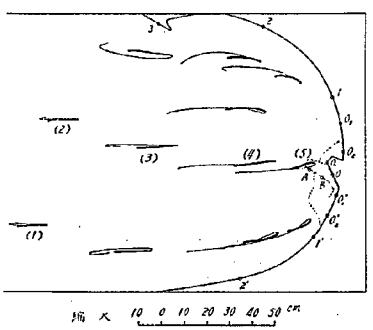


第 14 圖　小型模型乙平面圖



第 15 圖　直水路に於ける波形

の形は第 15 圖の通りであつて第3圖と略ゝ同樣である．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狀態である．

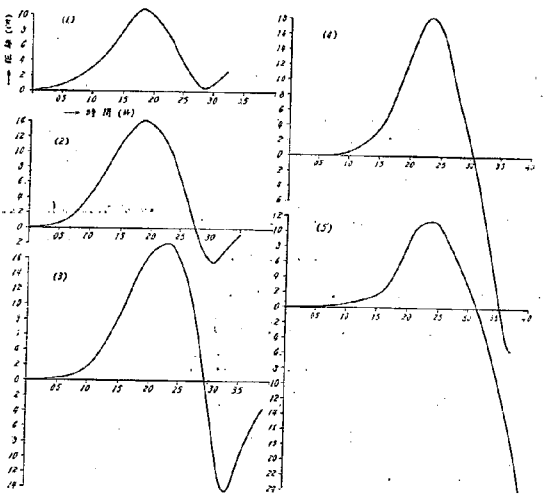


第 16 圖　大阪港附近に於ける浮子の移動軌跡

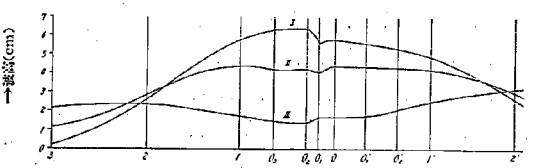
b) 波高の小なる場合　第 14 圖の破線にて示した裝置の波は 1.23 m の水路幅の箇所では第15圖と略ゝ同一の週期及波長を有するが波高は小となり $h=1.5$cm

である.

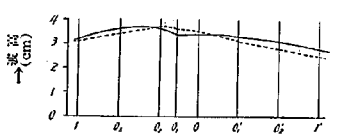
先づ水面上の高さ 2cm の在來の防波堤がある場合の影響を見る爲に, 第 16 圖の1…0…1′ 等の各點に於ける最高波高を觀測し之を防波堤がない場合と比較した. その結果は第 19 圖に示す如く南防波堤の根元屈曲部附近では防波堤のない場合よりも波高が却つて大となつてゐる. 之は同防波堤の平面形が楔形をなしてゐる爲に波の勢力がその根元附近に集中する事に由るものと考へられる. 在來の防波堤の外側に新計畫の防波堤を築造した場合の波高を第 20 圖に示す.



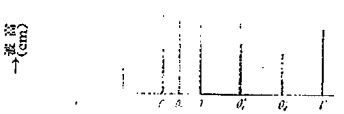
第 17 圖　大阪港附近の水分子の水平移動狀況
番號に就ては第 16 圖參照



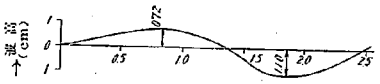
第 18 圖　大阪附近の波の形
I は波が最高, II は I の後 0.25 秒, III は I の後 0.72 秒の時



第 19 圖　大阪港附近の波高—
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—
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



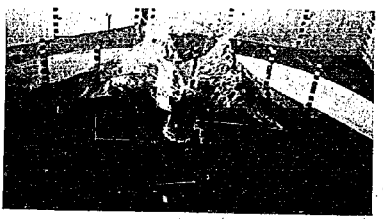
第 21 圖 灣形模型試驗の波形
($T'=2.0$ 秒)

(ii) 灣形模型

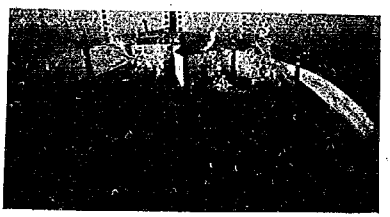
第 14 圖點線にて示した灣型模型により由良海峽に相當する水路より波を送つた場合の試驗結果は前項(i)に述べた處と著しい差異を認められない．たゞ第2波以後の狀態を見る場合には波の反射等の現象が入つて來るから成可く灣形を實際に近くしなければならぬと思ふ．

波發生裝置の板の振動週期 T' を2秒とした場合に灣內に發生する第1波の形は第21圖に示す如く(灣の幅が最も廣い部分の側壁によつて觀測したもの)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．尙第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

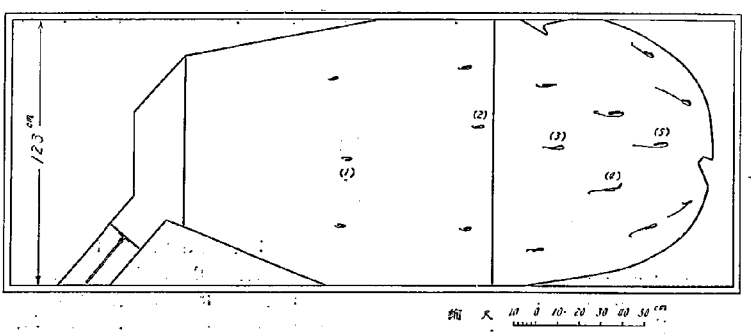


(a) 在來防波堤のみの場合

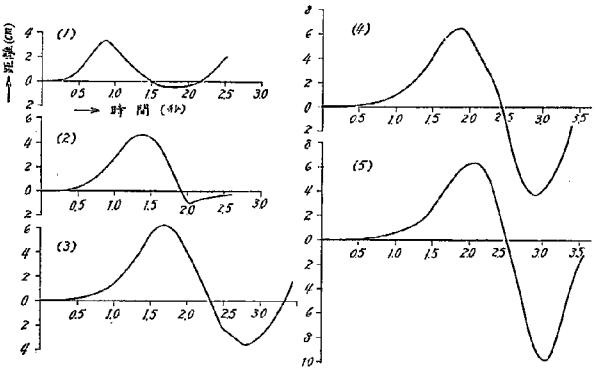


(b) 在來及新計畫防波堤のある場合

第 23 圖 大阪附近の波

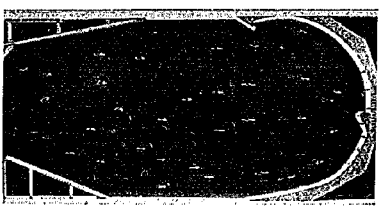


第 24 圖 表面浮子移動軌跡



第 25 圖　浮子の水平移動狀況

移動狀況を見た結果を示し，第 26 圖には $T'=1.6$ 秒とした場合の寫眞を示す．



第 26 圖　浮子の移動狀況（$T'=1.6$ 秒）

(iii) 相似律

小型試驗甲の場合と同樣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

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

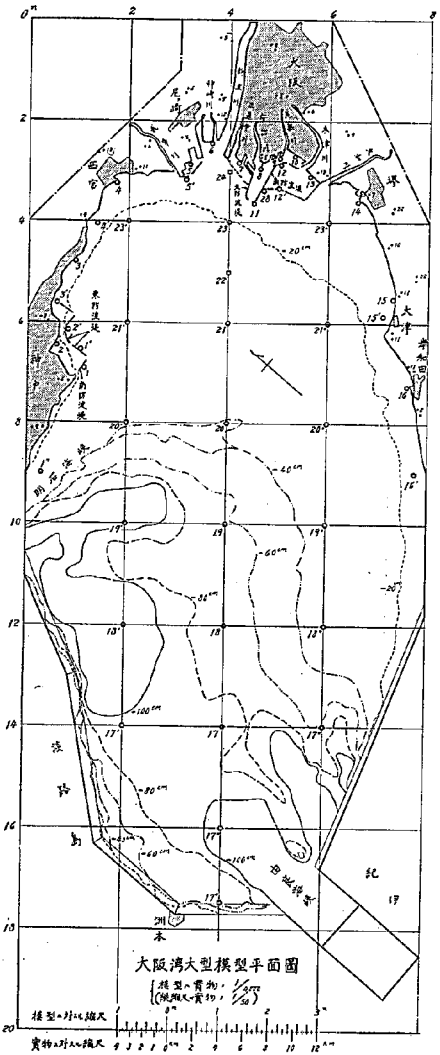
$$\frac{T_0}{T}=\frac{L_0}{L}\sqrt{\frac{H}{H_0}}=1840$$

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．防波堤の靜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 の場合が略ゝ在來の防波堤の高さに相當する．堤內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，從つて此等は極めて概念的な參考資料たるに止まる．

第2波以後の波を觀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關しては之を實際に適用して差支



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 2cm 高い．即ち實驗の水線は圖よりも 2cm 大である．○は波形測點の位置を示す．

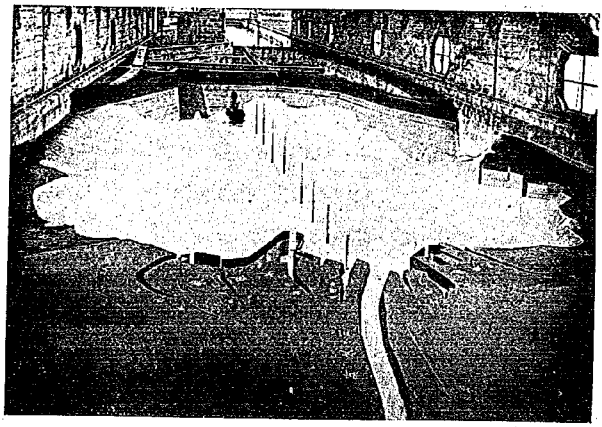
ないと思ふ．但し之は灣の中央に於ける津浪の實際の週期が表に示した様な値を持つてゐる事を條件とする．

IV. 大型試驗

[1] 裝置及觀測方法

深さ 1.8 m，幅 8 m の混凝土水路内に前記小型試驗乙の灣形模型と同じ範圍の大型模型を作り之に就て試驗を行つた．その模型は第 27 圖に示す如くす法概略 8×20 m，深さ 1.2 m であつて，實物に對する縮尺は平面に於て 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狀態

は極めて局部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. 尙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. 由良海峽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樣由良海峽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裝置を設けたが常に一定の波を發生せしめる事が出來なかつたから實驗の大部分は手働に依る事とした. 灣内の一定箇所に於て常に殆ど一定の波を記錄し得る樣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錄し, 之と他の所定の位置の波形の同時記錄とを時間的にも比較し得る爲, 同時刻記錄を一のスヰッチに依り記

入し得る様に裝置した．各回の波の相違は常に 19 の記錄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發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

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

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	+3.80	新計畫防波堤取付後は（ ）內の高さとなる．
	(+4.00)	(+6.00)	
北 〃 (〃)	+2.60	+3.20	
	(+4.00)	(+6.00)	
新計畫第 1, 2, 3 號	+4.00	+6.00	
北港	+4.00	+6.00	
尼ヶ崎	+3.00	+4.00	
堺港新計畫	+4.00	+6.00	
神戸港	+3.03	+4.06	

この試驗では由良海峽から一つの長い波が灣內に侵入した場合，之が灣內を如何なる狀態で傳播し，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驗し，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柄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內の波高は，實際に適用する事が出來ないと思ふが，參考資料として此等に就ても觀測を行つた．

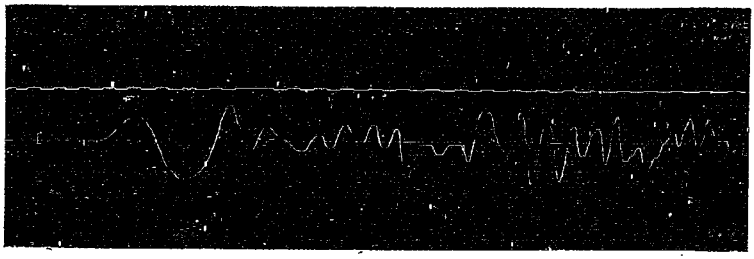
[2] 試驗の結果

(i) 波

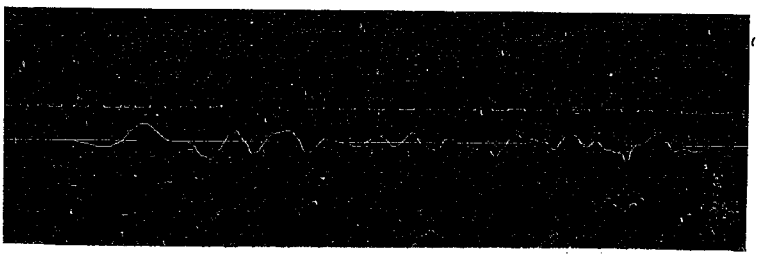
押波から始まるものと引波から始まるものとの 2 種を第 29 圖の裝置にて測點 19（第 27 圖 (a)）で記錄した一例を第 28 圖に示す．波が非常に長い爲に傳播速度を明確に定める事が困難であるが

$$v=\sqrt{gH}$$

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*

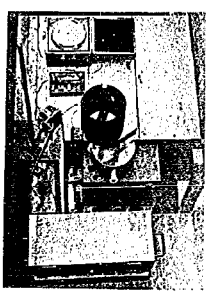


(a) 甲波の測點 19 に於ける記錄

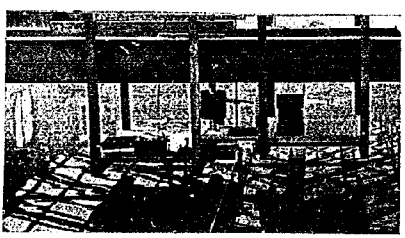


(b) 乙波の測點 19 に於ける記錄

第 28 圖

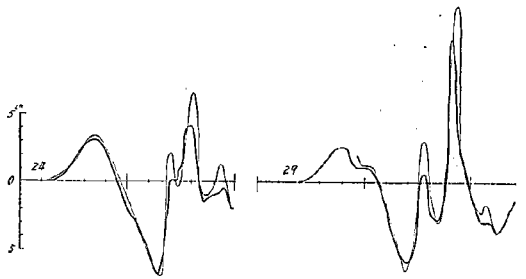


(a) 斜上方より望む

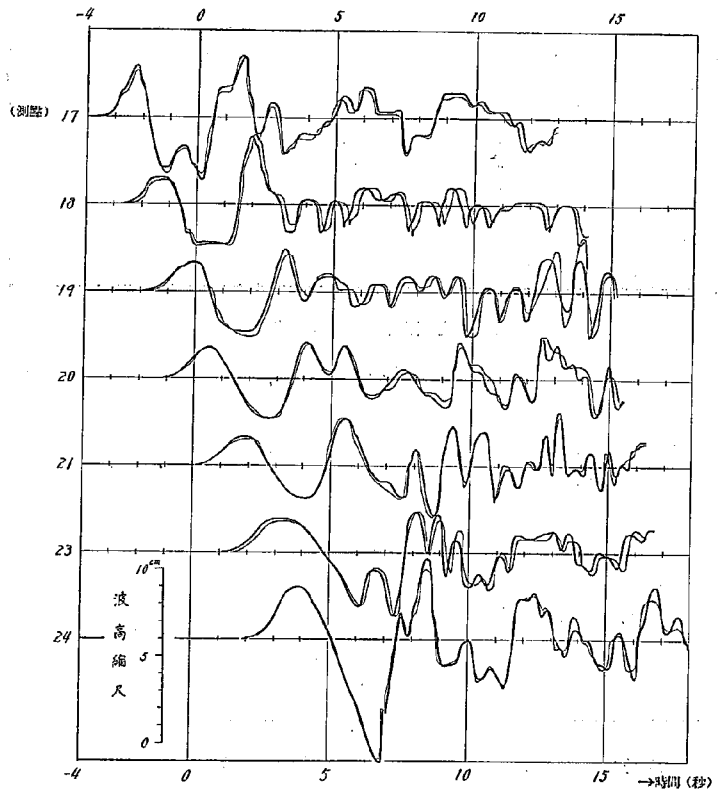


(b) 側面より望む

第 29 圖　渠内中心線の波形記錄裝置



第 30 圖　活動寫眞に依る觀測と浮子に依る記錄との相違，細い線は活動寫眞，太い線は浮子による記錄　測點 24 及 29 のもの

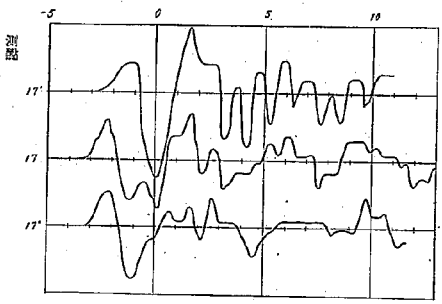


第 31 圖　灣の中心線に沿ふ各點の波形，太い線と細い線とは別々にとつた 2 回の記錄

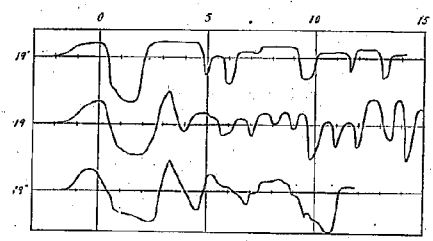
*換算した値をも同時に揭けた

		波高 (h)（靜水面上の高さ）	週期 (T)	波長 (l)	傳播速度
a) 押波	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 〃

波形を記錄せしめる上記の裝置は灣內で波長の大なるものには適當してゐ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棹を其の場所に立て之を背景にして波を活動寫眞にとり之によつて觀測した．第30圖に兩觀測の相違を示した．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錄し得ない事を示してゐる．以下列擧する記錄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來ないが，海岸に於ける波の大體の狀況は明らかにし得ると思ふ．



第 32 圖　測點 17′, 17 及 17″ の波形の比較



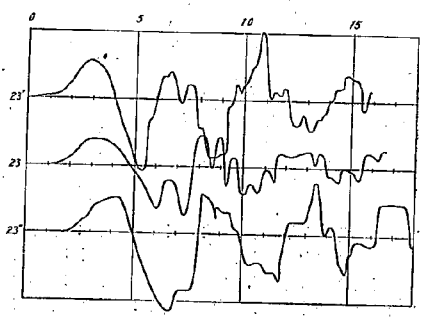
第 33 圖　測點 19′, 19 及 19″ の波形

(ii)　波甲に依つて試驗した結果

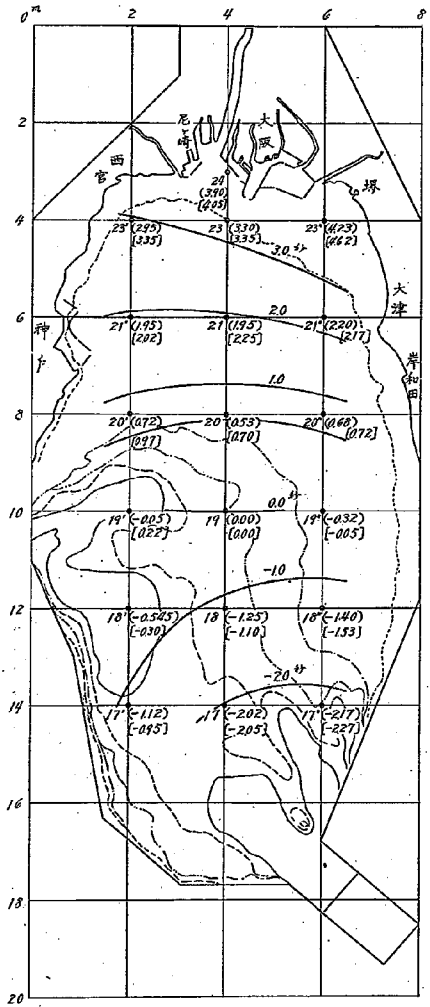
前項に述べた2種類の波の中先づ第28圖(a)に示した押波より初まるものに就ての結果を次に列擧する．

a) 灣內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錄をとり，各箇所では必ず3回宛の觀測中各2回の結果だけ



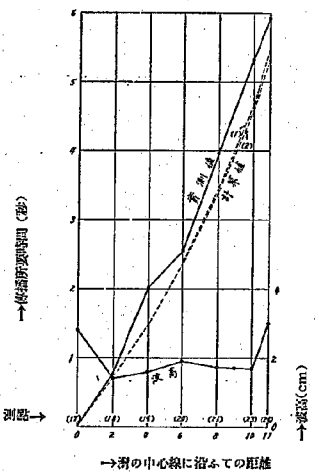
第 34 圖．測點 23′, 23 及 23″ の比較



第 35 圖　甲波の最初の波の頂の傳播狀況，各測點の( )內の數字は測點 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．〔 〕內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(28)頁參照

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ゝ同樣の波が發生してゐたと見得ると思ふ．17，19 及 23 の記錄をその兩側2ケ所宛のものと比較して第 32，33 及 34 圖に示す．

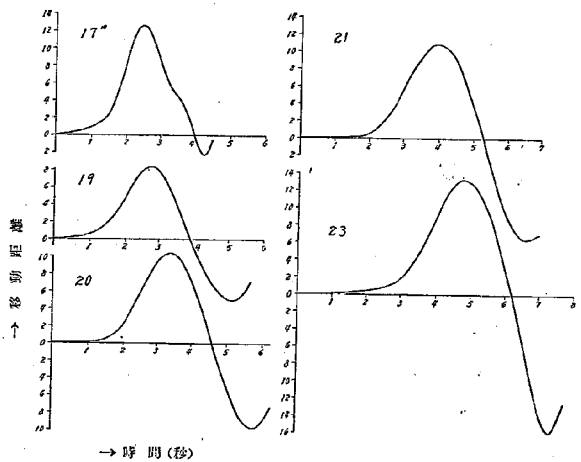
波の傳播速度は波形が極めて扁平な爲，記錄からは正確に定める事は困難であるが，第1の波の最高點をとつて之を見た結果は第 35 圖に示す通りである．灣內各地點の( ) に記入した數字は波の頂が 19 に到達して後その地點に到達する迄の時間である．負號は 19 に達する以



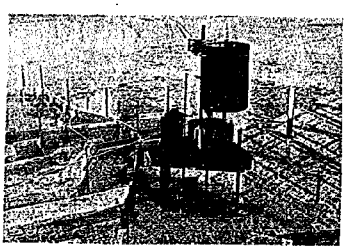
第 36 圖　灣の中心線に沿ふ波の傳播速度の實測値と計算値との比較，計算値 (1) は $\omega=\sqrt{gH}$ に依り (2) は $\omega=\sqrt{g(H+h)}$ に依る．玆に H は水深，h は各地點の測定波高である．

前なる事を示す．この時間は記錄裝置の關係及波が各周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．

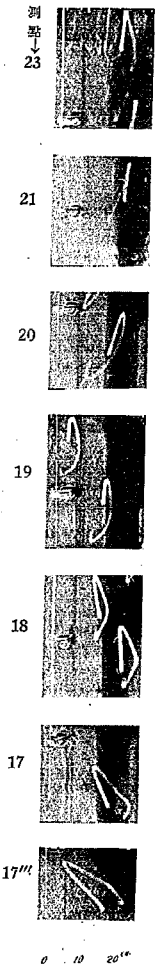
灣の中心線に沿ふ重力波としての傳播速度を計算し，之による傳播所要時間と測定した値との比較を第 36 圖に示した．測定した傳播速度が計算した値より小であるのは底面の摩擦抵抗に依ると思ふ．又測點 18, 19, 20 附近の實測の速度に異常が認められるのは，此の附近で水深が急に變化してゐる事に原因すると思ふ．これは從來餘り注意されない事柄と思ふが模型試驗で平面と鉛直*



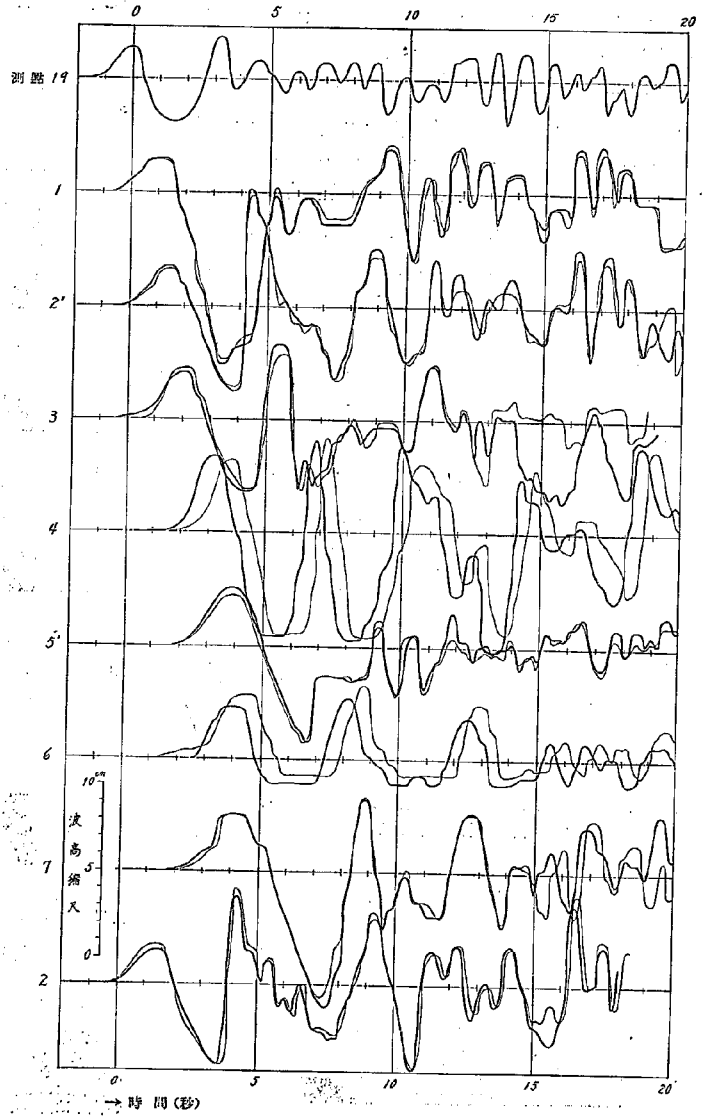
第 38 圖　表面水分子の移動速度，移動距離としては灣の長さの方向に投射した値をとる．



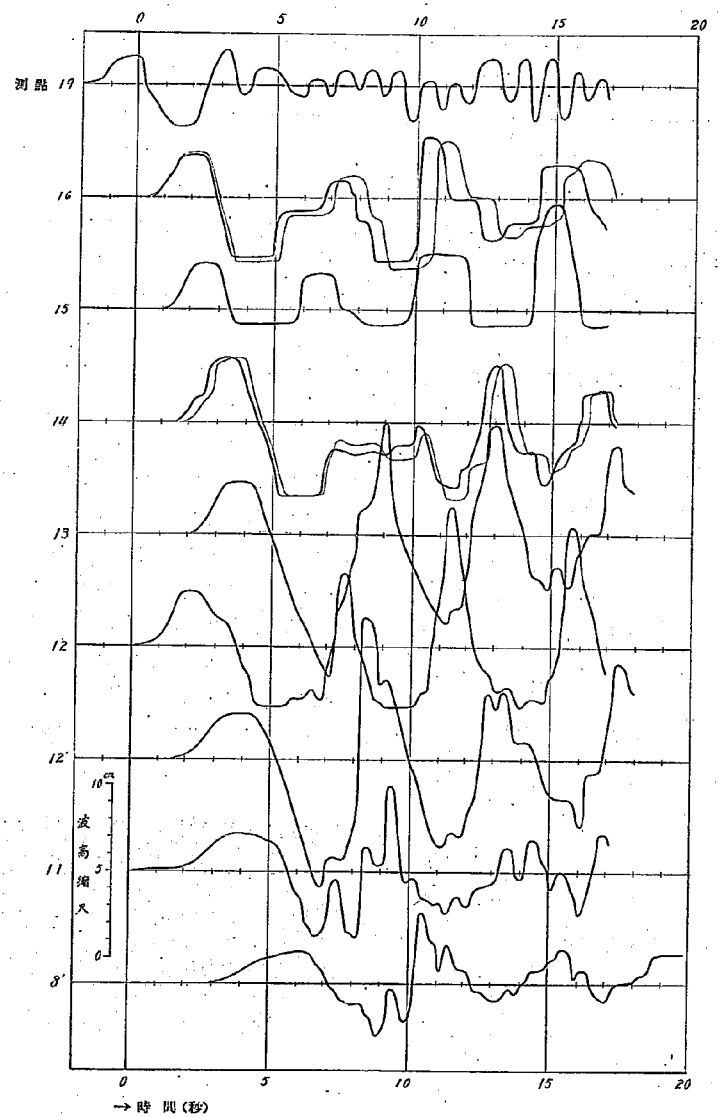
第 39 圖　岸に於ける波形記錄裝置



第 37 圖　第 1 波の通過する間の表面水分子の動き．各寫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　灣内沿岸各地の波形，大阪灣に在來防波堤のみのある場合(其の1)



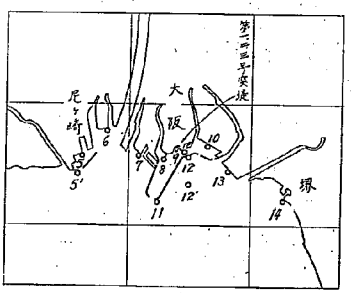
第 41 圖　灣内沿岸各地の波形，大阪港に在來防波堤のみのある場合（其の 2）

*との縮小率を著しく異にして試驗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　小型試驗に於けると同樣の方法で表面の水分子の動きを觀測した結果は第 37 及 38 圖に示す通りである.

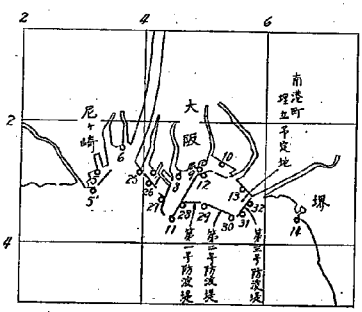
c) 沿岸各地の波形　第39 圖に示す裝置を以て沿岸各地の波形をとつた結果は第 40 及 41 圖の如くである. 此の場合浮子の位置は海岸の水際から約 10 cm 海岸線に直角の方向の水面上に置く. この場合水深が小なる爲波の谷では浮子の底が海底にあたる事がある. 第 41 圖の 14 及 15 の記錄の第1波の谷部分に水平な記錄があるのは夫である. 沿岸各地就中大阪附近の記錄は實驗中に設けた諸種の防波堤の影響を受ける事は勿論であつて, 之等に就ては後節に述べるが圖に示したものは大阪には在來の南及北防波堤のみがある場合である.

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 の鐵板を小型溝形鋼 (寸法約 2.5×2.5×0.3 cm) にて補强したものを使用した. 模型の縱及平面の縮尺が著しく異る爲に實際の防波堤の斷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〻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尠ない事を期待して試驗を行つた.

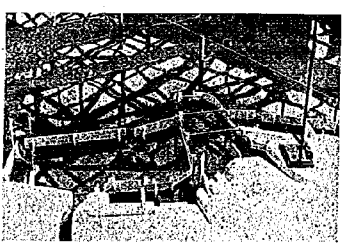


第 42 圖　大阪港在來防波堤

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狀態と各種新計畫防



(a) 大阪港新計畫防波堤



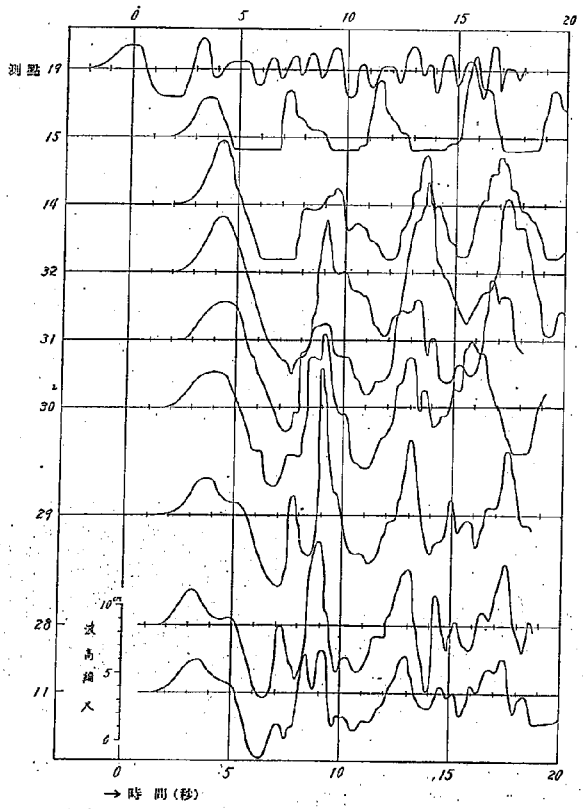
(b) 同　寫　眞

第 43 圖

波堤を設けた狀態とに就て波形を記錄せしめて比較研究した．以下順次に此等の波形記錄を列擧する．

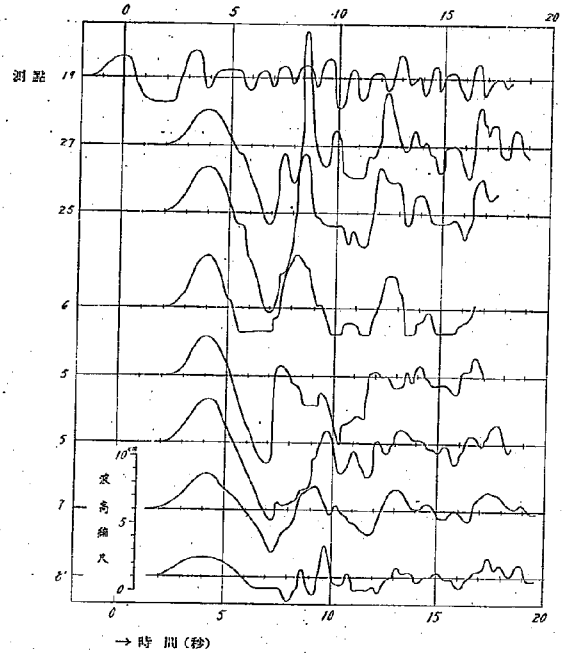
在來防波堤のみの場合　防波堤平面圖は第 42 圖に示す通りであつて模型の堤頂の高さは基準面上 +3.8 cm で實際の +2.90 m に相當する．此狀態での波形は既に第 40 及 41 圖に示した通りである．

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 m であつて舊防波堤の一部は嵩上けし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錄は第 44 圖に示した通りである．

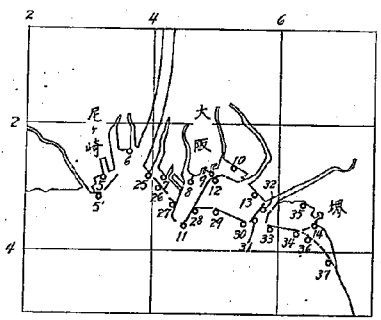


第 44 圖　(a)　新計畫防波堤を設置した場合の波形 (其の 1)

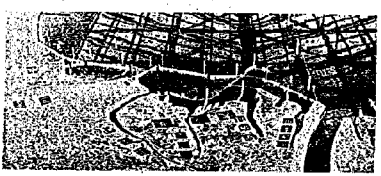
堺港防波堤のある場合　大阪府河港課の計畫に成る堺港の新防波堤（第45圖）を附加して各點の記錄をとり第46圖に之を示した．堺港防波堤の高さは大阪新計畫防波堤同樣基



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狀態の寫眞

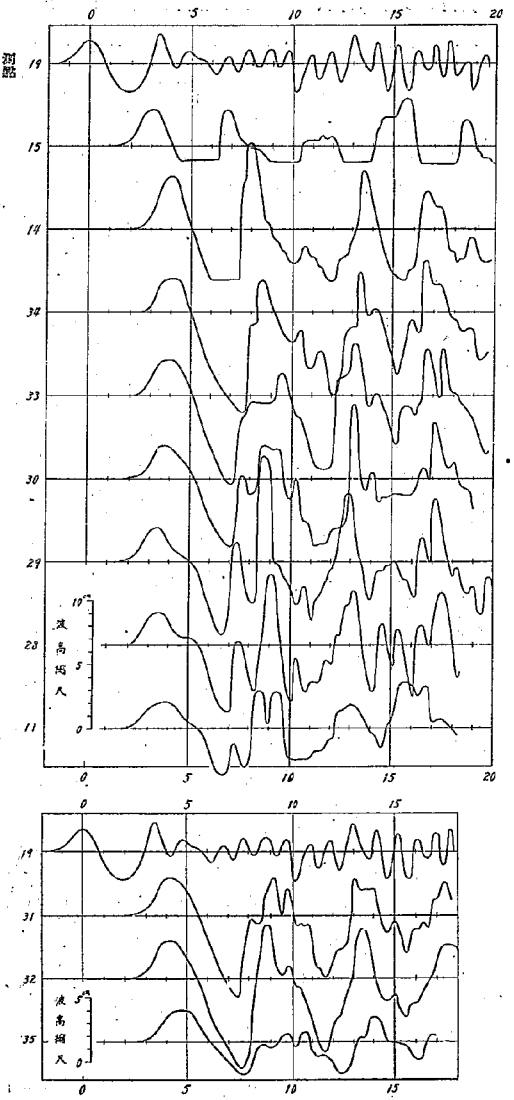
第　45　圖

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對して被害が大である様に觀測されたので，之による被害を輕減する目的には第45圖に示した如き追加防波堤（堺港新防波堤に第 45 圖の破線の部分を擴築したもの）が有效の様に考へ，之に就て試驗した結果を第 48 圖に示した.

各種防波堤の波高に及ぼす影響　以上各種の試驗に就て第1波及其の後の最大の波の高さを比較して第 48 圖に示した. 波形の記錄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錄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ゝ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波は在來防波堤 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，是外に於ける波高に差を生じ第1波及最高波何れに就て

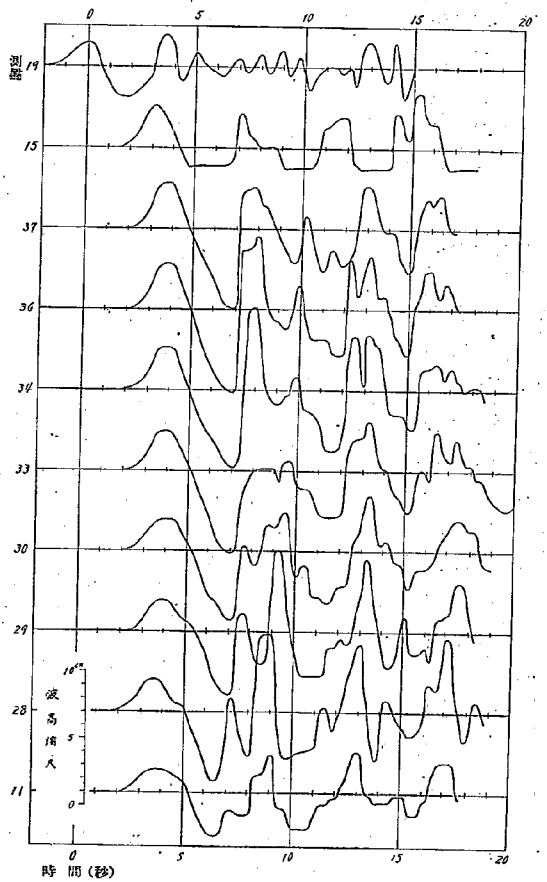


第 46 圖　堺港計畫防波堤を設置した場合の波形

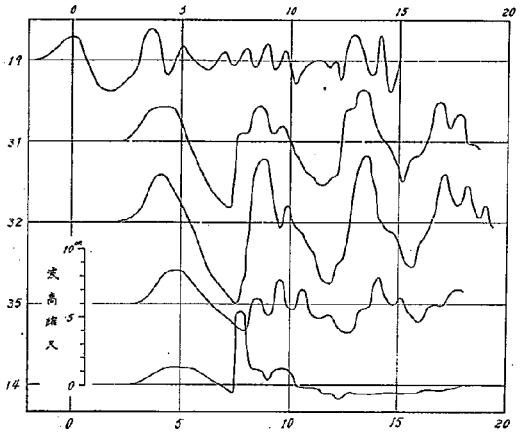
も防波堤Iの場合の測點 12 と之に相當する測點 29 とを比較するに後者の方が波高が小で II の效果を示してゐる．之は第三號防波堤による波の反射の影響であつて實際にもかゝる現象は考へ得られると思ふ．次に堺防波堤 III と同 IV とを設けた時には第1波では II の場合と著しい變化はないが，最高波に於ては III で著しく大となる 14 附近の波高が IV では救はれてゐる事を可なり明瞭に示してゐる．

(iii) **波乙に依つて試驗した結果**

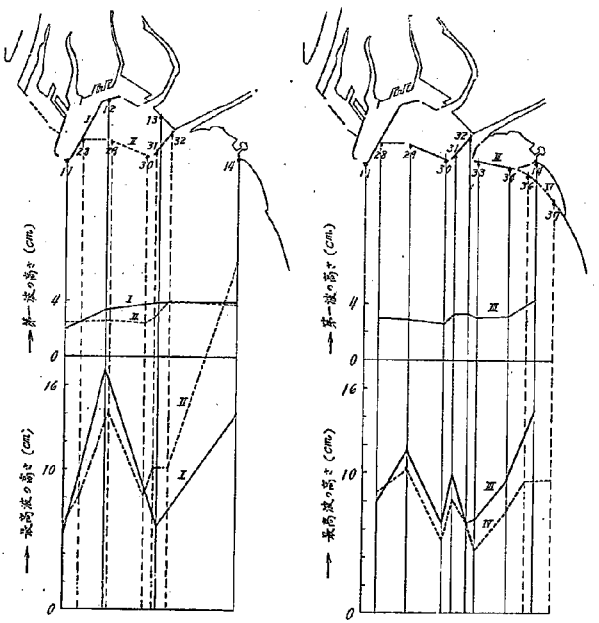
第 28 圖 (b) に示した波乙に依つて試驗した結果を次に列擧する．波乙は引波から初ま*



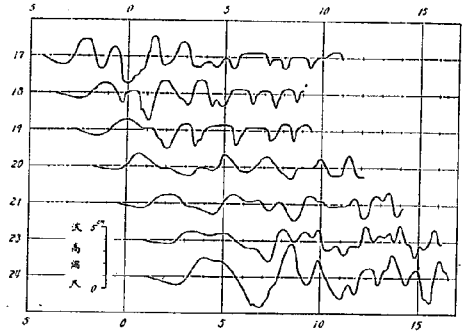
第 47 圖 (a) 第 45 圖 (b) の狀態に於ける波形



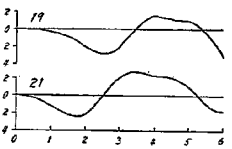
第 47 圖　(b)　第 45 圖 b の狀態に於ける波形



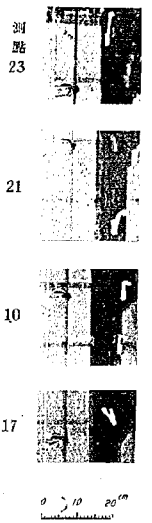
第 48 圖　乙波による試驗結果；大阪附近各種防波堤の沿岸波高に及ぼす影響
圖の波高は各夫々の防波堤外側に於ける高さ



第 49 圖 灣の中央に沿ふ各點の波形（乙波）

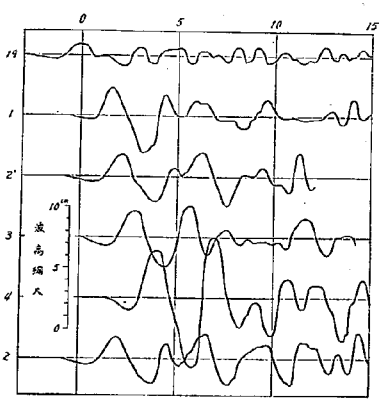


第 50 圖 第1波の通過する間の表面水分子の移動速度（乙波）



第 51 圖 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灣の中心線

るものであつて波形及週期等も甲とは異る．即ち形の全く異つた波2種に就て試驗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る．



第 52 圖 灣内沿岸各地の波形（乙波）（其の 1）

る．

a) 灣内各所の波形及傳播狀況 灣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 圖に示したと同樣の記錄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圖の狀態で記錄をとつたものは既に第52及53圖

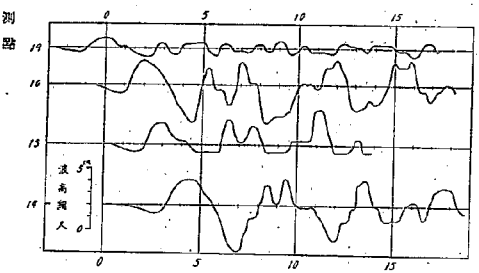
に示した通りである.

新計畫防波堤のある場合　第43 圖の狀態で波 乙 に就て得た記錄は第 54 圖に示す.

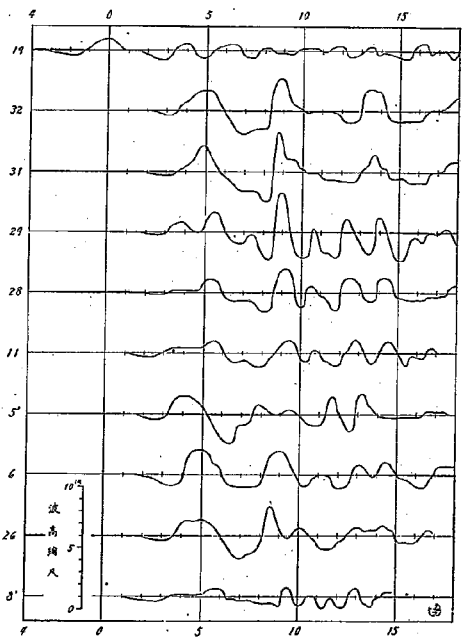
堺港防波堤のある場合　第44 圖の狀態で乙波に就て得た記錄を第 55 圖に示す.

(iv) 灣內靜振に就ての試驗結果

灣內の靜振の週期を見る爲に適當な地點で稍〻長い時間 (約 1 分 30 秒) の間波形を記錄せしめた結果を第 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狀態の下で行つた. 測點 17° 及 24 (第27 圖) では灣の長さの方向の靜振, 1″ 及 16′ では幅の方向の靜振を, 又28, 14,15′ 及 1′, 4′, 24 は各局部的な灣形の靜振の記錄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雜であつて, 簡單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, 各灣形に就て靜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來た. 卽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 $l=15.03$m, 中心線の平均水深 $H=0.62$ m であるから



第 53 圖　灣內沿岸各地の波形(乙波)
(其 の 2)



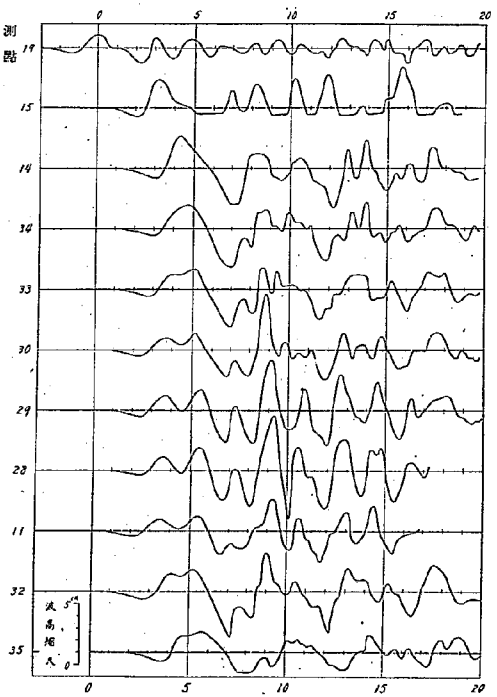
第 54 圖　大阪港新計畫防波堤を設置した場合の波形
(乙波)

$T=\frac{2l}{\sqrt{gH}}=\frac{2\times15.03}{\sqrt{9.8\times0.62}}=12.2$ 秒であつて第 56 圖 17° 及24 の殊に後者の 40 秒以後の記錄には週期約 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

$$T=\frac{2l}{\sqrt{gH}}=\frac{2\times15.03}{\sqrt{9.8\times0.527}}=13.2\text{ 秒となる．}$$

16′, 1″, 15′ 及 1′ の 40 秒以後の記錄には週期 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 $T=\frac{2\times8.00}{\sqrt{9.8\times0.48}}=7.4$ 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 $T=\frac{2l}{\sqrt{gH}}=\frac{2\times2.7}{\sqrt{9.8\times0.1}}=5.51$ 秒 又 奥行の方向に對しては $T=\frac{4l'}{\sqrt{gH}}=\frac{4\times0.95}{\sqrt{9.8\times0.12}}=3.51$ 秒となるが 14 の記錄には週期 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′ の記錄には神戸の 1 と大阪防波堤 11 附近とを連ねる一線に境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々

$T=\frac{2\times4.3}{\sqrt{9.8\times0.24}}=5.62$ 秒 及

$T'=\frac{4\times1.9}{\sqrt{9.8\times0.25}}=4.85$ 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．

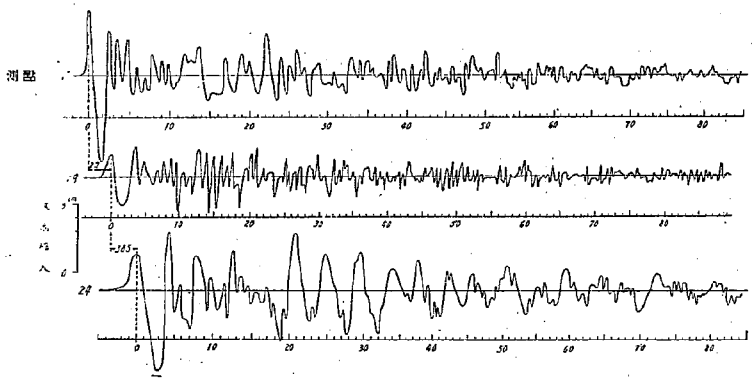
［3］ 相似律

小型模型甲と同樣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

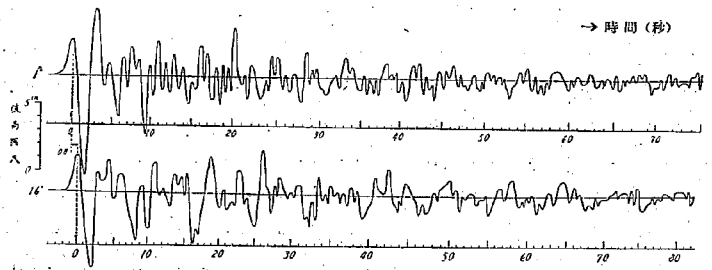
$\frac{\omega_0}{\omega}=\sqrt{\frac{H_0}{H}}=\sqrt{50}=7.07$ ；

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

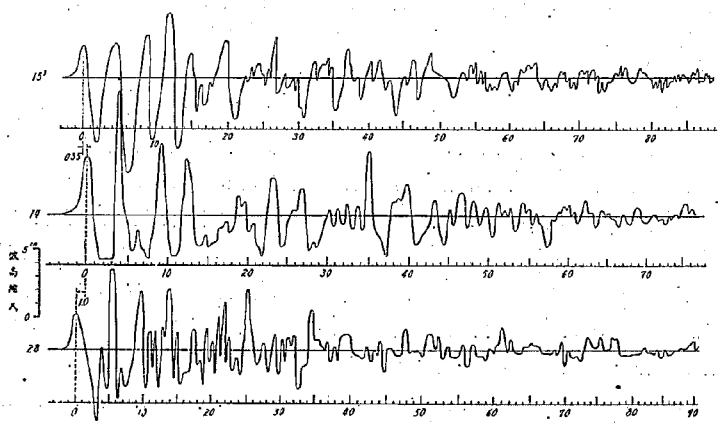
$=4000\times\frac{1}{7.07}=566$



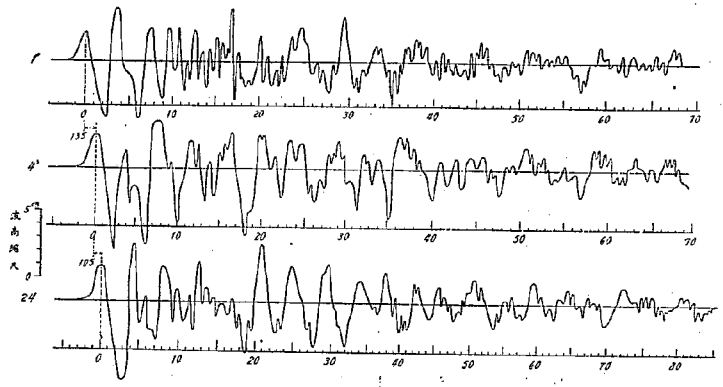
第 56 圖　靜振の週期測定；測點 17°, 19 及 24 (第 27 圖參照)



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 圖 靜振の週期測定測點; 1′, 4′ 及 24′

卽ち甲波の第1波に就て言へば灣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. 試驗の第2波以下の形狀等に就ては襲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. 卽ち第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來ると思ふが, 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驗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來なかつたから, 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

以上の試驗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觀測したのであつて, 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來ないが, 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來ると思ふ. 尙上記の結果のすべての結論を此處に述べる積りはなく, 記錄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錄を掲げた. 記錄裝置は充分完全とは言ひ難いが一つの波が灣內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, 甲波卽ち押波から始まるものが實驗回數も多く結果も顯著であるから主として之を檢討する事とし, 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揭げる.

1. 大阪は由良海峽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，灣內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效でない. 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虞は充分にある.

3. 大阪港の新計畫防波堤の配置は上記の被害を輕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，從つて南港町埋立地（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來た時には津浪に對し，夫がない時よりも狀態が惡くなる. 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るれば堺港正面の波は防ぐ事が出來，又大阪港第三號防波堤が受けるべき大なる波も輕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，ひいては港內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狀をなして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輕減の上から一層の效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，尼ケ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曉にも新淀川口附近の狀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樣に考へられるから，寧ろ現在の儘にして埋立等を行はない方がよい.

6. 西宮附近は試驗では著しく高い波が記錄されてゐる，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驗の如き現象が起るかは尙研究の餘地がある. 卽ち記錄によれば測點 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 とを連ねる一線內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關係があると思ふ. 卽ち此の週期に近い波が送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. 神戶港は南防波堤（第 27 圖）が津浪の襲來する由良海峽に直接開いてゐる爲に大

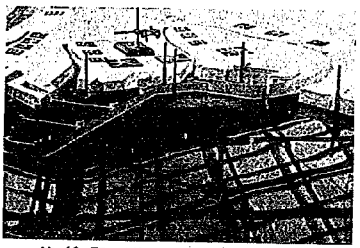
なる力を受け又東防波堤屈曲部でも波高は相當に大となる．但し神戸のある位置が大阪の如く浪の勢力が集中する樣な場所でない爲に災害を受ける事は割合に尠ないと思ふ．

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．從つて送り込まれる波が之に共振する樣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縱の方向の振動（週期約 13 秒—實際の 2 時間 2 分 38 秒）の振幅は試驗には顯著ではないが由良海峽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．

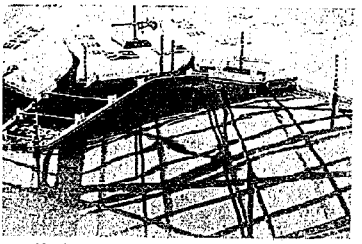
尙次頁以下に大型模型試驗の岸に於ける波の狀態を示す爲に，寫眞の代表的なものを列擧した．寫眞の大部分は 35 mm のフイルムに撮影した活動寫眞より選擇して引伸したものである．

附記　本試驗に援助を與へられた日本學術振興會及實際の試驗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．

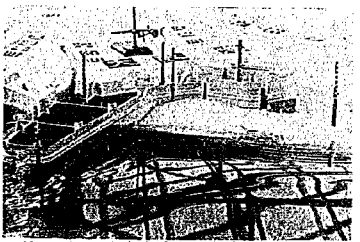
大型試驗寫眞 (總て甲波によるもの)



第 60 圖 (1) 大阪港在來防波堤のみの場合，靜水面



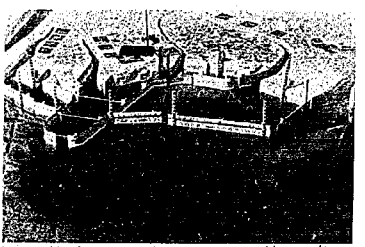
第 60 圖 (2) 同上，第1波の最高が防波堤に達した時



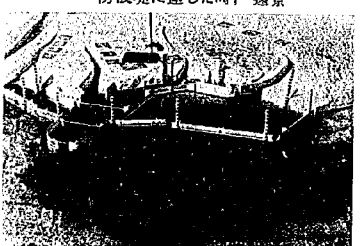
第 60 圖 (3) 同上，(2) より 3.27 秒後

第 60 圖 (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

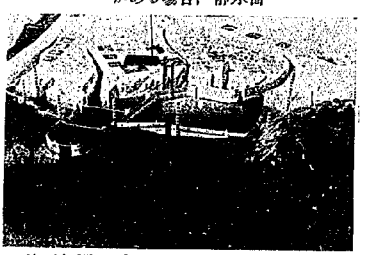
第 60 圖 (5) 同上，第2波の最高が防波堤に達した時，遠景



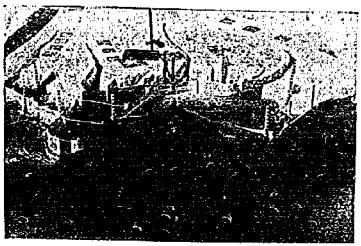
第 61 圖 (1) 大阪港新計畫防波堤がある場合，靜水面



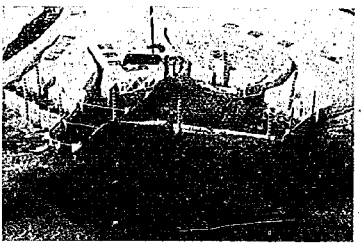
第 61 圖 (2) 同上，第1波の最高が防波堤に達した時



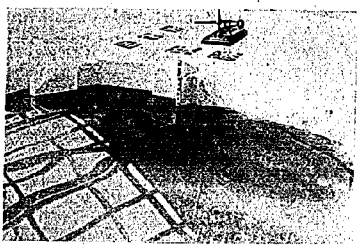
第 61 圖 (3) 同上，第2波の最高が第3號防波堤に達した時；(2) より 5.0 秒後



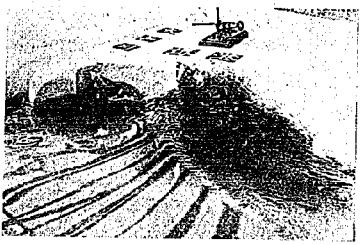
第 61 圖 (4) 同上, (2) より 5.31秒後



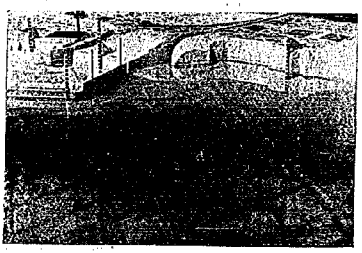
第 61 圖 (5) 同上, (2) より 5.69秒後



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

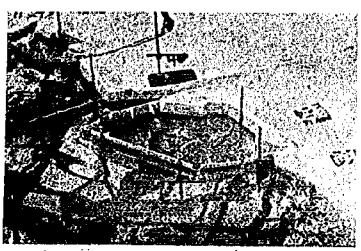


第 62 圖 (2) 同上, 第2波が最高になつた時 (1) より 3.8 秒後

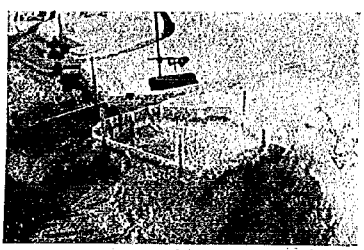


第 63 圖 (1) 堺港, (大阪港に新計劃防波堤がある場合) 第1波が此の附近で最高になつた時

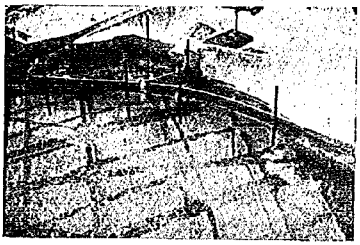
第 63 圖 (2) 同, 第2波が最高になつた時, (1) より 4.93秒後



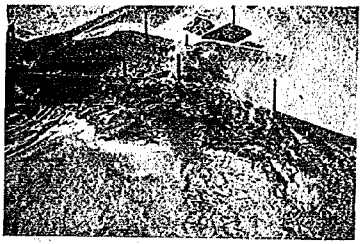
第 64 圖 (1) 堺港, 堺港の計劃防波堤がある場合, 第1波が最高の時



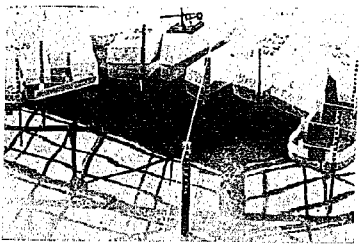
第 64 圖 (2) 同, 第2波が最高の時(1) より 3.75 秒後



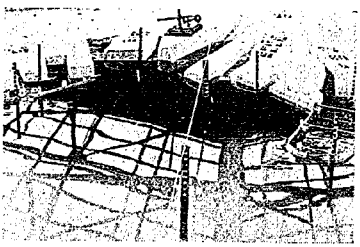
第 65 圖　(1)　堺港追加防波堤がある場合，第 1 波の最高



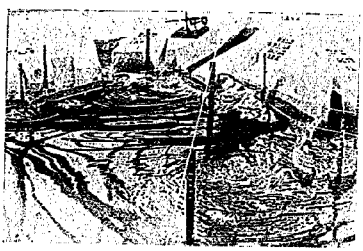
第 65 圖　(2)　同上，第 2 波の最高　(1) より 4.30 秒後



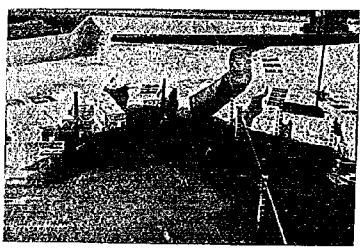
第 66 圖　(1) 大阪北港 (大阪港には在來防波堤のみの場合) 靜水面



第 66 圖　(2)　同上，第 1 波の最高



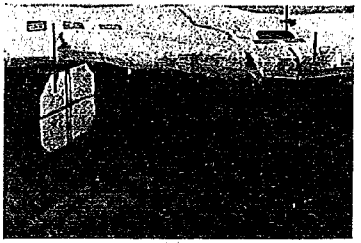
第 66 圖　(3)　同上，第 2 波の最高，(2) より 3.37 秒後



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

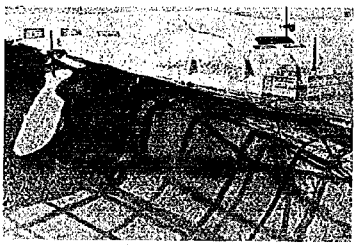
第 67 圖　(2)　同上，第 2 波の最高，(1) より 4.25 秒後

第 67 圖　(3)　同上，(1) より 5.30 秒後



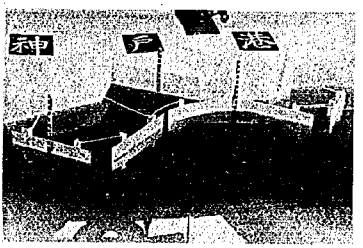
第 68 圖 (1) 西宮港 (大阪港には新計劃防波堤がある場合) 靜水面

第 68 圖 (2) 同上 第1波の最高

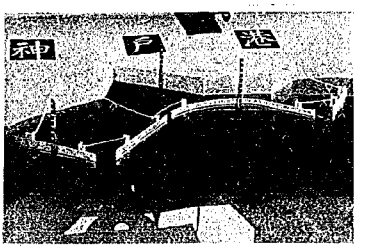


第 68 圖 (3) 同上 第2波 (2) より 2.94 秒後

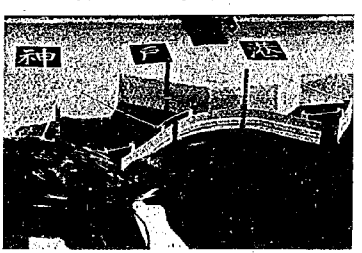
第 68 圖 (4) 同上, 第2波 (2) より 3.31 秒後



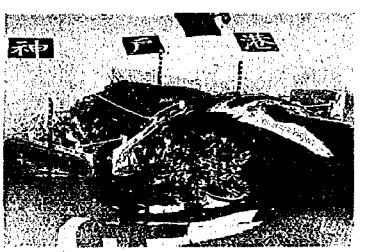
第 69 (1) 圖 神戸港 (大阪には在來防波堤のみがある場合) 靜水面



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

道路舗裝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裝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

內務技師　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)と瀝青乳劑及び遊液の水素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部概說に於て此種研究の必要なる所以を力說す. 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 ${}_EP_H$, ${}_UP_H$ 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ろ界面動的電位(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 ${}_EP_H$, ${}_UP_H$ 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.

實際上瀝青乳劑の內部組織なるイオン雰圍氣の構造は乳化劑の組成により著しく異るものにて親水疎水ゾル的成分の多寡により影響を蒙る事多く, 單に $\Delta_E P_U$ 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. 一般に乳劑內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, 電場內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對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 Freundlich[70] の著書にも多數引用されてゐる. Powis[71] 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 $\alpha_0 = -32 \times 10^{-5}$ (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て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. 從つて易動度(α_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ならん. 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(α_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: 前揭(1)

70) H. Freundlich: 前揭(35)

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

した．更に I 部，II 部に論ぜし瀝青乳劑組織性狀に關する重要な結果との關係を明かにせんと試みた．著者の瀝青乳劑分散公式[72]の正しき事をも新なる實驗的見地より說明せん．以上の目的は各種外界の影響例へば鋪裝用碎石との相互作用，乳劑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るものにて研究方法も多種多樣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） 瀝青乳劑粒子界面動的電位（ζ～電位）と粒子界面構造に關する考察

（2） 粒子易動度實驗方法に就き考究し瀝青乳劑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） 國產道路鋪裝用瀝青乳劑 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狀を明かにす

（4） 實測せる粒子易動度（又は ζ～電位）と瀝青乳劑の一般的性狀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る方面より瀝青粒子 ζ～電位に關する性狀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劑の內部組織を明かにす．

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 $\Delta_E P_U$ 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內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し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 ζ～電位と玆に云ふ 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內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．兩者の關係は乳化劑の種類等により粒子周圍の吸着狀況の異るに從ひイオン零圍氣の構造により異るものにて簡單に劃一的に表示する事は出來ない．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] 節に瀝青乳劑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 Helmholtz[73] の 2 重層構造にて粒子の周圍には構成原因の如何に拘らず 1 種のイ

72) 島田八郎： 前揭 (1) (68)

73) H. Helmholtz: Studien über elektrische Grenzschichten, Ann. d. Phisik, 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．更に距離の函數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. Gouy[74], D. L. Chapmann[75] がある．Otto Stern[76] 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. Geymant[77]は電離コロイド (ionized colloid) に Debye-Hückel[78] 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．

濾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濾青乳劑に存在せる事を實驗上明かにした．卽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 a_1, a_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 $\tilde{\varepsilon}$～電位とは異る) 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 Smoluchowski[79], Otto Stern[80] の研究，最近の A. March[81] 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雜せるもので，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內部組織性狀を闡明する資料を與ふ．本研究に於ける濾青乳劑 ζ～電位は濾青粒子易動度よ

74) M. Gouy: 前揭 (33)

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

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

77) A. Geymant: Die elektrolytische 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: 前揭 75)

81) A. March: On the adsorption theory of the electrokinetic potential, Trans of Faraday 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Ⅰ章に述べし如き目的を以て行へるものである．

［2］ 瀝青乳剤粒子の 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，實際上瀝青乳剤には斯かる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雰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狀を論究せん．［1］節の2種のイオン雰圍氣を假に 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 型にて純粋の 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： 粒子周圍に不連續的電場がある，其の不連續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續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）が定り，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雰圍氣が如何なる性狀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雰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雰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ゞるや？

（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狀である．實驗方法及び實驗結果より論究さるべき事項は I 章に列擧す．

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數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數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-Smoluchowski[82] 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數を有するものとし（其の分散媒粘性係數を η_0 とす）粒子の運動に抗力を與へるとした．Lamb[83] は斯かる問題の解決の爲め滑り摩擦係數を誘導した，然るに一方 Ettische, Zwanzig[84] の流動電壓 (Streaming Potential) 從つてζ～電位が水壓の增加に伴ひ增大する實驗結果に合理的な解釋を與へんとし H. Reichert[85] 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) の著しく增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雜となる．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說明せん．

（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ζ～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，Hatschek[87] の粘性式に於ける分散質容積濃度 φ' と眞容積濃度 φ の比 $\frac{\varphi'}{\varphi}$ より算定し，膨潤比率 $k=1.2\sim1.6$ と得しものと比較す．斯くして粒子運動に伴ふイ

82) H. Helmcholtz, Smoluchowski： 前揭 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： 前揭 2)

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

オン雰圍氣の狀態從つて 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雰圍氣は常に最初の形狀を保つと假定してゐる，H 型雰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雰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. Paine[88], Bikerman[89] は電氣泳動中に雰圍氣の球狀より回轉楕圓體に變じつゝある事を論じた．瀝青乳劑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强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） 粒子半徑 (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．殊に瀝青乳劑の如く一つの乳劑に屬する瀝青粒子の直徑が一樣ならず，一つの確率直徑[90]にて定義される分散度を有するものに對しては愼重に考察するを要す，卽ち問題は二つに分る．

(A) 瀝青粒子個々の ζ～電位一定なるも半徑 (r_a) により易動度 (a_0) 異るや又は 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) 異るや？

然るに瀝青乳劑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し分散度を論じた，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．粒子半徑 (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，卽ち Abramson[91] によるに固體分散質系（懸濁液）に於ては易動度 (a_0) は粒子半徑 (r_a) に無關係にして乳劑（液體～液體分散系）に於ては粒子半徑 (r_a) の增大する程易動度 (a_0) は增加し或一定値に近づくと，Meloin Money[92] の油～水乳劑（粒子直徑約 4 μ）の實驗に對する Réne Audubert[93] 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 Elektrosmose, 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) Réne Audubert: La Théorie de Debye-Hückel et le potentiel électrocinétique, J. de Chémie Phys., 30, 89, 1933.

B. Bull, R. A. Gortner[94] の實驗的研究も結局粒子の個々の半徑 (r_a) とイオン吸着性との關係を論ぜしもので其の目的を異にせる樣である．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_a) 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，卽ち粒子半徑 (r_a)－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，卽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雰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．同樣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，卽ち水の恒數 (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れば分散質粒子移動速度は下記 (23) 式の如く示さる．

$$U=U(\zeta,\ E,\ K_0,\ \eta_0)=\frac{EK_0}{A\pi\eta_0}\zeta \qquad \cdots\cdots(23)$$

94) H. B. Bull, R. A. Gortner: 前揭 65)

95) H. L. White, F. Urban, E. T. Krick: Stream potential determinations on glass capllaries 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.

* 一般に純粹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. Ulicha, O. Werner,[98] Max Wien[99] 等の高週波電場による實驗又は R. Fürth,[100] R. Rechhold,[101] O. Milicka, A. Slama[102] 等の Fürth 回轉楕圓體による 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るも其の代表的のものは水の恒數 $K\fallingdotseq 80$ より一旦電解質濃度の增加に伴ひ $K\fallingdotseq 60$ 內外に減少し更に K は增加し (8～10) $\times 10^{-3}N$ 程度の濃度に至り略〻水の $K=80$ に近く (例へば NaOH 溶液 $K\fallingdotseq 86$, KOH 溶液 $K\fallingdotseq 78$ の如き一定値である)，一樣なる溶液にても斯かる狀態なれば瀝青乳劑の如く粒子周圍に於けるイオン雰圍氣狀態に於ては明瞭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 $K\fallingdotseq 80$ 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, η_0～U の關係は Helmholtz-Smoluchowski[103] 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のみに適用される．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～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～E 關係により考察す．實用上易動度 (a_0) より ζ～電位を換算する場合 (2) の假定により …η_0≒0.010(20°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雜な問題あるも粒子易動度 (a_0) 又は ζ～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，進んで未だ開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擇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 ζ～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. Ulicha, 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 Ellipsoid-methode, 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 Fürtschen Ellipsoidmethoden, Ann. d. Physik, 5 F., 8, 663, 1931.

103) Helmholtz-Smoluchowski; 前揭 82)

を明かにし實驗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關する實驗は畫くより行はれしもので H. Picton, S. E. Linder,[104] W. R. Whitney, J. C. Blake[105] 等の研究あり，1906 年に U 管法を E. F. Burton[106] が發表した．電氣泳動實驗を 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顯微鏡により行はれる

（2） 各粒子泳動の結果現れ來る直接的現象を觀測するもの (Macroscopic method) にて各粒子全體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るものである．殊に試料が同一大きさのものに非ず瀝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 (u_0)～粒子半徑 (r_a) の關係を論究する事不可能である．今 (1), (2) 法の何れが瀝青乳劑電氣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. Ellis[107] が 1912 年，油乳劑の研究に用ひしより H. R-Kruyt,[108] A. E. Van Arkel,[108] 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 Oelemulsionen, 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徑 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，短軸直徑 1.62 mm，長軸直徑 12 mm の楕圓斷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擧げ得．

(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關する限り正確である．

(2) 容器内に於ける粒子速度の分布竝に粒子大きさとの關係を明かに得．

Phodius[111] 等が各種の形狀の容器を工夫改良せしが要するに一樣性乳劑 (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著の研究[112]其の他 Levi[113]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) を使用すべきである, 此方法は E. F. Burton[114] 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>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, 實驗條件も複雜となり常に條件を滿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樣工夫すべく (從つて兩界面移動速度も同樣) 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 elektrophoretischen Wanderungsgeschwindigkeit suspendierter Teilchen und ein Verfahren zur Messung der Ladung hydrophober Sole, Kolloid-Zst., 70, 2, 189, 1935.

112) 島田八郎: 前揭 1), 89)

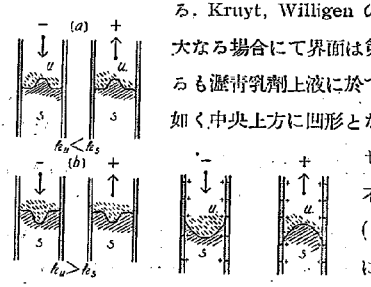
113) Mario Giacomo Levi: Studi e ricerca sulla emulsioni bituminose, Ann. d. Lovori Publici, Giugno, 1932.

114) E. F. Burton: 前揭 106)

(6) 裝置 U 字管内の水柱差による水靜壓の作用なき事

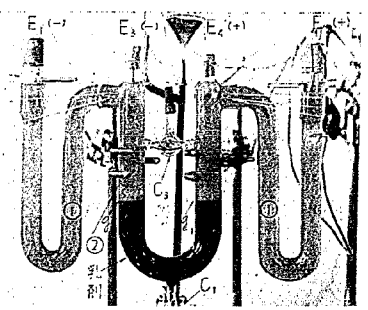
…等は常に實驗中滿足しをる事を要するものにて研究試料に應じ裝置を工夫すべきものである.

(4),(5) の現象は N. Mukherjee[115] 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圍より昇る. 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說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



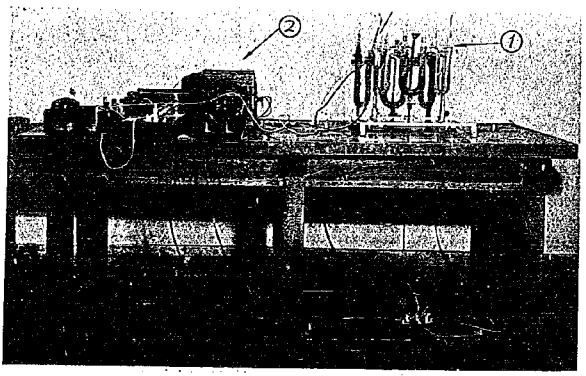
寫眞第 3

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,

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

は Mukherjee,[116] Kruyt,[117] W. Hacker[118] の裝置並びに F. O. Howitt, E. B. R. Prideaux[119] の方法を基とし瀝青乳劑に適する樣改良せしものである．改良せし理由並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つゝ裝入された狀態を示す．②は電氣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を更に擴大し示せるもので中央 U 管②の黑色部は瀝青乳劑にて色澁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

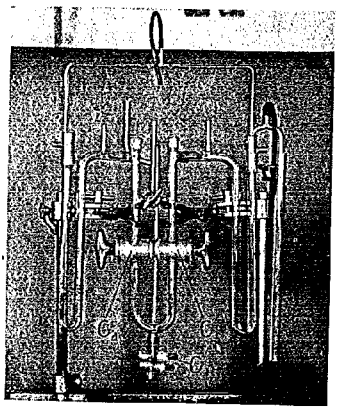
116) Mukherjee：前揭 115)

117) H. Kruyt: Die Methoden zur Bestimmung der Ladungsgrösse kolloider Teilchen, Kolloid Zst., 37, 258, 1925.
H. Kruyt, P. C. Van der Willigen: Ueber die Methodik der kataphorestischen 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. Maetmes, T. B. Brighton,[124] C. Robinson, J. L. Moillet[125] により順次改良されたコック式囘轉界面作成法を試みしが濛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. Prideaux[126] 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．濛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 種の濛青乳劑中にて 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囘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 はコック囘轉式泳動管を示す．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．



寫眞第 5

Kruyt[127] によれば一般に硝子管直徑 0.2 cm なれば電氣滲透影響なしと述べてをる．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: 前揭 117)

124) D. A. Maetmes, 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. Moilliet: 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: 前揭 118), 119)

127) H. R. Kruyt: 前揭 123), 117)

るに R. Ellis[128] は直徑 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，且つ界面稍〻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．

本實驗に於ては內徑約 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 は直徑 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不連續的變化のある點にて電場より見るも其の强さに何か不連續的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內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攪亂を來す．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卽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，卽ち

(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. Moilliet[130] 等あり，其の理由を論じてゐる．輸率法の場合なれど D. C. Henry, J. Brittain[131] 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る事を擧げ從つて界面に於て電場の强さの不連續を生ず，之を防ぐ爲め兩者の比電導度を同値になる樣調節すべしとす．Pauli, Valkó[132] は濾液は膜加水分解生成物を含み乳劑中のミセル部のものと非常に異つてゐるとし，W. Hacker[133] も上液には不適當としてゐる．實際 E. H. Bückner, A. H. H. Van Royer[134] が乳劑の射出流で實驗せし如くゾルの周圍の液の比電導度の差異により射出流の彎曲度が異るものである．I. N.

128) R. Ellis: 前揭 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: 前揭 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: 前揭 (118)

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

Mukherjee[135]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．斯かる現狀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擇するかは重要な問題である．然れども上述諸說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Kohlrausch-Weber[136]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，卽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る場合も其の理由を明瞭に說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．電場に就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內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るもので濾液の比電導度は約2倍である，從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. Hacker[137]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

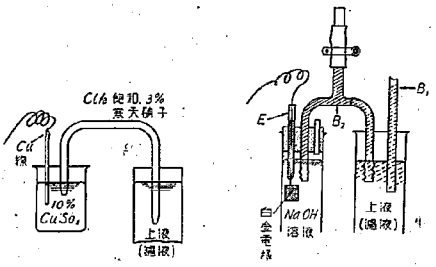
電解質溶液に直流を通ずるに電極部に分解生成物を生ずる所謂成極作用は電氣泳動實驗電極部に於ても常に伴ふもので，殊に瀝青乳劑濾液の如く電解質の外ゾル的性質を有するゼラチン，ベントナイト等を含むものを上液とする場合電極に於ける此種影響は特に甚大

135) I. N. Mukherjee: 前揭 115)

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

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-Beihefte, 41, H 4—7, 147, 1935.

にして其の障害を除く必要がある．A. Steigman[138] は分解生成物の影響を除く爲め主 U 字管の兩側に側管を設け，L. Michaelis[139] は醗酵素の研究に於て無成極電極の使用を考案し，H. R. Kruyt[140]，The Svedberg，E. R. Jette,[141] C. Robinson，T. L. Moilliet[142] も同じ原理による電極を使用した．瀝青乳劑の場合如何に側管を付するも單なる白金黑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內部抵抗を增大し實驗不能となる．最初 L. Michaelis，A. Dombovice[143] に從ひ第 25 圖 [a] の如く CIK～飽和寒天硝子橋を使用せしも上液內の電解質含有多量の爲めか擴散大に一方靑色なる Cu イオンの滲透甚しく實驗繼續不能となる．



第　25　圖

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 の水溶液にて略〻上液と同一程度の P_H を有するもの〻中に浸入す．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狀態にて使用す．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玆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．

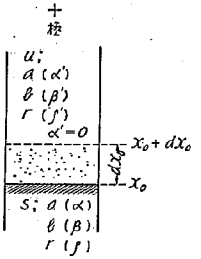
以上の如く瀝靑乳劑電氣泳動實驗裝置に就き特に考慮を拂ふべき重要なる諸點竝びに改良せし二，三の點に就き述べた．[2]～[4] 節の各部分を組合せ第 IV 章 [2] 節に述べる如き裝置を完成す．

[5] 瀝靑粒子易動度

[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：前揭 122)
139) L. Michaelis：前揭 120)
140) H. R. Kruyt：前揭 127), 117)
141) The Svedberg, Eric R. Jette：Cataphores's of proteins, J. Amer. Chem. Soc., 45, 955, 1923.
142) C. Robinson, J. L. Moilliet：前揭 125)
143) L. Michaelis, A. Dombovice：前揭 24)

る事を明かにす，此際常に［1］節に列擧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. Weber[146] にて界面に於ける Kohlrausch の ω～函數 (Beharrlich Funktion) の連續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．瀝青乳劑のイオン的構造は第 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) の上部に濾液ありて界面を作り泳動は總てイオン的に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

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

$$\rho=\alpha+\beta\quad\cdots\cdots(25)$$

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

但し，α, β, ρ, $(\alpha'\ \beta'\ \rho')$：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，$\alpha'\ \beta'\ \rho'$ を上液に於ける値とす．但し上液内にては $\alpha'=0$ とす．

a, b, r：は濃度 $\alpha(\alpha')$, $\beta(\beta')$, $\rho(\rho')$ 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.

$\varphi, -\frac{\partial\varphi}{\partial x}$：ポテンシヤル，電場の强さ．

i, k：電流の强さ，比電導度．

F：瓦常量により運ばれる電氣量とす，電氣泳動の式と比較する場合は粒子易動度 a_0 粘性係數 η_0 を常に考慮に入れ ζ～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．

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

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．

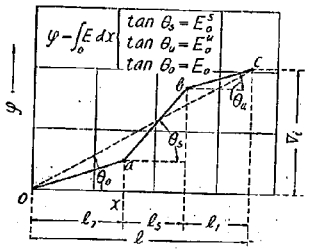
$$\left.\begin{aligned} k_s&=F^2[(a+r)\alpha+(b+r)\beta] \\ k_u&=F^2[(b+r)\beta'] \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(28)$$

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

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 の條件を滿たす樣界面移動が生ずとすれば新に β' に應ずる層が試驗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 $\frac{\partial\varphi}{\partial x}$ の連續性に就ては關係が無い．今界面 ($\alpha\neq0$, $\alpha'=0$) 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 の層の內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內の電流密度 (i) は一定とす．電流密度 (i) を定める單位流管の斷面內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眞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 物質の增減より下式を得．

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



第 27 圖

但し； E_0^s, E_0^u は $\frac{i}{k_s}$, $\frac{i}{k_u}$ にて乳劑濾液內の電場の强さ……を示す．今上液內に懸青粒子無き場合は $\alpha'=0$ にて (31) 式の如くなる．

$$\frac{dx_0}{dt}=(aF)E_0^s=a_0E_0^s \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (31)$$

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關係がある．斯かる結果によれば左右兩界面は常に同一電氣泳動速度にて移動する事となる．Kruyt, Willigen[147] 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强さによると假定し，下記の如く電氣泳動式を得た．浮遊粘土懸垂液に於ては斯くの如き傾向を示す．電氣泳動 U 字管內の電位分布は，第 27 圖に示す如く乳劑部 (s) 上液部 (u) と三段に異るものとし各部の電場の强さを計算す．x～ 軸は泳動管軸に沿ふ長さを示す，縱軸は電位を示す (第 28 圖參照)．

V_i： 補助電極間 (E_3～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_2, l_1, l_3： 第 28 圖に示す如く l_1, l_2, は上液 l_3 は乳劑內軸線に沿ふ長さ

V_i： 加電壓の一部 E_3～E_4 電極間電壓にてポテンチヲ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： 平均電場强さ，上昇下降脚有效電場の强さ

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．

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

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

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

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

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

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. Longsworth,[148] H. P. Cady, L. G. Longsworth,[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來ない．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樣な電流密度 i を有すとし，卽ち全電流を J, 泳動管斷面積を A とする時… $i = \underset{\Delta A \to 0}{\mathrm{Lim}} \frac{\Delta J}{\Delta A}$ … にて求め，ΔA 內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 1μ～5μ 程度のものにてイオンの大きさに比し頗る大である．$\Delta A \to 0$ は瀝青粒子の大きさに比し更に微小となる，卽ち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 內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．卽ち (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, 稍〻

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

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

異る事有り得るを以て (35) 式の如く其の平均をとり瀝青粒子の易動度 (a_0) を求む.

次ぎに第 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.

$$U=U(\zeta, E, K_0, \eta_0)=\frac{EK_0}{A\pi\eta_0}\zeta \quad \cdots\cdots(23)$$

但し, 記號は II 章 [2] 節と同じ, (23) 式は元來 Smoluchowski[150] によるものにて $A=4\pi$ である. Helmholtz,[151] Lamb[152] は電媒恒數を考慮に入れず 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] Chapmann[154] 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.

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

D. C. Henry[155] は粒子, 分散媒も夫〻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 Smoluchowski[156] 式となる. 其の最も一般的なる式は (37) 式の如く電氣 2 重層の厚みを粒子半徑に比し極度に小とせず 2 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

$$\left.\begin{aligned} U&=\frac{K_0E}{6\pi\eta_0}\left\{\varphi_{r_a}+\alpha r_a^3\left(3r_a^3\int_\infty^{r_a}\frac{1}{r^5}\cdot\frac{\partial\varphi}{\partial r}dr-2\int_\infty^{r_a}\frac{1}{r^3}\cdot\frac{\partial\varphi}{\partial r}dr\right)\right\} \\ \text{又は}\quad &=\frac{K_0E}{6\pi\eta_0}\left\{\varphi_{r_a}(1+\alpha)+3\alpha r_a^3 5r_a^2\int_\infty^{r_a}\frac{\varphi}{r^5}dr-2\int_\infty^{r_a}\frac{\varphi}{r^4}dr\right\} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(37)$$

(37) 式を得. 但し, r_a: 球の半徑にて球をミセルとする. φ_{r_a}: $r=r_a$ 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, $r\geqslant r_a+l$, $l<r_a$ …に對し $\varphi\ll\varphi_{r_a}$ なれば瀝青乳劑の場合の如く $k_1=0$ に對しては上述 (32), (36) 式の如くなる.

---

150) M. V. Smoluchowski: 前揭 79)
151) H. Helmholtz: 前揭 73)
152) H. Lamb: 前揭 83)
153) M. Gouy: 前揭 84), 74)
154) D. L. Chapmann: 前揭 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; 前揭 150), 79)

上記の如き電氣泳動式は第 II 章に述べし粒子イオン雰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．卽ち．．．

（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） 粒子イオン雰圍氣（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徑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］節に述べしイオン雰圍氣の變形による Bikerman[157] の結果は下記 (38) 式の如く示さる．

$$U=\frac{K_0E\zeta}{4\pi\eta_0}\cdot\frac{1}{1-b} \qquad \cdots\cdots(38)$$

但し，b: ミセル變形係數にて (38) 式の如く泳動速度を增大す．

瀝青乳劑電氣泳動實驗に於ける重要なる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: 電場の强さ (volt/cm)，K_0: 分散媒電媒恒數 (C.G.S.E.S.U)

ζ: 界面動的電位差 (volt)

と單位を定むれば (36) 式は下記 (39) 式の如くなる．

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

(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］節の論說を參照すべし．

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 說によるもの

2) Kruyt-Willigen 說によるもの

3) 瀝青乳劑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) 說によるべき事を理論上力說す，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; 前揭 (89)

IV. 實驗操作及び實驗結果に就て

[1] 試料

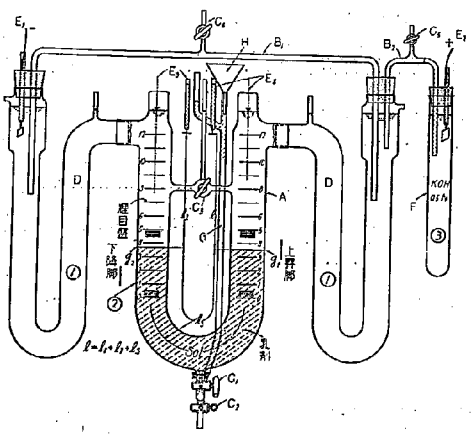
試料は第I部, II部の研究に使用せしものにて特に記述する必要なきも便宜上名稱を掲ぐ程度にす. 國產道路鋪裝用瀝靑乳劑の混合滲透用 10 種に就き電氣泳動に關する特性を明かにせしものである, 名稱及び用途分類を掲ぐ.

試料名	A	B	C	D	G	H	E	F	I	J
瀝靑含有量 %	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 ◎			◎	◎		◎		◎		
用途 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 部の場合と全く同樣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] 節に詳論せし瀝靑乳劑電氣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, 三主要な事柄を說明せん. 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] 節に說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, 三者の分類下記の如し.



電氣泳動實驗裝置 (3号)

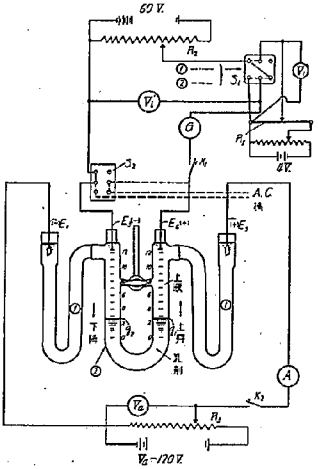
第 28 圖

No. 1 號管: 泳動管直徑約 2.2~2.3 cm, 補助電極 E_2~E_4 間の軸線に沿ふ距離 l=36.11 cm, 水壓平衡橋 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.

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眞第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續を示すものである．第 28, 29 圖の記號に就き說明を試みん．



第　29　圖

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

$E_3(-)$, $E_4(+)$：補助電極にて共に白金黑せる白金極にて位置を常に確實に保持し實驗中 E_3～E_4 極間の電位差をポテンチヲメトリックに測る．E_3～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，$V_i=V_i'+V_i''$…を得．

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

B_1, B_2：液體橋 (liquid bridge) にて B_1は左右兩管水壓柱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］節に說明せり．

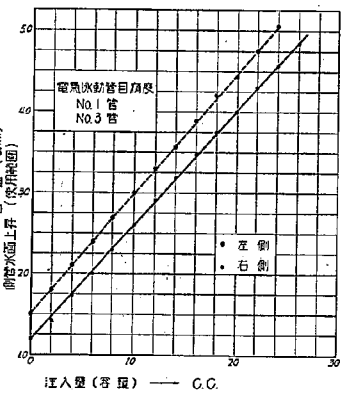
E_2 極：(+)極部に於ける上液內(濾液內)のゾル成分其の他による沈積作用を防ぐ爲めの無成極にて既に III 章［4］節に述べた．

①, ② 管：②管中央管にて中央部 U 管下部に乳劑を入れる．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樣乳劑を注入するに重要な役割をなすものである，C_1：乳劑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～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ゝ說明せるも本實驗に於ては溫度影響頗る大なれば



第　30　圖

嚴密に恒溫氣槽内にて實驗を試みる必要あり．著者も最初其の計畫にて進みしも振動等の影響あり實驗に惡影響を及ぼせしを以て中止し日射影響少き室内にて實驗した．幸に最も良好な場合は溫度變化$\frac{1}{10}$℃ 以内に 4 時間も一定に保つ事を得た．本實驗に於ては泳動管斷面の一樣性は實驗精度に影響を及ぼすを以て第 28 圖②管の有効斷面積を調べた．第 30 圖は一定量の水を注入しつつ左右兩脚内の水面の上昇を測定せしもので直徑 2.2～2.3 cm の No. 1, No. 3 管に對する結果である，實驗誤差範圍で左右兩側も同一斷面を有する事を示す．

實驗操作：　實驗裝置の說明にて略ぼ實驗操作も明かに推測し得るも第 28 圖により簡單に說明せん．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の下部の凸部硝子摺合せに 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_a を與へ，E_3～E_4 極間の電位差をポテンチラメトリックに測定しつゝ，其の値に變動なき事を確めつゝ，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] 節に詳論せし如く懸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 値を與へ異る電場に對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～E_4 電極間電氣抵抗を 1000 ∞ A.C にて必要に應じ測定す．

（3）　V_a 從つて 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）　懸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 l_1, l_2, l_3 は管目盛讀みより之を得．以下記號に關しては (32) (33) (34) (35) 式を參照すべし．

V_i：. 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讀みとす，V_i=28 V に對するものは管目盛による値をも記入す．各實驗値は殆ど同樣の $x_1(x_2)$～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擧すれば下記の如くなる．

（1） V_i 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，卽ち一定の時間後に泳動現象が現れてゐる，他の V_i 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ゝ一致せるものあり，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～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雰圍氣の狀態は變形せざる如く見ゆ．

以上の結果より更に電場の强さの差異によるイオン雰圍氣，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), $x_1(x_2)$～t 關係直線部より 20 分間の移動距離 (x_{1-20}, x_{2-20}) と V_i 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，從つて (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强さ (卽ち V_i) に對し全く正規的なる事を明かにす．

(6) 項は瀝青乳劑の粒子イオン雰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 (u_0) 及び (33) 式の C_u, C_s を求め得．然るに上昇下降速度 (u_{01},

第 24 表

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

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	3.4 12/20 2.69cm	3.6 4/20 2.68cm
4′ 30″	3.4 11/20	
7′ 0″		3.6 5/20
15′ 0″		3.6 13/20
15′ 30″	3.4 6/20	
21′ 10″		3.6 19/20
21′ 30″	3.4	
28′ 0″		3.7 5/20
29′ 0″	3.3 16/20	
34′ 30″		3.7 7/20
37′ 0″	3.3 10/20	
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 16.0℃～16.5℃
端子電壓 Va; ca. 60V　　電流
內部電壓 Vi; 19V　　0.48×0.01A°

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	3.6 6/20 2.84cm	3.5 5/20 2.54cm
3′ 10″	3.6 3/20	
4′ 0″		3.5 12/20
9′ 20″	3.5 15/20	
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 18/20
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 15.0℃～15.5℃
端子電壓 Va; ca. 90V　　電流
內部電壓 Vi; 28V　　0.74×0.01A°

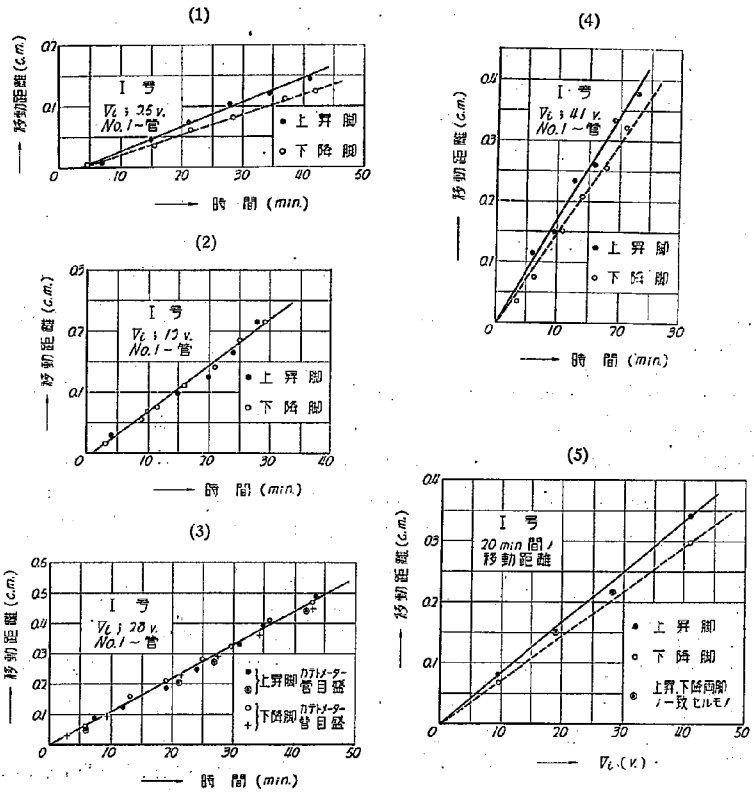
時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター 管目盛
0	2.5 4/20 2.23cm	2.5 10/20 2.44cm
6′ 0″	2.4 10/20	
7′ 0″		2.6 9/20
12′ 0″		2.6 16/20
13′ 0″	2.3 12/20	
19′ 0″	2.3 2/20	
19′ 0″		2.7 8/20
24′ 0″		2.8
25′ 0″	2.2 8/20	
29′ 40″	2.1 19/20	
31′ 0″		2.8 17/20
35′ 0″		2.9 11/20
36′ 0″	2.1 2/20	
43′ 30″		3.0 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 17.4℃～17.3℃
端子電壓 Va; 120V　　電流
內部電壓 Vi; 41V　　1.04×0.01A°

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目管	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	3.3 15/20 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 19/20
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}) 略ゝ同一なれば泳動速度計算には電場としては C_s, C_u を考慮に入れざる平均電場 $E_0 = V_t/l_1 + l_2 + l_s$ (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, 卽ち Kohlrausch-Weber 條件の如き現象が瀝青乳劑の場合には無い樣である.

(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) 式の如く電場として E'_0 を用ひる事も正しくない. C_s, C_u 計算に對しての乳劑濾液の比電導度 k_s, k_u は第 II 部よりとる, ζ～電位は (39) 式に, $K_0 \fallingdotseq 80$, $\eta_0 = 0.010$ とをき之を求む.

I 號結果下記の如し.

$k_w(\Omega^{-1}cm^{-1})$	k_s	l_1 (cm)	l_2	l_s	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_s}{l}$	C_w	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	ζ (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～E_4 電極間加電壓は 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) 關係稍〻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, 說明は省略す. 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 Kruyt-Willigen の說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
實驗溫度 16.2℃～16.4℃
端子電壓 Va; ca, 30 V　電流
內部電壓 Vi; 9.8 V　0.15×0.01A°

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター, 管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター, 管目盛
0	3.43cm $2.9\,^{7}/_{20}$cm	3.38cm $3.0\,^{14}/_{20}$cm
6′ 0″	$2.9\,^{5}/_{20}$	
7′ 0″		$3.0\,^{18}/_{20}$
11′ 15″	2.9	
12′ 40″		$3.1\,^{6}/_{20}$
14′ 40″	$2.8\,^{18}/_{20}$	
16′ 0″		$3.1\,^{8}/_{20}$
17′ 0″	$2.8\,^{15}/_{20}$	
20′ 0″		$3.1\,^{9}/_{20}$
25′ 0″	$2.8\,^{12}/_{20}$	
26′ 0″		$3.1\,^{16}/_{20}$
31′ 0″	$2.8\,^{7}/_{20}$	
35′ 10″	$2.8\,^{4}/_{20}$	
37′ 0″		$3.2\,^{3}/_{20}$
42′ 0″	$2.8\,^{1}/_{20}$	
43′ 0″		$3.2\,^{6}/_{20}$
47′ 20″	$2.7\,^{17}/_{20}$	
52′ 0″	$2.7\,^{14}/_{20}$	
54′ 0″		$3.2\,^{14}/_{20}$

備考　右極を(+)とす. 實際順位①

試料名 J號　實驗管 No. 1
實驗溫度 17.0℃～17.0℃
端子電壓 Va; ca, 90 V　電流
內部電壓 Vi; 32.2 V　0.5×0.01A°

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター, 管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター, 管目盛
0	3.20cm 2.6cm	3.55cm $3.1\,^{8}/_{20}$cm
3′ 30″	$2.5\,^{15}/_{20}$	
4′ 30″		3.2
6′ 0″	$2.5\,^{10}/_{20}$	
7′ 35″		$3.2\,^{8}/_{20}$
9′ 0″	$2.5\,^{5}/_{20}$	
10′ 35″		$3.2\,^{14}/_{20}$
12′ 35″	$2.4\,^{19}/_{20}$	
14′ 0″		$3.3\,^{5}/_{20}$
16′ 0″	$2.4\,^{11}/_{20}$	
17′ 0″		$3.3\,^{13}/_{20}$
18′ 30″	$2.4\,^{5}/_{20}$	
20′ 0″		$3.4\,^{3}/_{20}$
23′ 0″		$3.4\,^{11}/_{20}$
24′ 0″	$2.4\,^{5}/_{20}$	

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, 抵抗增大す. 實際順位③

と同理由により平均電場 E_3 を基準とし計算す.

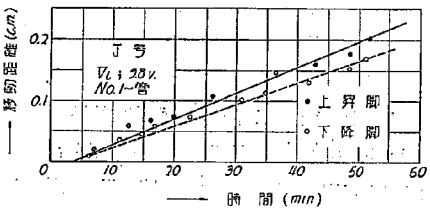
第 25 表（3）

試料名 J號　　實驗管 No. 1
實驗温度 17.0℃～17.0℃
端子電壓 Va ; ca, 120 V　電流
內部電壓 Vi ; 42.1 V　　0.69×0.01A

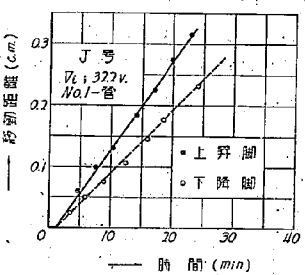
時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚	界面位置 右脚
	カテトメーター，管目盛	カテトメーター，管目盛
0	3.30cm $2.8\,{}^{1}/_{20}$cm	4.44cm $3.1\,{}^{7}/_{20}$cm
3′ 0″	$2.7\,{}^{13}/_{20}$	$3.1\,{}^{19}/_{20}$
4′ 10″		
6′ 0″	$2.7\,{}^{5}/_{20}$	$3.2\,{}^{12}/_{20}$
7′ 0″		
8′ 40″	$2.6\,{}^{17}/_{20}$	$3.3\,{}^{4}/_{20}$
10′ 0″		
12′ 0″	$2.6\,{}^{8}/_{20}$	$3.3\,{}^{15}/_{20}$
13′ 30″		
16′ 0″	$2.5\,{}^{19}/_{20}$	$3.4\,{}^{10}/_{20}$
17′ 0″		
18′ 0″	$2.5\,{}^{11}/_{20}$	$3.4\,{}^{16}/_{20}$
19′ 0″		

備考　右極を(+)とす.　實際順位②

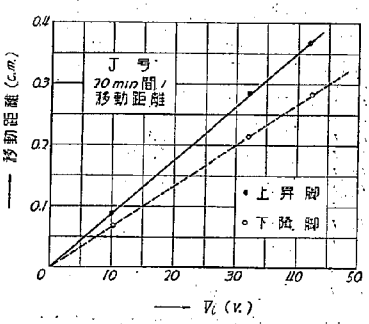
(1)



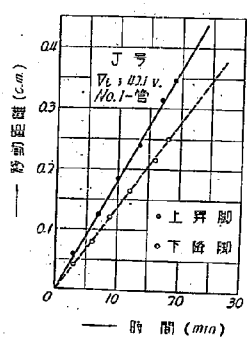
(2)



(3)



(4)



第　32　圖

J 號試驗結果下記の如し.

$k_w(\Omega^{-1}cm^{-1})$	k_s	l_1(cm)	l_2	l_s	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_s}{l}$	C_w	C_s
0.0028	0.00993	8.57	8.62	18.92	0.477	0.524	0.511	1.44

a_{01}	a_{02}	a_0	ζ (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 號と同樣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る事無し. V_i=22 V; 29 V; 37 V ……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) 項と同樣なるも二, 三稍: 異るものあり, 卽ち

第 26 表 (1, 2)

試料名 A 號　　實驗管 No. 3
實驗溫度 16.7°C～16.8°C
端子電壓 Va; ca, 150 V　電流
內部電壓 Vi; 22 V　　1.08×0.01A°

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター, 管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター, 管目盛
0	2.32cm $2.4\,^{7}/_{20}$cm	2.69cm $2.8\,^{15}/_{20}$cm
4′ 0″		$2.8\,^{19}/_{20}$
8′ 40″		$2.7\,^{7}/_{20}$
10′ 0″	$2.3\,^{7}/_{20}$	
12′ 20″		$2.9\,^{18}/_{20}$
16′ 25″		$3.0\,^{7}/_{20}$
17′ 30″	$2.2\,^{3}/_{20}$	
19′ 15″		$3.0\,^{17}/_{20}$
21′ 30″		3.1
22′ 40″	$2.1\,^{7}/_{20}$	
24′ 15″		$3.1\,^{7}/_{20}$
20′ 0″		2.90
20′ 30″	2.07	

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

試料名 A 號　　實驗管 No. 3
實驗溫度 16.2°C～16.5°C
端子電壓 Va; ca, 200 V　電流
內部電壓 Vi; 29 V　　1.40×0.01A°

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター, 管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター, 管目盛
0	2.18cm $2.2\,^{12}/_{20}$cm	2.80cm $2.9\,^{15}/_{20}$cm
3′ 15″		$2.9\,^{17}/_{20}$
5′ 0″	$2.2\,^{3}/_{20}$	
6′ 10″		3.0
8′ 40″		$3.0\,^{12}/_{20}$
11′ 30″		$3.1\,^{1}/_{20}$
13′ 0″		$3.1\,^{9}/_{20}$
14′ 30″	2.0	
15′ 30″		$3.1\,^{19}/_{20}$
18′ 10″		$3.2\,^{7}/_{20}$
20′ 10″		$3.2\,^{14}/_{20}$
21′ 45″	$1.8\,^{6}/_{20}$	
23′ 0″		$3.3\,^{6}/_{20}$
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. 實驗順位②

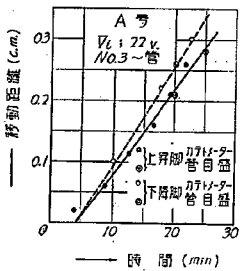
第 26 表 (3)

試料名 A號　　實驗管 No. 3
實驗溫度 16.6℃～17.2℃
端子電壓 Va ; ca, 250 V　電流
內部電壓 Vi ; 37 V　　1.75×0.01A"

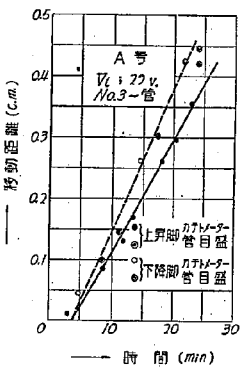
時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0		3.4 2/20cm
3′ 15″		3.4 16/20
4′ 25″	2.6 9/20	
6′ 15″		3.5 8/20
8′ 30″		3.6 4/20
10′ 45″	カテトメーターの目盛外となりたる故中止す.	3.6 18/20
13′ 0″		3.7 7/20
15′ 15″		3.8 5/20
16′ 45″		3.8 13/20
22′ 20″		4.0 2~3/20
1′ 15″		3.30
1′ 20″	1.67	
7′ 5″		3.42
7′ 20″	1.50	
11′ 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　右極を(+)とす. 實驗順位ⓐ

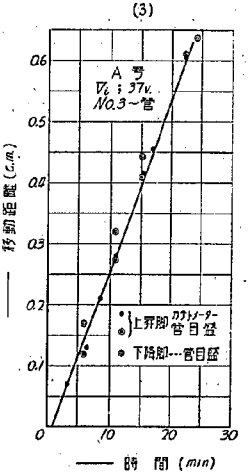
(1)



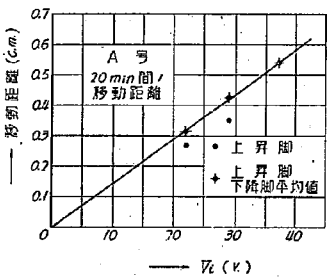
(2)



(3)



(4)



第　33　圖

（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 (●) より稍〻多し

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．

$k_u(\Omega^{-1}\mathrm{cm}^{-1})$	k_s	l_1(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	ζ (m.v.)
0.325	33.5×10^{-5}	33×10^{-5}	69.9

但し，a_0 (cm/sec/volt/cm)

第 27 表 (1)

試料名 B號　　實驗管 No. 1
實驗温度 17.9°C～17.9°C　　電流 0.0055A°
端子電壓 Va; 30 V
內部電壓 Vi; 9.0 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	右脚 カテトメーター，管目盛
0	2.45cm $3.2^{18}/_{20}$cm	3.30cm $3.4^{12}/_{20}$cm
6′ 48″		$3.4^{14}/_{20}$
8′ 28″	$3.2^{15}/_{20}$	$3.4^{17}/_{20}$
13′ 7″		
14′ 26″	$3.2^{18}/_{20}$	$3.4^{19}/_{20}$
18′ 52″		
21′ 30″	$3.2\ ^{9}/_{20}$	$3.5\ ^{3}/_{20}$
23′ 30″		
26′ 48″	$3.2\ ^{9}/_{20}$	$3.5\ ^{3}/_{20}$
29′ 30″		
33′ 14″	$3.2\ ^{7}/_{20}$	$3.5\ ^{5}/_{20}$
36′ 32″		
40′ 16″	$3.2\ ^{5}/_{20}$	$3.5\ ^{8}/_{20}$
43′ 25″		
47′ 50″	$3.2\ ^{2}/_{10}$	$3.5^{11}/_{20}$
50′ 54″		
52′ 35″	3.2	

備考　右極を(+)とす．內部電極間電氣抵抗 實驗前 1635 Ω．後 1243 Ω．實驗順位①

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 V; 16.3 V; 25.3 V…… 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說明を省略す．

上記の實驗結果より直ちに a_{01}, a_{01}, a_0, ζ. を求め得．

B 號實驗結果下記の如し．

$k_u(\Omega^{-1}\mathrm{cm}^{-1})$	k_s	l_1(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	ζ(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
實驗温度 18.0℃～18.0℃　電流 0.0113A°
端子電壓 Va；60 V　内部電壓 Vi；16.3

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	2.35cm 3.2cm	3.40cm $3.5^{11}/_{20}$cm
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

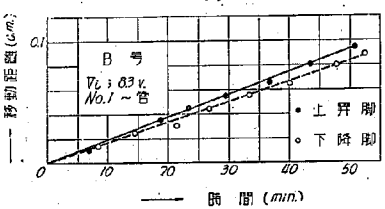
第 27 表 (3)

試料名 B號　　實驗管 No. 1
實驗温度 18.0℃～18.0℃　電流 0.0171A°
端子電壓 Va；90 V　内部電壓 Vi；25.3V

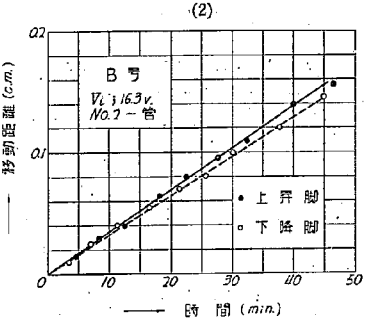
時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	2.20cm $2.0\ ^{9}/_{20}$cm	3.55cm $3.7\ ^{2}/_{20}$cm
4′ 37″	$2.0^{5}/_{20}$	
6′ 33″		$3.7\ ^{8}/_{20}$
9′ 25″	2.0	
11′ 40″		$3.7^{14}/_{20}$
14′ 50″	$1.9^{14}/_{20}$	
16′ 28″		3.8
19′ 3″	$1.9^{10}/_{20}$	
21′ 0″		$3.8\ ^{5}/_{20}$
25′ 46″	$1.5\ ^{5}/_{20}$	
27′ 22″		$3.8^{12}/_{20}$
30′ 2″	$1.8^{19}/_{20}$	
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

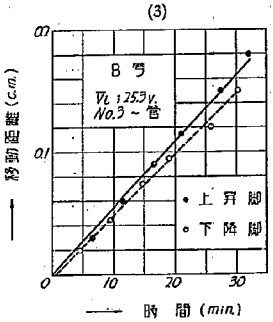
(1)



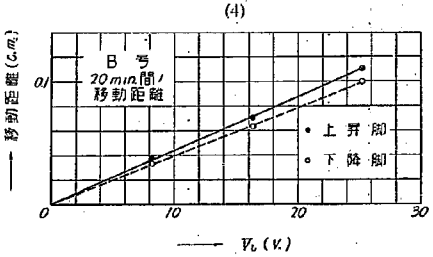
(2)



(3)



(4)



第 34 圖

第 28 表 (1, 2, 3, 4)

試料名 C號. 稀釋濃度60% 實驗管 No. 3
實驗温度 19.0℃～18.5℃　電流
端子電壓 Va ; 220 V　0.55×0.01A°
內部電壓 Vi ; 11 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	3.2cm $2.3^{15}/_{20}$cm	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″		$3.3^{16}/_{20}$
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″ 間休止す.
備考 右極を(+)にす. (+)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
實驗温度 18.7℃～18.6℃　電流
端子電壓 Va ; 60 V　10.22×0.01A°
內部電壓 Vi ; 15.4 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	5.4cm $2.7\ ^{8}/_{20}$cm	6cm $3.5\ ^{2}/_{20}$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(+)にす. 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
實驗温度 18.5℃　電流
端子電壓 Va ; ca, 430 V　1.2×0.01A°
內部電壓 Vi ; 23 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	3.84cm $0.9\ ^{7}/_{20}$cm	3.62cm $1.0^{15}/_{20}$cm
2′		$1.0^{10}/_{15}$
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″		$0.8^{15}/_{20}$

備考 右極を(+)にす. (+)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
實驗温度 18.7℃～18.6℃　電流
端子電壓 Va ; 90 V　0.34×0.01A°
內部電壓 Vi ; 28 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター	界面位置 右脚 カテトメーター
0		
1′ 30″		$3.7^{15}/_{20}$cm
2′ 30″	$2.5^{10}/_{20}$cm	
3′ 30″		$3.7\ ^{6}/_{20}$
4′ 30″	$2.5^{15}/_{20}$	
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″		$3.5^{7\sim8}/_{20}$
14′ 30″	2.8	
16′ 30″		$3.4^{19}/_{20}$
17′ 30″	2.8	
18′ 0″		$3.4^{10}/_{20}$
19′ 30″	$2.8\ ^{9}/_{20}$	
20′ 30″		$3.3^{16}/_{20}$
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(+)にす. 1 の實驗後極を反對にす)
實驗順位②

C 號實驗結果： 混合用瀝青乳劑にて最初 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 C_1 の開閉及び注入管 (G) 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，之れ乳劑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劑を濾液にて稀釋した．勿論稀釋する事により原乳劑の粒子界面電位差は影響を蒙る．卽ち稀釋度に應じ ζ～電位が如何に變するかを知る必要がある．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劑に對する此種研究の發表無し．唯著者[157] が瀝青乳劑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．

今原乳劑を濾液にて 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．(+) 電極は總て無成極卽ち 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狀を保ちつゝ移動せし故其の儘實驗を行ふ．C_v, 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．

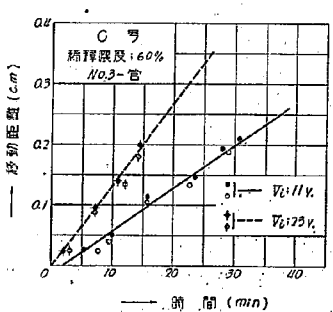
C 號稀釋濃度 60 %……の實測値は第 28 表 (1) (2) に示す，電場は下記の V_i により與へらる．V_i=11 V； 23 V …… の 2 種とす．

第 35 圖は第 28 表 (1), (2) より求めしものである．V_i=11 V, 23 V の場合に上昇下降速度同一なるも V_i=11 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る稀釋濃度 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_i により與へらる．

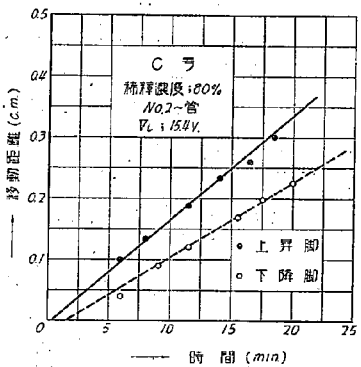
V_i=15.4 V； 28 V ……の 2 種とす．

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

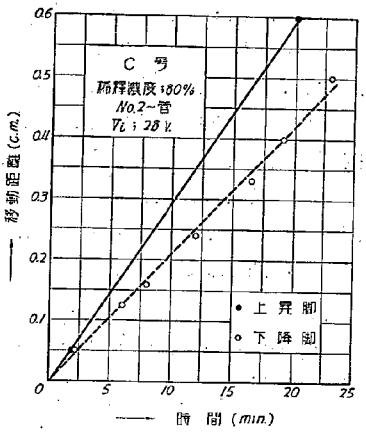


第 35 圖 (1)

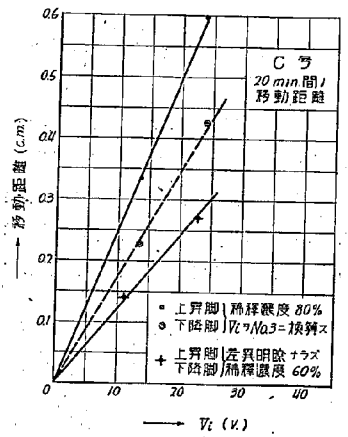
157) 島田八郎： 前揭 2)



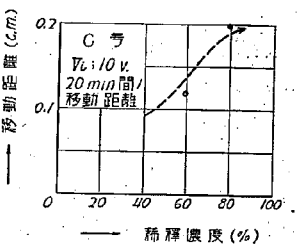
第 35 圖 (2)



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. 卽ち上昇部は下降部より大なる速度を示してゐる, Kruyt-Willigen の現象 (E_0^a, E_0^{ii} 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筈である. 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_i) 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) 性狀を示せし事は注目に値す．第 36 圖より V_i=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 (%) との關係である．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．試驗試料 2 種にて嚴密なる事は論じ得ざるも斯かる a_0～濃度曲線より原乳劑の 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劑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～電位等を求め原乳劑の値を推定す．

C 號結果下記の如し．

$k_u(\Omega^{-1}cm^{-1})$	k_s	l_1(cm)	l_2	l_s,	$\frac{l_1+l_2}{l}$,	$\frac{l_s}{l}$,	C_u,	C_s
0.00848	0.00381	8.80	7.70	19.6	0.457	0.54	0.600	1.34

a_{02}	a_{01}	a_0	ζm.v.
52.6×10^{-5}	／	52.6×10^{-5}	100

但し，a_0 (cm/sec/volt/cm)

第 29 表　(1, 2)

試料名 D號　實驗管 No. 1
實驗温度 17.4℃～17.5℃　電流 (0.45～
端子電壓 Va；30 V　0.41×0.01A°
內部電壓 Vi；7.3 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	4.11cm $4.6\,{}^{1}/_{20}$cm	3.98cm $4.6\,{}^{7}/_{20}$cm
7′ 0″		$4.6^{18}/_{20}$
7′ 30″		$4.7\,{}^{1}/_{20}$
9′ 30″	$4.5^{12}/_{20}$	
11′ 20″		
17′ 0″		$4.7\,{}^{3}/_{20}$
18′ 0″	$4.5\,{}^{9}/_{20}$	
22′ 30″		$4.7\,{}^{5}/_{20}$
23′ 30″	$4.5\,{}^{7}/_{20}$	
31′ 0″		$4.7\,{}^{7}/_{20}$
32′ 0″	$4.5\,{}^{1}/_{20}$	
41′ 0″		$4.7^{11}/_{20}$
42′ 0″	$4.4^{14}/_{20}$	
50′ 30″		$4.7^{11}/_{20}$

備考　右極を(+)とす．電極には白金黑を附せず．實驗順位①

試料名 D號　實驗管 No. 1
實驗温度 17.7℃～17.7℃　電流
端子電壓 Va; ca, . 60 V　0.93×0.01A°
內部電壓 Vi；15.8 V　⊙0.88×0.01A

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	3.63cm $4.4\,{}^{0}/_{20}$cm	4.13cm $4.6^{18}/_{20}$cm
5′ 0″		$4.7\,{}^{3}/_{20}$
6′ 20″	4.4	
9′ 0″		$4.7\,{}^{7}/_{20}$
10′ 0″	$4.3^{14}/_{20}$	
13′ 30″		$4.7^{13}/_{20}$
15′ 30″	$4.3\,{}^{6}/_{20}$	
20′ 0″		4.8
21′ 0″	$4.3\,{}^{1}/_{20}$	
24′ 30″		$4.8\,{}^{1}/_{20}$
25′ 30″	$4.2^{14}/_{20}$	
26′ 30″	⊙	$4.8\,{}^{8}/_{20}$
30′ 45″		$4.8\,{}^{9}/_{20}$
31′ 30″	$4.2\,{}^{5}/_{20}$	
35′ 0″		$4.8^{11}/_{20}$
35′ 40″	$4.2\,{}^{3}/_{20}$	
41′ 0″		$4.8^{17}/_{20}$
41′ 40″	$4.1^{12}/_{20}$	
46′ 30″		$4.9\,{}^{1}/_{20}$
48′ 0″	$4.1\,{}^{8}/_{20}$	

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
實驗温度 17.6℃～18.4℃　　電流 1.4×0.01A⁰
端子電壓 Va; ca, 90 V　　＊1.3×0.01A⁰
內部電壓 Vi; 23.5～24 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚	界面位置 右脚
0	カテトメーター，管目盛 4.1 9/20 cm 3.65cm	カテトメーター，管目盛 4.8 18/20 cm 4.23cm
5′ 0″	4.0 18/20	4.9 10/20
6′ 0″		
8′ 30″	4.0 13/20	4.9 14/20
10′ 30″		
13′ 50″	3.9 18~19/20	5.0 2/20
15′ 30″		
20′ 0″	3.9 8/20	5.0 8/20
21′ 30″		
28′ 0″	3.8 15/20	＊ 5 0 16/20
29′ 30″		
33′ 0″	3.8 7/20	5.1 4/20
34′ 30″		
38′ 30″	3.7 15/20	5.1 10/20
40′ 0″		＊2
51′ 0″	3.6 17/20	5.2
52′ 20″		
55′ 45″	3.5 19/20	5.2 7/20
58′ 30″		

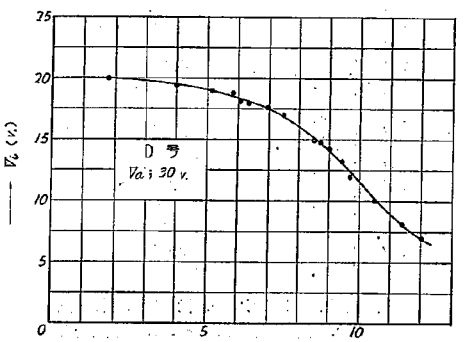
備考　右極を(+)とす．　＊1 1′30″ 休止電極を掃除す．　＊2 1′10″ 同上．　實驗順位③

D 號實驗結果：C 號と同樣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强さは下記 V_i により與ふ．

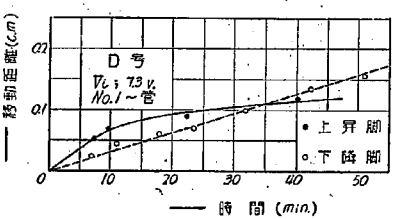
V_i=7.3 V:　15.8 V　25 V ……の 4 種を加ふ．

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．卽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 分にて旣に 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．

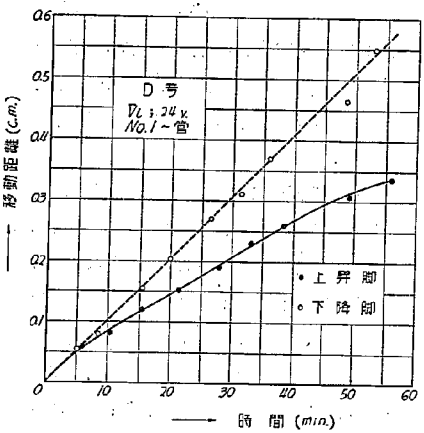
下降部 (○) は實驗の時間內にては略ゝ正規性狀を示すも上昇部 (●) は最初 I 號の場



第 38 圖



第 39 圖 (1)



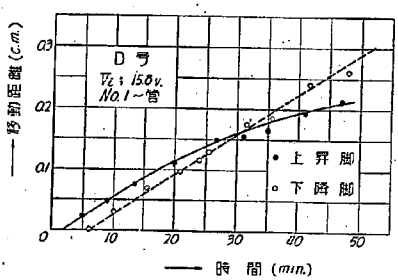
第 39 圖 (2)

第 30 表 (1)

試料名 D號　　實驗管 No. 3
實驗温度 17.6℃～18.2℃　電流
端子電壓 Va ; ca, 175V　0.50×0.01A°
內部電壓 Vi ; 8.5 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	3.5cm $2.6^{14}/_{20}$cm	3.3cm $2.7\ ^{9}/_{20}$cm
6′ 30″		$2.7^{11}/_{20}$
7′ 40″	$2.6^{11}/_{20}$	
9′ 30″		$2.7^{14}/_{20}$
10′ 30″	$2.6\ ^{6}/_{20}$	
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″		$2.8^{12}/_{20}$
45′ 15″	$2.5\ ^{6}/_{20}$	
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
實驗温度 18.7℃～19.5℃　電流
端子電壓 Va ; ca, 300V　0.9×0.01A°
內部電壓 Vi ; 15 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	3.5cm 2.30cm	3.3cm $2.6^{15}/_{20}$cm
3′ 30″		$2.7\ ^{1}/_{20}$
4′ 20″	$2.2^{19}/_{20}$	
8′ 0″		$2.7\ ^{7}/_{20}$
8′ 45″	$2.2\ ^{9}/_{20}$	
11′ 45″		$2.7^{10}/_{20}$
13′ 0″	$2.2\ ^{5}/_{20}$	
17′ 30″		$2.7^{13}/_{20}$
18′ 40″	$2.2\ ^{2}/_{20}$	
21′ 30″		2.8
22′ 0″	$2.1^{19}/_{20}$	
27′ 40″		$2.8\ ^{5}/_{20}$
28′ 30″	$2.1^{9\sim10}/_{20}$	
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″	$2.0^{15}/_{20}$	
50′ 30″	$2.0\ ^{8}/_{20}$	
54′ 30″		$2.9^{11}/_{20}$
55′ 30″	2.0	
61′ 30″		$2.9^{19}/_{20}$
62′ 30″	$1.9^{8\sim10}/_{20}$	

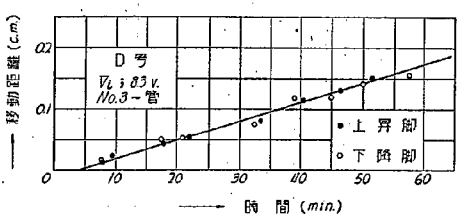
備考　右極を(+)とす．(+)極には無成極電極を用ふ．實驗順位②

第 30 表 (3)

試料名 D號　　實驗管 No. 3
實驗温度 19.7℃~19.2℃　電流
端子電壓 Va; ca, 500V　　1.4×0.01A°
內部電壓 Vi; 25V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	$2.0^{15}/_{20}$cm	$2.86^{9}/_{20}$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″	$1.9^{9}/_{20}$	
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，不明瞭となる故管目盛にて測定す．實驗順位③



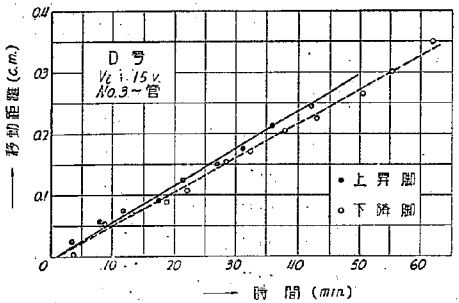
第 40 圖 (1)

合の如く下降部に比し略ゝ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．

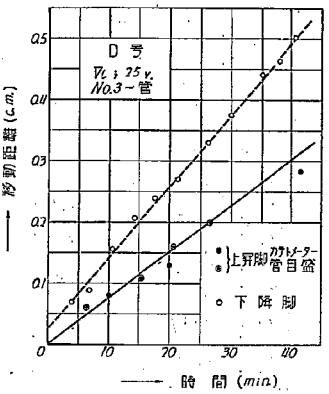
No. 3 號管による實驗結果：實驗方法其の他條件全部同一なれば結果のみ簡單に記述す．電場は下記の V_i により與へられる．

V_i=8.5 V; 15 V; 25 V……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; 15V……の場合は界面上昇下降速度略ゝ同一にして一般の場合と全く同樣な移動をなすも，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來る，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=25V 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 に對する 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 ($x_{2\sim20}$) ～ V_i 關係である．上記 2 種の泳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樣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雜な現象の生じ得る事

を知つた.第41圖は電氣泳動的にも正規的なる事を示す,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 號等と同樣に粒子易動度 (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)

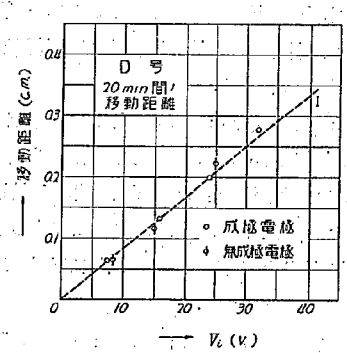


第 40 圖 (3)

D 號實驗結果下記の如し,

$k_m(\Omega^{-1}cm^{-1})$	k_s	l_1(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	ζm.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. 電氣泳動的に見たる易動度は $a_0=26\times10^{-5}$ 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る乳劑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
內部電壓 Vi ; 9.0 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚	界面位置 右脚
	カテトメーター，管目盛	カテトメーター，管目盛
0	3.70cm $4.1^{11}/_{20}$cm	4.10cm $4.3^{19}/_{20}$cm
3′ 30″		4.4
4′ 45″	$4.1^{8}/_{20}$	
7′ 20″		$4.4^{2}/_{20}$
8′ 45″	$4.1^{7}/_{20}$	
11′ 10″		$4.4^{6}/_{20}$
12′ 35″	$4.1^{5}/_{20}$	
14′ 35″		$4.4^{6}/_{20}$
17′ 0″	$4.1^{3}/_{20}$	
18′ 45″		$4.4^{9}/_{20}$
20′ 13″	$4.1^{1}/_{20}$	
23′ 60″		$4.4^{12}/_{20}$
25′ 45″	$4.0^{19}/_{20}$	
30′ 35″		$4.4^{16}/_{20}$
31′ 58″	$4.0^{15}/_{20}$	
36′ 15″		$4.4^{19}/_{20}$
38′ 35″	$4.0^{13}/_{20}$	
40′ 50″		$4.5^{2}/_{20}$
43′ 55″	$4.0^{11}/_{20}$	

備考 右極を(+)とす．內部電極間電氣抵抗
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
內部電壓 Vi ; 27.8 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚	界面位置 右脚
	カテトメーター，管目盛	カテトメーター，管目盛
0	3.55cm 3.9cm	4.39cm $4.6^{13}/_{20}$cm
7′ 25″		$4.7^{11}/_{20}$
8′ 25″	$3.8^{6}/_{20}$	
9′ 42″		$4.7^{15}/_{20}$
11′ 45″	$3.8^{3}/_{20}$	
13′ 18″		$4.8^{3}/_{20}$
14′ 40″	$3.7^{18}/_{20}$	
16′ 22″		$4.8^{6}/_{20}$
17′ 30″	$3.7^{15}/_{20}$	
18′ 55″		$4.8^{10}/_{20}$
20′ 17″	$3.7^{9}/_{20}$	
21′ 28″		$4.8^{14}/_{20}$
22′ 40″	$3.7^{6}/_{20}$	
23′ 55″		$4.8^{17}/_{20}$
25′ 5″	$3.7^{3}/_{20}$	

備考 右極を(+)とす．內部電極間電氣抵抗
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
內部電壓 Vi ; 21.3 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚	界面位置 右脚
	カテトメーター，管目盛	カテトメーター，管目盛
0	3.6cm $4.0^{13}/_{20}$cm	4.23cm $4.5^{6}/_{20}$cm
4′ 20″	$4.0^{8}/_{20}$	
5′ 20″		$4.5^{9}/_{20}$
8′ 30″		$4.5^{13}/_{20}$
9′ 45″	$4.0^{6}/_{20}$	
11′ 35″		$4.5^{16}/_{20}$
12′ 57″	$4.0^{3}/_{20}$	
15′ 10″		$4.6^{1}/_{20}$
16′ 40″	$3.9^{19}/_{20}$	
18′ 27″		$4.6^{4}/_{20}$
19′ 35″	$3.9^{16}/_{20}$	
20′ 52″		$4.6^{6}/_{20}$
22′ 0″	$3.9^{15}/_{20}$	
23′ 23″		$4.6^{10}/_{20}$
25′ 7″	$3.9^{11}/_{20}$	
26′ 18″		$4.6^{12}/_{20}$
29′ 32″	$3.9^{7}/_{20}$	
30′ 50″		$4.6^{15}/_{20}$
33′ 13″		$4.6^{19}/_{20}$

備考 右極を(+)とす．內部電極間電氣抵抗
實驗前 2187Ω．後 2259Ω．實驗順位 2

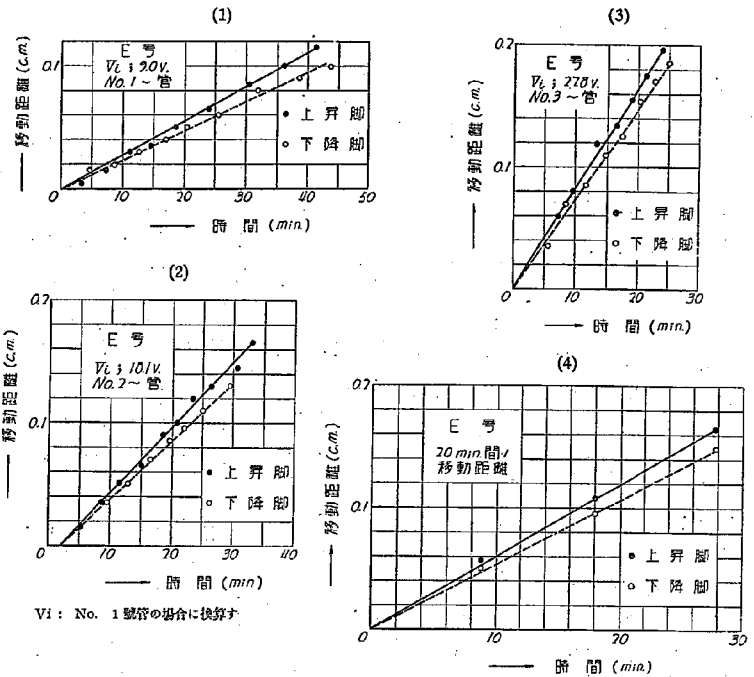
響を考慮に入れる必要のあることが分る，Pickering 乳劑に就て特に然りとす．

［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關する移動距離 (x_1, x_2)～時間關係は一般的のものと全く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 により與へられる．

V_i=9.0 V ; 18.1 V ; 27.8 V ; ……の 3 種



Vi : No. 1 號管の場合に換算す

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，從つて粒子易動度 (a_0), ζ～電位も容易に求め得．

E 號實驗結果下記の如し．

$k_u(\Omega^{-1}cm^{-1})$	k_s	l_1(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	ζ (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空氣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裝置を固定し全體に濾液を滿し，平衡狀態となし然る後コック（C_4, C_5）を靜かに且つ速に開く．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 號の場合の論說に從ひ稀釋濃度 80 %に對する結果により原乳劑の性狀を推測した．第 32 表 (1) (2) (3) は實驗結果を示す．

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℃
端子電壓 Va；100V　電流 0.25×0.01A°
內部電壓 Vi；35V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚	右脚
0	カテトメーター，管目盛	カトテメーター
3′ 0″	界面齒狀を呈し測定困難となる以下省略す．(界面攪亂は全く電位平均原因に由るものでない)	$15.3^{18}/_{20}$
6′ 50″		$15.4^{11}/_{20}$
11′ 20″		$15.5^{\ 5}/_{20}$
16′ 0″		$15.5^{11}/_{20}$
22′ 40″		$15.6^{\ 5}/_{20}$
27′ 10″		$15.7^{14}/_{20}$
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℃～16.5℃
端子電壓 Va；ca, 62 V 電流 0.15×0.01A°
內部電壓 Vi；22 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚	右脚
0	同上理由により測定省略す．	カトテメーター
0′		$15.8^{12}/_{20}$
14′ 30″		$15.9^{15}/_{20}$
20′ 10″		$16.0^{\ 7}/_{20}$
28′ 30″		$16.1^{\ 0}/_{20}$
35′ 20″		$16.1^{12}/_{20}$
40′ 0″		$16.2^{\ 2}/_{20}$
45′ 0″		$16.2^{12}/_{20}$

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 15.5℃～16.1℃　電流
端子電壓 Va；ca, 150 V　0.355×0.01A°
內部電壓 Vi；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	
15′ 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	

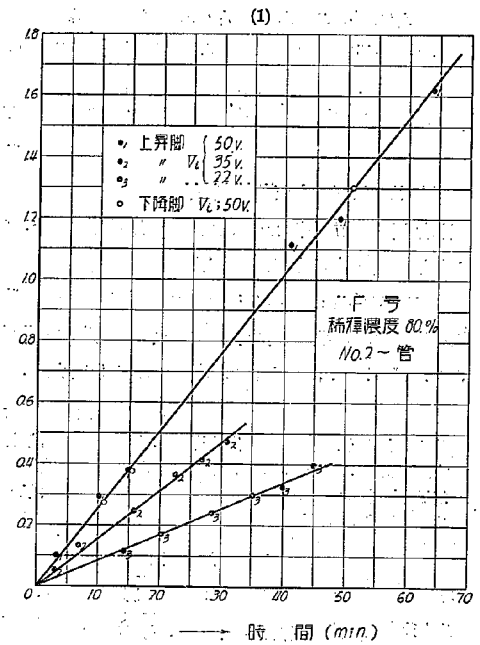
備考　右極を(+)とす．電極位置左右共 16cm
l=42.5cm

電場の强さは下記加電壓 V_i にて與へらる．

V_i=22 V；35 V；50 V ……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_i=50 V, 35V, 22 V の順序に行ひし爲 V_i=50 V の場合は上昇下降速度略ぼ同一に觀測されしも V_i=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_i の關係を求めんに本實驗は No. 2 號管 (l=42.5 cm) なれば No. 3 號管 (l=36.11 cm) に比し同じ V_i に對し電場の强さ少し. No. 1, No.3 の場合に換算するを要す.



第 43 圖

第43圖 (2) の内 "⊙" 記號は No. 3 號管に換算せる V_i に對する 20 分間移動距離 (x_{1-20}, x_{2-20}) と V_i 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，卽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樣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_i 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, ζ～電位を求め得.

F 號實驗結果下記の如し.

$k_u(\Omega^{-1}cm^{-1})$	k_s	l_1(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	ζ(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樣に異常なく移動す，電場は下記の電壓により與へらる．V_i=7.6 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
實驗温度 18.2℃～18.3℃　電流 0.0047A°
端子電壓 Va ; 30 V
內部電壓 Vi ; 7.6 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，笞目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，笞目盛
0	2.53cm $2.9\,^{4}/_{20}$cm	2.58cm $2.8\,^{6}/_{20}$cm
8′ 48″	$2.8\,^{8}/_{20}$	
9′ 10″		$2.9\,^{3}/_{20}$
16′ 20″	$2.8^{11}/_{20}$	
18′ 53″		2.9
22′ 33″	$2.8^{13}/_{20}$	
24′ 16″		$2.8^{18}/_{20}$
29′ 25″	$2.8^{17}/_{20}$	
30′ 26″		$2.8^{14}/_{20}$
31′ 53″	$2.8^{18}/_{20}$	
33′ 3″		$2.8^{13}/_{20}$
35′ 10″	$2.9\,^{1}/_{20}$	
36′ 31″		$2.8^{12}/_{20}$
39′ 30″	$2.9\,^{2}/_{20}$	
40′ 45″		$2.8^{10}/_{20}$
43′ 21″	$2.9\,^{5}/_{20}$	

備考　右極を(+)とす．內部電極間電氣抵抗
實驗後 1508Ω．實驗順位①

試料名 G 號　　實驗管 No. 1
實驗温度 18.3℃～18.3℃　電流 0.01A
端子電壓 Va ; 60 V
內部電壓 Vi ; 18 V

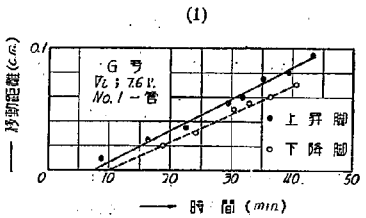
時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，笞目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，笞目盛
0	2.41cm $2.7^{19}/_{20}$cm	2.70cm $2.9\,^{9}/_{20}$cm
10′ 51″		$3.0\,^{2}/_{20}$
12′ 31″	$2.7\,^{7}/_{20}$	
13′ 39″	$2.7\,^{6}/_{20}$	
14′ 52″		$3.0\,^{6}/_{20}$
16′ 17″	$2.7\,^{2}/_{20}$	
18′ 38″		$3.0^{11}/_{20}$
20′ 17″	$2.6^{18}/_{20}$	
24′ 9″		$3.0^{18}/_{20}$
25′ 30″	$2.6^{14}/_{20}$	
26′ 47″		$3.1^{10}/_{20}$
29″ 4″	$2.5^{15}/_{20}$	

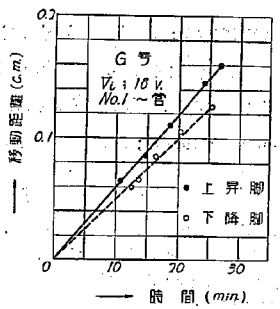
備考　右極を(+)とす　內部電極間電氣抵抗
實驗前 1508Ω．後 1546Ω．實驗順位②

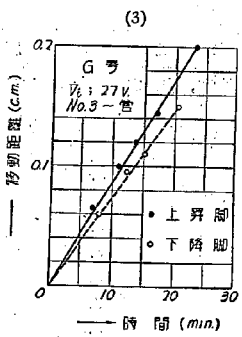
試料名 G號　　實驗管 No. 1
實驗温度 18.3°C～18.3°C　電流 0.0149A°
端子電壓 Va ;90 V
內部電壓 Vi ; 27 V

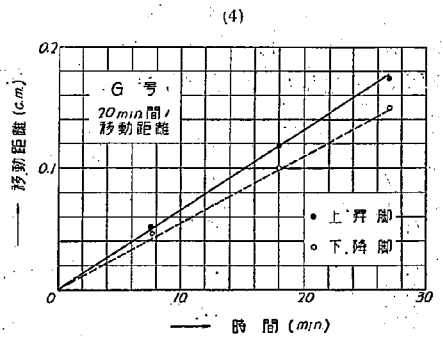
時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター，管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター，管目盛
0	2.21cm $2.5^{14}/_{20}$cm	2.90cm $3.1^{10}/_{20}$cm
6′ 58″		$3.2^{3}/_{20}$
7′ 58″	$2.5^{2}/_{20}$	
10′ 57″		$3.2^{10}/_{20}$
12′ 20″	$2.4^{15}/_{20}$	
13′ 42″		$3.2^{14}/_{20}$
15′ 14″	$2.4^{12}/_{20}$	
17′ 8″		$3.2^{18}/_{20}$
20′ 35″	$2.4^{4}/_{20}$	
23′ 15″		$3.3^{10}/_{20}$

備考　右極を(+)とす．內部電極間電氣抵抗
．實驗前 1546Ω．後 1502Ω．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說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 (u_0) 及び ζ～電位も全く一般の場合と同樣に求め得．

G 號實驗結果下記の如し.

$k_u(\Omega^{-1}cm^{-1})$	k_s	l_1	l_2	l_s	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_s}{l}$	C_u	C_s
0.00796	0.00325	9.59	9.30	17.11	0.525	0.475	0.592	1.451

a_{01}	a_{02}	a_0	ζ(m.v.)
19.6×10^{-5}	16.9×10^{-5}	18.3×10^{-5}	38.7

但し, a_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 號管をも用ひず 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 V; 19.1 V; 29.5 V……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
實驗温度 17.6°C～18.1°C　　電流 0.00455A°
端子電壓 Va ; 30 V
內部電壓 Vi; 8.6 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター, 管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター, 管目盛
0	2.63cm $3.0\,^{7}/_{20}$cm	2.38cm $2.8^{10}/_{20}$cm
4′ 55″		$2.8^{13}/_{20}$
6′ 4″	$3.0\,^{4}/_{20}$	
10′ 26″		$2.8^{19}/_{20}$
11′ 12″	3.0	
13′ 31″		$2.9\,^{3}/_{20}$
14′ 54″	$2.9^{18}/_{20}$	
16′ 52″		$2.9\,^{5}/_{20}$
18′ 39″	$2.9^{15}/_{20}$	
21′ 9″		$2.9\,^{8}/_{20}$
22′ 7″	$2.9^{13}/_{20}$	
27′ 37″		$2.9^{12}/_{20}$
29′ 3″	$2.9\,^{6}/_{20}$	
40′ 3″		$3.0\,^{4}/_{20}$
41′ 28″		$3.0\,^{6}/_{20}$
42′ 55″	$2.8^{18}/_{20}$	

備考　右極を(+)とす. 內部電極間電氣抵抗 實驗前 1587Ω. 後 1607Ω. 實驗順位①

試料名 H 號　　實驗管 No. 1
實驗温度 18.1°C～18.7°C　　電流 0.0093A°
端子電壓 Va ; 60 V
內部電壓 Vi ; 19 V

時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター, 管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター, 管目盛
0	2.43cm $2.8\,^{7}/_{20}$cm	2.58cm $3.0^{10}/_{20}$cm
4′ 23″		$3.0^{16}/_{20}$
4′ 55″	$2.8\,^{3}/_{20}$	
6′ 29″		3.1
8′ 36″		$3.1\,^{3}/_{20}$
11′ 37″		$3.1\,^{9}/_{20}$
15′ 18′		$3.1^{16}/_{20}$
18′ 38″		$3.2\,^{2}/_{20}$
21′ 16″		$3.2\,^{7}/_{20}$
22′ 7″		$3.2\,^{9}/_{20}$
23′ 8″		$3.2^{12}/_{20}$
24′ 12″		$3.2^{13}/_{20}$
25′ 0″	$2.6\,^{6}/_{20}$	
25′ 25″		$3.2^{14}/_{20}$

備考　右極を(+)とす. 內部電極間電氣抵抗 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
實驗温度 18.7℃~18.8℃　電流 0.0145A°
端子電壓 Va ; 90 V
內部電壓 Vi ; 29.5 V

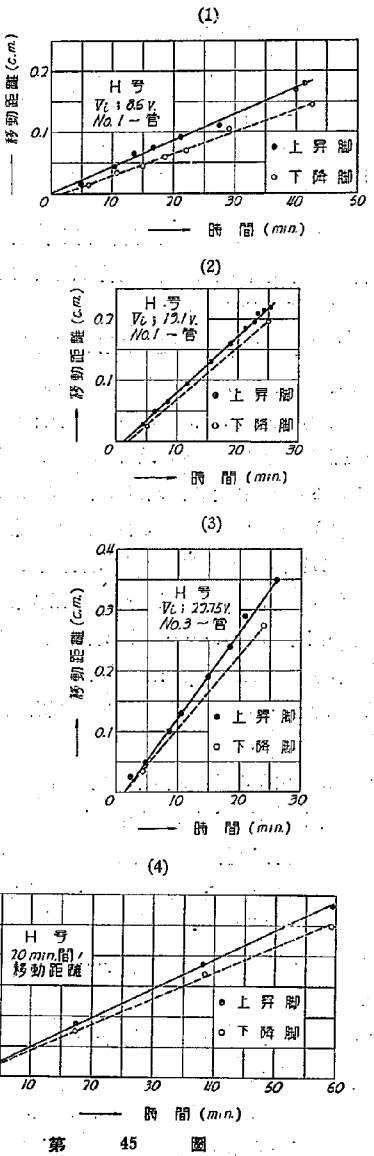
時間 分(′)秒(″)	界面位置 左脚 カテトメーター・管目盛	界面位置 右脚 カテトメーター・管目盛
0	2.20cm $2.6\,^{3}/_{20}$cm	2.85cm $3.3\,^{5}/_{20}$cm
2′ 16″		$3.3^{19}/_{20}$
4′ 16″	$2.5^{16}/_{20}$	
4′ 48″		$3.3^{15}/_{20}$
8′ 45″		$3.4\,^{5}/_{20}$
10′ 35″		$3.4^{11}/_{20}$
15′ 0″		$3.5\,^{8}/_{20}$
18′ 27″		$3.5^{13}/_{20}$
20′ 53″		$3.6\,^{3}/_{20}$
23′ 58″	$2.3\,^{6}/_{20}$	
25′ 58″		$3.6^{15}/_{20}$

備考　右極を(+)とす. 內部電極間電氣抵抗 實驗前 1650Ω. 後 1614Ω. 實驗順位③

電氣泳動に關する特性は全く I, J 號等一般的のものと同樣力學的にも電氣的にも正規性である. 第 45 圖 (1) (2) (3) (4) は界面移動に關するものにて (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 (a_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

$k_u(\Omega^{-1}cm^{-1})$	k_s	l_1(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	ζ(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鋪裝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 ($x_1<x_2$)

$a_{01}\fallingdotseq a_{02}$…となりし場合……I 號，A 號，F 號◉ ($x_1\fallingdotseq x_2$)

一種の乳劑にて a_{01}, a_{02} の關係に就き 2 樣あるは加電壓 V_i 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

れしも本來 $a_{01}>a_{02}$…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＞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◎のみ V_i に對し x_{1-20}, x_{2-20}～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） Kruyt-Williegen の電場强さ (E_0^s, E_0^u) 計算に於ける係數 (C_u, C_s) は總て……$C_u<C_s$… にて C_s 約 2 倍以上大である，從つて $E_0^u=E_0C_u$, $E_0^s=E_0C_s$ に於ては $E_0^u<E_0^s$ にて略 $E_0^u=\left(\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3}\right)E_0^s$ である.

以上の如く各試料により特性異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，特に重要なる結果は上記 (6) (7) (8) (9) 項である，此等により瀝青乳劑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 $a_{01}\fallingdotseq a_{02}$ 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强さのとり方に對する指針を與ふものである．Kruyt-Williegen の假定によれば $E_0^s<E_0^u$ 從つて $x_1<x_2$ ($a_{01}<a_{02}$) となり，且つ $x_2\fallingdotseq(2\sim3)x_1$ 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易動度 (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.

$$\left.\begin{aligned}\Delta x_1\ (\text{又は}\ \Delta x_2)&=K\cdot V_i\cdot\Delta t\\ \text{又は}\qquad \Delta x_0&=Kl\cdot E_0\cdot\Delta t\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(40)$$

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; 平均電場の强さ，Kl; 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… $U=U(\zeta, E_0, K_0, \eta_0)$…と比較せんに

$$\frac{\Delta x_0}{\Delta t}=U=(Kl)E_0,\quad U=\frac{\zeta K_0}{A\pi\eta_0}E_0$$

上記實驗結果 (6) (7) (8) (9) 項によるに (Kl) なる常數は時間 (t)，速度 (U)，電場の强さ (E_0) 等を含まない，從つて下記 (41) 式の如き關係を得.

$$常數=(K\zeta)=\frac{K_0\zeta}{A\pi\eta_0}\quad\cdots\cdots(41)$$

卽ち濾青乳劑に於て電氣泳動式に現れ來る物質常數 K_0, η_0, ζ, ……は II 章, III 章 [5] 節に述べし如く可成り複雜な概念を有し詳細に吟味せるも，一般に η_0 係數は U の函數，K_0 は E_0 の函數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圍氣の變形等も實驗誤差範圍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 常數，K_0 常數……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．卽ち

(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] 節に列擧せし濾青乳劑電氣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 表に全部取纏め之を示す，⊙は混合用乳劑を示す．

第 35 表

試料名	$a_0\times10^{15}$ (cm/sec/volt/cm)	ζ (m.v.)	t(℃)(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

左表の如く濾青乳劑の易動度は一般に混合用のもの大きく ……$a_0\fallingdotseq(13\sim53)\times10^{-5}$ 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 ${}_EP_H$, ${}_UP_H$ 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 $a_0=26\times10^{-5}$ (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. 瀝青乳劑粒子易動度と瀝青乳劑の性狀との關係に就て

瀝青乳劑の電氣泳動實驗より推定される粒子易動度（a_0）從つて界面動的電位（ζ）の物理的意義に關しては既に第I章に述べ，第II部乳劑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～電位の瀝青乳劑分解値に對し示す一般的傾向を明かにした．從つて上記IV章に於て得たる ζ～電位及び易動度（a_0）と乳劑の各種特性との關係を考察する場合も全く同樣の論說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雜せる作用により與へられるものでなく，理想的な狀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．殊に親水ゾル的成分を含有せるものを乳化劑として使用せる場合其の影響により瀝青粒子に薄膜的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氣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劑分解値（z.w.）との關係．

（2） 瀝青粒子易動度と瀝青乳劑及び濾液の水素イオン濃度との關係

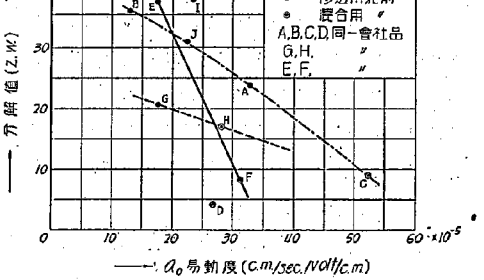
（3） 瀝青粒子易動度と瀝青乳劑分散度との關係

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）と瀝青乳劑分解値（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鄰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，"◎"…は混合用乳劑を示す．

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る範圍に在る，卽ち分解値殊の外小なるも（z.w.＝4.5）粒子易動度（a_0）は他種乳劑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る．第46圖によるに易動度（a_0）

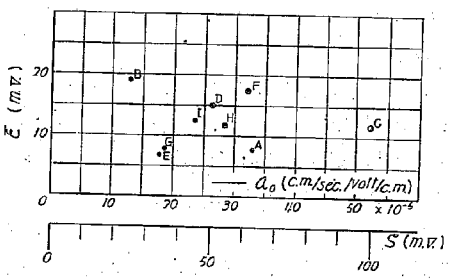


第　46　圖．

(ζ～電位) と本實驗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 部に述べし瀝靑乳劑分解作用の論說を更に强調せるもので, 必ずしも ζ～電位の値のみによらず粒子周圍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]節と同樣に論じ得.

[2] 瀝靑粒子易動度 (a_0) と瀝靑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 ($_EP_H$, $_UP_H$) の差 $_EP_H - _UP_H = \Delta_E P_u$ との關係に就き種々論究し, 一方 $_EP_H$, $_UP_H$ より $\frac{[\overline{OH'}]_E}{[\overline{OH'}]_U}$ を求め平均 Donnan 電位差 ($\bar{\varepsilon}$) を計算し同[∞]節第 9 表の如きものを得た. $\bar{\varepsilon}$～電位と ζ～電位を比較せん爲 β 係數等を誘導した. $\bar{\varepsilon}$ と ζ の間には密接な關係あるも個々乳劑のイオン雰圍氣狀態により異るものである. 第 47 圖は實驗より得たる ζ～電位と $\bar{\varepsilon}$～電位の關係を圖示せるもので, 同圖より明かなる如く $\bar{\varepsilon}$～ζ の全般的關係を推測する事は出來ない. 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 $\bar{\varepsilon}$～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, 卽ち 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.



第　47　圖

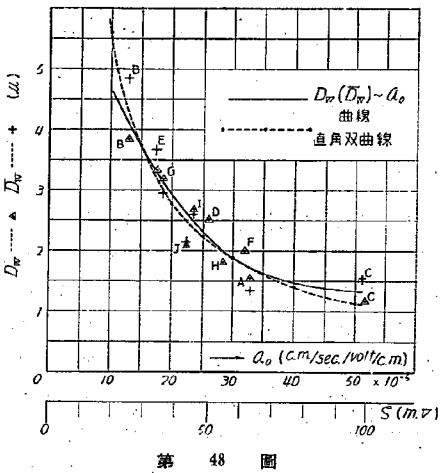
[3] 瀝靑粒子易動度 (a_0) と瀝靑乳劑分散度との關係

[1], [2] 節共に複雜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, 從つて全般に通ずる法則的な結論を得なかつた. 著者は瀝靑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) 從つて ζ～電位が瀝靑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]節により試料瀝靑乳劑の分散に關しては

第一確率直徑 $\overline{D_W}$
第二確率直徑 D_W } の値を得 (第 2 表).

$\bar{D}_W$ は平均直徑 D_0 より計算にて求めしもの，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)～a_0 (又は ζ～電位) の關係を求む，同圖中＋點は $\bar{D}_W$～ζ 關係，△點は D_{10}～ζ 關係を示すものである．



第　48　圖

＋△點は可成り不規則に分布せる如く見ゆるも元來＋△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ゝ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 $\bar{D}_W$-ζ 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．$\bar{D}_W$-ζ の關係式とし著者[158]は下記 (41) 式の如きものを得てゐる．

$$D_W \propto \frac{1}{\sqrt{-\gamma_{AB}+B\zeta^2}} \quad \cdots\cdots(41)$$

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．

$$\bar{D}_W \propto \frac{1}{\zeta}, \quad \bar{D}_W \cdot \zeta = \text{定數} \quad \cdots\cdots(42)$$

D_W～ζ 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．少くとも瀝青乳劑に於ては a_0 と粒子大きさ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

瀝青乳劑に於て (特に變性變質せる場合を除き) 粒子大きさに關し確率直徑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

158) 島田八郎：前揭 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 (a_0) 又は ζ～電位は瀝青乳劑内部組織に對し如何に重要なる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從つて ζ～電位の程度すら判明しをらざる現狀である. 斯かる有樣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擧すれば下記の如くなり, 各項に對し夫々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 (a_0) は力學的に正規性なるや, 卽ち泳動速度により構造粘性的抵抗をうけざるや.

(5) 易動度 (a_0) は電氣的に正規性なるや, 卽ち電氣泳動電場の强さと粒子泳動速度の關係直線的なるや.

(6) 從つて瀝青乳劑の 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圍氣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 (a_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參照すべく，更に第 IV 章に於て斯くして得たる易動度 (a_0) 又は ζ～電位と瀝青乳劑の他の主要なる性狀とを比較した．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 (a_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．

a_0 (cm/sec/volt/cm): $(13\sim53)\times10^{-5}$ (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 ζ～電位と易動度 (a_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內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雰圍氣に關する特性，內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參照し瀝青乳劑の電氣的特性及び內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哲の助力を謝す．

土木試驗所出版圖書

報告

第一號	路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告 瀝青質材料竝瀝青質混合物に關する研究第一報	大正十四年三月發行
第二號	瀝青質材料針度に就て	大正十五年一月發行
第三號	「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定．瀝青混合物に關する研究．「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て	同　二月發行
*第四號	急硬セメントに關する試驗報告	同　五月發行
*第五號	簡易鋪裝に關する試驗報告	昭和二年三月發行
*第六號	混凝土及鐵筋混凝土抗拂力試驗報告	同　五月發行
*第七號	八幡製鐵所副產部製品，瀝青質材料，瀝青質鋪裝，「セメント」類及揮發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績	同　七月發行
*第八號	瀝青質材料標準試驗方法．石材類標準試驗方法	同　十月發行
*第九號	急硬性「セメント」に關する試驗．「ソリデチット」の耐壓強度に關する試驗．「ブロック」に關する試驗．高知縣黑龍川產砂に關する試驗．多摩川產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） 道路橋振動試驗	昭和三年三月發行
*第十一號	瀝青滲透ブロック試驗成績．鋪裝工事用サーフエス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗．常願寺川產砂に關する試驗	同　七月發行
*第十二號	アスファルト・ブロック試驗成績．各種アスファルト・ブロック比較試驗成績．石油アスファルトとコール・タール・ピッチとの混合物に關する試驗．瓦斯燈及骸炭燈タール及ピッチに關する試驗成績．コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て．大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化．石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす火山灰及石粉の影響	昭和四年一月發行
第十三號	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗．橋梁用敷板强度試驗．舊鋪裝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	瀝青乳劑及ピチユマルス鋪裝に關する試驗 瀝青滲透ブロックに關する試驗 瀝青質材料の滲透性に關する試驗 瀝青質材料の粘度及膨脹係數に關する試驗	同　十二月發行
*第十五號	北上川降開式轉動堰模型試驗．電氣鎔接法による鐵筋の接合　現場打混凝土の耐壓試驗報告	昭和五年二月發行
*第十六號	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第二） 瀝青滲透ブロック鋪裝試驗．工事用石材試驗成績	同　五月發行
*第十七號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第三）	同　五月發行

*第十八號	混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試驗．鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響竝に之に應ずる設計及工法に就て(一)．鬼怒川上流改修工事用角礫凝灰岩砂利及砂に關する試驗．鐵筋混凝土道路橋設計資料．各種土木工事用材料試驗成績	昭和五年十月發行
*第十九號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響竝に之に基く道路設計の基本に關する研究（第四）	同　十一月發行
第二十號	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)．基礎の沈下量算定法(一)．岩淵水門に關する水理試驗．單鉸拱橋模型試驗．國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案	昭和六年六月發行
第二十一號	背水曲線の一般的解法．單鉸拱の振動に關する理論竝に實驗混凝土鋪裝の繼目に關する試驗．河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響．瀝青乳劑試驗成績	同　十二月發行
第二十二號	地震時土壓の實驗的研究．混凝土鋪裝繼目用エラスタイト試驗．高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗．基礎の沈下量算定法(第二)．新土壓計算圖表．	昭和七年五月發行
第二十三號	簡易鋪裝に關する實地比較試驗．鋼矢板試驗．大和川筋龜ノ瀬地辷に關する調査（第一）	同　七月發行
第二十四號	道路の背向曲線の設計に就て．阻柱に關する試驗．乳劑の粘度に就て．府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案．碎石の磨損率に關する一試驗．三陸津浪調査報告．本邦產鋪裝用石材（附錄）．	昭和八年六月發行
*第二十五號	本邦鋪裝用タールの性質に就て．橫溢流堤流量試驗．擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗．砂利層の支持力に關する試驗（第一報）．鋼矢板試驗（續）．エタニット・パイプ試驗．	同　十一月發行
第二十六號	地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法．田中村調節池溢流堤に關する水理試驗．瀝青鋪裝切取試驗體の性質．道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第1報）．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其一)	昭和九年三月發行
第二十七號	道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て．津浪の災害輕減に關する模型試驗．津浪の變形の理論．三陸津浪調査報告(追加)．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其の二)．瀝青透入マカダムに關する試驗(第一報)	同　六月發行
第二十八號	地震動による土堰堤の變形．鎔着鋼引張試驗用小型驗片．國產瀝青乳劑試驗成績．骨材及び類似材料の靱性に關する研究．鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計(1)	同　十月發行
第二十九號	矢板擁壁の控板に作用する力に關する試驗．瀝青繼目材試驗成績．南洋材カポール並にターペンタインの物理的諸性質に關する試驗．道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第2報）阪神地方沿岸風水害調査報告．	同　十二月發行
第三十號	道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第3報）．鐘口狀河口に於ける水流に就て．下關海峽の潮流に關する模型試驗．基礎版の基本的研究(第1報)．溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗．國道鋲結鈑桁橋標準設計案	昭和十年四月發行
第三十一號	土砂の安定强度試驗．本邦鋪裝用タールの性質（其の II）．道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第1報）．擁壁裏込の土壓輕減の効果に關する試驗．浦戸港々口の潮流に關する試驗（第1報）．	同　八月發行

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．ポ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．玉泊堰堤の湯水の溫度及水素イオン濃度	昭和十年十一月發行
第三十三號	砂利路面工の配合比に關する試驗．鋼橋鉚接帶壓縮試驗．基礎版の基本的研究(第2報)基礎桁．道路鋪裝用アスファルトの力學的特性に就て(其の1)．停止波に就て．	昭和十一年三月發行
第三十四號	瓦斯切斷による削痕が鉚接の强度に及ぼす影響．防波堤の安定に關する一試驗．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靑乳劑の性狀に就て．土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響．土木工事用金屬材料分析試驗．種々の土木工事用材料に關する試驗．施工方法による砂利路面工の耐力の比較試驗．鐵筋コンクリート無絞拱の經濟的竝に耐震的設計(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．浦戸港々口の潮流に關する試驗(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驗．道路鋪裝用瀝靑乳劑の性狀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(增補)	昭和三年三月發行
*第六回國際道路會議に關する報告書	昭和七年四月發行
土木工事用材料標準試驗方法	昭和七年十二月發行
本邦道路橋輯覽第三輯	昭和十年十一月發行

(*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

內務省土木試驗所
東京市本鄕區駒込上富士前町二十六番地
電話大塚(86)〔自3101番 至3103番
印刷者　非上源之丞
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二
印刷所　凸版印刷株式會社本所分工場
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二