土木試驗所報告

第三十二號

昭和十年　第三冊

本邦道路橋の重量……青木楠男 佐藤正雄

道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第2報）……島田八郎

河川灣曲部に於ける水流に就て……本間仁

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……西川榮三

タール鋪裝と水稻の發育との關係……西川榮三

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……高田昭

王泊堰堤の漏水の溫度及水素イオン濃度……高田昭

1935 XI

内務省土木試驗所

正 誤 表

頁	行又は欄	誤	正
2	上より 1	ゲルバー型鈑桁橋	ゲルバー型上路鈑桁橋
16	下より 11	幅員 5.45～8.6	幅員 5.40～7.5
17	上より12及15	三等橋	一, 二, 三等橋
52	上より 6	λ_∞	η_∞
52, 53	第15及16圖縦軸記號	粘性係數	$0 \propto 1/$粘性係數
72	下より 1	$H^3=$	$H^3\times$
145	上より 2	に共に	は共に

土木試驗所報告

第三十二號

序　言

本報告は「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」「王泊堰堤の漏水の溫度及水素イオン濃度の測定」等を輯錄せるものである.

本邦道路橋の重量 は「本邦道路橋輯覽」第3輯の編纂に當り蒐集したる，昭和3年以降の架設にかゝる主要街路，國道竝に府縣道橋に關する資料に基きて，各種型式の橋梁に對する重量公式を求めたものである.

道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第2報） は第1報に發表したるタール乳劑の試製に關する基本的事項として，乳化溶液の諸性質をアスファルト乳劑に就て考察し，乳化に對するアスファルト及タールの性能を電蝶恒數の差異により明かにし，且つ試製タール乳劑に就きタール粒子分散度，水素イオン濃度に關する特性，異狀粘性及電氣泳動實驗等により其性狀，組織を明かにしたものである.

河川彎曲部に於ける水流に就て は彎曲水路に於ける水流の性質を實驗に依つて確め，以て河川彎曲部に於ける水位上昇，河床變化等の關係に就て研究したものである.

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 はタール・コンクリート，タール混合マカダム，タール透入マカダム等の鋪裝工事に使用せらるゝ比較的硬質の純タール製品（格規案 F 或は G 相當品）の低溫脆化其他の缺陷を改良せんが爲研究したるものにして，大體に於て，タールに對するアスファルトの混合量は 20% 以下を原則とすべく，且つ此程度に於て優良鋪裝材を得べき事を示したものである.

タール鋪裝と水稻の發育との關係 は本所の依賴により農林省農事試驗場に於て行はれたるものにして，同試驗場の承認及檢閱を經て其概要を記載し以て道路技術家の參考に供したものである．本報告にはタール中の各成分，其の抽出液，鋪裝上の雨水等に關する發芽試驗の成績を輯錄し，タール鋪裝上を流るゝ雨水は水稻の發育に無害にして水田に接する地方道路の鋪裝にも安じてタールを使用し得ることを明かにしたものである.

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 はコンクリート堰堤の如き水利工作物が長年月中に滲透水の爲次第に化學的變化を來たし，組成分たる石灰が溶解流失する量並に速さに關する研究の一部を報告したものである.

王泊堰堤の漏水の溫度及水素イオン濃度の測定 は廣島縣太田川筋に築造されたる王泊堰堤々體內の漏水竝に池水の溫度及水素イオン濃度を測定せる結果を述べたるものにして，之により漏水中に溶解流失する石灰分は實驗の結果と全く一致し，又漏水箇所の大體の位置を推定し得ることを明かにしたものである.

昭和十年十一月

內務省土木試驗所長　內務技師　物　部　長　穗

目　次

本邦道路橋の重量 …… 1
内務技師　青木楠男
佐藤正雄

道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第 2 報）…… 19
内務技師　島田八郎

河川彎曲部に於ける水流に就て …… 67
内務技師　本間仁

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 …… 91
内務技師　西川榮三

タール鋪裝と水稻の發育との關係 …… 117
西川榮三

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 …… 141
内務技師　高田昭

王泊堰堤の漏水の溫度及水素イオン濃度 …… 149
高田昭

本邦道路橋の重量

内務技師　青木楠男
佐藤正雄

目次

緒言……（1）
（1）上路鈑桁橋……（2）
（2）上路直弦鋼構橋……（3）
（3）下路直弦鋼構橋……（5）
（4）下路曲弦鋼構橋……（5）
（5）ゲルバー型上路鈑桁橋……（7）
（6）鋼拱橋……（9）
（7）丁型鐵筋コンクリート單桁橋……（10）
（8）ゲルバー型鐵筋コンクリート桁橋……（12）
（9）鐵筋コンクリート連續桁橋……（14）
（10）鐵筋コンクリート拱橋……（15）
要約……（16）

緒言

本邦道路橋輯覽第3輯の編纂に當りて蒐集したる，昭和3年以降の架設にかゝる主要街路，國道竝に府縣道橋に關する資料に基きて，各種型式の橋梁に對する重量公式を求めた．元來同一型式のものに於てすら其幅員，主桁數，床部構造其他多岐多様に亘る道路橋に對しては，鐵道橋に於けるが如く橋梁單位長當りの重量を，支間の函數として表示することは頗る困難である．從つてこの計算に於ても從來の慣例に習ひ，單位橋面積當りの重量を支間の函數として表はすことゝし，橋面積としては有效橋面即ち有效幅員×支間（場合により徑間）を採つた．

公式の算定に當つて，必要ある場合は同一型式のものゝ中にても主桁數，歩道ブラッケットの有無等によりて細分し，なるべく重量變化の統一をはかることに努めたるも，尙所期の結果を求め得ず，圖表上に現はれたる實測値の散在性甚しく，これ等を同一公式によつて表示せんとすることの無謀さを感ぜしむるものも尠くない，この不統一は一面に於ては道路橋本來の性質上止むを得ざる事柄ならんも，他面に於ては今日道路橋設計に對して確固たる設計示様書竝に設計標準の規定せられたるものなきことも，其原因たることを免れないものと信ずる．

橋梁型式の分類は (1) 上路鈑桁橋，(2) 上路直弦鋼構橋，(3) 下路直弦鋼構橋，(4) 下路曲

弦鋼構橋，(5) ゲルバー型鈑桁橋，(6) 鋼拱橋，(7) T型鐵筋コンクリート單桁橋，(8) ゲルバー型鐵筋コンクリート桁橋，(9) 鐵筋コンクリート連續桁橋，(10) 鐵筋コンクリート拱橋とし，必要に應じ街路橋，國道橋，府縣道橋の區別，上部水平構の有無，步道ブラッケットの有無，主桁數等による區別を明かならしめた．鋼橋に對しては橋梁總鋼重 W (kg/m²) と主桁のみの鋼重 w (kg/m²) とを夫々支間 l (m) の函數として表はし，これ等の間の關係は孰れの場合も W (又は w) $=al+b$ の直線式にて示さるゝものと假定し，定數 a 及 b の決定には最少自乘法を用ひた．

鐵筋コンクリート橋に對しては上記の W 及 w に代ふる單位橋面積當りの主橋體用(橋干親柱等を除く) コンクリート體積 V_c(m³/m²) と鐵筋量 W_s(kg/m²) を用ひた．

尙 W, w, V_c, W_s 等の算出に當り，橋面有效面積及鋼重の採り方に，各府縣より送附された資料統計の相違から，幾分不統一の點あるも大勢に關係なきものと信ずる．

(1) 上路鈑桁橋

鈑桁橋の資料として用ひたものは第1表に掲ぐる 19 橋である．

第 1 表　上路鈑桁橋鋼重表

番號	橋名	所在地	等級	支間 l (m)	有效幅員 (m)	主桁 間隔 (m)	主桁 數	桁高 高 (h) (m)	桁高 l/h	縱桁 間隔 (m)	縱桁 數	總鋼重 (kg)	橋面1m²當鋼重 (kg/m²) 全鋼重	主桁	床構	其他	床版用コンクリート (m³/m²)	摘要
1	坂 喜	德 島	三	13.40	4.60	3.94	2	0.915	15	1.00	3	9,400	144	80	56	8	—	
2	相 川	〃	三	13.30	3.66	3.05	〃	0.915	15	1.75	1	6,960	133	—	—	—	0.170	
3	江 合	宮 城	二	16.80	7.50	6.00	〃	1.410	12	1.50	3	20,744	161	87	36	38	0.260	
4	小戸木	三 重	三	17.50	5.40	4.80	〃	1.360	13	1.60	2	16,843	170	117	43	11	0.170	
5	三 國	茨 城	三	18.35	5.50	4.50	〃	1.370	14	1.52	2	18,722	174	103	32	34	0.200	
6	高 砂	東 京	二	19.60	7.50	4.50	〃	1.450	14	1.50	2	28,732	184	100	36	48	0.184	
7	名 取	宮 城	二	20.84	7.50	7.28	〃	1.450	14	1.70	—	31,865	202	108	34	60	0.170	
8	白 石	〃	二	20.84	7.50	7.28	〃	1.450	14	1.70	—	31,111	196	107	34	55	0.173	
9	千 代	鳥 取	二	21.84	7.50	6.80	〃	1.510	14	1.70	3	33,701	201	136	57	8	0.180	
10	神流川	埼 玉	二	22.20	7.50	—	〃	1.540	14	—	—	36,611	214	—	—	—	0.187	
11	本 戸	東 京	一	17.40	13.24	8.92	〃	1.800	10	1.20	7	46,466	193	78	91	24	0.164	桁出し桁を有す
12	勝浦第	德 島	二	18.70	7.30	4.27	〃	1.700	11	1.45	2	29,800	212	113	—	—	0.213	
13	中 角	福 井	三	17.95	5.50	1.60	4	1.200	15	—	—	25,702	254	—	—	—	0.210	
14	大利根	茨 城	二	20.00	7.50	2.50	4	1.660	12	—	—	39,300	262	181	31	50	0.170	
15	資 福	福 井	二	25.20	9.00	2.80	4	1.200	21	—	—	59,356	242	208	16	18	0.255	斜 橋
16	關 寺	滋 賀	二	14.58	12.00	2.70	5	0.950	15	1.35	4	44,000	198	134	48	16	0.218	
17	石狩川	大 阪	一	18.00	25.00	2.90	9	1.450	12	1.45	8	130,750	278	185	72	21	0.250	
18	北大路	京 都	一	14.04	22.06	*	18	—	—	—	—	105,334	329	293	21	15	〃	斜 橋*
19	〃	〃	一	10.04	22.06	—	〃	—	—	—	—	64,298	277	241	21	15	〃	〃

備考　＊步道下 2.5m　車道下 1.8m　軌道下 0.7m

第1表中1乃至 10 は二，三等橋にして，支間 13.4 乃至 22.2 m，主桁2本，步道ブラッケットを有せざるものにして，これが全鋼重竝に主桁鋼重は (1) 及び (2) 式にて示される．

$$W=7.80l+34.0 \quad \cdots\cdots(1)$$

$$w=5.67l-1.0 \quad \cdots\cdots(2)$$

これ等 10 橋中二等橋のみについて，總鋼重公式を求むれば

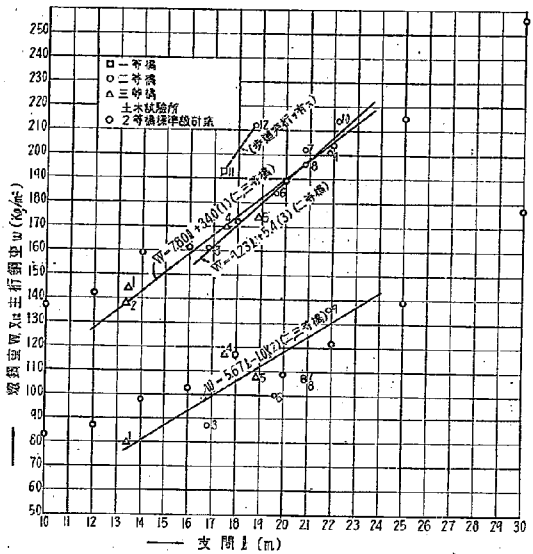
$$W=9.23l+5.4 \quad \cdots\cdots(3)$$

となるも，三等橋を交へたる場合と著しき相違なし．

表中 11 及び 12 は共に主桁2本なるも歩道ブラッケットを有するものにして1乃至 10 のものに比して鋼重大にして，同一公式にて表すことを不利なりと認めたるが故にこれを除外した．

第1圖は (1), (2) 及び (3) 式と實鋼重との關係を示すものである．

第1表中 13 乃至 16 は二，三等橋にて主桁 4 本乃至5本を有し，其工法上より見て，必しも經濟的の設計と稱し難く，



第 1 圖　上路鈑桁橋の鋼重

これを1乃至 10 のものに比較するとき單位面積當りの鋼重著しく大なり，又 17 乃至 19 は孰れも街路橋にして幅員大に，主桁數9乃至 18 本を有し，1 乃至 10 の二，三等橋と同日には論じ難い，從つてこれ等 13 乃至 19 のものは鋼重公式算出には除外した．

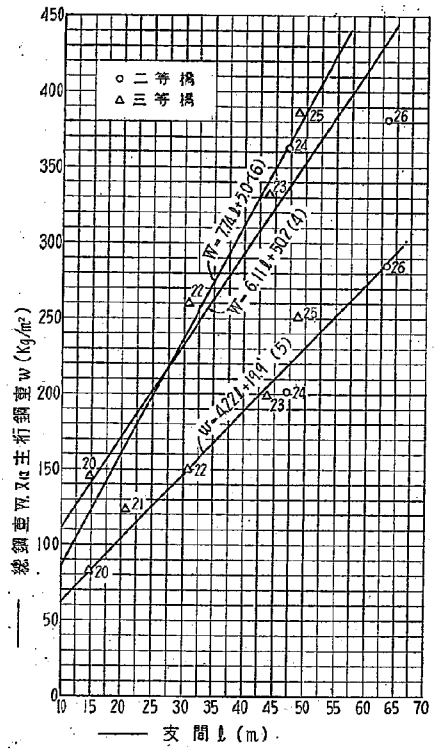
尙第1圖中○印のものは，當所に於て國道鈑桁橋標準設計案として發表したもゝ鋼重である（内務省土木試驗所報告第 30 號參照）．

(2) 上路直弦鋼構橋

上路直弦鋼構橋は架設せらるゝ場合が比較的尠きためか，道路橋輯覽編纂に當つて蒐集された資料は他の橋種に比して極めて少く，鋼重公式算定に供したものも僅かに第2表に

第 2 表　上路直弦鋼構橋鋼重表

番號	橋名	所在地	等級	支間 (m)	有效幅員 (m)	主桁中心間隔 (m)	トラス型式	主構高 h (m)	主構高 h/l	格間 格間長 (m)	格間 格間數	鉸桁 間隔 (m)	鉸桁 數	總鋼重 (kg)	橋面 1m² 當鋼重 (kg/m²) 全鋼重	主構	床構	其他	床版用コンクリート (m³/m²)	摘要
20	上山	德島	三	14.80	5.70	3.00	ワーレン	2.50	5.9	3.70	4	—	1	8,050	145	83	37	25	0.190	
21	長安	〃	三	20.72	3.60	3.05	〃	3.05	6.8	5.18	4	—	1	9,410	124	—	—	—	0.184	
22	經	三重	三	30.94	4.55	4.12	ソラット	5.20	5.95	4.42	7	—	—	37,430	261	150	91	20	0.185	
23	七保大	〃	三	44.00	4.57	4.57	ワーレン	6.40	6.9	5.50	8	—	—	67,530	332	199	102	31	0.230	
24	白川	滋賀	三	47.20	6.10	6.57	〃	5.80	8.1	4.72	10	1.372	5	105,300	362	204	103	55	0.200	
25	野後	三重	三	48.80	5.50	5.50	〃	8.55	5.7	6.10	8	0.915	7	105,930	396	251	119	26	0.190	
26	宮ノ原	新潟	三	63.50	5.15	4.50	ソラット	7.50	8.5	—	—	—	—	125,780	331	205	39	57	0.178	



第 2 圖　上路直弦鋼構橋の鋼重

示す 7 橋に過ぎない.

第 2 表中 22 及 26 はプラット型にして他は全部ワーレン型である. 支間は 14.8 乃至 63.5 m, トラス高と支間との比は 1/8.5 乃至 1/5.7 となつてをる. 24 及び 26 は二等橋, 其他の 5 橋は孰れも三等橋である.

これ等 7 橋について求めた總鋼重 W 竝に主構鋼重 w は (4) 及び (5) 式にて示される.

$$W=6.11\,l+50.2 \cdots\cdots (4)$$

$$w=4.22\,l+19.9 \cdots\cdots (5)$$

(4) 及び (5) 式と實鋼重との關係は第 2 圖に示す如くである. 同圖によつて見るに 7 橋中 26 は他の橋と異りプラット型なると, 支間が幾分大なるためか, 其傾向を異にしてをる, もし本橋を除外して 20 乃至 25 の 6 橋について總鋼重公式を求むれば (6) 式となる.

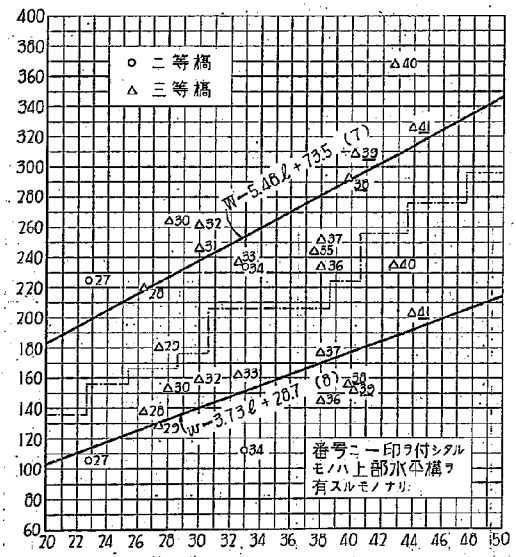
$$W=7.74\,l+5.0 \cdots\cdots (6)$$

第 3 表　下路直弦鋼構橋鋼重表

番號	橋名	所在地	等級	支間 l (m)	有效幅員 (m)	主桁中心間隔 (m)	トラス型式	主構高 h (m)	主構高 h/l	格間 格間長 (m)	格間 格間數	縱桁 間隔 (m)	縱桁 數	總鋼重 (kg)	橋面1m²當鋼重 (kg/m²) 全鋼桁	主桁	床構	共通	床版用コンクリート (m³/m²)	摘要
27	銀橋	名古屋市	二	22.80	5.50	—	ワーレン	—	—	2.28	10	—	—	29,000	225	106	100	19	0.147	
28	金屋橋	和歌山	三	26.40	4.50	4.93	〃	2.70	10.1	3.30	8	1.30	4	25,787	220	133	63	19	0.181	
29	津守橋	三重	三	27.40	4.55	5.25	〃	2.74	10.0	2.74	10	—	—	23,130	180	128	39	13	0.200	縦桁ヲ使用セズ
30	大平橋	福岡	三	28.00	4.50	5.18	〃	3.50	8.0	3.50	8	1.15	5	34,000	264	153	86	24	0.230	
31	太郎橋	岡山	三	30.00	4.85	5.75	〃	3.25	9.2	5.00	6	1.50	4	36,793	247	—	—	—	0.161	
32	大澤橋	東京	三	30.00	5.50	6.50	〃	4.00	7.5	3.75	8	1.40	5	44,205	262	159	43	60	0.192	
33	柳橋	熊本	三	32.50	4.00	4.70	〃	—	—	—	6	—	—	31,403	237	162	65	10	0.150	
34	永代橋	東京	三	33.00	13.24	—	〃	—	—	—	—	—	—	105,238	234	112	101	21	0.157	
35	井田橋	岡山	三	37.50	5.40	—	〃	—	—	—	8	—	—	50,250	245	—	—	—	—	
36	國川橋	岡山	三	38.00	5.40	6.50	〃	4.00	9.5	—	8	1.55	4	48,757	234	145	75	14	0.167	
37	新高橋	熊本	三	38.00	4.00	4.70	〃	—	—	—	7	—	—	38,667	251	177	64	10	0.150	
38	瀬高橋	福岡	三	39.80	8.50	9.50	〃	7.01	5.7	—	9	1.17	—	101,200	293	156	107	30	0.270	上部水平構ヲ有ス
39	瀬田橋	滋賀	三	40.20	3.64	—	ブラウト	5.80	7	—	8	1.07	—	46,200	310	152	98	60	0.190	〃
40	野々口橋	三重	三	42.67	4.55	—	〃	6.70	6.4	—	—	—	—	72,510	368	235	100	33	0.300	
41	筑後大橋	福岡	三	43.90	4.50	5.14	〃	6.40	6.9	1.18	—	—	—	64,600	327	203	105	19	0.240	上部水平構ヲ有ス

(3) 下路直弦鋼構橋

一般に下路鋼構橋の鋼重公式は，上部水平構を有するものと然らざるものとに區分せらるゝを常とするも，第3表に掲げたる 15 の下路直弦鋼構橋中，上部水平構を有するものは僅かに 38, 39, 41 の3橋にして，且つ其鋼重も上部水平構を有せざるものと大差なきが故に，こゝには兩者を混じて鋼重公式を求めた，尙第3表中 27 及び 34 は二等橋，其他は三等橋なるもこれ等の間にも明瞭な相違は認められない．又34 のみがトラス兩外側に歩道ブラッケットを有し，他の 14 橋は歩車道を區別してをらない．



第 3 圖　下路直弦鋼構橋の鋼重

上表 15 橋について求めた總鋼重公式は

$$W=5.48\,l+73.5 \quad \cdots\cdots(7)$$

にて示され，31, 35 を除きたる 13 橋について求めた主トラスのみの鋼重公式は

$$w=3.73\,l+28.7 \quad \cdots\cdots(8)$$

となる．

第3圖はこれ等の公式と實鋼重との關係を示したものである．

(4) 下路曲弦鋼構橋

第 4 表に掲げたる下路曲弦鋼構橋 26 橋中，42 乃至 56 の 15 橋は其幅員約 5.5 m のものである．これ等の中 54 乃至 56 の3橋は福岡縣下の三等橋にて，其單位有效橋面當りの鋼重は他のものに比して 15 乃至 20% 大となつてをる．特別の事情あるものと認めらるゝが故に，鋼重公式の算出にはこれを除外した．

57 乃至 60 は幅員約 6.5 m のもの，62 乃至 64 は幅員約 7.5 m のものである．中 61 は朝鮮錦江橋にして其載荷條件等國府縣道橋と異なるところあるものと認むるが故に，公

式算出に當つてはこれを除いた.

以上42乃至67の中52, 65, 66, 67を除きたる22橋は孰れもワーレン型構橋なり, 型式による鋼重の相違はワーレン型以外のものゝ資料數僅少なるがためか, これを確め得ない.

又これ等26橋中8橋は國道橋, 其他は府縣道橋なるも, 兩者の間に確然たる區別を見出し得ず, 又これ等26橋は孰れも歩道ブラッケットをもたない.

第4表　下路曲弦鋼構橋鋼重表

番號	橋名	所在地	等級	支間 l (m)	有效幅員 (m)	主構中心間隔 (m)	トラス型式	主構高 h	主構高 h/l	格間 格間長 (m)	格間 格間數	縱桁 間隔 (m)	縱桁 數	鋼重 (kg)	壞面1m²當鋼重(kg/m²) 全鋼重	主構	床構	其他	床版用コンクリート (m³/m²)	摘要
42	日 豫	宮崎	三	43.00	5.48	6.25	ワーレン	7.50	5.70	5.475	8	—	—	84,485	354	221	90	43	0.172	
43	長 非	山形	三	45.60	5.50	6.30	〃	7.50	6.18	5.700	8	1.80	3	84,500	330	179	81	70	0.222	
44	下 田	岐阜	三	50.00	5.50	6.50	〃	8.50	5.90	5.000	10	1.35	3	106,600	382	221	115	46	0.170	
45	渡	熊本	三	55.00	5.50	6.00	〃	9.00	6.10	5.500	10	—	—	111,494	363	223	82	58	0.176	
46	千 曲	長野	三	56.40	5.50	6.24	〃	9.20	6.10	7.050	8	1.80	4	122,730	394	—	—	—	—	
47	村 山	山形	三	56.70	5.40	6.20	〃	9.10	6.20	7.088	8	—	2	114,375	367	—	—	—	0.201	
48	長非大	〃	三	57.60	5.50	6.30	〃	9.60	6.00	7.200	8	—	4	132,223	409	238	84	67	0.179	
49	千 石	奈良	三	59.50	5.50	6.40	〃	10.36	5.80	5.950	10	0.713	9	138,333	418	—	—	—	—	
50	安曇川	滋賀	三	62.50	5.45	6.50	〃	9.75	6.40	6.250	10	—	—	142,190	412	265	88	59	0.190	
51	深 川	北海道	二	65.00	5.50	6.50	〃	9.00	7.20	6.500	10	—	—	142,320	423	—	—	—	0.167	
52	大 藏	山形	三	81.00	5.50	—	ブラット	—	—	9.000	9	—	—	193,231	445	—	—	—	—	
53	兒 玉	長野	三	85.00	5.50	5.825	ワーレン	13.00	6.54	8.500	10	1.80	4	233,737	481	—	—	—	0.199	
54	舟小屋	福岡	三	40.25	5.50	6.40	ワーレン	8.55	4.70	—	8	0.914	8	87,100	390	251	120	19	0.210	
55	筑後川	〃	三	59.50	5.50	6.40	〃	9.20	6.26	5.950	10	1.067	6	153,800	462	312	110	40	0.210	
56	昭 和	〃	三	73.15	5.50	6.40	〃	11.28	6.48	—	12	1.067	6	220,000	542	396	115	32	0.230	
57	玉 川	秋田	二	48.00	6.50	7.20	ワーレン	8.00	6.0	6.000	8	1.80	3	110,333	350	184	86	80	0.230	
58	阿武隈	宮城	二	55.00	6.50	7.15	〃	8.50	6.5	5.500	10	—	—	124,425	372	234	85	53	0.201	
59	由 利	秋田	二	57.60	6.50	7.20	〃	9.60	6.5	7.200	8	2.30	3	148,130	387	228	93	66	0.180	
60	日 野	島根	二	59.50	6.40	7.30	〃	10.00	5.95	5.950	10	1.375	5	157,777	404	277	116	11	0.169	
61	錦 江	鹿兒島	二	66.00	6.00	6.80	〃	10.50	6.28	6.600	10	1.140	6	207,200	490	314	120	56	0.179	
62	緑	熊本	二	60.00	7.25	8.50	ワーレン	9.50	6.30	6.000	10	—	—	161,490	366	213	96	57	0.184	
63	大利根	茨城	二	62.00	7.50	8.60	〃	9.35	6.60	6.200	10	1.25	7	191,300	405	235	109	61	0.170	
64	埠	秋田	二	62.00	7.50	8.50	〃	9.00	6.85	6.200	10	1.25	7	193,771	410	246	105	58	0.175	
65	揖	岐阜	三	39.63	4.57	5.50	ポニートランス	7.00	5.65	3.963	10	1.067	5	60,873	320	171	95	54	0.100	
66	揖	滋賀	三	39.70	4.55	5.64	ブラット※	7.313	5.45	4.411	9	1.067	5	53,800	294	—	—	—	0.180	
67	今 尾	岐阜	三	56.00	4.50	5.50	ランガー	8.90	6.30	4.000	14	1.186	5	92,900	363	238	73	54	0.105	

備考　※67はランガー構橋にして鋼拱橋の部に登載したものであるが, 其鋼重等下路曲弦構橋と大差なし, よつて本表中にもこれを取り入れたものである.

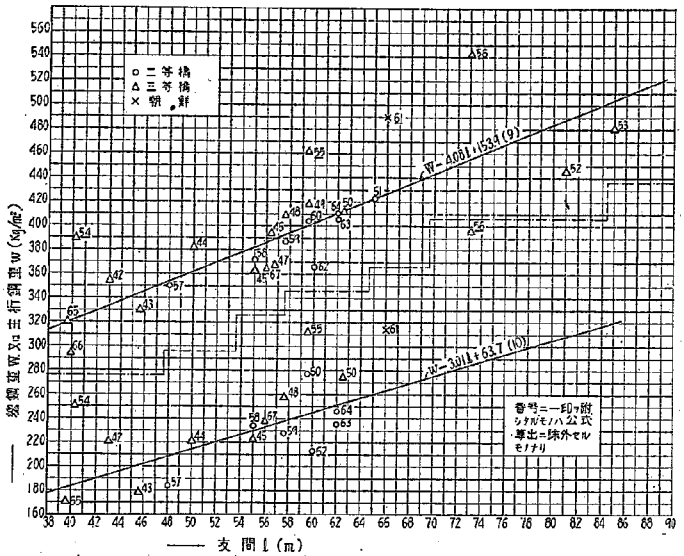
鋼重に著しき相違ありと認めらるゝ前掲54, 55, 56, 61の4橋を除外したる22橋に對する總鋼重 W は (9) 式にて示される.

$$W=4.08\,l+153.9 \quad \cdots\cdots(9)$$

又ワーレン型鋼構橋13橋について求めた主トラス鋼重は (10) 式にて示される.

$$w=3.01\,l+63.7 \quad \cdots\cdots(10)$$

これ等の2式と實鋼重との關係は第4圖に示す如くである.



第4圖　下路曲弦鋼構橋の鋼重

(5) ゲルバー型上路鈑桁橋

ゲルバー型鈑桁橋に於ては架橋地點の狀況に應じて其徑間數を異にする毎に，應力關係に相違を生ずるが故に，其鋼重公式も徑間數の同一なるもの毎に求むべきである．而して鋼重の表はさるべき支間 l としては，多數徑間中の孰れを採るべきかについては幾分檢討の餘地を存するも，大體に於て同一徑間數のものにて，鉸が類似の位置に在るものにては，總支間長を採つて大過なきものと信ずる．

第5表に掲げたる 20 橋について見るに，徑間數は 57，23，17，13 のもの各一橋，9，7 のもの各2橋，5 のもの3橋，3 のもの9橋である．從つて同一徑間數毎に鋼重を求むるものとすれば，徑間數3以外のものについては資料不充分である．

今徑間數3のものにつき，橋の等級を區分せず總鋼重公式を求むるとき

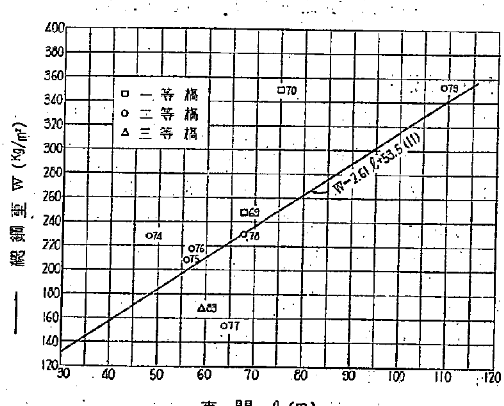
$$W=2.61\,l+53.5 \quad \cdots\cdots(11)$$

となる，本式と實鋼重との關係を示す第5圖にて明かなるが如く，本式算出の資料に支間 70～110 m の間に該當するもの>缺けたることを遺憾とするものである．尙 70 は他の 8 橋と異り軌道を有し鋼重他のものに比し大なるが故に，これを除外した．

第 5 表　ゲルバー型上路鈑桁橋鋼重表

番號	橋名	所在地	等級	支間 全支間	徑間數	平均支間	碇着桁*	突桁	吊桁	有效幅員 (m)	主桁 間隔 (m)	主桁 數	縦桁 間隔 (m)	縦桁 數	總鋼重 (kg)	橋面1m²當り鋼重 (kg/m²) 全鋼重	主桁	床構	其他	床版用コンクリート (m³/m²)	摘要
68	高　野	京都	一	55.00	5	11.00	{11.2 / 3.4	2.60	10.2	22.0	2.20	11	—	—	314,110	260	—	—	—	0.210	軌道
69	嶽　下	宮崎	一	67.67	3	22.56	20.12	6.26	14.9	12.7	2.54	6	—	—	213,440	248	181	—	67	0.192	
70	竪　川	大阪	一	75.00	3	25.00	22.00	6.50	18.0	27.3	2.85	10	1.43	11	715,000	350	—	—	—	0.300	軌道
71	尾　竹	東京	一	119.16	5	23.83	24.32	5.48	16.4	10.0	4.50	3	1.50	4	314,360	264	—	—	—	0.202	
72	御　幸	廣島	一	141.60	7	20.23	{21.20 / 17.80	4.50	12.2	22.0	1.65	14	—	—	996,260	320	—	—	—	0.252	
73	渡　津	朝鮮	一	161.05	7	23.00	19.50	4.97	15.05	18.0	3.65	3	—	9	863,800	298	143	95	60	0.183	軌道
74	萬　代	岩手	二	48.30	3	16.10	14.70	4.20	10.5	7.5	6.00	2	—	4	82,650	228	—	—	—	0.226	
75	關　川	岐阜	二	56.00	3	18.67	16.00	5.00	14.00	7.5	4.50	2	1.50	4	87,820	209	114	64	30	0.181	
76	志　村	東京	二	57.00	3	19.00	17.00	7.00	9.00	25.0	3.00	9	1.50	9	310,300	218	135	52	31	0.207	斜橋
77	堤	青森	二	64.00	3	21.33	19.00	7.04	11.92	7.5	—	—	—	—	74,000	154	—	—	—	—	
78	明石大	兵庫	二	67.60	3	22.53	17.90	7.20	17.40	13.0	3.00	5	—	—	202,360	230	—	—	—	0.170	
79	小　台	東京	二	109.30	3	36.43	31.40	11.25	24.00	7.5	2.60	3	1.30	2	290,270	354	247	62	45	0.197	
80	三日月	愛知	二	153.00	5	30.60	{34.50 / 25.00	8.00	18.50	11.0	3.00	4	—	8	628,550	375	221	75	62	0.182	
81	御　幸	京都	二	612.29	23	26.62	29.00	7.00	15.00	11.0	9.60	2	1.60	5	1497,580	222	—	—	—	1.032	
82	洛　東	朝鮮	二	1060.00	57	18.60	{17.00 / 12.25	4.00	12.40	8.40	3.40	3	—	—	1473,500	165	—	—	—	0.197	
83	大　正	茨城	三	59.4	3	19.80	17.70	5.00	14.00	5.5	4.50	2	1.50	2	54,900	168	113	27	28	0.194	
84	草戸大	廣島	三	366.00	17	21.53	{22.00 / 18.00	4.50	13.00	5.5	5.00	2	1.25	3	425,550	211	—	—	—	0.230	
85	川　畑	京都	三	207.02	9	23.00	24.50	6.74	11.02	5.5	4.00	2	2.00	1	217,000	191	—	—	—	0.175	
86	曾江谷	徳島	三	215.00	9	23.89	{25.00 / 20.00	5.00	15.00	5.5	—	2	—	2	236,800	202	117	49	19	0.190	
87	昭　陽	朝鮮	三	396.94	13	30.53	{23.70 / 24.62	6.40	21.10	5.5	4.20	2	1.40	2	545,200	250	—	—	—	0.193	

備考　* 碇着桁の欄に2様の支間長の記載されたるものにては，上段は中間碇着桁，下段は橋台寄の端碇着桁の支間長を示す。



第 5 圖　3 徑間ゲルバー型鈑桁橋の鋼重

尚試みに三等橋 5 橋について，徑間數の相違を問題とせず，各橋とも其平均支間長を求め，これによつて其總鋼重を求むるとき

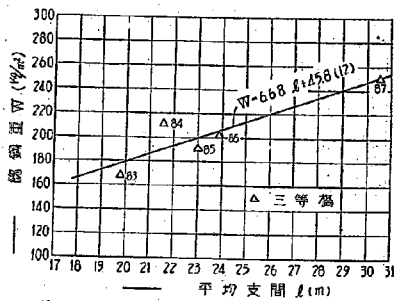
$$W=6.68\,l+45.8 \qquad (12)$$

となる，實鋼重との關係は第6圖の如くである．

同樣のことを一等橋竝に二等橋について試みたるも纏つた關係式を得るに至らなかつた．

(6) 鋼拱橋

鋼拱橋の鋼重公式は拱の型式に應じて各個に求めらるべきものなるも，第6表に示す資料にては上路2鉸鈑拱橋及び上路2鉸腔構拱橋 (Spandrel Braced arch) 以外の型式についてはこれを檢討するに其數不充分である．よつてこゝには上記の2型式に對する總鋼重公式を求むるに止めた．



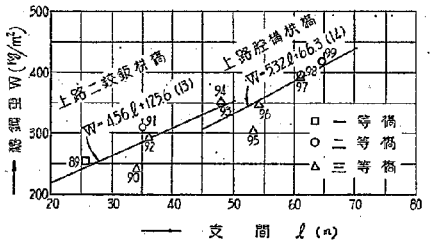
第6圖　三等橋ゲルバー型鈑桁橋の鋼重

第6表に掲げた鋼拱橋は各等級を混じて，總數 25 中，上路腔構拱橋の6橋，上路2鉸鈑拱橋の5橋が最多數にして，各種繫拱橋 (Tied arch)，衡拱橋 (Balanced arch) 等これにつぎ，3 鉸鈑拱橋としては櫻宮橋只1橋のみである．支間は最少 25.6m，最大 108m にて 88 を除き孰れも2鉸拱橋である．

第6表　鋼拱橋鋼重表

番號	橋名	所在地	等級	支間の (m)	有效幅員 (m)	主拱中心間隔 (m)	拱矢 f (m)	拱矢 f/l	格間 格間長 (m)	格間 數	緯桁 間隔 (m)	緯桁 數	總鋼重 (kg)	檢面1m²當鋼重 (kg/m²) 全鋼重	主拱	床構	其他	床版用コンクリート (m³/m²)	摘要
	(下路三鉸鈑拱橋)																		
88	櫻宮	大阪市	一	108.00	17.40	23.45	15.00	7.2	4.32	25	*	15	2,042,000	807	475	216	116	0.227	*{軌道下1.50m 車道下1.60 歩道下2.10
	(上路二鉸鈑拱橋)																		
89	千登世	東京	一	25.60	18.18	2.50	2.80	9.1	1.60	16	—	—	129,860	255	97	95	63	0.201	
90	嘉田洞	宮城	三	34.00	6.00	—	7.00	4.9	4.10	8	1.70	4	65,412	242	199	43	—	0.178	
91	新筑	山梨	二	35.00	6.50	6.90	5.00	7.0	3.50 / 3.15	8 / 2	1.15	7	—	310	—	—	—	0.280	
92	八壁大	群馬	三	36.00	5.50	4.80	7.00	5.1	3.60	10	1.20	5	71,285	284	—	—	—	0.160	
93	伊那川	長野	二	48.00	5.50	—	6.00	8.0	2.40	20	—	—	100,530	351	—	—	—	0.240	
	(上路腔構拱橋)																		
94	長佐	京都	三	48.00	5.50	4.50	6.54	—	3.00	16	1.50	2	—	354	—	—	—	0.174	
95	千歳新	群馬	三	53.00	5.50	—	12.00	4.4	5.30	10	1.40	6	—	304	—	—	—	0.180	
96	渦澄	石川	三	54.00	5.50	—	8.14	—	4.50	12	1.10	4	120,426	348	234	—	54	0.250	
97	川川	群馬	三	61.00	6.40	—	9.10	6.7	3.05	20	1.29	6	—	393	—	—	—	—	下路トラス
98	吉野	神奈川	二	61.00	6.50	6.50	11.00	5.0	6.10	10	1.40	5	100,320	396	—	—	—	0.205	
99	美々津	宮崎	二	64.42	7.50	—	8.00	8.0	4.50	14	—	—	—	418	—	—	—	0.231	
	(下路繫拱橋)																		
100	永安	岡山	三	50.00	5.40	—	—	—	5.00	10	—	—	95,076	347	—	—	—	0.165	
101	昭和	大阪市	一	69.00	25.10	18.50	10.00	6.9	4.70	14	—	17	1,419,000	819	476	242	101	0.214	
102	今尾	岐阜	三	56.00	4.50	5.50	8.90	6.3	4.00	14	1.18	5	92,900	363	—	—	—	0.105	ランガー
103	尾張大	愛知	二	63.42	7.50	8.50	7.50	8.4	4.53	14	1.70	5	—	386	—	—	—	0.170	〃
104	富古	愛知	三	50.00	5.50	6.40	—	—	5.00	10	1.60	4	101,314	370	236	80	54	0.160	
105	三國	茨城	三	64.00	5.50	6.38	9.30	—	4.57	14	1.52	2	152"33	427	307	83	37	0.190	
106	木曾川	岐阜	二	65.10	9.00	10.10	—	—	4.67	14	—	6	251,406	445	—	—	—	0.164	

番號	橋名	所在地	等級	支間(l) 全支間(m)	中央(m)	側(m)	有效幅員(m)	主構中心間隔(m)	拱矢 f(m)	f/l	格間 格間長(m)	數	縱桁 間隔(m)	數	總鋼重(kg)	橋面1m²當鋼重(kg/m²) 全鋼重	主桁	床桁	其他	床版用コンクリート(m³/m²)	摘要
(上路曾拱橋)																					
107	櫻澤	東京	三	50.40	28.80	10.80	7.50	6.00	7.20		3.60	14	1.50	3	75,890	199	85	55	56	0.185	
108	張碓	北海道	二	72.00	43.00	12.00	7.50	6.50	8.50		4.00	18	1.80	6	205,710	383	—	—	—	0.237	
109	曉翠	栃木	二	126.00	70.00	28.00	9.00	8.00	14.00		3.50	36	1.55	7	733,338	638	350	119	148	0.198	
110	荒川	埼玉	三	139.90	85.50	27.20	5.50	4.27	24.50		4.07	49	1.41	3	424,000	542	323	85	129	0.176	
(下路突桁式鋸拱橋)																					
111	白鷺	東京	一	167.61	79.55	〃	22.14	7.93	—		4.42	20	—	15	1,922,936	518	279	174	65	0.144	突版 8.84m 吊構 35.20
112	旭	北海道	一	193.84	91.46	〃	18.30	12.80	13.72		5.72	20	—	16	—	665	—	—	—	0.145	突版 11.44m 吊構 39.75



第 7 圖 上路 2 鉸鋸拱橋及び上路 2 鉸胸構拱橋の鋼重

第 6 表中 89 乃至 93 の 5 橋につき上路 2 鉸鋸拱橋の總鋼重公式を求むれば第 13 式の如くである.

$$W=4.56l+125.7 \cdots\cdots (13)$$

第 7 圖左は本式と實鋼重との關係を示す. 又 94 乃至 99 の 6 橋につきて, 上路胸構拱橋の總鋼重公式を求むれば第 14 式を得.

$$W=5.32l+66.3 \cdots\cdots (14)$$

第 7 圖右は本式と實鋼重との關係を示すものである.

(7) 丁型鐵筋コンクリート單桁橋

第 7 表に示す丁型鐵筋コンクリート單桁橋 45 橋について見るに, 其幅員は最小 3.7 m 最大 18.86 m の範圍に亙り, これに對して使用せられたる主桁數は少きは 2 本多きは 10 餘本, 其間隔も最小 1.21 m より最大 2.5 m に變化し, 其設計方針も多岐多樣なるが故に, 其鐵筋量竝にコンクリート量を一律に支間の函數として表示せんとすることは頗る困難と考へねばならぬが, 併し幸にして第 8 圖及び第 9 圖の圖表によつて見るに, これ等の間の關係を直線式として表示することにより, 大體の傾向を知るに難くないと考へられる.

(15) 式はこの方針によつて求めた. 有效橋面單位面積當りの主橋體用コンクリート量 V_c (m³/m²) を表はすものである.

$$V_c=0.032l+0.09 \cdots\cdots (15)$$

同樣にして求めたる單位有效面積當りの鐵筋量 W_s (kg/m²) は (16) 式にて表はすことが出來る.

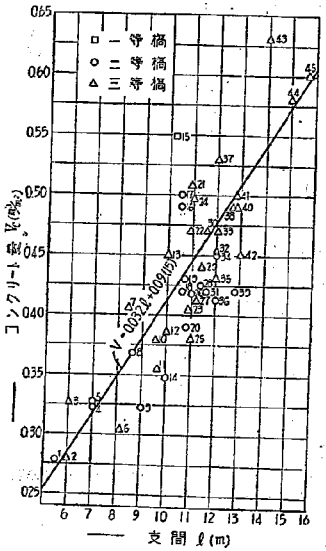
$$W_s=3.324l+20.84 \cdots\cdots (16)$$

第7表 丁型鐵筋コンクリート單桁橋重量表

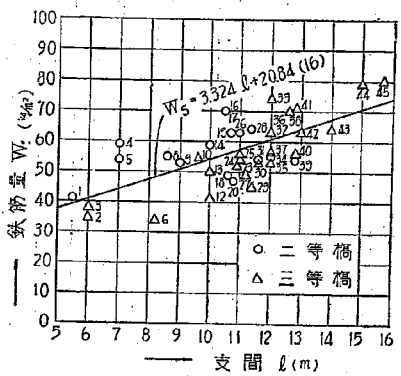
番號	橋名	所在地	等級	支間 l(m)	有效幅員(m)	主桁中心間隔(m)	主桁數	總コンクリート量(m^3)	總鐵筋量(kg)	橋面1m^2當 コンクリート(m^3/m^2)	橋面1m^2當 鐵筋(kg/m^2)	摘要
1	四ノ宮	京都	二	5.50	16.20	1.50	11	32.2	4,750	0.278	41	
2	一福	德島	三	6.00	3.70	—	一	6.3	767	0.280	35	
3	神宮	茨城	三	6.00	5.40	1.35	5	10.5	1,231	0.326	38	
4	菊川	青森	二	7.00	7.20	1.50	5	17.6	3,197	0.323	59	
5	昭和	福井	二	7.00	12.00	—	—	27.5	4,554	0.327	54	
6	柴谷	德島	三	8.18	4.91	1.35	4	13.6	1,529	0.305	34	
7	淺川	愛媛	三	8.40	7.00	—	—	27.3	5,477	0.405	76	
8	岩井	奈良	二	8.60	9.00	2.00	5	27.6	4,117	0.369	55	
9	濱内	德島	二	9.03	5.94	1.60	4	18.6	3,045	0.323	53	
10	鍜	三重	三	9.58	4.55	—	—	16.5	2,410	0.380	55	
11	川端	長崎	三	9.70	5.45	1.21	5	13.8	897	0.356	17	
12	土柱	德島	三	10.00	3.70	1.50	3	14.3	1,500	0.386	41	
13	篠波	滋賀	三	10.00	4.55	—	—	20.6	2,267	0.450	50	
14	市瀨	德島	二	10.00	5.94	1.60	4	22.3	3,780	0.348	59	
15	塔世	三重	一	10.20	18.00	—	—	100.7	25,158	0.549	83	
16	高祖	宮城	二	10.50	7.50	2.00	4	41.0	5,475	0.490	70	
17	七比田	宮城	二	10.50	7.50	2.00	4	41.6	5,513	0.500	70	
18	高宮	滋賀	二	10.60	6.10	1.45	4	27.1	3,173	0.420	49	
19	進川	岡山	二	10.70	9.00	—	—	44.8	6,512	0.430	63	斜橋
20	到	福岡	二	10.80	18.86	—	—	80.2	9,600	0.390	47	軌道部幅員6.14mは工形鋼桁
21	本庄	滋賀	三	10.90	4.84	約1.55	4	26.8	4,390	0.508	83	
22	北柚	滋賀	三	10.90	5.45	—	—	28.0	4,977	0.470	84	
23	津田(小)	德島	三	10.90	9.00	1.50	7	39.7	5,181	0.405	52	
24	露川	德島	三	11.00	4.00	2.50	2	21.9	2,358	0.498	54	
25	野合	德島	三	11.00	5.50	1.50	4	26.3	3,853	0.380	55	
26	新屋	秋宮	二	11.00	13.00	—	3	63.0	9,569	0.418	63	斜橋
27	岩出(大)	宮城	三	11.20	6.00	—	3	29.2	3,483	0.412	49	
28	白石	岡山	二	11.39	9.00	—	—	47.0	7,035	0.425	64	斜橋
29	舟小屋	福岡	三	11.40	5.50	1.80	4	—	—	0.440	45	
30	鈴川	和歌山	三	11.60	4.50	—	—	24.6	2,756	0.470	53	
31	大野	福岡	二	11.60	11.00	2.00	6	—	—	0.420	54	
32	永久	岐阜	三	12.00	5.50	2.10	3	30.0	4,157	0.453	63	
33	操船	岐阜	三	12.00	5.50	1.45	4	31.0	4,860	0.470	74	
34	榊	茨城	二	12.00	7.50	1.30	6	40.5	4,970	0.450	55	
35	大	福岡	三	12.00	9.10	—	—	45.6	5,650	0.430	53	
36	八反田	福島	二	12.00	10.00	—	—	52.1	7,900	0.413	63	斜橋
37	飯塚	福岡	三	12.00	12.00	—	—	72.2	7,642	0.530	56	
38	大疋	三重	三	12.62	5.50	1.70	4	33.9	4,973	0.490	70	
39	板橋川	福岡	二	12.80	15.86	—	—	84.7	20,900	0.420	54	軌道部幅員6.14mは工形鋼桁
40	野々口	三重	三	12.81	4.55	—	—	28.6	3,273	0.490	56	
41	七保(大)	三重	三	12.81	4.57	—	—	29.2	4,145	0.500	71	
42	瀨高	福岡	三	13.00	8.50	1.80	5	—	—	0.450	63	
43	小川	德島	三	14.00	4.00	2.50	2	—	—	0.629	64	
44	遠賀	福岡	三	15.00	5.50	1.00	3	45.7	6,477	0.589	79	
45	中川原	福岡	三	15.70	5.40	1.45	4	52.1	7,929	0.600	80	

備考 總コンクリート量及び總鐵筋量欄の數値は何れも一連當りの重量及び容積を示す

(16) 式の算出に當つては，他橋に比して其傾向を著しく異にする 7, 11, 15, 21, 22 の 5 橋はこれを除外した．(15) 式，(16) 式と實量との關係は第8圖及び第9圖の如くである．V_0 及び W_0 は橋體主要部に用ひたるコンクリート及び鐵筋量のみで，欄干，親柱等の附屬部分に對するものは含んでをらない．



第 8 圖 丁型鐵筋コンクリート單桁橋のコンクリート量



第 9 圖 丁型鐵筋コンクリート單桁橋の鐵筋量

(8) ゲルバー型鐵筋コンクリート桁橋

(5) に說きたるが如く，ゲルバー型桁橋に於ては，重量を表はすべき支間長として如何なる長さを採るを最も得策とするかゞ問題である．今第 8 表に揭ぐるゲルバー型鐵筋コンクリート桁橋 24 橋について見るに，全支間 40.0 乃至 505.5 m，幅員 4.5，乃至 20.0 m，徑間數は 3 乃至 30 にして，この中徑間數を等しくするものは 3 徑間の 7 橋を最多數とし其他の徑間數のものは其數極めて少なく，徑間數によつて橋を分類し重量公式を求むることは 3 徑間橋のほか稍困難である．從つてこゝでは徑間數の如何を問はず平均支間長を求め，これに對して重量公式を求め，別に 3 徑間橋に對してのみ，全徑間長による公式を求めた．

第 8 表中徑間數 3 のものは二等橋に 2 橋，三等橋に 5 橋にして，其全支間長は 40.0 m 乃至 62 m，幅員は 55 の 20.0 m を除けば其他は 4.5 乃至 8.00 m である．全支間長を l として表はした，有效橋面單位面積當りの主橋體用コンクリート量は

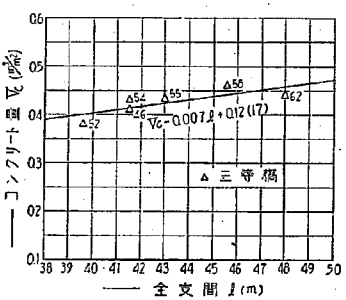
$$V_c = 0.007\,l + 0.12 \quad \cdots\cdots (17)$$

にて示される．本式の算出にはこれ等 7 橋中，兩橋臺の箱形のコンクリート量を含むために他橋に比して著しく使用量の多い 49 はこれを除外した．本式と實使用量との關係は第

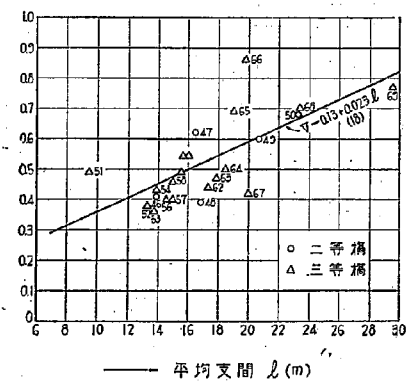
10 圖の如くである。

第 8 表　ゲルバー型鐵筋コンクリート桁橋重量表

番號	橋名	所在地	等級	支間 (m) 全支間	徑間數	平均支間	固着桁	突脇	吊桁	有效幅員 (m)	主桁 中心間隔 (m)	主桁 數	總コンクリート量 (m³)	總鐵筋量 (kg)	橋面 1 m² 當 コンクリート量 (m³/m²)	橋面 1 m² 當 鐵筋量 (kg/m²)	摘要
46	花鎌	福岡	二	41.50	3	13.83	12.50	3.00	10.50	7.5	1.65	5	129.60	23,200	0.41	73	
47	山國	福岡	二	214.37	13	16.49	16.49	3.25	9.99	8.0	3.00	3	1062.10	114,700	0.62	67	
48	玉川	秋田	二	505.50	30	16.85	17.50	5.00	7.50	6.5	約1.50	5	1267.00	159,000	0.39	50	
49	鎭川	長崎	二	62.00	3	20.67	14.00	5.00	11.00	8.0	2.00	4	310.10	36,100	0.60	70	兩側に箱桁(7.00m)あり
50	再迫	岩手	二	349.00	15	23.27	24.00	5.50	13.00	7.5	4.70	2	1781.00	274,300	0.68	105	
51	水無瀨	東京	三	66.00	7	9.43	9.50 9.40	2.00	5.40	8.0	1.90	5	261.10	37,320	0.49	71	斜橋
52	須賀	岐阜	三	40.00	3	13.33	12.00	3.50	9.00	4.5	2.50	2	68.80	11,900	0.38	60	
53	志賀島	福岡	三	205.00	15	13.67	15.00	2.95	9.10	4.5	1.50	3	331.60	57,110	0.36	62	兩側に突桁(5.00m)あり
54	澄ヶ瀨	岐阜	三	41.50	3	13.83	12.25	4.00	9.00	4.5	2.50	2	80.32	12,800	0.43	69	斜橋
55	仁河	鹿島	三	43.00	3	14.33	11.00	約 5.00	約 11.00	20.0	1.80	12	—	—	0.43	90	兩側に 5.5m のアーチあり、平均値をとる軌道を有す
56	排天	福岡	三	218.50	15	14.57	15.50	3.00	10.70	4.0	2.60	2	351.30	61,700	0.40	70	兩側に突桁(5.40m)あり
57	三國	千葉	三	75.00	5	15.00	16.50	5.00	9.00	6.4	4.00	2	192.80	34,400	0.40	71	
58	高羊	茨城	三	45.00	3	15.00	14.00	3.00	11.00	5.5	3.00	2	116.60	16,500	0.46	60	斜橋
59	前川大	朝鮮	三	171.00	11	15.55	15.00	3.00	11.00	5.0	?	?	420.80	51,200	0.49	60	
60	几度	滋賀	三	78.35	5	15.67	13.87 16.75	3.29	9.85	4.9	3.47	2	204.90	20,400	0.54	50	
61	押川	茨城	三	80.00	5	16.00	14.50 18.00	3.00	10.00	5.5	3.00	2	237.70	35,700	0.54	80	
62	多々良	福岡	三	52.00	3	17.33	16.00	4.00	12.00	5.5	3.40	2	127.30	19,690	0.44	68	
63	長門	千葉	三	125.00	7	17.86	19.00	4.50	10.00	5.8	3.60	2	343.40	68,200	0.47	94	
64	鎭川	岐阜	三	240.00	13	18.46	19.00	3.50	12.00	5.5	2.10	3	655.00	117,600	0.50	82	
65	音無瀨	京都	三	190.00	10	19.00	19.00	4.00	11.00	6.6	5.60	2	871.00	91,700	0.69	73	
66	姥河口	山形	三	138.00	7	19.71	22.00 14.00	6.00	10.00	5.6	2.15	3	666.70	51,900	0.86	67	
67	片瀨川	神奈川	三	100.00	5	20.00	20.00	5.25	12.00	8.0	4.00	3	557.21	80,720	0.42	60	斜橋
68	豆津	福岡	三	350.00	15	23.33	22.00 30.00	8.70	12.60	6.0	3.80	2	1479.20	213,100	0.70	101	突脇 (7.0…②品 8.0…②) 桁 (8.7…⑥品 12.6…②) (7.8…②桁 0.5…②)
69	小森野	〃	三	324.50	11	29.50	25.00 30.50	7.00	16.50	7.5	—	—	1835.90	292,200	0.77	125	



第 10 圖　3 徑間ゲルバー型鐵筋コンクリート桁橋のコンクリート量



第 11 圖　ゲルバー型鐵筋コンクリート桁橋のコンクリート量

次に第8表の 24 橋について其平均支間長をもつて有效橋面單位面積當り主橋體用コンクリート量を表はせば

$$V_c = 0.023\,l + 0.13 \quad \cdots\cdots (18)$$

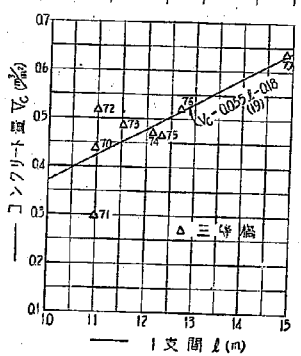
となる．本式と使用量との關係は第 11 圖の如くである．

(9) 鐵筋コンクリート連續桁橋

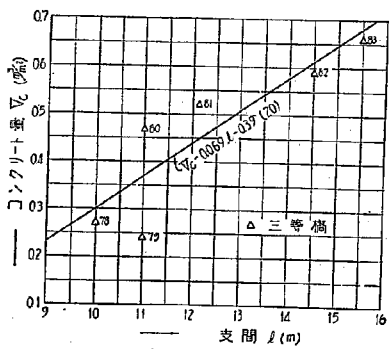
第9表に掲げた3徑間連續桁橋8橋，2 徑間連續桁橋6橋に對して，コンクリート量竝に鐵筋量を示す公式の算定を試みたが，鐵筋量に對しては全然其可能性なく，コンクリー

第 9 表 鐵筋コンクリート連續桁橋重量表

番號	橋名	所在地	等級	支間長 (m)	徑間數	有效幅員 (m)	主桁 中心間隔 (m)	主桁 本數	總コンクリート量 (m^3)	總鐵筋量 (kg)	橋面 1 m^2 當 コンクリート量 (m^3/m^2)	橋面 1 m^2 當 鐵筋 (kg/m^2)	摘要
(三徑間連續桁橋)													
70	岩澤	新潟	三	10.97	3	4.87	—	—	23.3	3,225	0.436	60	
71	三川	山形	三	10.97	3	6.40	6.86	2	31.7	4,466	0.300	42	
72	松川	福島	二	11.00	3	7.50	1.60	5	44.6	5,345	0.516	65	
73	土岐	岐阜	三	11.52	3	5.45	—	4	30.6	4,505	0.487	72	
74	御河邊	滋賀	三	12.12	3	4.50	—	4	25.5	9,467	0.470	70	
75	八幡川	廣島	二	12.30	3	10.00	1.80	6	57.2	8,726	0.468	71	
76	太平	福岡	三	12.70	3	4.50	—	3	—	—	0.520	71	
77	幸	福井	一	14.88	3	16.68	—	10	158.4	21,869	0.638	88	
(二徑間連續桁橋)													
78	堺	廣島	一	10.00	2	17.20	1.90	10	67.5	8,257	0.270	33	
79	蜜生路	奈良	三	11.00	2	4.50	—	—	23.6	5,450	0.240	55	
80	豐澤	岩手	二	11.00	2	7.50	2.00	4	38.5	8,370	0.467	10	
81	釜戸	岐阜	二	12.12	2	4.50	—	4	29.8	3,750	0.520	70	
82	九十九	福井	二	14.50	2	12.00	1.50	8	101.7	16,135	0.591	94	
83	昭和	福岡	三	15.50	2	5.50	1.60	4	—	—	0.660	73	



第 12 圖 3 徑間連續鐵筋コンクリート桁橋のコングリート量



第 13 圖 2 徑間連續鐵筋コンクリート桁橋のコンクリート量

ト量に對してのみ (19) 式及び (20) 式を得た．これ等公式の算定に當つては，各連續桁橋とも個々の徑間長は同一なるが故に，コンクリート量の表はさるべき長としては 1 支間長を採つた．

3 徑間連續桁橋に對しては

$$V_c=0.055\,l-0.18 \quad \cdots\cdots(19)$$

2 徑間連續桁橋に對しては

$$V_c=0.069\,l-0.39 \quad \cdots\cdots(20)$$

第 12 圖及び第 13 圖は (19) 及び (20) 式と實コンクリート量との關係を示すものである．

(10) 鐵筋コンクリート拱橋

鐵筋コンクリート拱橋の資料として第 10 表に示す 14 橋を得たるも，拱橋本來の性質上其形狀，工法共に多岐に亘り，これ等を一括すべき重量公式の算定は困難である．同一型式の拱橋を分類すれば其可能性あらんも資料僅少にして，充分なる結果を得難い．よつてこゝには資料を掲ぐるに止める．

第 10 表　鐵筋コンクリート拱橋重量表

番號	橋名	所在地	等級	支間(l) (m)	有效幅員 (m)	主拱 中心間隔 (m)	主拱 數	拱矢 h(m)	拱矢 l/h	總コンクリート量 (m^3)	總鐵筋量 (kg)	橋面 1 m^2 當數量 コンクリート量 (m^3/m^2)	橋面 1 m^2 當數量 鐵筋量 (kg/m^2)	摘要
84	鹽ノ江	香川	三	18.29	4.55	3.05	2	4.57	4.0	70.3	39,669	0.683	385	無鉸開側拱
85	瀧宮	〃	三	22.50	5.50	1.56	4	6.00	3.8	114.4	12,260	1.016	108	〃
86	岩屋戸	宮崎	三	25.00	4.00	—	—	8.30	3.0	56.8	11,726	0.570	120	〃
87	河合	福井	三	26.00	4.50	—	—	8.63	3.0	178.0	20,371	1.450	166	〃
88	七山	佐賀	三	32.50	5.50	2.00	3	3.70	8.7	193.7	21,360	0.741	82	〃
89	御幸	山形	二	35.00	7.50	1.70	3	12.00	2.9	262.6	28,205	0.970	104	〃
90	海運	三重	三	15.00	5.50	—	—	—	—	65.3	12,500	0.680	140	無鉸充側拱
91	鳥羽大	京都	一	17.75	1.80	—	—	—	—	989.9	47,317	2.850	140	〃
92	綱取	山形	三	24.00	5.44	—	—	4.80	5.0	222.8	27,544	1.710	211	〃
93	大泉	〃	二	24.24	16.36	—	—	2.54	9.5	859.9	98,008	1.930	220	〃
94	新	東京	一	25.24	21.92	—	—	6.70	3.8	841.3	71,830	1.503	128	〃
95	名島	福岡	三	26.15	24.00	—	—	3.60	7.3	571.1	65,743	0.810	90	〃
96	東	和歌山	一	27.00	18.18	—	—	2.90	9.3	609.8	70,050	1.150	100	〃
97	渡川	宮崎	三	28.06	5.50	—	—	4.20	6.7	138.5	19,559	0.790	111	一鉸充側拱

要　約

以上述べ來つた諸重量公式中主なるものをこゝに要約すれば次の如くである.

有效橋面（有效幅員×支間）1 m² 當りの諸重量を下揭の記號にて示す.

W ： 鋼橋の總鋼重 (kg/m²)

w ： 鋼橋の主桁又は主構のみの鋼重 (kg/m²)

V_c ： 鐵筋コンクリート橋の主橋體用コンクリート量 (m³/m²)

W_s ： 鐵筋コンクリート橋の主橋體用鐵筋量 (kg/m²)

公式に用ひられたる l には特に指示なきものに於ては，各橋種とも其支間を採る.

上路鈑桁橋（二，三等橋； 支間 13.4～22.2 m; 幅員 3.7～7.5 m; 主桁數 2; 歩道ブラッケット無し）

$$W=7.80\,l+34.0 \quad\cdots\cdots(1)$$

$$w=5.67\,l-1.0 \quad\cdots\cdots(2)$$

上路直弦鋼構橋（二，三等橋，支間 14.8～63.5 m; 幅員 3.6～6.1 m; 主構數 2）

$$W=6.11\,l+50.2 \quad\cdots\cdots(4)$$

$$w=4.22\,l+19.9 \quad\cdots\cdots(5)$$

下路直弦鋼構橋（二，三等橋; 支間 22.8～43.9 m; 幅員 3.64～13.24 m; 上部水平構の有無を區別せず; 歩車道の區別なきものを主とす.）

$$W=5.48\,l+73.5 \quad\cdots\cdots(7)$$

$$w=3.73\,l+28.7 \quad\cdots\cdots(8)$$

下路曲弦鋼構橋（二，三等橋; 支間 40～85 m; 幅員 5.45～8.6 m; 歩車道の區別なし）

$$W=4.08\,l+153.9 \quad\cdots\cdots(9)$$

ワーレン型下路曲弦鋼構橋に對して

$$w=3.01\,l+63.7 \quad\cdots\cdots(10)$$

ゲルバー型上路鈑桁橋（一，二，三等橋; 徑間數 3 l としては全支間長を採る; 全支間 48.3～109.3 m; 幅員 5.5～25.0 m）

$$W=2.61\,l+53.5 \quad\cdots\cdots(11)$$

（三等橋; 徑間數 3～17; l としては平均支間を採る; 平均支間 19.8～30.53 m; 幅員5.5）

$$W=6.68\,l+45.8 \quad\cdots\cdots(12)$$

上路2鉸鈑拱橋（一，二，三等橋; 支間 25.6～48.0 m; 幅員 5.5～18.18 m）

$$W=4.56\,l+125.7 \quad\cdots\cdots(13)$$

上路2鉸腔構拱橋 (二, 三等橋; 支間 48.0～64.0 m; 幅員 5.5～7.5 m)

$$W=5.32\,l+66.3 \quad \cdots\cdots(14)$$

丁型鉄筋コンクリート單桁橋 (一, 二, 三等橋; 支間5.5～15.7 m; 幅員 3.7～18.86 m)

$$V_c=0.032\,l+0.09 \quad \cdots\cdots(15)$$

$$W_s=3.324\,l+20.84 \quad \cdots\cdots(16)$$

ゲルバー型鉄筋コンクリート桁橋 (三等橋; 徑間數 3; 支間 40.0～62 m; 幅員 4.5～20.0 m)

$$V_c=0.007\,l+0.12 \quad \cdots\cdots(17)$$

(二, 三等橋; 徑間數 3～30, l としては平均支間長を採る; 平均支間 9.43～29.5 m; 幅員 4.0～20.0 m)

$$V_c=0.023\,l+0.13 \quad \cdots\cdots(18)$$

鉄筋コンクリート連續桁橋 (三等橋; 徑間數 3; 支間 10.97～14.88 m; 幅員 4.50～16.68 m)

$$V_c=0.055\,l-0.18 \quad \cdots\cdots(19)$$

(三等橋; 徑間數 2; 支間 10.0～15.5 m; 幅員 4.5～17.2 m)

$$V_c=0.069\,l-0.39 \quad \cdots\cdots(20)$$

(附記 重量公式の算定には神戸高工實習生中島勘之丞君を煩すところ頗る大であつた. こゝに謝意を表する次第である.)

道路鋪裝用タール乳劑に關する研究(第2報)

タール乳劑製造の理論竝に實驗に就て

第 I 部　乳化に關する諸條件竝に試製タール乳劑の性狀組織の研究

內務技師　島　田　八　郎

第 II 部[1]　タール乳劑の試製に就て(其の 1)

第 I 部 目 次

緒　言 …… (2)
I　分散質より見たるタール乳劑 …… (3)
〔1〕 分散質電媒恒數と乳劑との關係 …… (3)
〔2〕 實驗方法竝にタール，アスファルト及び同混合物電媒恒數 …… (5)
II　乳化條件に就て …… (7)
〔1〕 一般的考察 …… (7)
〔2〕 分散媒溶液粘性係數 (η_0) 及び界面張力 (α_a, α_K) に就て …… (8)
〔3〕 分散媒及び乳劑の水素イオン濃度 (P_H) …… (10)
〔4〕 乳化操作に就て …… (11)
III　瀝靑乳劑分散媒粘性係數 (η_0) 實驗 …… (12)
〔1〕 實驗方法竝びに試料に就て …… (12)
〔2〕 實驗値に就て …… (12)
IV　瀝靑乳劑分散媒界面張力 (α_a, α_K) 實驗 …… (13)
〔1〕 界面張力に就て …… (13)
〔2〕 實驗方法及び其の撰定 …… (15)
〔3〕 實驗結果に就て …… (18)
(A)　標準試驗 …… (18)
(B)　對空氣界面張力 (α_a) …… (20)
(C)　乳劑の界面張力 …… (22)
(D)　對ケロシン界面張力 (α_k) …… (23)
V　試製タール乳劑の二三の性質に就て …… (24)
〔1〕 概　說 …… (24)
〔2〕 タール乳劑分散度に就て …… (26)
(A)　試製タール乳劑に就て …… (26)
(B)　外國製タール乳劑に就て …… (29)
〔3〕 乳化溶液，タール乳劑，濾液の水素イオン濃度 (P_H) に就て …… (31)

1) 內務省土木試驗所報告第 31 號第 1 報福島氏報告による.

(A) 一般的考察……(31)
(B) 實驗方法……(31)
(C) 實驗結果……(32)
〔4〕 回轉圓筒法による異常粘性係數に就て……(33)
(A) 實驗方法……(33)
(B) 實驗結果……(34)
〔5〕 タール乳劑の電氣泳動實驗に就て……(36)
(A) 實驗裝置……(36)
(B) 實驗方法……(38)
(C) 實驗結果……(40)
VI 第I部結論……(43)
引用文獻……(45)

緒　言

道路鋪裝工學の發達に伴ひ各種新材料が使用されて來た，其の急激な發達の爲め未だ其の性狀の充分明かでないものが多い．簡易鋪裝用材として盛に使用されてゐる瀝靑乳劑も其の一つで工學的規格等一部完成してゐるが根本的に其の性狀を明かに研究したものが少ない，最近物理化學的の立場より二三 G. Keppeler[1], H. Walther[2] 等により其の特性を研究したものがある．此等の諸研究も石油系瀝靑即ちアスファルトを主體とした鋪裝用乳劑に就て行はれたものである．從來の慣例に從へば瀝靑乳劑とはアスファルトを分散質としたもので，瀝靑質として石炭タール系のものに就ては乳化困難なる爲め製造，使用されしものも少なく，從つて其の性狀を研究したものも少ない．然るに我國に於ては瀝靑質の石油系タール系兩方面に於ける產額より判斷するもタール系の使用を特に必要とする事は著者の一人福島氏の報告論說（第 II 部）を見るも明かであるが，タール乳劑は一二，表面處理用程度のもの製造されしと聞くも未だ市場に出づる程度に至らず，歐洲に於ても一二實用的のものあるに過ぎない狀態である．其れ故我國產業上の見地よりするも純科學的立場より見るも一般瀝靑系乳劑の性狀を明かにし，タール乳劑の安定なるものを製造する事は頗る必要である．本報告は主として製造の立場よりアスファルト，タールの差異を考察し乳化溶液の性質を先づ石油系乳劑濾液より明かにする等著者の行へる膠質化學的研究を基礎としタール乳劑製造の條件を撰定し，國產骸炭爐，石炭瓦斯爐タールを用ひ，乳化實驗を行ひ，長期間使用に耐へる透入用，更に進んで混合用タール乳劑の製造を試みたものである．乳化實驗に對するタールの撰定試驗，乳化劑の化學分析，竝に水溶液の乳化能力に對する試驗，製造實驗竝に試製品に對する工學的試驗等は福島氏（第 II 部）の報告により明かなる如く，試製品として 3 ケ月程度の安定なるものを得た．本報告には乳化條件

撰定に必要な規準を與へる各種の根本的性質を嚴密に研究したもので且つ試製乳劑の一二のものに就き新しき方面の性質にて最も重要なもの二三を研究し乳劑としての組織を明かにせんと試みたもので下記の諸性質を研究した. 其の測定竝に乳劑組織に關する詳細なる理論は廣汎に渉る故著者の別論文[3]を參照されん事を希望するものである.

本研究の主なる事項は下記の如し.

1) 乳化作用上より見たるアスファルト, タール及び混合物の電氣恒數の差異
2) 乳化溶液の粘性係數
3) 對空氣界面張力 (α_a), 對ケロシン界面張力 (α_K)
4) 乳化溶液及び乳劑の水素イオン濃度等

試製タール乳劑に就て

1) タール乳劑粒子分散度
2) タール乳劑及び乳化溶液, 濾液の水素イオン濃度
3) 回轉圓筒法による粘性係數
4) 電氣泳動法による粒子の荷電の研究等

以上の如き各項に就き主として實驗を基礎として, タール乳劑製造に對する第一階程としての諸性質の一部を明かにする事が出來た. 此等の研究結果の推論と製造實驗的研究と相俟つて第一段の目的を達する事が出來, 更に將來に對する研究の方針をも樹立した.

I. 分散質より見たるタール乳劑

〔1〕 分散質電氣恒數と乳劑との關係

タール乳劑をアスファルト乳劑と乳化操作上類似の方法を用ひて試製せんとするに先づ乳化作用に對する分散質の特性を吟味する必要がある. 蓋しアスファルトとタールとは時に共に瀝靑なる言葉にて表示される樣に一見非常に類似せるかの如く見ゆるも, 自然界に於ける生因, 生成過程より判斷するも, 人工製品に於ける製造行程等より判斷するも成分上頗る異るものである. 後者の鋪裝用材としての研究には西川氏[4], 市川氏[5]始め多數のものあり, 又 Marcusson[6] 等の研究を見るも石油系, 石炭系瀝靑の差異が明かにされてゐる今化學的の立場より其の差異を深く究めんとするものでなく, 兩系の瀝靑卽ち所謂アスファルト, タールを分散質として乳劑を製造せんとする場合の差異を考察せんとするものである. 緒言に述べた樣に鋪裝用瀝靑乳劑は殆ど全部アスファルト乳劑である. 豐富なるタールの存在にも拘らず斯る事實のあるはタール乳劑製造の困難なるを示すもので一般にタールはアスファルトに比較し乳化力少しと認められてゐるが未だ其の原因に對して定說がない.

勿論分散質としての比重の差異（石油アスファルト比重，1.01～1.06 (15°C)．タール比重，1.08～1.25 (15°C)）も乳劑の安定に對し影響を持つものであるが一方分散質，乳化劑水溶液相互の吸着作用に對する親和力による影響も顯著である一般に界面張力を測定し相互の吸着作用を考察してゐるが更に一歩を進め分散系の安定平衡狀態に對し成分物性の如何なるものが特に大なる影響を持つやを考察するに詳細は著者[7]の別論文に讓るも，成分の物質を構成せる各分子の分子雙極能率 (Molecular polar Moment)"P"と密接な關係を持つもので今異る分子雙極能率 P_1，P_2 を持つ2種の物質が互に分散し安定なる系を形成するには必ず各相と P_1，P_2 の間に一定の關係がある．今若し第3の物質例へば鋪裝用乳劑の場合の乳化劑の如きものが存在せる場合，第3者の P を P_3 とすれば，$P_1 \leqq P_3 \leqq P_2$ の如く排列する．分子雙極能率 P を推定するに電媒恒數 (K) を測定する．P，K の間には Clausius Mosotti[8] 關係式と稱せられてゐる (1) の如きものあり，兩者の關係を窺ひ知るを得．

$$P=\frac{4\pi}{3}Np=\frac{K-1}{K+2}\frac{M}{\rho} \quad \cdots\cdots(1)$$

但し P; 分子雙極能率，N; Loschmidt 數，p; 單一分子の電氣能率，K; 電媒恒數，M; 分子量，ρ; 密度 等を示す．

今瀝青乳劑の分散質，分散媒を電媒恒數の立場から考察するに

i) 分散媒なる水の K_W は 80 (c.g.s.e.s.u. Ca. 18°C) にて，

ii) 乳化劑等を含有せる電解質水溶液の電媒恒數 (K_E) は濃度により異るも 80～60 の位の範圍にある．[9]

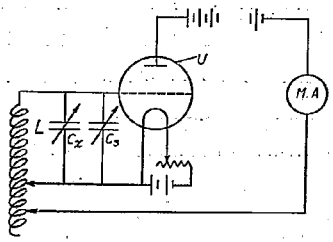
此等の物質とタール，又はアスファルトとより成る乳劑に於ては，アスファルト，タールの電媒恒數（今 K_A，K_T とする）は必ず上記 K_E より小である，且つ分散系内の成分間の界面に於ける吸着性の强弱は，K_A（又は K_T）と K_E の差の大小によると推察さる，其れ故アスファルトとタールとを比較する時には必ず $K_A < K_T$ なるべきである．卽ち乳劑製造に於けるタールの乳化し難き事は其の電媒恒數の大なる事に起因する．斯くの如き見地から瀝靑，タール乳劑の比較を試みたものは未だ發表されて居ない．著者はタール乳劑製造に際し其の第一階程としてアスファルト，タール及び之等混合物の電媒恒數を測定した．

界面張力實驗と電媒恒數 (K) との相互關係を示す一つの Walden[10] の式も斯る方法の正しき事を裏書きするものである．電媒恒數の測定より最も乳化を有效に試みんとする場合電媒恒數の小なる樣分散質を人工的に變ずればよい事が分る．其の實行方法としては種種考へらる，其最も根本的な方法は適當な壓力，溫度等を加へ化學組織の變革を來す樣試みる事であるが一方電媒恒數の小なる同系統物質を混和し分散系を作り其の目的を遂する

事も出來る．今後者の方法をとり其の目的を迅速に達する事が出來た．前者は一般研究者の試むべき重要なものである．本研究に使用せし試料は八幡製鐵所精製タールと針度 34 度程度の鋪裝用アスファルトとである．

〔2〕 實驗方法並にタール，アスファルト及び同混合物電媒恒數

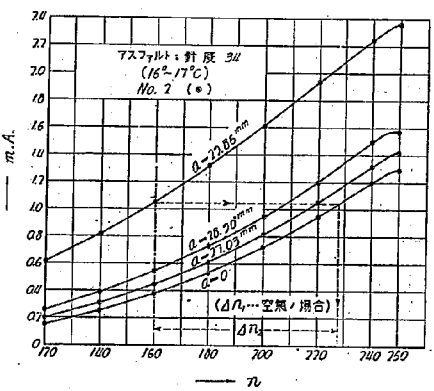
第〔1〕節に於て乳化操作に於ける分散質，分散媒の電媒恒數相互關係の重要なる事を知つた．今之が測定を試みんとするに一般に靜電氣容量の測定を意味するもので試料によつては電媒損失等を伴ひ測定頗る困難である．實驗方法に對する考察並に本試驗に使用せし方法の詳細は別論文に述ぶるも高周波發振回路の中最も簡明な接續である J. Dowling[11] の原理による小幡式微測計[12]の發振回路の容量變化を測定し，試料を入れた容器及び空氣のみの容器の電氣容量を比較し試料の電媒恒數を求めた．故に試料の恒數が外部の電場の周波數（f）により變るべき場合は發振回路の電氣容量（C），自己感應係數（L）により自己振動數 $f\left(=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\right)$ の變る爲め測定される恒數（K）は異る．各種の試料を比較する場合には常に同じ振動數（f）の狀態により測定を試みる必要がある．使用回路は第1圖の如きもので，自明なれども簡單に記號の說明をする．



第　1　圖

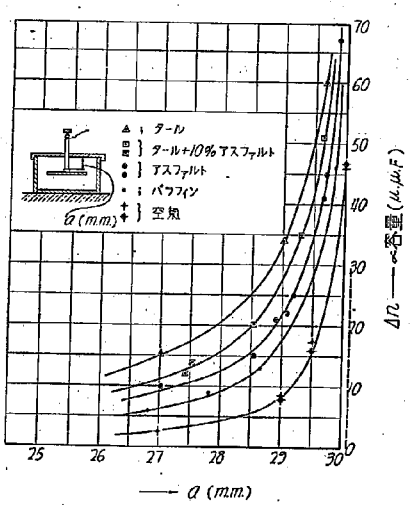
U; 眞空管 UX～240，L; 回路自己感應係數，M.A; ミリアンメーター，$C=C_x+C_s$; 回路電氣容量，C_x; 試料電氣容量，C_s; 可變空氣標準電氣容量．

本發振回路自己振動數 f は大略 600～700K.C. 程度のものである．試料用容器は第3圖左上に示す如きもので圓形の平行板より成り圖中の a を增大すれば平行板間隙は減少し電氣容量 C_x は增加す．今 A; を平行板面積，d; 間隙，k; 端子影響を示す係數…とすれば $C_x=\frac{Ak}{4\pi d}$ にて d が相當小となれば $k=1$ と置き得．先づ試料容器のみにて空氣中に於て a に一定の値を與へ，可變空氣標準電氣容量の目盛（n）を增減すれば各 n の値に應じ一定の電流が M.A に流れる，或る範圍

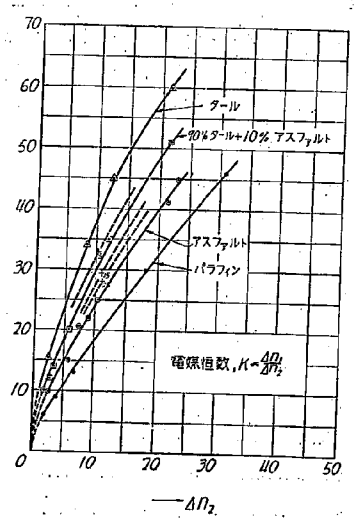


第　2　圖

内に於ては n～m. A 曲線は略ゝ直線に近い平滑な曲線にて與へられる. 斯くの如く種々の a の値に對し n～$m.A$ 曲線を得, 容器に試料を入れた場合も全く同様の關係が求められる. 第2圖は針度 34° のアスファルトに對する n～m. A 曲線である. a=0; 27.03 mm; 28.90 mm; 29.86 mm の場合の n～$m.A$ 曲線は全く同じ傾向である. 此等の曲線群から例へば a=29.86 mm の場合は a=0 mm の場合に對し標準電氣容量の目盛により n の値の228－160＝68…增大せる事を示す. 今之を Δn_2 にて示す. 空氣の場合には Δn_1 とする. 上述の如く n=160 を標準とする. 斯くの如くして第 2 圖より第 3 圖の如き a～Δn_1 (又は Δn_2) 曲線を得. 實驗試料として下記の數種を用ひた, タール, アスファルト, パラフィン, 空氣, タール～アスファルト混合物 (タール 95%＋アスファルト 5%, タール 90%＋アスファルト 10%; タール 85%＋アスファルト 15%, タール 80%＋アスファルト 20%). a～Δn 曲線群を見るに元來 Δn は其の場合の電氣容量 (C_s) に比例する量であるから若し試料の電媒恒數 (K) が周波數に無關係に且つ端子影響無く k=1 なれば a～Δn 曲線は直角雙曲線をなす筈である, 實際空氣に對する實測値は a の大なる範圍に於ては直角雙曲線をなすもので a の小なる範圍に於ては稍ゝ偏差を來してゐる. 他の試料に於ては二重の原因で直角雙曲線から偏つてゐる樣である, 此等の關係を一層明瞭にし且つ空氣に對する各試料の電媒恒數を定める爲め第3圖より更に與へられた a に對する, Δn_1, Δn_2 を求め



第 3 圖



第 4 圖

第4圖に示す様に$\Delta n_2, \Delta n_1$を横軸，縦軸にとる．斯くして得た$\Delta n_1 \sim \Delta n_2$曲線群より$\frac{\Delta n_1}{\Delta n_2}$を求むれば電媒恒數$K$に比例する量を得．空氣に對し$K_a=1$と置けば上式から各試料の電媒恒數を得．第4圖$\Delta n_1 \sim \Delta n_2$群は全く類似の曲線であるが$K$の値は一定でなく，$\Delta n_2$の値從つて周波數（$f$）により異り$f$の減少に從ひ一定値になつてゐる．分子電氣力吸着理論によればKの値よりも$(K-1)$[13]の値により吸着親和力が變る．今Kのfに拘らず一定となりし値を第4圖より求むれば第1表の如くなる，更に$(K-1)$をも記入してをく．

第1表　電媒恒數

	K	$K-1$
タール	2.9	1.9
アスファルト	2.0	1.0
パラフィン	1.5	0.6

第1表によるに電解質水溶液を分散媒とせる場合タールの方の如何に乳化力の劣れるかを知ることが出來る．〔1〕節に述べた如く，タールにアスファルトを混じ，作つた分散系の電媒恒數を減ずることが出來れば乳化が容易となる．タール，アスファルトの恒數をK_T, K_Aとしアスファルト容積濃度をφとすればK_T, K_A, φの間に一つの關係理論式を求むることが出來るが，今種々の％の試料により全く上述同樣の實驗より求めた値を記入す．第4圖內に$+_5, +_{15}, +_{20}$…として示すfに無關係範圍の電媒恒數$K_{T,A}$を第2表に示す．

第　2　表
タール～アスファルト混合物電媒恒數（$K_{T.A}$）

試　料　名	$K_{T.A}$
タール 0.95＋アスファルト 0.05	2.6
〃 0.90＋〃 0.10	2.4
〃 0.85＋〃 0.15	2.3
〃 0.80＋〃 0.20	2.15

實驗値は嚴密でないから$(K-1)$とφ(＝タール/アスファルト)の關係は有効數字2桁位なるもアスファルト10％程度のもの＞減少率が最も有效の樣である即ち乳劑用材としては此程度のタールを使用する事が最も經濟的に合理的である

以上の如き簡單な實驗により本研究のタール乳劑用とし第一階段とし10％のアスファルトを含有せるものを擇定した．更に殘された大なる問題はタールの人工的轉換法と電媒恒數測定値との關係であらう．

II. 乳化條件に就て

〔1〕一般的考察

乳劑製造の操作は種々考へらるゝも此等を簡單に分類し各條件を最も合理的に定める事が必要である．即ち分數系を形成するには先づ i) 分數質 ii) 分數媒の必要なるは自明にて且つ iii) 安定な瀝靑～水（O～W）系を作るに電媒恒數相互關係より是非必要なものとして乳化劑安定劑がある iv) 溶液の水素イオン濃度も或る一定の範圍にあることを要す．斯る物質の組合せに一定の機械力を加へ分散を起さしむるものであるが解析的の言葉を以て示せば，乳劑は多元的座標の一點として與へられ，乳劑存在領域が定まる．即ち乳化操

作の場合に採り得る各種の條件を座標軸にとり其等變數により與へられる領域を實驗に定めんとするもので先づ一般瀝青乳劑を斯る見地より考察し濾液等の性質を基としてタール乳劑試製の條件選定に資せんとする．勿論其の影響を化學分析的に論ずるも一法であるが本報告は主として下記の項目により研究を進めたものである．

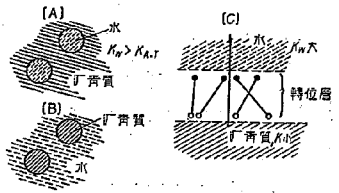
i) 分數質としてのタールの選定 ii) 乳化劑，安定劑の種類 iii) 乳化劑溶液濃度 iv) 分散媒水溶液の水素イオン濃度 (P_H)， v) 乳化法

以上の如きもの以外，實際上鋪裝用材料として必要な碎石との相互關係がある．瀝青質，乳化劑共に成分複雜なものであるから分析的に相互關係を明かにする事は相當困難であり且つ第一次的實驗として全般に渉る傾向を明かにすることが必要であるから總て上記の方針で瀝青乳劑に關する特性を考察した．先づ i) 項のタールに就ては著者の一人福島氏の詳細な研究及び第1章の研究により約 10% のアスファルトを含有せる精製タールを用ひた．更に ii) iii) の性質に對しては Hillyer[14]，W.D.Bancroft[15] 等の說其他を斟酌し乳化條件を定める爲め先づ溶液の粘性係數 (η_0)，對空氣界面張力 (α_a)，對クロシン界面張力 (α_K) 等を考察した．η_0，α_a，α_K が乳化と如何なる關係にあるやは後章に簡單に述べるが殊に界面張力 α_a，α_K は其の測定法簡單の如く見ゆるも正しき値を求むることは頗る困難である．水素イオン濃度も瀝青乳劑に於て頗る重要なもので乳劑の安定度より云ふも對碎石關係よりするも水素イオン濃度 P_H は 12 より大なる强アルカリ性のものの必要なることを明かにした．勿論 P_H: 10; 11 程度のものあるも確實に結果を得る爲に $P_H>12$ を採る．v) の乳化法とは分散質を細粒に分散せしむるに使用する操作にて機械力にするものと凝結法によるものとあるも瀝青質乳劑にては前者による．機械力供給法として先づハーレル乳化機 (Hurrel Homogeniser, "コロイドミル") を用ひ回轉速度を變じつゝ實驗した．乳化操作中乳化作用を防げる作用として氣泡がある．氣泡の發生量，安定度等は乳化溶液の粘性係數 (η_0) 界面張力 (α_a, α_K) 及びハーレル機の回轉速度と密接な關係がある．後述の如く乳化に有效に作用する特性と氣泡性に對するものとは同じ傾向を持つから實際の場合兩者を適宜判斷し η_0, α_a, α_K を定むべきである．先づ乳化作用に對する η_0, α_a, α_K の値を考察する．

〔2〕 分散媒溶液粘性係數 (η_0) 及び界面張力 (α_a, α_K) に就て

〔1〕 節に述べた乳化作用に對して η_0, α_a, α_K の重要なるは明かであるが其の傾向を考察するに乳化理論として Ostwald の容積理論 (Phase-Volume Theory) 粘度理論 (Viscosity Theory) 又は Fischer の膨潤理論 (Hydration Theory) の瀝青乳劑の場合適用されない事は C.H.M.Roberts[16] の論文を見るも著者の研究によるも明瞭で寧ろ W.Bancroft[17] Langmuir[18] 等による表面張力 (interfacial Theory) 卽ち吸着理論 (Adsorption Theory)

の適用される事を示す，卽ち界面に Polar Ion, polar Molecule が蓄積するもので新に界面を作れば先づ第一に易動度の大なるイオンが界面に蓄積され更に時間の經過と共に Polar Molecule の移動が行はれ一定の配置に近づく．水の電氣恒數(K_W)は瀝靑質($K_{T.A}$)のものより大であるから表面自由エネルギーを夫々 F_W, F とすれば，$K_W > K_{T.A}$, $F_W > F$ にて兩者による最も安定な分散系は水相が分散質を成形せる場合である．然るに釘酸用乳劑としては瀝靑質の分散せる系であるから第3者なる乳化劑を入れ，分子構造による吸着性を利用し安定な第5圖〔B〕の如き系を作る．今例へば2相の轉位層として多鎖脂肪酸のアルカリ鹽を用ひるとし之を…CH_3-CH_2-…CH_2-COONa…とすれば第5圖〔C〕の如く配列される．但し●はカーボキシル基 (Carboxylend), ○は炭化水素團 (hydrocarbon end) を示す，●は polargroup, ○は non-polar group であり，●は平均として水相に向き○は瀝靑側に配列され，瀝靑～水相間の電氣恒數の變化が平滑となり轉位層と水相との界面張力は瀝靑と轉位相間のものより小となり第5圖〔B〕の如き系として存在するに至る．此等 Polar group, non-polar group は各組成の相互關係によるもので一例を以て全般を推測する事は出來ない．例へばオレイン酸～Na とオレイン酸～Ca とは全く逆相の乳劑を作る．H.V. Tartar, C.W. Puncan[19]の HONa, ClNa 水溶液 (W) による油 (O) の乳化作用の實驗を見るも頗る複雜にて ClNa の濃度小なる範圍は O～W 系であるが ClNa の增加に伴ひ W～O 系に轉化する．第5圖の考察によるも，W. Bancroft, Hillyer, G. I. Taylor[20], 野澤氏[21]によるも轉位層となるべき乳化溶液の對空氣，對ケロシン界面張力の減少すべきものが所謂乳化力の大なるものとされてゐる．實驗としてはタールに對する界面張力を測るべきである．石炭タールも乾溜溫度等により成分種々異るも，便宜上今ケロシン油に對する界面張力 (α_K) を測定した．



第 5 圖

乳化操作に於て α_a, α_K の値と乳化操作の有效性とを定量的に研究するには乳化法として機械力を與へる方法を明瞭に量的のものとせねばならない．機械力による場合 Summer[22]が述べた如く定量的に定義すること困難で彼は一定の壓力による噴射により實驗し，ベンジン～オレイン酸 Na の乳劑を研究し，Mollie G. White, J.W. Marden[23]はケロシン油，亞麻仁油とパルミチン酸 Na 鹽，ステヤリン酸 Na 鹽の乳化實驗を行ふに一定の振盪法と降沈法を使用し，一方 Traube 滴數より界面張力 (α_a) を求め相互の關係を研究した，E.L. Lederer[24]もパラフィン～ベンゼン乳劑で乳化力と α_a との關係を求めた．以上の諸研究に由るも乳化作用には溶液の α_a, α_K を減少せしむることが必要で粘性係數 (η_0) の

影響は左程重要なものでないことを示す．一方乳化操作中氣相～液乳劑として氣泡が發生するもので此種の系の安定度を考察する必要がある．蓋し氣體～液乳劑は2方面より考察する必要がある．卽ち發生度及び安定度である．a_a, η_0 共に小なる場合は發生容易である，且つ η_0 の大なる程安定度大である．乳化作用及び氣泡發生の兩者の關係を表示すれば下の如くなる．

乳化作用大；	a_K 小	η_0 大
氣泡發生力大；	a_a 小	η_0 小
氣泡安定度大；	a_a 小	η_0 大

斯く考ふれば乳化に際し有害な氣泡の發生等を防止し然も適當に乳化力を發揮する程度に a_K (a_a), η_0 を選擇せねばならない．氣泡發生は一方機械力によりても異るものであるから此等の關係は相當複雜なものであるが，與へられた乳化法に對し少くとも可能な範圍が主として a_a, a_K にあることが分る．故に瀝靑乳劑に於ける此等の値を測定することが必要である．國產瀝靑乳劑約10種の濾液の a_a, a_K η_0 を測定し同時に實測方法をも吟味した．一方表面活性物質中より乳化劑として使用し得るもの多數を選び著者の一人福島氏により化學分析をなし，水溶液の η_0, a_a, a_K と濃度との關係が求められた．兩者を比較對照し最も有效と推察される濃度範圍を定め試製實驗を試みたものである．斯る實驗方法は一つの物性に對する純科學的研究法としては更に考慮すべき點あるも迅速に有效範圍を定め今後の方針を樹立するに適切なものと考へ採用した．粘性係數 (η_0) は既に述べた如く其の影響は2次的にて差當り重點を置かずに研究を進めた．安定劑等を考慮に入れた第2階程に於ては當然考慮に入れらるべき問題である．

〔3〕 **分散媒及び乳劑の水素イオン濃度 (P_H)**

乳劑の安定，碎石との相互關係，乳劑製造に際し更に重大な關係を持つものは乳劑及び分散媒の水素イオン濃度 (P_H) である．上記 C.G. Summer[22] のオレイン酸鹽に HONa を混入したベンゼンの乳化實驗を見るも著者の別論文[25] 瀝靑乳劑水素イオン濃度 (P_H) の研究に論じた如く頗る重要な關係を持つてゐる．瀝靑乳劑に關して使用上の立場及び乳化上より此等の問題を力說したものは少い．著者は此點に重點を置いた．其の詳細は別論文に讓るも今其の要點を述べる．蓋し瀝靑乳劑は粒子の安定の條件の一として動的界面電位差(Electrokinetic Potential) ζ に一定の値以上を與へる樣乳劑及び分散媒 (濾過液) の水素イオン濃度 (P_H) 及び此等の差を適當にせねばならない．且つ其差より Donnan[26] の平衡理論より電位差 ζ を推測することが出來る．今乳劑及び濾過液の水素イオン濃度を夫々 ${}_EP_H$, ${}_UP_H$ とすれば兩者共に强アルカリ性にて著者の研究によれば，下記の範圍に在るものである，卽ち

${}_EP_H > {}_UP_H$;　${}_EP_H = 12.8 \sim 10.34$ にて大部分は 12 以上である，${}_UP_H = 12.4 \sim 10.3$，${}_EP_H - {}_UP_H = \Delta_E P_U = 0.10 \sim 0.30$

以上の結果により分散媒溶液即ち乳化劑溶液としては $P_H > 12$ にする事が乳化を確實にする第一歩として必要である．乳化實驗に於ては常に乳化劑溶液にアルカリを適當量添加し $P_H = 12$ 前後として使用した．又 $P_H > 12$ は鋪裝用碎石のイオン吸着現象の研究に於て頗る重要な意義をもつもので殊に Pickering 乳劑[27] 以外の電解質を乳化劑主成分とせる場合に於て其の然るを見る．

〔4〕 乳化操作に就て

乳化操作に對しては第一に分散質を分散せしむることが必要である．之に對し以下述べる様に i) 機械力によるもの ii) 凝結法によるもの iii) 高周波電波[28] によるもの等あるも ii) iii) は，瀝青乳劑には不適當である．機械力によるものにも (a) 噴射法 (b) 振盪法 (c) コロイドミル法 (d) 加熱式壓力釜 (Autoclave) 等あるも，(b) 振盪法は J.R. Briggs[29] が試みたもので分散質分散媒を適當に混じ簡單に振るもので一定の時間中に連續に振盪を與へるものと斷續法とあり，後者は一定の時間間隔ををき振盪を與へるもので J.B. Barke, H. Braham[30] も試み其の有效なる事を確めてゐる，乳化力の比較値を求めるには非常によいが容量小にて此の場合差當り不適當である．(c) (d) の2法が最も有望である．其の何れかを用ひんにコロイドミル法，加熱式壓力釜法の構造，特長，性能等は福島氏(第II部)の詳細なる報告による事とし此處に省略するも加熱式壓力釜法にては高壓，高溫度を利用するから一般に後掲界面張力 a_a, a_K の實驗の部で述べる如く溫度上昇に伴ひ a_a, a_K, η_3 の値が減少し乳化作用は旺盛となるも一方乳化を防ける氣泡發生も〔2〕節の如く盛となり，結局或る場合には氣泡のみ發生し乳化不可能となるから必ずしも常に優秀とは限らない．即ち乳化劑の種類に應じて機能を發揮する．(c) 法コロイドミルは "スリット" と遠心力兩作用によるもので回轉速度，間隙調節により分散度を調節するもので加熱壓力釜法と全く同様，必要以上の回轉速度の增加は氣泡の發生を旺盛にし乳化作用を減ずる或る制限回轉速度以內では Brigg の研究にある様回轉速度の增加は分散度を增す．

以上各節に述べた様に乳化條件の變數を適當に變じ乳化試驗を試みたものである．各種の乳化劑及び水溶液の性質，乳劑製造に於ける濃度，更に各種の配合による試驗實驗の結果は福島氏(第II部)の報告によるとするも瀝青乳劑の諸性質より其の範圍を考察するの必要なることが明かに分る．以上の諸性質の中水素イオン濃度 (P_H) は第〔3〕節に概略數値を掲げた．界面張力，粘性係數の實驗値に就ては以下第 IV 章〔III〕章に述べる．殊に界面張力は一般に實驗方法が等閑に附せられてゐるから特に詳細に述べる．

III. 瀝青乳劑分散媒粘性係數(η_0)實驗

〔1〕 實驗方法竝びに試料に就て

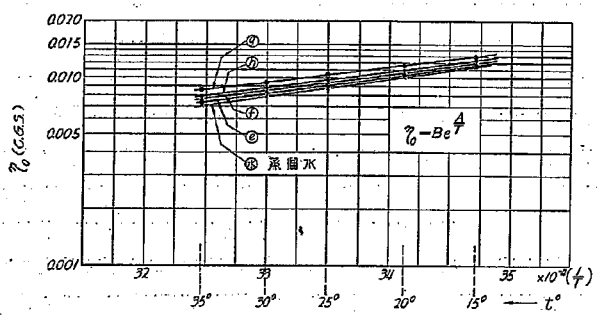
乳劑の乳化劑溶液の粘性係數 (η_0) が乳化作用に對して左程影響を持たない事は第II章の〔2〕節で明かであるが,瀝青乳劑の場合果して如何なる程度のものであるか確めることは乳化條件撰定上必要である. 今國產瀝青乳劑7種をとり分析用濾紙を用ひて濾液を作り, *e*, *f*, *g*, *h*, *H*. *G* 號とする. 粘性係數 η_0 は蒸溜水と大差なき程度のものにて構造粘性等の現象なきものとして簡單に Ostwald 管を用ひ液量 5c.c. の流出時間を測定し蒸溜水の場合と比較した. 粘性係數は $\eta=ct\rho$, (但し t; 流出時間, ρ; 液體密度, C; 常數を示す) にて示され各値は5回の平均である. 詳細は省略する[31]. 使用恒溫水槽 ±0, 1°C 精度, 使用管 No. 1, No. 2 の C 係數; 0.000124; 0.0002184 濾液比重 25°C にて ρ_0=1,013～1,011 程度.

〔2〕 實驗値に就て

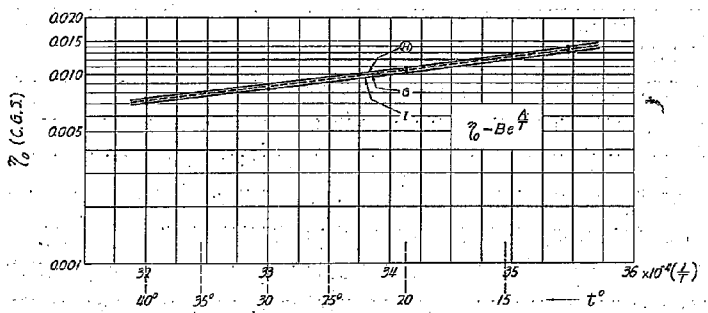
第3表は上式から計算した粘性係數 η_0 と溫度との表である. 同表より η_0～t (溫度) 關係式を求めることも出來るが今 $\log\eta_0$ を縱軸にとり絶對溫度 (T) の逆數との關係を求む. 第6及び7圖は η_0～$1/T$ 關係を示すものである. 圖より明かなる如く實驗溫度範圍に於ては η_0～$1/T$ は直線關係をなすもので粘性係數は全く…$\eta_0=Be^{A/T}$… の式で示される. 且つ蒸溜水の η_0 と同じ程度である事は注目に値するものである. A, B は各試料に特有の常數である. 斯る形式の粘性～溫度關係式は一般液體の場合に多數あるものである. 乳劑の分散媒の粘性 (η_0) は特に增大せしめる樣工夫したものと考へられない. 但し上に述べしは濾液に對する實驗であるから粒子周圍のイオン層內の粘性は斯る方法を以ては推測する事が出來ないが, 少くとも瀝青質の乳劑に於ては或る意味に於て乳化の際粘性係數に重點を置く必要なきを推察し得る, 之に反し界面張力の頗る重要なる事を次章に明かにする.

第3表 濾液及びオレイン酸曹達水溶液粘性系數 (C.G.S. 單位)

試料名 / 溫度 t°C	g	h	f	e	オレイン酸曹達溶液	蒸溜水	I	G	K
5	0.0179	0.0157	0.0161	0.0149	實驗の誤差範圍內で全くe號の係數と一致す	0.0152			
10	0.0139	0.0139	0.0135	0.0130		0.0132	0.01340	0.0134	0.0141
15	0.0124	0.0124	0.0119	0.0115		0.0115			
20	0.0116	0.0109	0.0105	0.0102		0.0101	0.01040	0.0105	0.0107
25	0.0098	0.0098	0.0094	0.0091		0.0089			
30	0.0094	0.0088	0.0085	0.0082		0.0080	0.00832	0.0085	0.00874
35	0.0086	0.0080	0.0077	0.0076		0.0070			
40							0.00700	0.00719	0.00752



第　6　圖



第　7　圖

IV.　澁青乳劑分散媒界面張力

〔1〕 界面張力に就て

乳化に際しての界面張力の意義は既に第II章〔2〕節に論じたが其の測定値は乳化作用即ち分散系内界面のイオン吸着を明瞭にする上に必要であるが一方實際上に於ける乳劑の滲透性を明かにする爲めにも必要である．勿論乳劑の如き高粘性液體にてしかも構造，粘性を呈するもの>滲透能力は主として粘性係數（η_0）によると考へられるも L.A. Richards[32] W.O. Smith[33]の様に毛細管作用を考慮に入れ界面に於ける滲透能力値を測定しをく必要がある．後節の實驗によるも毛細管作用頗る少く主として重力作用と豫期の如く粘性係數（η_0）による．斯る2方面の必要あるに拘らず澁青乳劑の界面張力現象に關する簡單な實驗も茲間の爲めか未だ發表されたものが無い．一般に界面張力實驗は其の操作一見簡單なる爲め實驗値の意義方法に深く考慮を拂はず應々實測値に頗る曖昧な點がある．有

效數字2桁以上を信賴し得る樣測定する事は困難である，界面張力も通常…對空氣 (α_a)，對液 (α_l)…により實測値に入り來る誤差原因異るも其の原因は主として i) 實驗容器の清淨程度 ii) 容器等の寸法精度等直接界面張力と關係なきものも其の影響頗る多大にて Harkins[34] 其の他多くの人の實驗を見るも其の苦心は想像以上である．其の他界面吸着現象に必然的に伴ふものとしては iii) 測定値の時間的關係 iv) 溶液の水素イオン濃度 (P_H) v) 溶質の濃度 vi) 溫度影響等あるも各項は夫々複雜な形式で現れ來るものである．此處に云ふ時間的關係といふも一般に云ふ靜的動的界面張力以外の複雜なものである．其の一例とし滴下法による Ad. Adller[35] の實驗によるも滴下速度により測定値異るもので液體の粘性係數 (η) 及び質量等による惰性の影響が現れてゐるが，殊に本章に取扱ふ表面活性物質の水溶液の場合には測定時の界面吸着現象が利き靜的實驗法の場合に於ても時間的影響多大にて時間的に考察し $t=0$, $t=\infty$ の兩極端以外明瞭に定義することは出來ない．P.L.Du Noüy[36] は引離法にて濃度 10^{-5}～10^{-6} Mol/L．以下のオレイン酸鹽，サポニン及び血精，溶液に就き界面張力 (α_a) の時間的減少率を測定し，$\alpha=\alpha_0 e^{-k\sqrt{t}}$…に從ひ約5分後に一定になると述べてゐる．J.C. Gosh, M.C. Nath[37] も液膜の强さの試驗に於て引離し力と時間との關係を調べた．J.M. Johlin[38] も滴下法で 0.01～0.5％のゼラチン溶液で…$\alpha=\frac{\alpha}{t^n}$…(但し，$\alpha$, 常數 t; 時間) の式により約15分以上にて一定となることを示した，然るにオレイン酸曹達液の濃度 0.01～0.6％の J.M. Johlin[39] の實驗によればゼラチンの場合と同じ傾向の α～t (時間) 曲線を示すも濃度小なる場合 α～t 曲線には最小最大點が現れ頗る複雜である．要するに界面には先づ易動性大なるイオンの吸着が現れ更に時間の經過に伴ひ分子の吸着が現れ一定の配列に至るから攪拌せし後より測定時に至る時間により測定されし界面張力 (α_a) は上例の如く複雜なものとなる．界面作成時よりの影響は Lothermoser, A., B. Baun Gürtel[40] の脂肪酸 Na 鹽溶液の (α_a) と Co_2 吸着影響の實驗を見るも頗る興味が深い．斯く夫々の試料に就き界面破壞に至るまでの時間と界面張力値との間には特有の關係がある，毛細管法の場合トルエン，エーテルの如き單一體にても H.M. Tinble[41] の半徑 0.214 mm の毛細による實驗も斯る傾向を示す．

時間的異常性はイオン，分子の吸着によるから，溶液の水素イオン濃度 (P_H) により α が大に變る事は當然にて殊に親水ゾルに屬する物質に於ては溶液の P_H の影響は特に複雜である今二三其の影響を調べ乳化溶液の研究に資せんとす．

iv) Th. Ackermann[42] はゼラチン溶液で $P_H=1.2$～12 の範圍に變ずるも界面張力 α_a の變動は 0.5％以下であつた．H. Hartride, R.A. Peters[43] は連鎖炭水化物の水溶液とベンゼンとの界面張力 (α_l) と關係を調べ"ステアリン"酸にては $P_H=5.4$～9.5 と增加す

るに伴ひ a_l は非常に減少す，H. Hartride, R.A. Peters の實驗を見るも原油，オリーブ油とアルカリ溶液間の (a_l) は P_H の 5～7～9 と増大するに伴ひ減少してゐる．斯る傾向は瀝青乳劑の場合の界面現象にもあると推察され且つ第 II 章〔3〕節の分散媒溶液の水素イオン濃度の必要條件と同じ傾向を示してゐる．

v) 濃度との關係；多くの理論及び實驗的研究あるも上述の如く界面張力 (a) を明瞭に定義することの困難により實驗値を如何に取扱ふかにより異るから常に其の實驗の精度以内の事柄しか明瞭に定義出來ない．制限内で Gibbs 吸着等溫式等あるも多くの實驗値は …$\Delta=\frac{\sigma_m-\sigma_L}{\sigma_m}=\rho C^{\frac{1}{n}}$ (但し，C: 濃度，ρ，n; 常數，σ_m; 溶液の界面張力，σ_L; 溶媒のみの界面張力…を示す)…の式に從ふことが多い．例へば E.L. Lederer[44] の石鹸溶液の實驗，H.M. Salisburg, M.T. Harvey[45] のゼラチン溶液の實驗，更に福島氏の多數の乳化溶液の $a\sim C$ 曲線も斯る傾向を示してゐる．

vi) 溫度との關係；乳化操作は少くとも攝氏 90°C 位の高溫度にて行はれるから $a\sim T$ (溫度) の關係を吟味してをく必要がある．一般に溫度の上昇に伴ひ界面張力は減少するもので臨界溫度に於て遂に零となるは熱力學の示す所で Ramsay, Shield[46] の約 200 種の有機化合物に對する實驗を F.M. Jager[47] が取纏めて $a\sim T$ 關係を調べたもの等がある．其の理論等は省略するも，對空氣，對液界面張力 $(a_a,\ a_l)$ 兩者共溫度上昇に從ひ減少する事實は乳化操作の行はれる時の a_a，a_l は實測値のものより低下し乳化力を助長せるも同時に氣泡力も増大せることを示す．以上の諸性質を考察するに界面張力實驗は誤差の原因頗る多く其の實驗の困難なるを示すもので如何なる測定方法を採用するかは此後の實驗の精度，迅速兩方面より先づ愼重に決定すべきもので詳細に吟味する必要がある．以下本研究に採用した實驗方法竝に撰擇理由を簡單に述べる．

〔2〕 **實驗方法及び其の撰定**

界面張力の實驗値は其の方法により異るもので同一方法によるも外界の影響を蒙る事多く容器の清淨狀態によりても異る．卽ち平衡狀態に達する傾向の差異により測定される値が變つて來る．實驗條件によつては一見別個の値が出て來る．通常用ひられる方法は，J Clare Speakman[48] も分類してゐる如く多數あるも最も普通のものとしては i) 毛細管法 ii) 滴下法 iii) 引離法の 3 種あり，本研究に其の何れを使用するかは重大な先決問題である．此等の方法を比較するに i) には接觸角の影響あり且つ一樣な斷面の管を使用する事，更に管内の清淨操作等頗る困難多く先きに述べた樣に Harkin[49] 等は毛細管のみを求めるに絶大の努力をした．今測定せんとするものは吸着性物質の溶液であるから i) 法で實驗することは不可能である ii), iii) 法に可能性がある．ii) iii) 法に於ても吸着現象，表面硬化其の他單一液體以外の異常性無き場合にも種々複雜な現象を伴ふものなる事明かで

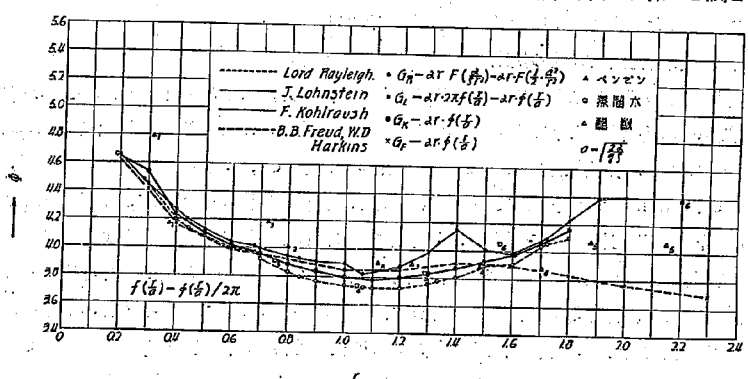
ある，例へばii)法にて界面張力(a)の絶對値を求めんとする場合其のaの値に應じて適當な滴の大きさを與へる様細管端子直徑を定めた場合のみ有效數2桁位確實に求められる．斯る適當な條件で實測するも H. Junker[50]が述べた如く滴下法では 0.1 滴位の精度であり最初の 10 滴位は速かに落下し且つ端子より周圍に這ひ上り界面張力の小なる程誤差は增す，此方法では元來 1845 年頃既に Hagen, Quencke の實驗がある，彼は界面張力が…$a=G/2\pi r$…(1)(但し a; 界面張力，G; 滴の重量 r; 滴下端子半徑) によるや更に…$\cos\theta$ を乘じたもの (θ; 接觸角) に等しきや否やを實驗したが一般に兩者共に一致せず，J. Traube[51]も 1886 年に $2r=3$; 4; 6; mm の端子を用ひアルコール，ベンゾールに就き毛細管法と比較し滴下法にては落滴の重量の數 % が端子に殘留する事を論じてゐる，又液～液界面張力測定に應用する事は F.W. Hillyer[52]が石鹼溶液 (濃度$\frac{1}{10}$N.まで)～クロシン界面張力を測定し，同年 Hillyer の Pippet を發表し $2r=10$ mm，使用液量を 5 c.c. とし總て蒸溜水の場合と比較した．此方法は其の後工業方面に盛に使用されてゐるが後述の如く或る制限以內にて正しき界面張力を與へるが制限外にては界面張力としては比較値すら與へない，單に滴數密度の比較に終る．

滴下法の理論的研究には Lord Rayleigh[53]がある，彼は…$2r=2$ mm～15 mm の端子を有す硝子管を用ひ實驗し滴の重量とデメンションの類似から (2) 式の如く置き係數(α)を定め端子直徑 $2r$ と G_R～ar の關係を考察した．

$$G_R \propto ar\left(\frac{a}{\rho r^2}\right)^{\alpha-1} \quad \cdots\cdots(2)$$

但し G_R; 落滴の重さ，a; 界面張力，ρ; 密度，を示し G_R, a, ρ, は同一單位とする．

J. Lohnstein[54]は落下以前の懸垂滴の端子に對する斜角を離落後も同一に保つと假定し

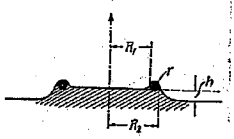


第 8 圖

懸垂滴の安定條件より (3) 式を誘導した.

$G_L=ar\cdot 2\pi f\left(\frac{r}{a}\right)=ar\cdot\phi\left(\frac{r}{a}\right)$……(3) 但し a; $\sqrt{\frac{2a}{\rho}}$ (C.G.S 單位なれば $\sqrt{\frac{2a}{g\rho}}$; g 重力常數) ρ, a; r は (1) 式の場合と同じ. f, ϕ, は (r/a) を變數とする函數にて Lohnstein により與へらる. 第8圖に示すは滴下法の修正曲線である Rayleigh の (2) 式は平滑な曲線であるが, Lohnstein の (3) 式は平滑でない. F. Kohlrausch[55] は兩者を比較し一つの確率的な式を求めた, 全く (3) 式と同じ形式で示され, $G_K=ar\cdot\phi\left(\frac{r}{a}\right)$……(4) の如く第8圖◎で與へられる. Lohnstein の式は滴下法に於て重要なものである. W.D. Harkins, E.C. Humphery[56] が 50 種餘の有機物に就き Lohnstein の式を確める爲め $r/a=0.1\sim1.5$ の範圍で實驗し $2\pi r\cdot a\cdot f(r/a)$…式の函數 f の値は =0.6~1 の間にある事を確めた. 實際上落滴の重量より容量 V を用ふる方取扱の便の事あり. W.D. Harkins, F.E. Brown[57] は $f(r/a)$ の代りに $\phi(r/V^{1/3})$ を代入し半徑 0.009946~1.0028 cm 間の 50 本の端子管を用ひ, ϕ 記號による修正式を求めた, 殊に懸垂量, 落下量を個々獨立に計算したものに B.B. Freud, W.D. Harkins[58] の研究がある, 氣相狀態に細心の注意を拂ひ飽和狀態で實驗した. 蒸發の影響等で相等偏差を來すもので密閉, 開放容器を使用する事により異るものである. 斯く滴下法は比較的確實な方法であるが信賴度高き結果を得るには細心の注意を要す. J. Traube[59] は膠質物質溶液に於ても滴下速度1分に 15 滴以下特に1落滴 20''~30'' 位とすれば毛細管法の結果と, 1~2% 異るのみであると述べてゐるが實際は左程簡單なものでないと思ふ. 其の他 L.J. Weber, J. Traube,[60] Adler[61] の論文にも滴下法の注意すべき諸點が述べてある.

iii) 引離法に就き考察せんに, 古く 1899 に Agnes Pockels[62] の實驗あるも後に Du Nöüy[63] が新な測定器を考案し界面張力~時間の關係を論じてより一般に使用される樣になつた. 最大引離力 W より $W=4\pi Ra$, $R=\frac{R_1+R_2}{2}$ (但し R_1, R_2 は第9圖に示す樣に圓形白金環の內外半徑である)…(5) にて界面張力 (a) を求むれば他の方法によるものと ±30% の誤差あり頗る信賴度が低い. 荷重速度, 蒸氣狀態從つて容器の開放, 非開放による影響は勿論環により原の水平面より引上げられた容量 (V) 等により相當大なる修正を要するもので其の一例に B.B. Freud, H.Z. Freud, W. Harkins, H.J. Jordan[64] の (6) 式の如きものがある. 吸着現象を伴ふ場合は更に複雜となり, 斯る式のみにては表すことが出來なくなる.



第 9 圖

$$a(\text{dyne/cm})=\frac{Wg}{4\pi R}f_1\left(\frac{R^3}{V},\ R/r,\ h^3/V\right)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$ 又は

$$=f_1'\left(\frac{R}{a},\ \frac{R}{r},\ \frac{h}{a}\right)\cdots\cdots(6)'$$ (但し $a=\sqrt{\frac{2a}{g\rho}}$, R, r, V, W, は (5) 式の場合與

へしものにて，g は重力常數を示す).

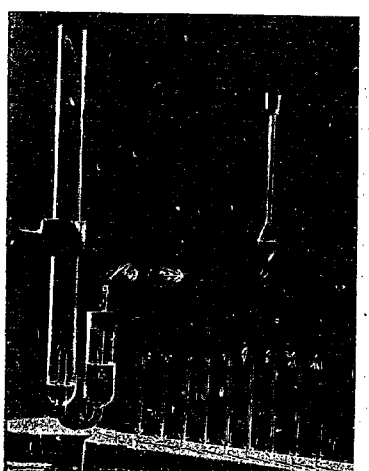
斯くの如く ii) iii) 兩法を比較するに本研究の目的としては…a) 2 桁程度の精度，b) 實驗の迅速，c) 修正法の簡易，d) 取扱ひの簡易 等の條件を考慮に入れ ii) 法滴下法を用ひることに定めた．然るに修正値は各實驗者により上述の如く相當大なる範圍に異る故，標準物質を用ひ，採用實驗と同じ狀態に於て修正項を求める必要がある．ベンゼン，蒸溜水，醋酸を用ひ修正値を實測しつゝ乳化液の界面張力を測定した．

〔3〕 實驗結果に就て

(A) 標準試驗 本研究は國產鉚裝用濾青乳劑の第III章〔1〕節に述べし如き9種の濾液に就き實驗したもので對氣相界面張力 a_a 對ケロシン界面張力 a_K を〔2〕節の滴下法にて測定するに種々修正を要するも其の內，氣相飽和狀態も多大の影響を持つもので濾液は濃度等不明なるも電導度の實驗より判斷するに Clk の $\frac{1}{10}$ N に相當する電導度を持つから相當濃度大なるものであらう．今實驗室內で空氣に露出しつゝ滴下數を測定したから氣化の影響は相當大である．試料によりては此點を相當考慮に入れて實驗する，今簡單に實驗方法を述べる．懸垂滴の重量，容積；落下滴の重量，容積を夫々 G, V; g, v とすれば (1) (2) (3) (4) の如く示し得．

$$G=2\pi a\cdot r\phi_h\left(\frac{r}{a}\right)\cdots\cdots(1)\qquad V=\pi a^2 r\phi_h\left(\frac{r}{a}\right)\cdots\cdots(2)$$

$$g=2\pi a\cdot r\cdot\left[\Phi_h\left(\frac{r}{a}\right)-\phi\left(\frac{r}{a}\right)\right]=2\pi a\cdot r\cdot f\left(\frac{r}{a}\right)\cdots\cdots(3)$$



寫眞第 1

$$v=\pi a^2 rf\left(\frac{r}{a}\right)\cdots\cdots(4)$$ 但し $a^2=\frac{2a}{g\rho}$，a; 界面張力，(C.G.S.) ρ; 密度，g; 重力常數，f; 函數は〔2〕節に論じた如きものである．今試料落下總容積を V_0 とすれば滴數は (5) 式で與へらること明かである．

$$n=\frac{V_0}{v}=V_0/\pi a^2 rf\left(\frac{r}{a}\right)\cdots\cdots(5)$$

若し (5) 式の $rf\left(\frac{r}{a}\right)$=一定 なれば (5) 式は簡單に $n=\frac{V_0}{v}=C\cdot\frac{\rho}{a}$ ……(5)′ 但し C; 常數……となる．今 $f\left(\frac{r}{a}\right)$ の傾向を與へられた界面張力 (a)，密度 (ρ) に對し實驗的に吟味した．

試料; 蒸溜水，ベンゼン，醋酸

使用端子; 直徑 mm	12	10	8	6	4	2
チップ No.	6	5	4	3	2	1

寫眞第1は本研究にチップ直徑 ($2r$) の影響を調べる爲め使用せし裝置を示すもので，二つのコックにより滴下速度を任意に調節し得．界面張力として對空氣，對液の測定に於て其の比重の大小に拘らず使用し得る形狀のチップを備ふ．第4表は各實驗結果を示すもので各番號チップに相當したる滴數を示す．溫度等は可なり不同あり，室內溫度，濕度は特に調節せず實驗した．

第4表 (使用量 (4.87 C.C.)

蒸溜水

No.	直徑($2r$)	滴數(n)	溫度	
6	12 mm	26.1	18.1°C	α=72.7 dyne/cm
5	10	34.4	18.5	ρ=0.998(20°C)
4	8	44.5	20.7～20.6	a^2=14.83 mm^2
3	6	55.6	20.4～20.2	a=0.386 cm
2	4	74.2	20.2～19.2	

ベンゼン

No.	直徑($2r$)	滴數(n)	溫度	
6	12 mm	53.7	18.5°C	α=30.8 dyne/cm
5	10	66.5	18.6	ρ=0.875(19°C)
4	8	87.0	19.5～19.3	a^2=7.19 mm^2
3	6	115.2	19.2～19.4	a=0.268 cm
2	4	161.9	18.5～17.9	
1	2	303.0	18.0～19.1	

醋酸

No.	直徑($2r$)	滴數(n)	溫度	
6	12 mm	80.2	18.4°C	α=29.1 dyne/cm
5	10	86.3	18.5	ρ=1.073(170°C)
4	8	113.8	19.4～19.2	a^2=5.57 mm^2
3	6	149.8	18.7	a=0.236 cm
2	4	218.0	19.1～19.2	
1	2	420.4	17.1～16.8	

試料によつては氣相による氣化影響大にして，滴數が見掛上減少する場合があるから，嚴密な値を計算する事が出來ない．標準値としての界面張力 (α) は理科年表 (1934) より求め且つ各試料は白金に對し接觸角零に近き故 Du Noüy の界面張力器を使用し最大引離力から對空氣界面張力値 α を確めてをいた．第4表右端の如き α 値より夫々 $a=\sqrt{\frac{2\alpha}{g\rho}}$ を求め，蒸溜水，ベンゼン醋酸に對し 0.386; 0.268; 0.236 cm を得た．第4表より先づ $f\left(\frac{r}{a}\right)=1$ とを順次近似法計算により $f\left(\frac{r}{a}\right)$ と $2r$，從つて r/a との關係を求めた．第5表中の ϕ は $\phi\left(\frac{r}{a}\right)=2\pi f\left(\frac{r}{a}\right)$

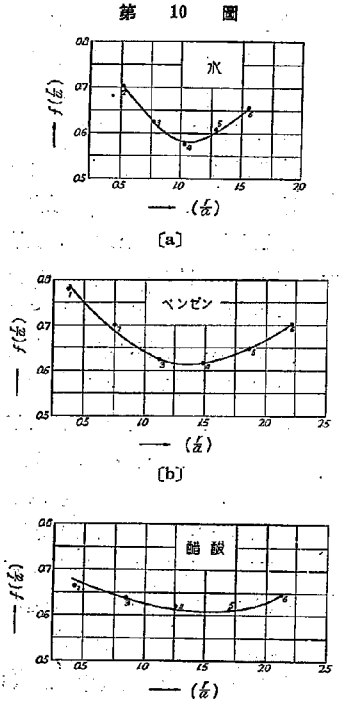
第 5 表

蒸溜水			ベンゼン			醋酸		
直徑($2r$)	r/a	$\phi(r/a)$	直徑($2r$)	r/a	$\phi(r/a)$	直徑($2r$)	r/a	$\phi(r/a)$
12 mm	1.55	4.14	12 mm	2.23	4.22	12 mm	2.54	3.68
10	1.29	3.84	10	1.87	4.08	10	2.12	4.08
8	1.04	3.66	8	1.49	3.90	8	1.69	3.88
6	0.78	3.94	6	1.12	3.94	6	1.27	3.92
4	0.52	4.42	4	0.75	4.20	4	0.85	4.04
			2	0.33	4.48	2	0.47	4.18

にて單に計算形式上使用したものである.

第5表を圖示すれば第 10 圖〔a〕〔b〕〔c〕の如くなる. $f\left(\frac{r}{a}\right)$~$\left(\frac{r}{a}\right)$ 曲線を見るに〔a〕〔b〕〔c〕共に f は 0.8 以下にて $\left(\frac{r}{a}\right)$ の增加に伴ひ f は一旦減じ最小點を通り約 0.65 位に至る,

第 10 圖



〔a〕 〔b〕 〔c〕

3者共〔2〕節に述べた傾向に類似してゐるが今各,の値を第 8 圖内に記入すれば大體實驗誤差範圍内にて從來の研究の f の範圍内にあるも, ベンゼンの場合は殊に $\left(\frac{r}{a}\right)$ の小なる値に於て滴數 n が少く測定されてゐることが分る. 之れは開放狀態での試驗の爲め相當蒸發の影響が表れてゐると推測し得, 今左程嚴密な實驗に非ざれば大體第10圖〔a〕〔b〕〔c〕の $f\left(\frac{r}{a}\right)$~$\left(\frac{r}{a}\right)$ 曲線より判斷し…… $\frac{\partial f\left(\frac{r}{a}\right)}{\partial\left(\frac{r}{a}\right)}=0$…… で與へられるチップを試料に對し撰定し,且つ $f\left(\frac{r}{a}\right)_{\min.}=0.6$…… を用ふれば實用上差支へ無き程度に界面張力値を求め得. 斯くするも常に注意すべき事は試料液體が吸着性物質を含有し界面張力 (α) が時間的に異る場合にて, 自ら別個の問題である. 以上の豫備實驗と乳化溶液對空氣界面張力 (α) の値からして推察し, チップ直徑; 6 mm~8 mm 程度のものが適當と考ふるも本研究以外多數の工業的研究と比較を便にする爲め直徑 10mm のチップを使用するに定め〔1〕節に述べた"ヒリヤ~ピペット" (Hillyer Pipett), トラウベ滴數計 (Traube Stalagmometer) を便宜上用ひ乳劑濾液の界面張力, 更に乳化溶液の研究に資した. 乳化溶液に對する研究は福島氏の報告によるも乳化實驗の標準を定める爲め第一に試みた乳劑濾液の實驗値を述べる. 試料は粘性研究に使用したものと同一方法により作成したものである.

(B) 對空氣界面張力 (α_a) $2r=10$ mm の Traube 滴數計 No. 1, No. 2 を用ひ標準とし, 蒸溜水 ($\alpha\fallingdotseq72$, 20°C) を用ひ上述の如く滴數を比較す, 實驗の精度を高める爲め溫

度を 20°, 30°, 40°C; の3種とし恒温水槽内で實驗する.

第 6 表

滴下法による對空氣界面張力 (α) (5回測定による)

水 (No. 1 管)

温度	滴数	時間
20°C	29.48±0.10	4′ 7″
30°C	30.1 ±0.10	3′ 30″
40°C	30.7 ±0.10	3′ 6″

水 (No. 2 管)

温度	滴数	時間
20°C	29.22±0.08	3′ 29″
30°C	29.85±0.10	2′ 17″
40°C	30.5 ±0.10	2′ 5″

ケロシン (No. 1 管)

温度	滴数	α;dyne/cm	時間
10°C	65.36±0.14	27.3	8′ 20″
20°C	67.13±0.07	26.4	7′ 35″
30°C	69.23±0.17	25.4	6′ 30″
40°C	70.6 ±0.10	24.6	6′ 3″

ベンゼン (No. 2 管)

温度	滴数	α;dyne/cm	時間
10°C	59.6 ± 0.1	31.9	2′ 48″
20°C	62.4 ± 0.1	30.2	2′ 31″
30°C	65.2 ± 0.1	28.7	4′ 48″
40°C	67.3 ± 0.1	27.5	2′ 5″

A 號 (No. 1 管)

温度	滴数	α;dyne/cm	時間
20°C	43.05±0.1	50.5	4′ 17″
30°C	44.0 ±0.2	49.4	3′ 29″
40°C	45.76±0.14	47.5	3′ 5″

B 號 (No. 2 管)

温度	滴数	α;dyne/cm	時間
20°C	39.74±0.15	54.2	2′ 35″
30°C	41.30±0.15	52.2	2′ 13″
40°C	41.76±0.15	51.8	2′ 3″

D 號 (No. 1 管)

温度	滴数	α;dyne/cm	時間
20°C	58.3 ± 0.15	37.4	4′ 42″
30°C	58.5 ± 0.15	37.3	4′ 0″
40°C	46.9 ± 0.1	35.9	3′ 37″

C 號 (No. 2 管)

温度	滴数	α;dyne/cm	時間
20°C	56.22±0.18	38.4	3′ 43″
30°C	57.0 ±0.18	37.9	2′ 21″
40°C	60.18±0.12	36.0	2′ 5″

G 號 (No. 1 管)

温度	滴数	α;dyne/cm	時間
20°C	43.6 ± 0.2	49.8	4′ 10″
30°C	45.0 ± 0.1	48.3	3′ 36″
40°C	46.1 ± 0.15	47.3	3′ 9″

H 號 (No. 2 管)

温度	滴数	α;dyne/cm	時間
20°C	44.9 ± 0.15	48.0	2′ 37″
30°C	45.9 ± 0.1	46.9	2′ 18″
40°C	47.0 ± 0.15	46.0	2′ 6″

I 號 (No. 1 管)

温度	滴数	α;dyne/cm	時間
20°C	58.5 ± 0.1	37.1	4′ 20″
30°C	61.3 ± 0.1	35.5	3′ 31″
40°C	65.5 ± 0.2	33.2	3′ 6″

試料; 蒸溜水, ケロシン, ベンゼン, 乳劑濾液7種 (A, B, C, D, G, H, I 號). とし第7表に温度, 滴數, 所要時間を示す. 表中の滴數は各 4, 5 回の平均を示す. 滴數誤差程度をも記入す. 使用液量 5 c.c. とする.

今蒸溜水使用の場合の滴數，a，密度及び試料溶液使用の場合を夫々，n_w, a_w, ρ_w；n，a，ρ，とすれば (5) 式より

$$\frac{n_w}{n}=\frac{a^2 f\left(\frac{r}{a}\right)}{a_w^2 f\left(\frac{r}{a_w}\right)}=\frac{a}{\rho},\ \frac{\rho_w}{a_w}\cdot\frac{f(r/a)}{f(r/a_w)}$$

$$\therefore\quad a=a_w\frac{\rho}{\rho_w},\ \frac{n_w}{n}\cdot\frac{f(r/a_w)}{f(r/a)}\qquad\cdots\cdots(6)$$

を得，各試料の密度 (ρ) は第7表の如く，ケロシン，ベンゼン以外は本章の如き滴下法による精度以内にては蒸溜水と略同一と見做して差支へない．

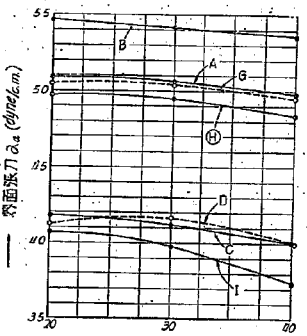
第6表に於ける (a_a) は (6) 式に於て $f\left(\frac{r}{a_w}\right)\Big/f(r/a)=1$ とせるものにて，乳化溶液と見做し得る濾液の (a_a) は大體 55, dyne/cm～37 dyne/cm の程度であることが實測された．後に修正項を用ひた場合を述べる．第 11 圖は第 6 表より求めた a_a～温度關係を示すもので各試料共に温度上昇に伴ひ…a_a は減少せるも直線的に簡明には現れてゐない，吸着等の影響であらう．唯乳化操作時に於ける (a_a) の減少する傾向を推察するに役立つ．

第 7 表 (I) (ρ; 比重)

温　度	ケロシン	ベンゼン
10°C	0.832	—
20°C	0.825	0.878
30°C	0.818	0.870
40°C	0.810	—

第 7 表 (II) 濾液比重 (ρ)

試料名	A	B	C	D	G	H	I
ρ (30°C)	1.011	1.012	1.014	1.015	1.012	1.012	1.011



第 11 圖

尙ほ參考の爲めに No. 1 號直徑 0.03733 cm, No.2 號直徑 0.03558 cm の毛細管を使用し吸上高 (h) より界面張力 (a_a) を計算したが接觸角 (θ) による影響の爲めか滴下法とは同様の傾向に增減してゐるが絕對値は $\theta=0°$ と假定せる爲め小さい，勿論一旦毛細管に液を滿し實驗を開始せる場合と水平位置より液面を上昇せしむる場合とにより實測値は異るもので殊に後者に誤差の原因多し．實測値は之を省略す．

(C) 乳劑の界面張力　界面張力實際問題の一つとして乳劑其のもの＞滲透性を考察する場合，濾液より乳劑其のもの＞界面張力が問題となるが未だ乳劑の界面張力と濾液と如何なる關係にあるや未だ研究されたものがない．此問題は薄膜の問題と關連し大いに興味あるものである，分散系の分散質濃度 (φ) と表面エネルギーの問題として詳細に論ずべきであるが今の場合 Du Noüy 法により測定した乳劑及び濾液の界面張

力 (α) を報告する. 最初原乳劑をとり濾液を適當に混入し稀釋濃度 0; 20; 40; 60; 80; 100% として測定せしも各種稀釋濃度に於て大差なかつたから今 0; 100% の場合のみの値を掲ぐ. 勿論時間的經過及び空氣相の狀態により薄膜の硬化の影響當然あるも本實驗では唯白金環を試料に浸し, 引離了るまで 10 秒程度にて最大引裂が生ずる樣にした. 各試料 10 回の平均値である. 大體±2% 程度で一致する. 勿論 2% とは各試料のその狀態に於ける實驗値間の誤差で眞の界面張力値に對してゞはない. 將來研究を要す.

第 8 表 鋪裝用瀝靑乳劑及び濾液の界面張力表 (dyne/cm)

試料名 / α_a又はα_K	Du Noüy 法による		對空氣(滴下法)		對ケロシン (滴下法)	
	乳劑	濾液	無修正値 (20°C)	修正値 (20°C)	無修正値 (20°C)	修正値 (20°C)
A	44.9 (17.6°C)	44.9 (18°C)	50.46	50.8	11.68	11.8
B	45.0 (19.4°C)	47.8 (19.5°C)	54.23	54.6	11.68	11.8
C	40.1 (18.5°C)	39.2 (18.2°C)	38.4	41.7	流出	
D	39.5 (17.5°C)	41.0 (18.0°C)	37.43	41.2	〃	
G	47.7 (18.7°C)	45.9 (18.5°C)	49.8	50.5	10.52	10.7
H	46.7 (18.6°C)	45.4 (18.5°C)	48.0	49.7	9.68	10.0
I	38.6 (18.°C)	38.4 (17.7°C)	37.1	40.7	5.27	6.12*

* Lohnstein, 修正極限以上

第 8 表左側は Du Noüy 法による實驗値を示すもので表に明かなる如く乳劑濾液の界面張力は大體之と同じ程度のもので乳劑の界面張力は主として (薄膜實驗にては) 分散媒の α_a の値により定る事が分る. 斯る特性は相の轉換に利用し得るものである. 深く單獨の問題としても研究に値するものである. 第 8 表右側は滴下法による對空氣對ケロシン界面張力に〔3〕節の (5)式の f ～函數の修正をせるものとを對照せるものである, 場合により 10% 位修正値の方大なることがある.

(D) **對ケロシン界面張力(α_K)** 第 II 章〔1〕,〔2〕節等に述べた樣に對ケロシン界面張力を測定する必要がある (A) の場合と全く同樣であるが Traube 滴數計の代りに Hillyer ピペットを用ふ. 使用液量 5 c.c. 端子直徑 $2r=10$ mm 各實驗は 3 回試み ±2% の誤差にて滴數を定めた. (5) 式にて計算するも密度 ρ の代りに界面をなす 2 液の密度 ρ_1, ρ_2 の差 $\rho'=\rho_1-\rho_2$ を用ふ. 實驗溫度; 20°C, 30°C, 40°C 溫度上昇に伴ひ界面張力 (α_K) も大體直線的に減少してゐる. 唯對ケロシンの場合は $\left(\frac{r}{a}\right) \geq 1.5$ にもなり f 函數を定める豫備試驗又は Lohnstein 等の制限以上にもなることがある注意を要す.

實驗結果は第 9 表に示す C, D, 號は殊に $\left(\frac{r}{a}\right)$ の値が大となり卽ち流出狀態を示し實驗不可能となる爲らく, 5.27 dyne/cm (1 號) 以下の小なるものである. 斯くして一般國產瀝靑乳劑濾液にては對ケロシン界面張力は 11.8～6 dyne/cm の程度なるを知る.

第 9 表 濾液～ケロシン界面張力 (α_K) 使用液量 5c.c.

試料名	滴数			α_K		
	20°C	30°C	40°C	20°C	30°C	40°C
A	25.4	27.8	30.5	11.68	11.11	10.52
B	25.4	27.4	29.2	11.68	11.32	11.01
C	流出	〃	〃	流出	流出	流出
D				〃	〃	〃
G	28.2	29.8	32	10.52	10.32	9.35
H	30.5	33.2	35.13	9.68	9.30	9.11
I	56.2	59.3	62.3	5.27	5.19	5.13

但し 7 dyne/cm, 修正値＝非ラズ

以上の如くして嚴密な界面張力の絕對値は別として乳劑及び濾液（乳化溶液）の界面張力に就き一般的傾向を明かにすることが出來，新なる乳化溶液研究に參考とすることが出來た．以下其の主なるものを列擧すれば

i) 界面張力測定法として滴下法を使用するに定め，其の理由を詳論した．

ii) 滴下法に於ける誤差の原因を考察し端子直徑との關係を實驗的に定めた．

iii) 瀝青乳劑濾液の對空氣 (α_a) 對ケロシン (α_K) 界面張力を測定し下記の範圍にあることを明かにした．(溫度大略 20°C)

α_a；54.23～37.1 dyne/cm (無修正値)．54.6～40.7 dyne/cm (修正値)

α_K；11.68～5.27 dyne/cm (無修正値)．11.8～6.12 dyne/cm (修正値)

iv) 乳劑の界面張力 (α_a) は Du Nyüy 法によれば主として分散媒界面張力 (α_a) に左右され兩者略ゝ一致す．

v) 濾液の對空氣，對ケロシン界面張力共に溫度上昇に伴ひ減少し乳化操作時に於ける傾向を明かにした．

以上の如くなるも吸着現象に對する時間的經過，氣相の濕度等ゾル溶液に對し考慮に入れるべき問題を取殘したが瀝青乳劑に於ける界面張力の趨勢を明かにすることが出來た．Traube 滴數計 Hillyer ピペットの說明，乳化溶液の界面張力～濃度の關係等は福島氏の報告（第 II 部）を參照されんことを望む．

以上第 I～IV 章にて瀝青乳劑を參照しタールのアスファルトに對する吸着現象（乳化作用と一致する）の差異，及び乳化溶液の乳化力に關連せる諸性質を明かにした．結論は後章に述べる事とし，先づ次章に試製タール乳劑の特性を全く新しい立場より考察實驗し組織，構造を明かにした各種の實驗結果を述べる．

V. 試製タール乳劑の二三の性質に就て

〔1〕 概　說

第 I～IV 章に至るタール，アスファルトの電媒恒數の實驗及び濾液の乳化に對する實

際上の性狀を明かにする事が出來，一方福島氏（第 II 部）は各種の石鹸類，樹脂石鹸等其他 20 種以上の乳化劑として可能性あるものをとり其の乳化作用に對する溶液の性質は勿論化學的分析等を行ひ一方使用タールの鋪裝用としての試驗等を詳細に行ひ，八幡製鐵所骸炭爐タール〔I〕，東京瓦斯石炭爐タール〔T〕の中，乳劑製造用として適當なるものを撰定し第 II 章に述べた事項により乳化溶液の濃度，水素イオン濃度を定めハーレル機〔H〕を使用し乳化操作を各種の組合せの下に行ひ，一方乳化操作を加へた乳劑に對しては貯藏安定度，骨材に對する分解性骨材被膜再乳化試驗等鋪裝用材料としての必要な試驗を行ひ其の品質を判定す．同時に製作 1 週後，2 週間後と順次貯藏安定寫眞をとり 3 ケ月程度は充分使用に耐える優秀なものを作り得，更に此後乳化劑安定劑に如何なる研究をすれば更に優秀なものを得るやを見極める事が出來た．之等製造に關する研究は福島氏によるもので氏の詳細な報告に俟つ事とする．一方試製タール乳劑の性狀組織を明かにする爲め其の一二のものに就き膠質化學的に研究する必要がある．著者の試みたアスファルト乳劑の性狀と比較し其の差異，類似點を明かにする．

以下本章に於ては主として斯る見地から基本的性狀を下記の各項により研究した，其の內二三の特性に就き旣に著者はアスファルト乳劑に就て研究發表した，未發表のものも追て發表の豫定なれば理論的內容，實驗方法の精度等は該論文[65]を參照されん事を希望す．

i) タール乳劑の分散度

ii) タール乳劑の水素イオン濃度に關する性狀

iii) 回轉圓筒法による異常粘性係數

iv) 電氣泳動實驗

試製タール乳劑中本研究に使用せるものは下記第 10 表に示す如きものである．HDI 號は著者の一人なる福島氏（第 II 部）の記號にて，八幡製鐵所〔I〕の D 號タールを用ひ，ハーレル〔H〕機にて乳化操作を行ふを意味す．

第 10 表　HDI 號 IV

ハーレル機，回轉速度，1800r.p.m.（タール 90%＋アスファルト 10%）：乳化溶液＝1:1
溫度；タール，乳化溶液 110°C，98°C

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
乳化劑 %	0.5	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0
安定劑 %	0.5	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0
ベントナイト%	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5
KOH %	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
P_H	12.32	12.33	12.30	12.25	12.61	12.37
發泡	無し	無し	無し	無し	小量有り	小量有り

乳化劑としてはモノポール石鹸を使用したもので貯藏安定度は寫眞第2の〔A〕,〔B〕,〔C〕,〔D〕,〔E〕に一例を示す如く高さ約 35 cm 直徑約 3.2 cm の目盛圓筒による沈降量より判斷するものである.

各寫眞に就き夫々の製造後の日數を示せば…24 時間, 2 週, 3 週, 4 週, 5 週後のものにて; 寫眞左より No. 1; No. 2;…No. 6 號の順序である. 第10表のものは未だ安定劑として沈降量防止を主眼としてゐない, 且つタールの比重大なる爲め沈降量比較的多く, 分離層も可なり現れてゐる. 然れども 5 週目のもの>如く分離層可なり大なるものも必ずしも乳劑の破壞せるものでない. 後節分散度の實驗に明かなる如く更に長期間貯藏し約 2 ケ月後のものを攪拌し顯微鏡寫眞をとるも乳化狀態は完全に保つてゐる. 寫眞第3は試製タールの碎石に對する性狀を示す一例として擧げたもので石灰碎石 (DIN 3; 徑 0.6~2 mm) に對する被覆試驗にて各試料の上部に被膜せるものを示す. 寫眞中 7_2 とあるはタール乳劑と碎石とを混和し2時間後に於て水にて充分洗滌せるもので 7_3 とあるは被覆完成せるものにて試製タール乳劑の被覆能力を推測することが出來る.

此等試製タール乳劑の工學的試驗結果は龜島氏が詳細報告する, 第II部を參照され度し.

〔2〕 **タール乳劑分散度に就て**

(A) **試製タール乳劑に就て** 著者は瀝靑乳劑の分散度に就て詳細[66]に論じ, 安定度, 分解値との相互關係をも考察し一般的な分散公式を發表した, 即ち粒子の半徑 (r) と ($r+\Delta r$) の間にある粒子數 (ΔN) と單位容積中の粒子數 (N) との間に下記 (1) 式の如き關係あるを明かにした.

$$\Delta N = CNe^{-\frac{4\pi}{kT}\left(-\gamma_{AB}+\frac{2\pi d\sigma^2}{K}\right)\times r^2}\Delta r \quad \cdots\cdots(1)$$

$$= \frac{4\beta^3}{\sqrt{\pi}} Ne^{-\beta^2 r^2} r^2 \Delta r \quad \cdots\cdots(1)'$$

(但し; k: Boltzmann 常數, T: 絕對溫度, γ_{AB}; 分散質分散媒間界面張力, K: 假定せる電氣2重層間電媒恒數. d: 假定せる2重層間の厚み. σ: 界面單位面積當りの電荷…を示す). 且つ分散が (1)′ 式の如く示さるれば粒子の確率直徑 D_w 及び平均直徑 D_0, 間に (2), (3) 式の關係あることを知つた.

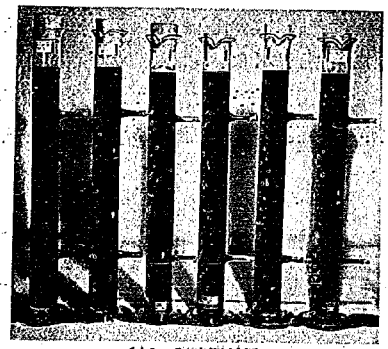
$$D_w = 2r_w = \frac{A}{\sqrt{-\gamma_{AB}+B\zeta^2}} \quad ; A, B \text{ 常數, } \zeta \text{ 動的界面電位差, } 2r_w = 2/\beta \quad \cdots\cdots(2)$$

$$D_0 = \frac{\Sigma d.\Delta N_d}{\Sigma N_d} = 1{,}127\ \overline{D}_w \quad \cdots\cdots(3)$$

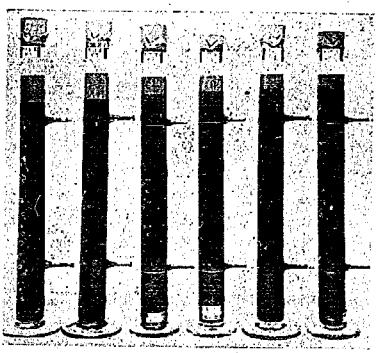
D_w=實測分布に對する最大濃度を與ふる粒子直徑 (第2確率直徑)

以上の如き記號を用ひしに $\overline{D}_w = 1 \sim 5\mu$ 程度にて全く (1) 式に一致する分布を示した. $\overline{D}_w$ の小なるものは安定度大であつた. 今試製タール乳劑も果して斯る分散式に從ふや又

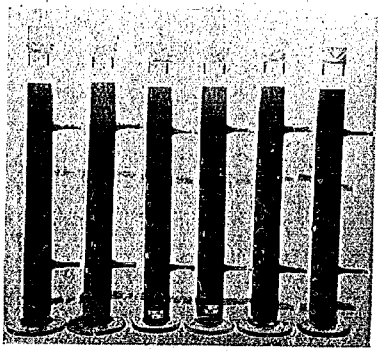
寫眞第2



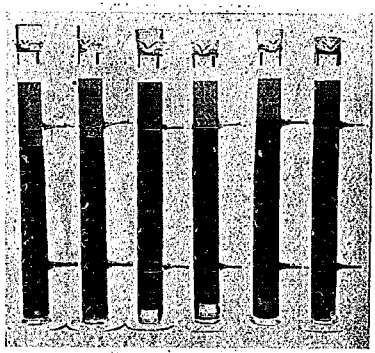
〔A〕 24時間靜置



〔B〕 2週間靜置

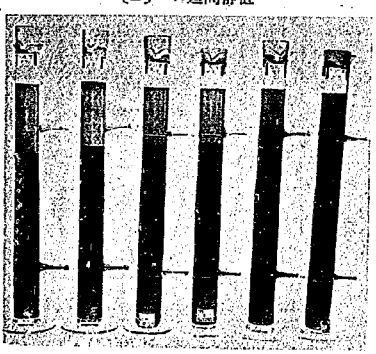


〔C〕 3週間靜置

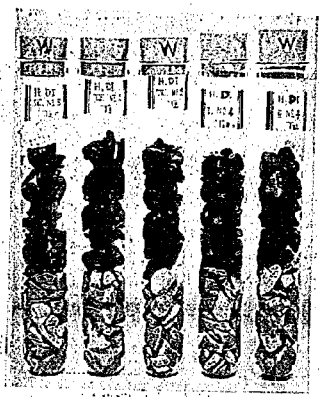


〔D〕 4週間靜置

其の確率直徑は如何なる程度のものなるやを吟味することは頗る重要なことである．今前論文と全く同一の方法を使用し試製約2ヶ月後のものに就き其の顯微鏡寫眞より分布を調べた．寫眞第4〔A〕〔B〕は試製乳劑の內にて〔A〕; HDI, IV號 No. 3, 〔B〕; HDI, IV號 No.5…を示す．各粒子の形狀は瀝靑乳劑の場合の如く眞圓ならざるものあるも比較的良好に分散せるもので後述ドイツ製のもの



〔E〕 5週間靜置

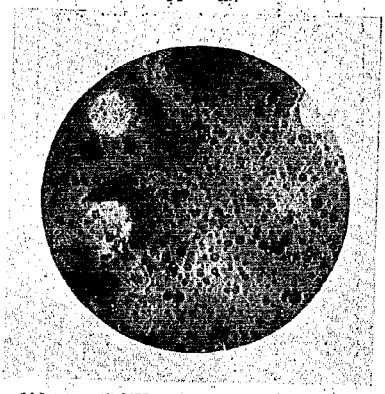


寫眞第 3 骨材被覆狀態

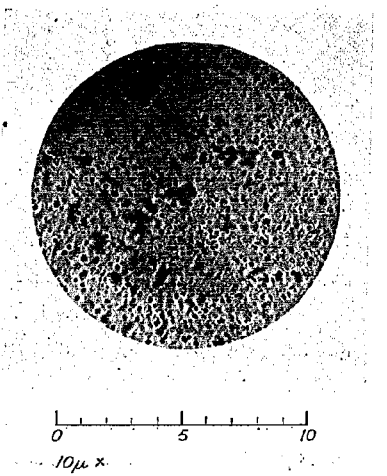
と對照すれば一層其の良好なるを知る．一般にタール乳劑は分散質形狀がアスファルト乳劑程規則正しくない．

第 12 圖は粒子分布曲線にて橫軸に粒子直徑をとり縱軸に粒子直徑差 1μ 間にある粒子

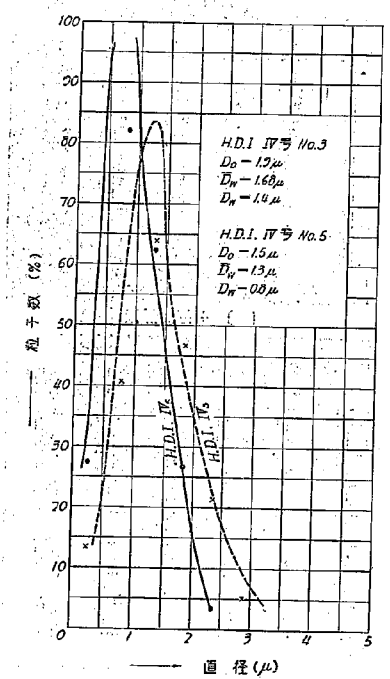
寫 眞 第 4



〔A〕タール乳劑HDI, IV 號 No. 3 倍率×480



〔B〕タール乳劑HDI; IV 號No5倍率×480

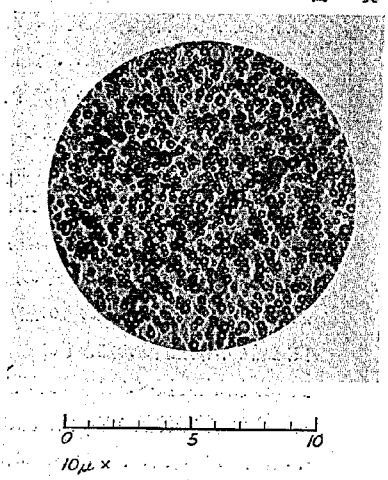


第 12 圖

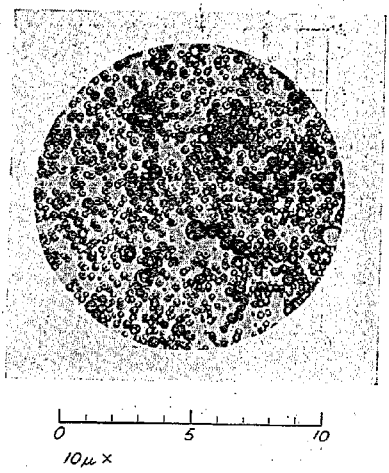
數 % を示す.

全體の傾向は全く (1) 式の如き分布を示し從つて平均直徑 D_0 より確率直徑 $(\overline{D}_w)$, 第2確率直徑 (D_w) を實測曲線より求めることが出來る. 第 11 表に之を示す, 表に示す如く

寫　眞　第　5



[A]. Vialit 55; アスファルト乳劑×500



[B]　Colas; アスファルト乳劑倍率×500

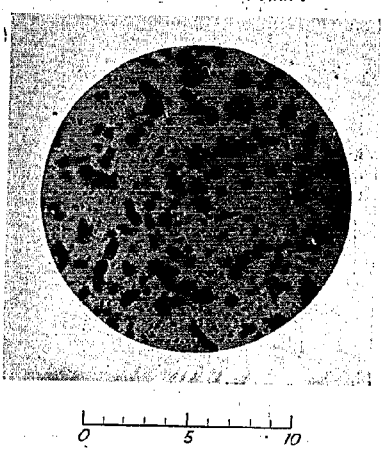
第 11 表　試製タール乳劑分散度

	平均直徑 (D_0)	確率直徑 $(\overline{D}_w)$	第2確率直徑 (D_w)
HDI, IV 號 No. 3	1.9 μ	1.68 μ	1.4 μ
〃　No. 5	1.5 μ	1.3 μ	0.8 μ

タール乳劑には比較的粒子の大なるもの混入せる如く, $\overline{D}_w > D_w$ にて平均値 D_0 を基とせるものが瀝青乳劑の場合に比して大である. 乳化直後のものと比較する必要がある.

比較對照の爲め外國製乳劑の二三の分散度を玆に示す.

(B) 外國製タール乳劑に就て　外國製タール乳劑の一例として, ドイツ Magma 乳劑を得たので分散度を吟味した, 同時にア

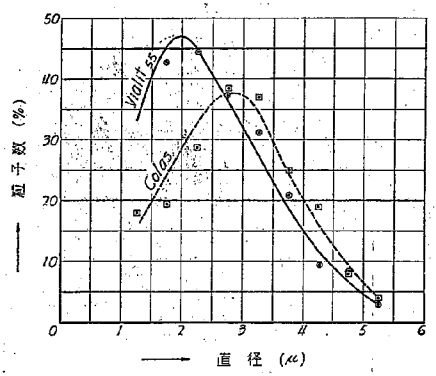


[C]　Magma; タール乳劑倍率×400

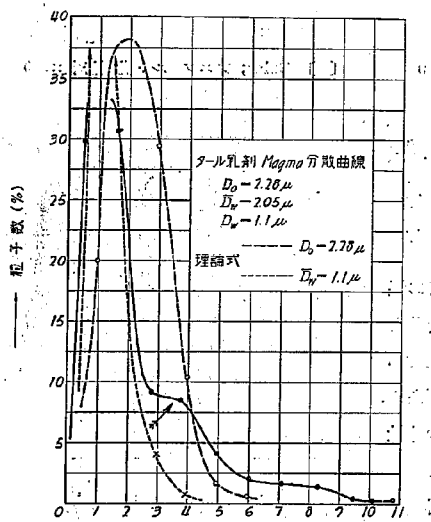
スファルト乳剤として英國 Vialit 55, Colas 等を得たので序に此等3種のものに就き述べんに，實驗方法全く同一であるから結果のみを以下に簡單に述べる．

寫眞第5の〔A〕，〔B〕，〔C〕は，Vialit 55, Colas, Magma の顯微鏡寫眞を示す．

アスファルト乳劑なる Vialit 55, Colas の粒子は明瞭に球形をなし活動せるかの如く見え頗る安定なる分散をしてをり可なり優秀なるものと推察し得る．實際粒子分布曲線を研究するも第13圖の如く全く第(1)式に從ひ分散してをり，確率直徑 ($\bar{D}_w$) 第2確率直徑 ($D_{w'}$) も求められ其の差はタール乳劑の場合の如く大でない．然るに第5圖〔c〕の如くタール乳劑は粒子の形狀不規則にて，寧ろ球狀のもの無く安定悪く中に連鎖せる如きものあり，更に分布曲線を調べるに及び其の感を深めた．粒子總數 1067 個に就き平均直徑 D_0 を求めた．$D_0=2.28\,\mu$ にて相當小さきものなるも分散は第14圖に示す如く悪く(1)式よりの偏差も頗る大きい．第14圖は粒子分布曲線を示すもので圖－－－曲線は實測値 D_0 を基とし，…曲線は $D_{w'}$ を，$\bar{D}_w$ と置きし場合の(1)式の示す理論曲線にて其の實測値と如何に異るかを知る．第12表に此等外國製タール，アスファルト乳劑の平均直徑 (D_0) 等を表示する．



第 13 圖



第 14 圖

第 12 表

		平均直徑 (D_0)	確率直徑 ($\bar{D}_w$)	第2確率直徑 ($D_{w'}$)
タール乳劑 (Magma)		2.28 μ	2.05 μ	2.15 μ
アスファルト乳劑	Vialit55	2.84 μ	2.52 μ	2.25 μ
	Colas	2.94 μ	2.61 μ	2.95 μ

以上の研究により試製タール乳劑は2ヶ月後に於て相當沈降量あるも主として分散質の比重及び分散媒粘性係數 (η_0) によるもので本實驗試料の如き程度のものにては當然のことであるが乳劑粒子の安定度は相當大にて未だ分解傾向を示さず,. 其の粒子分布法則はアスファルト乳劑の如き理論式 (1) に從ひ, 確率直徑 ($\bar{D}_w$), 第2確率直徑 (D_w) 等をも求めることが出來た. 一外國製タール乳劑とも分散を比較した.

〔3〕 乳化溶液, タール乳劑, 濾液の水素イオン濃度 (P_H) に就て

(A) 一般的考察　鋪裝用瀝靑乳劑の水素イオン濃度 ($_EP_H$) 及び濾液の $_UP_H$ の絕對値と其の差 ($_EP_H - _UP_H$) に關しては既に第 II 章〔3〕節に論じ其等の研究を基とし乳化溶液水素イオン濃度 ($_SP_H$) を定めたが今タール乳劑に於て兩者が如何なる關係にあるや見る爲め先づ乳化溶液の水素イオン濃度 $_SP_H$ を測り, タール乳劑を製造し乳劑の水素イオン濃度 $_EP_H$ を測り, 更に濾液の $_UP_H$ を測る, 一般に

$$_SP_H > {}_EP_H > {}_UP_H \quad \cdots\cdots (1)$$

の關係あり且つ相互の差

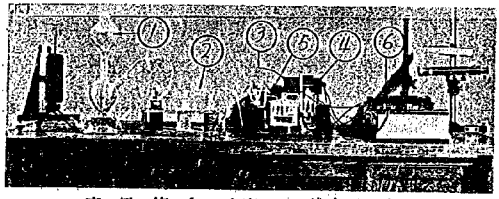
$$_SP_H - {}_EP_H = \Delta_S P_E \quad \cdots\cdots (2)$$

$$_EP_H - {}_UP_H = \Delta_E P_U \quad \cdots\cdots (3)$$

の兩差は分散質胞子 (Micelle) 周圍のアルカリ吸着による OH' イオン濃度〔OH'〕の變化と單なる乳化溶液又は濾液の OH' イオン濃度, 〔OH'〕, との關係を示す重要な關係である. 詳論は別論文[67]に讓る.

試料は〔1〕節に述べた HDI, IV 號を標準としタール 90% +アスファルト 10% の混和物を用ひ且つ安定劑の影響を考察する一方便として乳化溶液を NO. A, NO. B の2種とした, 兩者共主成分は HDI, IV 號 No. 4 と同じもので下記の如く配合した. 乳劑は〔1〕節に述べた方法にて分散機, 分散質同量を用ひ浮化操作を行ふ. 便宜上製造タール乳劑をも No. A, No. B と呼んだ.

(B) 實驗方法　實驗方法に對する考察は本報告には省略するも採用せし方法を簡單に述べる. 寫眞第 6 は使用せし水素イオン濃度測定裝置を示すもので白金黑せる



寫 眞 第 6　水素イオン濃度測定裝置

乳化溶液	No. A	No. B
乳化劑	2.0%	2.0 %
ベントナイト	1.0%	1.0 %
KOH	1.5%	1.5 %
珪酸ナトリウム	—	1.0 %
カセイン	—	0.4 %
ゼラチン	—	0.25%

白金電極と Michaelis の容器を用ひた．寫眞第 6 の ③ は之を示す．①②…水素發生部，④⑤⑥…電位差計其の他を示す．乳劑に白金電極を使用することは相當考慮すべきであるが測定する事が出來た．乳化溶液乳劑もゾルであるから P_H 實驗には平衡狀態に達する傾向に注意を要す．前記乳化溶液 No. A の P_H の測定にもゾルの性質が明瞭に表れてゐる．

實驗は，水素～飽和甘汞電極を用ひ，水素瓦斯が水素極で平衡になつた時の兩端子電位差 (E) を電位計で測り下式 (4) より水素イオン濃度を定む，電極の組合せは…(5) の如く之を簡單に表示することが出來る．

$$\frac{E-\text{電位}(B+C)}{0.00019(20°C)}=P_H=\log\frac{1}{(H)} \quad \cdots\cdots(4)$$

$$\underbrace{P_t\cdot H_2(\text{atm.})}_{\text{水素極}}\Big|\ \text{試料溶液}\ \Big|\ \underbrace{KCl\ \text{飽和寒天}\ 3\%}_{B}\ \Big|\ \underbrace{KCl\ \text{飽和},\ Hg_2Cl_2}_{\text{飽和甘汞單極}}\Big|\ \underbrace{Hg}_{C(+)\text{極}} \quad \cdots\cdots(5)$$

$\underbrace{\qquad}_{(-)\text{極}}$

水素通過時間は 20 分を標準とする．

(C) 實驗結果　先づ乳化劑溶液に對するものを擧げんに下記の如し．

No. A 號；最初電位差 0.981 V 更に水素通をすることにより增大し 0.993 V (40 mm) に至り遂に 1.0017 V に達す，此際乳化溶液を濾過し電位差 (E) を測定すれば 1.071 V を示し一定となる．

No. B 號；No. A に比し速に電位差一定となる，且つ兩者を見るに No. B の方清澄で No. A には石鹼の混濁が現れてゐる．

試製タール乳劑より濾液を作るに乳劑製作後 2 日に於ては No. A 乳化液使用のものは No. B 使用のものに比較し濾過容易であるが一週間後に於ては兩者共に同じ程度となる．斯る傾向より乳劑は乳化操作後一定期間は安定作用が進行するもので其の進行速度は種々乳化劑安定劑の條件により異るものである，其れ故本實驗用試料として乳化後一週間目に濾液を作る．第 13 表は斯くして得たる濾液，乳劑等に對する P_H 實驗値である．第 14 表より ${}_sP_H$, ${}_EP_H$, ${}_vP_H$ 間の關係を考察するに，

第 13 表

		No. A	No. B
乳化溶液	E(volt)	1.0017	0.9987
	${}_sP_H$	13.10	13.02
	t(°C)	15.70	16.40
乳劑	E(volt)	0.9727	0.9558
	${}_EP_H$	12.56	12.27
	t(°C)	16.50	16.50
濾液	E(volt)	0.9564	0.9329
	${}_uP_H$	12.30	11.90
	t(°C)	15.00	15.40

${}_sP_H > {}_EP_H > {}_vP_H$……にて，(1) 式を滿足す，且つ Δ_sP_E, Δ_EP_U は第 13 表の如くなり，$\Delta_sP_E > \Delta_EP_U$ ……なることを示してゐる．斯る事實は濾紙にて濾液を作る場合には粒子に密接に接近せる部分も濾過作用の際に分離され濾液の水素イオン濃度として測定される．卽ち ${}_vP_H$ が乳劑內の純分散媒部分の ${}_vP_H$ より見

掛上大きく測定されるものと推測されるが其の量的關係は相當複雜である．此處に粒子に OH' イオンの吸着のあることを明瞭に示す，吸着による粒子イオン層の OH' イオン濃度增加と實測される P_H の間に如何なる關係あるか頗る重要なものである．今 $\Delta_S P_E$ に對し Donnan[68]平衡式を假りに適用し電位差を計算すれば，

$$\Delta_S P_E \propto \log \frac{[\overline{OH'}]_S}{[\overline{OH'}]_E}$$

但し $[\overline{OH'}]_S$; 乳化溶液の OH' イオン濃度平均値

$[\overline{OH'}]_E$; 乳劑の平均 OH' イオン濃度と見做すべきものを示す．

$\Delta_S P_E$ より今 Donnan 電位差 (ε) を (6) 式にて求める，

$$0.0588 \times \log \frac{[\overline{OH'}]_S}{[\overline{OH'}]_E} \ (23°C) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

勿論斯る ε は假定的のものである．乳劑安定に關係を有するものとして別に測定される動的界面電位差 (ζ) とは一般に一致しない $(\varepsilon \neq \zeta)$ が (6) 式により ζ の値を推察し得るとし實驗値を代入して計算す．斯くして求めた電位差は第 15 表の如く；No. A 號，No. B 號で夫々 31m.v，44 m.v，を得．

第 14 表

$\Delta_S P_E$	
No. A	0.54
No. B	0.75
$\Delta_E P_U$	
No. A	0.26
No. B	0.37

第 15 表

	No. A	No. B
$\frac{[\overline{OH'}]_S}{[\overline{OH'}]_E}$	3.5	5.7
電位差	31 m.v	44 m.v

一般乳濁液の分散粒子動的界面電位差 (ζ) の程度の如きものである．後章電氣泳動實驗値と比較すれば一層其の關係が明かになる．

以上の如く水素イオン濃度の實驗により，試製タール乳劑の組織を OH' イオンの吸着度より考察することが出來た，且つ試製乳劑は鋪裝用材碎石のイオン吸着性に適應した水素イオン濃度を有すものである．

〔4〕 同轉圓筒法による異常粘性係數に就て

(A) 實驗方法　試製タール乳劑も瀝靑乳劑の如き分散系にて，第 1 節に研究した様に分散度大にて確率直徑 1.0 μ 前後のものであるから粘性係數に就てはエングラー係數の外其の構造粘性を明かにする必要がある．瀝靑乳劑に就ては著者[69]は理論，實驗的に詳論し力學上必要な諸性質を明かにすると同時に速度傾度に無關係範圍の粘性係數 (η_∞) と溫度 (t) との關係をも得た．其の際確率直徑 1 μ 前後の G 號は正規液體に比較し 2 種の異常粘性を示した．卽ち

i) 一般の構造粘性 (速度傾度による係數の變化)

ii) 速度傾度小なる構造粘性範圍に於て，或溫度以上に至り溫度上昇に伴ひ粘性係數增加す．

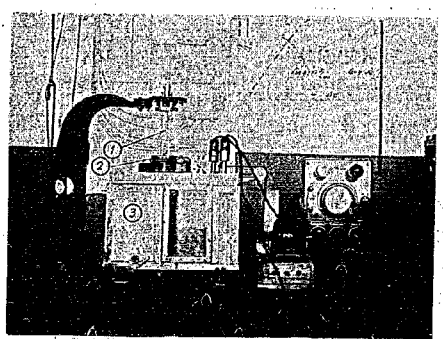
の如く特に ii) の異常性は高分散系の示した特性であつて，未だ其の理由は明瞭に立證さ

れてゐないが粒子のブラウン運動等に起因するのであらう．試製タール乳劑も確率直徑1μ程度にて前記 G 料と同じ程度の分散度を有する故，斯る2樣の異常性を確める必要がある．前報告の際使用せし回轉圓筒粘性測定器を用ふ，其の詳細は省畧し計算に必要なる一部分のみ記す．

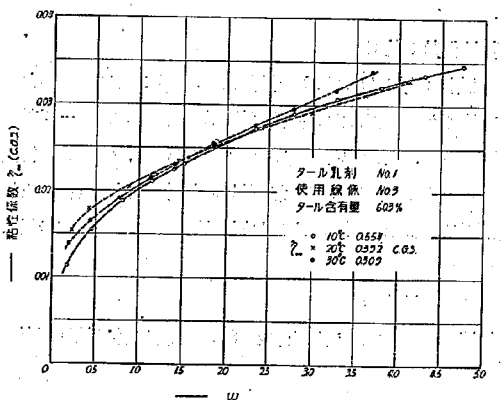
粘性係數は下式 (1) にて示さる．

$$\left.\begin{aligned}\lambda_\infty &= K\cdot\frac{\theta}{w_a}\\ \eta_W &= K\cdot\frac{d\theta}{dw_a}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(1)$$

但し，w_a，外圓筒回轉速度 (radian/秒) K：測定部係數にて內外圓筒半徑 (r_i，r_a)，試料有效深さ (h')，線條彈性係數等，の函數にて本實驗にては No. 3 線條を使用し $K=1.174\times10^3$ である．η_∞；速度傾度に無關係粘性係數，η_W；各速度傾度に對する粘性係數，θ；內部圓筒の振れ…等を示す實驗には w_a を與へ，θ を測定するもので，$\theta\sim w_a$ 曲線を求め (6) 式により η_∞，η_W を求む．$\theta\sim w_a$ 曲線の異常性の詳論等は之を省略し結果のみを報告する．寫眞第7は本實驗に使用した回轉圓筒實驗裝置にて；①；彈性線條にて其の下端に內部圓筒を吊る．②；試料を入れたる圓筒にて外部よりモーターにて回轉す．③；恒溫水槽，本器の主要寸法；外圓筒半徑 $r_a=4$ cm 內圓筒半徑 $r_i=3$ cm，內部回轉圓筒高さ $=6$ cm.



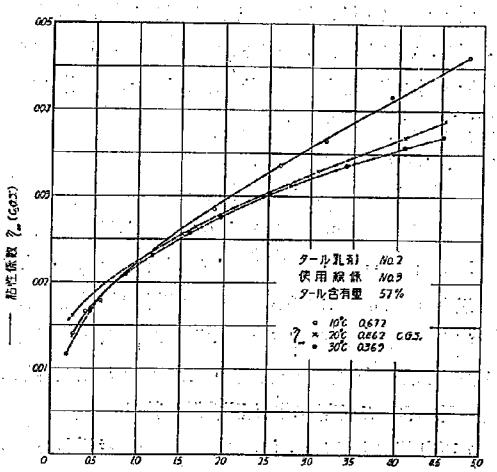
寫眞第7　回轉圓筒粘性係數實驗裝置



第 15 圖 〔A〕

(B) 實驗結果　試料は第〔3〕節に述べた No. A，No. B 號に就き，溫度 10°C，20°C，

30°C に於ける一定の回轉速度（w_a）に對する線條の振れ θ(radian) を求め，$\theta \sim w_a$ 曲線を求むれば第15圖〔A〕，〔B〕の如くなる，線圖より明かなる如く $\theta \sim w_a$ は直線でなく $\frac{d\theta}{dw_a}$ は w_a の小なる方增大するもので i) 構造粘性を示してをり，ii) 更に No. A，No. B 共に $w_a < 2.0$ radin /sec 以下に於て溫度高き方 η_w が大となる樣 θ が增大してゐる，卽ち〔A〕節に述べた高分散度系の第2の粘性異常性をも示してゐる．圖より η_∞ は容易に求めらる，η_∞ は溫度と共に減少し且つ η_∞ の値も瀝靑乳劑の η_∞ と同じ程度のものである，第16表に之を示す．



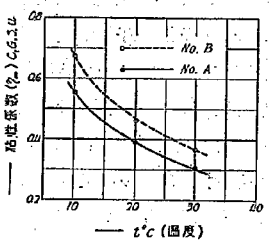
第 15 圖（B）

タール含有量は乳化條件により異るもので，No. A 號，No. B 號は夫々 60%，57% を含有す．η_∞ を見るに No. B の方濃度小なれども粘性大である，且つ〔3〕節の Donnan 電位差も No. A に比し大であり粒子も小さく安定度大なる如きも第II章〔2〕節，IV章〔1〕節，に述べた樣に氣泡發生大にして乳化操作中氣泡と共に水分が系外に逸散せし爲めタール含有量小となる．

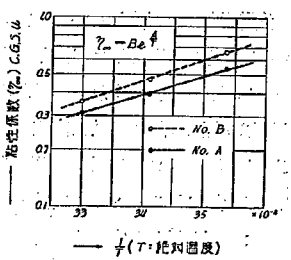
第16表

タール乳劑粘性係數（η_∞）c.g.s. 單位

	No. A	No. B
10°C	0.554	0.672
20°C	0.392	0.462
30°C	0.309	0.369



第 16 圖



第 17 圖

η_∞～溫度 (t) 關係も第 16 表より直ちに求めらるもので第 16 圖 17 圖に此等の關係を示す．第 16 圖は η_∞～t 曲線である．第16圖より第 17 圖の如く，$\log\eta_\infty$～1/T 曲線 (T=絶對溫度) を求むれば直線的にてタール乳劑粘性 (η_∞) は全く瀝青乳劑の場合と同じ溫度關係にあることを知る．

η_∞～T (絶對溫度) の關係は

$$\eta_\infty = Be^{\frac{A}{T}} \quad \cdots\cdots(2)$$

(但し A, B 試料に對する常數) で示し得，No. A, No. B の場合は夫々下の如く示し得，

No. A; $\eta_\infty = 2.63\cdot10^4\cdot e^{\frac{2.78\cdot10^4}{T}}$, No. B; $\eta_\infty = 3.63\cdot10^4 e^{\frac{2.85\cdot10^4}{T}}$

以上の如く簡單ながら試製タール乳劑の粘性係數に對し其の異常性を構造粘性として主に速度傾度に關する影響と溫度に關する異度性の 2 方面より考察し，且つ値を實測し，速度傾度に無關係な粘性係數 (η_∞) と溫度との關係をも明かにした．

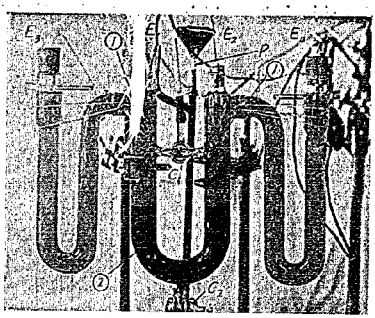
〔5〕 タール乳劑の電氣泳動實驗に就て

第〔3〕節の水素イオン濃度に關するタール乳劑の特性よりタール粒子はイオン的に考察するに OH' イオンを多く吸着してゐる．又第 1 章電導恒數の研究よりするもタール粒子は負 (−) に荷電せるもので今乳劑に或る電場を與へればタール粒子は電場の方向と反對に動く卽ち (+) 極に向つて移動する．斯る現象に於ける易動性は電場の强さ，粒子の電荷，分散媒の粘性係數と密接な關係がある，本節に於てはタール乳劑に就き斯る現象を測定し，其れを基とし粒子の電荷等其の組織を考察せんとするものである．一般に乳濁液の分散質粒子の電場內に於ける電場による運動は電氣泳動(Electric Cataphoresis)と稱せられるもので著者は瀝青乳劑に於て詳細な研究を試み[70]且つ適當な測定用容器をも作成した．瀝青乳劑等に於て斯る現象を基とせる荷電による粒子の動的界面電位差 (Electrokinetic Potential) ζ 等に對する物理化學的意義，實驗方法に對する考察，測定器の改造要點等論ずべき問題あるも詳細は別論文に讓り本節は其の一應用としてタール乳劑に就き行へる實驗結果を述べ，其の說明に必要な部分のみ斷片的に述べる．

(A) **實驗裝置**　本節の實驗は (Macroscopic method なる) 界面移動法を使用した．寫眞第 8 は本實驗に使用した容器を示す，內徑約 2.2 cm の硬質硝子製圓筒を U 字形に曲げ左右に同樣管を取附けたものである．中央黑き部分には測定せんとする乳劑を入れ中央及び左右の色淸き部分は乳化溶液のみにてタール粒子を含まず且つ兩者は寫眞に示せる如く C_1 C_2…等のコックの開閉及び中央部注入管 P の水壓等を適當に調節し，各管脚の水壓を平衡狀態に保ちつゝ極めて徐々に乳化溶液中に乳劑を C_2 コックを通じて注入し極めて明瞭な界面を得た．實際上の詳細は省略する．E_1 E_2 E_3 E_4 は電極にて E_3 E_4 は主電極にて容器に一定の電流を通ずるに用ひ E_1 E_2 は補助電極にて中央部の 2 點間の電

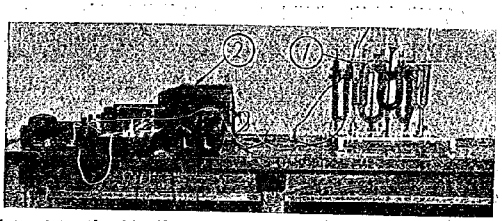
位差を電位差的に測定する爲に役立ち E_3 E_4 極の成極作用を除き計算を明瞭に行つた. 本實驗裝置の大體の機構は Hacker[71], Howitt[72] のものに準じたが瀝青乳劑用として界面を明瞭に作り, 實驗中靜水壓差の影響を除く爲に

i) 平衡コック C_1 平衡橋 B_1 (第 18 圖參照) 注入コック C_2 部にも細部等を設け二三點に就き改良を施した. 更に電極部にも改良をした, ii) E_1 E_2 極は白金黑せるものであるが E_3 E_4 の主電極に就ては相當考ふべきで殊に瀝青 (タール) 乳劑では (+) 極には大なる成極作用に準ずるゾル類の沈積作用發生し見掛上電極の抵抗增大し實驗不可能になることがある. 殊に乳化劑溶液中にゼラチン, ベントナイト等を含有せる場合此等自身に (−) 電荷を有し分散してゐるから必ず (+) 極に移動し (+) 極の表面に沈積し之を覆ふ, 此の現象を防止する爲め第 18 圖に示す樣 (+) 電極 (E_4) の外に電解質例へば KOH の 0.5 N 程度の溶液を入れた側管③を設け兩者を液體橋 B_2 を用ひて連結し③管內に白金極 E_5 を挿入し E_4 の代りとし良結果を得た.



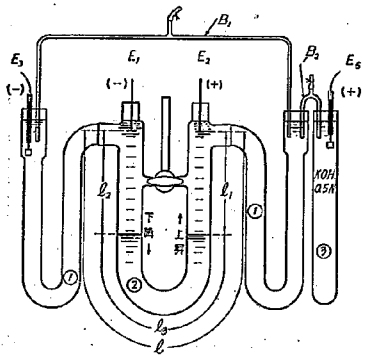
寫眞第 8 タール乳劑電氣泳動實驗用管

第18圖の B_1 は各側管內の水位を常に平衡狀態に保つ爲めのものである. 本實驗に採用した界面移動法の外に顯微鏡法等あり, 界面移動法に於ても管の直徑寸法の撰定法, 乳劑の上液としての溶液の撰定等重要な事餘多あり, 此等に就き詳細に研究し本實驗方法を定めた. 寫眞第9は本研究裝置全體を示す. ① は寫眞第 8 の泳動測定管である. ②及び机下の電流計, 抵抗等は電壓調節部である. 實驗は北向きの實驗室內で行ひ, 日射の影響少く幸ひヒーター等を適當に使用し常に自記溫度計にて變化を測定し $\frac{1}{10}$°C 目盛の溫度計にて測るに最も良き場合は溫度變化を $\frac{1}{10}$°C 以內に 4 時間位も保つことが出來た. 其れ故恒溫槽を使用しなかつた最初使用の豫定であつたが小振動を伴ひ界面に惡影響を及す恐れあり使用を中止した.



寫眞第 9 乳劑電氣泳動實驗裝置

(B) 實驗方法　以上寫眞第8の如く完全なる界面を作成し寫眞第9の如く全體の電氣的接續を終れば恒溫狀態に約 30 分保ち，抵抗器等を用ひ，E_3 E_4 (又は E_3 E_5) に加はる電壓，V_a を適當に定める，今假りに E_4 (又は E_5) を (+) 極とすれば電流は E_4 より E_3 に流る．常に加電壓 (V_a)，電流の値に變動なきやを注意しつゝ，E_2 E_3 間の電壓降下 (V_i) をポテンチオメトリックに測定する．E_2 E_3 間電壓 (V_i) も常に連續的に測定し一定の狀態に於て中央 U 管内の左右界面の變動を測定するもので，カテトメーター又は管の度盛により界面移動速度を求む．加電壓 (V_a) は少くとも2種以上異るものを與へ2種の異る電場内の粒子の運動性に起因する左右界面移動速度を求める必要がある．第 18 圖は寫眞第8と全く同一にて兩者對照すれば明かなれば詳細は略すも①は上液部，②は乳劑部，B_1 B_2 は液體橋…を示す．l_1, l_2, l_3, l は後に述べるが管内軸に沿つた長さである．



第　18　圖

本節の如き界面移動法により粒子の電氣泳動速度を求める場合乳劑と上液との界面に於ける電氣傳導度等に急變ある場合種々複雜な現象の發生するもので界面移動速度より粒子の易動度 (mobility, a) を測定し得る條件を Kohlransch-Weber[73] の理論を基とし論ずる場合と，上液とし乳劑の濾液を使用する場合にて斯る條件にはよらず易動度を測定し得るとする Kruyt, Van der Willigen[74]等の說あるも共に實驗に於てU管の左右兩脚の界面移動速度より其の何れにするかを確めることが出來る．著者は瀝靑乳劑の研究により後者の眞に近きを確かめた．

今後者の假定に從ひ界面移動速度より粒子の易動度を測定した．蓋し荷電を有する粒子の電場内の運動は種々の條件により支配されるが Helmholtz[75], Smoluchowski[76], P. Debye, E. Hückel[77], D.C. Henry[78]の研究により本乳劑の如く電氣傳導度惡き粒子が電解質溶液に分散せる場合には移動速度は簡單に (1) 式で與へられる．

$$U=\frac{K\zeta}{6\pi\eta_0}E \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

(但し U：粒子速度 (cm/sec), K：粒子電氣2重層内電媒恒數，ζ：動的界面電位差，η_0：分散媒粘性係數，E：電場の强さを示すもので同一系の單位にて表す)，(1) 式の $\frac{1}{6\pi}$ は球形粒子に對する P. Debye, E, Hückel による係數である．(1) 式は粒子の大きさに無關係として得た，(i) 式より單位電場の强さ (1 volt/cm) に對する速度を求め得．通常 a_0 を以て表し粒子の易動度と稱す．單位は

(cm/sec/volt/cm) である．今 E (volt/cm)．K (c. g. s. e. s. u), η_0 (c. g. s. u) ζ (volt) U(cm/sec) で與へられる時 (1) より a_0 を求むれば (2) 式の如くなる．

$$a_0\,(\mathrm{cm/sec/volt/cm}) = \frac{\zeta K}{6\pi\eta_0}\left(\frac{1}{9}\times 10^{-4}\right) \quad \cdots\cdots(2)$$

實驗により U(又は a_0) を求むれば (2) 式より ζ～ 電位を求め得，(1) (2) 式に於ける假定の主なもの>二三を列擧すれば，

i) ζ 電位差は粒子半徑 (r) に無關係とする．

ii) ζ 電位差は電場の强さ其の他運動條件に無關係とする．

iii) 粘性係數 (η_0)電媒恒數 (K) も一義的に定義され且つ運動，電場狀態に無關係とする等の如きもので且つ粒子の速度 (U) が觀測される界面移動速度に對應するものとしてゐる，此種の實驗に於ては熱的影響對流作用，乳劑上液界面に於ける電流密度の變化に伴ふイオンの蓄積解離，更に擴散等の現象が生ずるもので常に左右兩移動脚の運動に細心の注意を拂ふ事を要す．先に述べた假定が果して滿足せるやを吟味する一つの方法として (1) 式の (E) を，V_a なる E_3 E_4 極間の加電壓を變ずることによりて變じ，界面移動速度 (U) を求め U～E 關係の直線的なるやを吟味す．一方乳劑及び上液の電氣傳導度の差異による電場の强さの變化を考慮に入れ (3) 式により其の影響を吟味する．第 18 圖の記號を用ふ．

E_1～E_2 間電位差 (但し E_2 を+側とする) $E_0 = V_i/l$

上液內電場の强さ $E_0^u = C_u E_0$

乳劑內電場の强さ $E_0^s = C_s E_0$　　但し l_1, l_2; 左右兩脚內に於ける電極 E_1, E_2 と界面間距離，　l_3; 乳劑部の軸線に沿ふ長さ，$l = l_1 + l_2 + l_3$　V_i;　E_1～E_2 間電位差，k_s, k_u; 乳劑，上液の比電導度 ($\Omega^{-1}\mathrm{cm}^{-1}$)，$\rho_s$, ρ_u; 乳劑，上液の比抵抗 (Ω, cm)

$$\left.\begin{aligned} C_u &= \frac{\rho_u}{\rho_u\left(\frac{l_1+l_2}{l}\right)+\rho_s\frac{l_3}{l}} = \frac{k_s}{k_s\left(\frac{l_1+l_2}{l}\right)+k_u\left(\frac{l_3}{l}\right)} \\ C_s &= \frac{\rho_s}{\rho_u\left(\frac{l_1+l_2}{l}\right)+\rho_s\left(\frac{l_3}{l}\right)} = \frac{k_u}{k_s\left(\frac{l_1+l_2}{l}\right)+k_u\left(\frac{l_3}{l}\right)} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(3)$$

を示す．今 t 秒間に E_1 側降下し，E_2 側上昇し其の距離を夫々 x_1, x_2…とすれば移動速度より易動度を容易に求め得，第4式に之を示す．

$$\left.\begin{aligned} a_{0\cdot1} &= \frac{x_1}{t}\cdot\frac{1}{C_u E_0}, \quad a_{0\cdot2} = \frac{x_2}{t}\cdot\frac{1}{C_s E_0} \\ a_0 &= 1/2\,(a_{0\cdot1}+a_{0\cdot2}) \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(4)$$

斯くの如くに求めた $a_{0\cdot1}$ $a_{0\cdot2}$ は同じ値を示すか又は係數 $C_u = C_s = 1$ と置きし場合に於て上昇下界降速度一致するかを比較する．瀝青乳劑の場合には粒子は分散媒內を與へられた

條件に從ひ一定の速度で（$C_u=C_s=1$）泳動してゐる樣である．試製タール乳劑に就ても(4)式を適應し其の泳動狀態を定め(2)式より動的界面電位差（ζ）を計算する．

(C) 實驗結果　(B)に述べた樣に E_3 E_4（又は E_5）に種々端子電壓（V_a）を與へ，E_1～E_2 間電位差（V_i）を測定し左側（下降）右側（上昇）界面移動速度を定めた．試料は〔3〕節の No. A No. B にて第 17 表，第 18 表は各 V_i に對する實驗結果である．

第 17 表

試料名 No. A タール乳劑
實驗管 No. 3
實驗温度 15.1°C～
端子電壓 V_a; 100V
電　流 2.4×0.01A
內部電壓 V_i; 22V

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.	89 11/20 cm	35 cm	89 7/20 cm	29 cm
3′ 10″				89・9/20
4′ 30″	89・11/20			
7′ 15″				89・11/20
11′ 0″	89・7/20			
13′ 0″				89・16/20
17′ 0″	89・1/20			
18′ 35″				90・1/20
22′ 30″	88・18/20			

試料名 No. A タール乳劑
實驗温度 15.2°C
端子電壓 V_a; 180V
內部電壓 V_i; 34V
電　流 I; 0.5×0.1A

0	88・12/20	
45″	cm	90 cm
3′ 55″		90・9/20
4′ 35″	88・1/20	
7′ 40″	87・10/20	
8′ 20″		90・16/20
13′ 0″		91・2/20
14′ 0″	87	
19′ 0″	86・7/20	
20′ 40″		91・9/20

第 18 表

試料名 No. B タール乳劑
實驗管 No. 3
實驗温度 15.5°C～
端子電壓 V_a; 105V
電　流 2.6×0.01A°
內部電壓 V_i; 21.5V

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
4′ 5″	75 cm	
5′ 30″		72 cm
12′ 30″	74・12/20	
14′		72・5/20
20′ 45″	74・3/20	
21′ 45″		72・11/20
27′	73・16/20	
28′		72 ・14～15/20
32′ 10″	73・11/20	
32′ 50″		72・17/20
39′ 45″	73 ・3～4/20	
40′ 45″		73・3/20

試料名 No. B タール乳劑
實驗管 No. 3
實驗温度 15°C～
端子電壓 V_a;
電　流 45×0.1A
內部電壓 V_i; 35.5V

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
50″	72・17/20 cm	
1′ 40″		73・3/20 cm
4′	72・17/20	
5′ 5″		73・7/20
7′ 30″	72・8/20	
8′ 45″	71・	73・11/20
14′ 45″	16～17/20	
20′ 15″	71・5/20	
21′ 10″		74 ・4～5/20
24′ 45″	70・11/20	
26′ 30″		74・
30′ 20″	70・2/20	11～12/20
31′		75
34′ 20″	69・16/20	
35′ 10″		75 ・2～3/20
54′ 35″	68	
55′ 25″		76・1/20
57′ 35″		76・5/20
85′ 30″	65・14/20	
86′ 50″		76・13/20

備考　右極ヲ(+)トス．右脚上昇

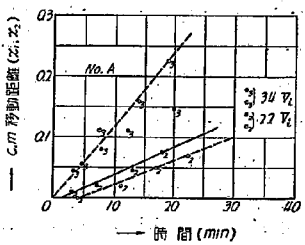
備考　右極ヲ(+)トス．右脚上昇

第 17 表；No. A タール乳劑，V_i=22 V, 34 V,　l_1=10.5 cm, l_2=10.5 cm

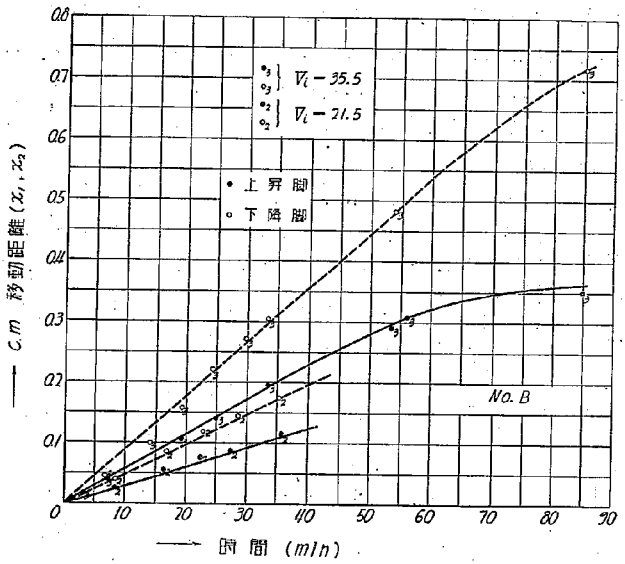
第 18 表；No. B タール乳劑，V_i=21.5 V, 33.5 V,　l_1=9.12 cm., l_2=8.7 cm

$l=l_1+l_2+l_3=36.1$ cm

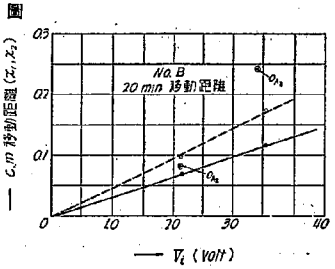
第 17, 18 表より移動距離 (x_1, x_2) と時間 (t) の關係は容易に求め得．第 19 圖 20 圖は移動距離 (x_1, x_2) を縱軸に時間を橫軸に示せるものである．圖中“●”記號は右側上昇を示し，“○”は左側下降を示す．No. A の場合は移動常に不確實で殊に V_i=22, 34 V. の實驗後 28 V. を加へしに移動少く不確實であつた．22 V. の場合には左右同じ程度に移動してゐるが 2 回目の 34 V. の場合は 10 分後に右側上昇側の速度が大變減少してゐる樣である．之は 1 回目よりの影響にもよるものであるが他の原因によるか吟味すべきである．第 21 圖は第 19 圖より 20 分間の移動距離を縱軸にとつたものであるが No. A の場合は 2 點 O_{A1}, O_{A2} として上昇降下平均速度を記入するに原點を通ぜず移動距離～V_i 直線式では示されない．



第 19 圖



第 20 圖



第 21 圖

卽ち (1) の如く簡單に粒子の移動速度の示されないことを意味するもので其の原因は粒子周圍のイオン層が電場の値により變形し有效動的電位差 (ζ) の增大によるか又は粘性係數の減少によるか單に上記の實驗のみにては定めることが出來ない. 且つイオン層の變形が時間的に變動せざるや先きの移動距離～時間の關係と對照するに, No. A は電氣泳動の實驗中電氣化學的に相當不安定であつたから, イオン層の形が電場の强さにより變形するものと考へらる. 第 20 圖は No. B に對する界面移動を示すもので上昇 "●", 降下 "○" 共 $V_1=21.5$; 35.5 V. に於ても全く同じ傾向を示してゐる. 電流通過開始後約 50 分程度より特に上昇側卽ち (+) 極側●の速度は減少して來る, 之れ (+) 極に上液中のゾル質成分の沈積する爲めである. 第 20 圖より 20 分間の移動距離を第 21 圖に記入するに, 移動距離～V_1 は實驗の精度內で原點を通る直線をなす, 卽ち (1) 式が成立つ事が分る. 第 21 圖の上昇 (-∘—∘-) 降下 (-∘---∘-) の關係から粒子の易動度 (a_0) を計算することが出來る.

先づ (3) 式より C_u, C_s を計算する爲め濾液, 乳劑の比電傳導 k_u, k_s を 1000 ∞ の交流にて, コーラウシユ橋で測定した, 第 19 表に其の結果を示す. 乳劑及び濾液の電氣傳導度 (k_s, k_u) の相互關係はそれ自體頗る興味ある問題[79]であるが今深く立入らないこととする. 此等の k_s, k_u, l_1, l_2, l_3 及び移動速度等より C_u, C_s, $a_{0\cdot1}$, $a_{0\cdot2}$, a_0 を計算す, 第 20 表に No. B の場合を表示する.

第 19 表

比電傳導表 ($\Omega^{-1}cm^{-1}$) 20°C		
乳化溶液	No. A	0.0484
	No. B	0.0444
濾液 (k_u)	No. A	0.0248
	No. B	0.0228
乳劑 (k_s)	No. A	0.00745
	No. B	0.00838

第 20 表

試料名	$k_u(\Omega^{-1}cm^{-1})$	$k_s(\Omega^{-1}cm^{-1})$	l_1(cm)	l_2(cm)	l(cm)	$\frac{l_1+l_2}{l}$	$\frac{l_3}{l}$
No. B	22.8×10^{-3}	8.38×10^{-3}	9.12	8.7	18.32	0.495	0.508

$k_s\frac{l_1+l_2}{l}$	$k_u\frac{l_3}{l}$	$(k_s\frac{l_1+l_2}{l}+k_u\frac{l_3}{l})$	C_u	C_s	$\frac{x_1}{E_0t}$ (cm/sec/volt/cm)
4.15×10^{-3}	11.5×10^{-3}	15.65×10^{-3}	0.536	1.44	$\frac{0.095}{30}\cdot\frac{31.66}{1.2\times10_3}=8.34\times10^{-5}$

$\frac{x_2}{E_0t}$ (cm/sec/volt/cm)	$\frac{x_1}{E_0C_ut}$	$\frac{x_2}{E_0C_st}$
$\frac{0.145}{30}\cdot\frac{31.66}{1.2\times10^3}=12.8\times10^{-5}$	15.4×10^{-5}	8.9×10^{-5}

C_u, C_s は 0.5366; 1.44 で可なり異つてゐる. C_u, C_s の修正なしに a_0 を計算すれば, 降下側; 8.34×10^{-5} (cm/sec/volt/cm) 上昇側; 12.8×10^{-5} (cm/sec/volt/cm) となり修正を施せば 降下側; 15.4×10^{-5} (cm/sec/volt/cm) 上昇側; 8.9×10^{-5} (cm/sec/volt/cm) とな

り，粒子に働く重力等の影響を考慮に入るれば後者の方妥當と思ふ．今 $a_{0\cdot1}$，$a_{0\cdot2}$ の平均値より易動度を求む，即ち

$a_0=10.6$ (12.2 修正の場合) $\times10^{-5}$ (cm/sec/volt/cm) ……を得．

(2) 式より ζ～電位差を求めんに，上例に得た a_0 の値は膠質分散系の粒子泳動速度としては稍々小で著者は瀝青乳劑の實驗に於て，……$a_0=(13\sim50)\times10^{-5}$cm/sec/volt/cm を得た．

ζ～電位に換算するには明瞭に定義出來ざる量あるも 今適當に假定す，即ち電媒恒數 (K) は蒸溜水 80 (c. g. s. e. s. u) であるが分散媒は强電解質を含有せる溶液であるから 60[80] と假定し，$\eta_0=0{,}010$ (c. g. s. u) とすれば…(2) 式より…$\zeta\sim33$ m.V. を得．第〔3〕節(C)に水素イオン濃度より推論した…$\zeta=44$ m.V より稍々小である．要するに a_0 よりζ～電位を誘導するには未知の量が多く，寧ろ a_0 の値其のもの，又は單に a_0 に比例する量を用ひ表示する方が妥當である．

以上の電氣泳動實驗により試製タール乳劑の安定なるものは (1) 式で示す電氣泳動現象を明瞭に示すものでタール粒子は明かに負に荷電してをる．P_H の實驗研究と共にタール乳劑を其の組織上より明かにすることが出來た，一方此種理論的研究と碎石に對する安定度等鋪裝用材料としての實用特性とは並行し兩者に密接な關係あることは瀝青乳劑の場合と全く同樣と推測さるも更に研究を進める必要がある．

VI. 結　　論

各章に於てタール乳劑試製實驗に於て著者のとりし研究方法の大様を示したもので製造實驗に關連した部分は別に第 II 部の福島氏の論文を參照されん事を希望するものである．今簡單に本報告第 1～V 章に於て論ぜし事柄中主要なるものを列擧すれば下記の如くなる．

i) 先づタール，アスファルトの差異を粒子界面に於ける吸着性に起因するものとの推測の下に其の電媒恒數 (K) の測定を行つた．常温に於てタール，$K=2.9$; アスファルト，$K=2$ を得，更に兩者混合物の恒數をも測り，タール乳劑用分散質として，タール 90％＋アスファルト 10％ の恒數 $K=2.4$ のものを得，之を乳化實驗試料とした．

ii) 更に乳化操作の條件を分析考察し，乳化劑安定劑水溶液の乳化力に對する標準を定め一方溶液の水素イオン濃度 (P_H) に就き鋪裝用乳劑としてとるべき値を施工上，乳化上より考察し適當な範圍 $P_H>12$ を定めた．

iii) 乳化力の基準とこの對空氣，對クロシン界面張力をとり其の測定方法に就き考察し滴下法を用ひ實驗し測定器に對する修正値等を定め瀝青乳劑濾液に就き其の値を定めた．

又乳劑の滲透力を吟味する一方法として對空氣界面張力を Du Noüy 器により測定し乳劑濾液の界面張力の關係をも考察した.

iv) 製造實驗に於て乳化力の基準とし使用した Traube, Hillyer ピペットの意義を明かにしてをいた.

V) 乳化操作に於て有效なる界面張力の作用及び乳化を防ぐる氣泡發生に對する影響とを考察し乳化操作に於ける重要な條件を定めることが出來た. 溶液粘性係數 (η_0) の影響をも合せ論じた.

vi) 乳化力基準として測定した濾液 (乳化劑溶液に相當するもの) の對空氣界面張力 (a_a) 對ケロシン界面張力 (a_K) は下記の如し (20°C 附近)

a_a : 54.6～40.7 dyne/cm (修正値)

a_K : 11.8～6.12 dyne/cm (修正値)

vii) 其の他乳化操作に對する機械的方法に就き二三の主要點を論じ第1階程としハーレル機使用の理由を述べた.

以上は主に第 I～IV 章に於て研究せし事項である. 一方福島氏はタール, 乳化劑の撰定, 化學分析, 水溶液の乳化能力として Traube, Hillyer ピペットによる界面張力實驗を行ひ, 各種の組合せにてタール乳劑を試製し, 工學的試驗をも施行し3ヶ月程度は充分安定なる優秀なるものを作り, 更に將來の研究方針をも樹立する事を得た.

更に試製タール乳劑の組織性狀を其の分散系としての見地から明かにする事は試製品を深く理解する點から云ふも其進步發達を促す點より云ふも頗る肝要な事である. 第 VI 章の各節は斯かる見地より行つた主要な研究で福島氏の工學的實驗結果と相對照すれば試製タール乳劑の實用價値の確實性を明瞭にすることが出來る今各節を要約すれば,

i) 試製後2ヶ月程度のものも顯微鏡寫眞に見る如く非常によく分散せるもので, 確率直徑; $\overline{D}_w = 1.68 \sim 1.3\,\mu$ 程度である. 參考に外國製タール乳劑の分散度をも顯微鏡寫眞と共に論じて居る.

ii) 試製乳劑 (E), 濾液 (U), 乳化劑溶液 (S) の水素イオン濃度 ${}_EP_H$, ${}_UP_H$, ${}_SP_H$ を測定し相互關係とし下記の如きものを得た.

$${}_SP_H > {}_EP_H > {}_UP_H, \quad \Delta_S P_E > \Delta_E P_U$$

但し $\Delta_S P_E = {}_SP_H - {}_EP_H$, $\Delta_E R_U = {}_EP_H - {}_UP_H$, にて

${}_SP_H = 13.10;\ 13.02$, ${}_EP_H = 12.56:\ 12.27$, ${}_UP_H = 12.30;\ 11.90$,

$\Delta_S P_E = 0.54;\ 0.75$, $\Delta_E P_U = 0.26;\ 0.37$

の値を測定し, Donnan 平衡電位差を推測することが出來た.

iii) 粘性係數の測定に於て回轉圓筒法を用ひ速度傾度による異常構造粘性の外, 溫度に

對する異常性とし或る速度傾度以上に於ては溫度上昇にも拘らず粘性の增大する事を明かにし，速度傾度に無關係粘性係數（η_∞）は大略瀝靑乳劑程度のもので且つ η_∞ と絕對溫度（T）の間には $\eta_\infty = Ae^{\frac{A}{T}}$ …なる關係式の成立つ事を明かにした，

iv）タール粒子が乳劑中負の電荷を持ち一定の易動度を有するや否やは其の性狀を定める上に重要なものである．

界面移動法電氣泳動實驗により之を明かにする事が出來た．主要部には U 形をなす硝子管を用ひ左右兩界面移動速度を測定し上昇脚速度 $a_{0\cdot2}=8.34\times10^{-5}$cm/sec/volt/cm　降下脚速度 $a_{0\cdot1}=12.8\times10^{-5}$cm/sec/volt/cm を得，易動度 $a_0=10.5\ 10^{-5}$ cm/sec/volt/cm より動的界面電位差；$\zeta=33$ m.V. を得た．

以上の各節により試製タール乳劑は分散系とし粒子は明かに分散媒に對し一定の（−）電位を有し，イオン的に OH' イオンの吸着せるもので其の程度をも推測することが出來，異常粘性係數，分散度の研究により其の性狀を或る程度まで明白に了解する事が出來た．

斯くの如く本研究實驗により我國產タールを主成分としてのタール乳劑は其の試製の第1段階程に於て初期の目的を達したと思ふ．殊に其の性狀を科學的に明瞭にした事は今後の發達に重要な役割をなすものである．

〔附記〕本研究に當り所長物部博士を始め所員の御指導御援助に俟つ所多く，試製實驗に關しては第 II 部の福島，川畑兩氏，本研究一般實驗に關しては土屋直氏の努力による所頗る多し，尙ほ電媒恒數測定に關しては山本仁雄氏を煩す，厚く感謝する次第である．尙，本究研は一部日本學術振興會の援助による，玆に錄して深く感謝の意を表す．

§ 引 用 文 獻（未發表のものは遂次發表の豫定である）

1. G. Keppeler, P. Blankenstein, u. H. Borchers: Zst. f. angewandteCh emie, **47**, 223, 1934, Die Brechbarkeit von Bitumenemulsionen und ihre Beeinflussung.
2. H. Walther: Asphalt-und Teerstrassenbautechnik, **33**, 38, 698, 1933, Beiträge zur Kenntnis bituminöser Emulsionen.
3. 島田八郎：（未發表）瀝靑乳劑の水素イオン濃度及び電氣泳動現象より見たる性狀
4. 西川榮三：土木試驗所報告 **25** 號（昭和8年 11 月）．本邦鋪裝用タールの性質に就て．
5. 市川良正：エンジニアー（第2卷）595 1933, 鋪裝技術者の觀たる油母頁岩．
6. Marcusson: Die natürlichen und künstlichen Asphalte.
7. 島田八郎：（未發表）瀝靑質の電媒恒數と乳劑安定に對する一考察．
8. P. Debye: Polare Molekeln. Leipzig, 1929, S. 34.
9. O. Milicka, A. Slama: Ann. d. Physik, 5F, B. 8, H. 1, 663, 1931, Neue Ergebnisse der Messung von Dielektrizitätskonstanten wässeriger Elektrolytlösungen mit der Fürtschen Ellipsoidemethode.
10. P. Rehbinder: Zst. f. Phys. Chemie, **129**, 161, 1927. Grenzflächenaktivität und Dielektrizitätskonstante.
    P. Walden: Elektrochemie nichtwässeriger Lösungen (Handb. d. anorg. Physik, Chemie, Bd. **13**, S. 40, 1924).

11. J. J. Dowling: Phil. Mag. **46**, 1923, **81**. The recording Ultramicrometer; Its principles & Application.
12. 小幡重一: 東京帝大航空研究所報告 11 號. On the Value Method of Measuring small Motion, with Special Reference to the Precise Recording of Sounds, Pressur Variation and Vibrations.
13. W. Tarascoff: Phys. Zst. **25**, Jg. No. 15, 369, 1924. Ueber die elektrische Natur der Adsorptionskräfte. Die Adsorptionswärme und die Dielektrizitätskonstante.
P. Rehbinder: Zst. f. Phys. Chemie, **129**, 161, 1927. Grenzflächenaktivität (Adsorbierbarkeit) und Dielektrizitätskonstante.
14. H. W. Hillyer: J. Amer. Chem. Soc., **25**, II, 1256, 1903, A Method of Grading Soaps as to their Detergent Power.
15. W. D. Bancroft: J. phys. Chem., **16**, 345, 1912; **17**, 501, 1913; **19**, 275, 513, 1915. The Theory of Emulsification.
16. C. H. M. Roberts: J. phys. Chem., **36**, II, p. 3087, 1932. A New Theory of Emulsion.
17. W. D. Bancroft: 前揭 (15).
18. Irving Langmuir: J. Amer. Chem. **40**, 1361, 1918. The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum. J. Amer. Chem., **39**, 1848, 1917. The Constitution and Fundamental Properties of Solid and Liquid, II Liquid.
19. H. V. Tartar, C. W. Puncan: J. phys. Chem., **33**, 435, 1929. The Effect of Elektrolyte upon Emulsions.
20. G. I. Taylor: J. phys. Chem., **37**, 279, 1933. On the Formation, Size and Stability of Emulsion Particles I,
21. 野澤: 業務研究資料 21 卷 5 號. 乳濁鉱油の研究.
22. C. G. Summer: Proc. Roy. Soc. A, **146**, No, 858, 501, 1934. The Formation of Emulsions in Definable Fields of Flow.
23. Mollie G. White, J. W. Marden: J. of phys. Chem., **24**, 617, 1920. The Surface Tension of Certain Soap Solutions and their emulsifying Powers.
24. E. L. Lederer: Angewandte Chemie, **47**, 8, 119, 1934. Ueber neuere synthetische Produkte mit siefenähnlichen Eigenschaften,
25. 島田八郎: 前揭 3.
26. H. Rinde: phil mag, vol 17, 32, 1926. a method for determination of the adsorption of ions on Colloidal particles by means of Donnans membrane Equilibrium Theory.
H. Hückel: Kolloid Zst. **36**, 204, 1925. Zur Theorie der membran gleichgewichte.
27. Spencer Umfreville Pickering, Kolloid-Zst, **7**, 11. 1910. Ueber Emulsionen.
Hans Weber: Kolloid Zst. **64**, 3, 337, 1933. Entwicklung der Erkenntnisse über bituminöse Strassenbau-Emulsionen.
28. B. Claus: Z.f. techn. Physik, **14**, Nr. 3, 80, 1935. Ueber eine neue Methode und Einrichtung zur Erzeugung hochdisperser Zustände.
B. Claus: Zst. f. techn. Physik, **15**, Nr. 1, 74, 1934. Ueber die Wirkung ultraakutischer Schwingungen auf photographische Emulsionen.
29. J. R. Briggs: J. Phys. Chem., **24**, 120, 1920, Experiments on Emulsions, III: Emulsions by Shaking.
30. J. B. Barke, H.Braham: J. of chem. Soc., 2. 1214, 1933. Studies in Emulsions.
31. 島田八郎: 土木試驗所報告第 29 號. 鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究 (第 2 報)
32. L. Richardsons: physics, vol. I, 318, 1932. Capillarty Conduction of Liquids thro, Porous Mediums.
33. W. O. Smith,: Physics, vol. **3**, 139, 1932, Capillary Flow thro an Ideal uniform Soil.
34. W. D. Harkins, E. C. Davies, G. L. Clark: J. Am. Chem., Soc. **39**, I, 591, 1917. The orientation of molecules in the surfaces of liguids, the energy relations at surfaces, solubility, Adsorption, Emulsification, Molecular Association, and the Effect of Acids and Bases on Interfacial Tension.

35. Ad. Adler, Physik. Zst. **35**, Nr. 21, 864, 1934. Das Tropfengewicht als Funtion der Tropfgeschwindigkeit und des Durchmessers der Tropffläche.
36. P. Lecomte du Noüy, Phil Mag. **48**, 264, 1924. Surface Tension of Colloidal Solutions and Dimensions of Certain Organic Molecules.
37. J. C. Gosh, Mdhab Chaudra Nath: J. Phys. Chem., **36**, p. 1916, 1932. The Variation of Surface Tension of aqueous Solutions of Certain Complex Organic Substances with Time.
38. J. M. Johlin: J. of phys. Chem., **29**, 271, 1925. The Surface Conentration of Gelatine at a Liquid-Gas intertace as indicated by the Change in Surface Tension.
39. J. M. Johlin: J. of phys. Chem., **29**, 1129, 1925. The Surface Concentration of Sodium Oleate and of Colloidal Sulphur.
40. Lottermoser A., B. Baumgürtel: Kolloid-Beihefte B. **41**, H. 1, 73, 1943. Ueber den Einfluss der Luftkohlensäure auf die Oberflächenspannung wässeriger Lösungen fettsaurer Natriumsalze.
41. H. M. Trimble: J. of physical Chem., **32**, 1211, 1928, Tne Variation of the Capillary Action with Time.
42. von Th. Ackermann, Kolloid. Zst., **69**, H. 1, 87, 1934. Oberflächenspannungsmessungen an Leim und Gelatine-Lösungen.
43. H. Hartride, R. A. Peters: Proc. of Royl Soc. of London, A, vol. **101**, 348, 1922. Interfacial Tension and Hydrogen-Ion Cencentration
44. E. L. Lederer: 前揭 24.
45. C. E. Davis, H. M. Salisbury, M. T. Harvey: J. of Industr. and Eng. Chem., **16**, 161, 1924. Surface Tension of Gelatine Solutions.
46. Ramsay Shield: Zst. f. Physik. Chemie, **12**, 433, 1893. Ueber die Molekulargewichte der Elüssigkeiten.
47. F. M. Jaeger: Zst. f. anorg. Allg. Chemie, **101**, 1, 1917. Ueber die Temperturabhängigkeit der molekularen freien Oberfiächenenergie von Flussigkeit im Temperaturbereich von −18° bis +1650° C.
48. J. C. Speakman, The Measurement of Surface and Interfacial Tensions.
49. W. D. Harkins, E. C. H. Darvies, G. L. Clark: 前揭 34.
50. H. Junker: Kolloid. Zst., **52**, H. 2, 231, 1930. Fehlerquellen und Ungegauigkeiten bei Oberflächenspannungsmessungen mittels der Tropfapparate, I. Mitteilung.
51. J. Traube: Journ. f. prakt Chemie, **34**, 292, 515, 1886. Ueber Tropfengewichte und deren Beziehung zu den Kapillaritätskonstanten und über den kapillaren Randwinkel.
52. H. W. Hillyer, Bancroft: 前揭 14, 前揭 17.
53. Lord Rayleigh: Proc. Roy. Soc. A. **92**, 184, 1916. On the Theory of the Capillary Tube.
54. J. Lohnstein: Ann. d. Physik, IV, **20**, 237-268. 1906. Zur Theorie Abtropfens mit besonderer Rücksicht auf die Bestimmung der Kapillaritätskonstanten durch Tropfversuche.
55. F. Kohlrausch: Ann. d. Physik. **20**, 798, 1906. Ueber die Bestimmung einer Kapillarkonstante durch Abtropfen.
56. W. D. Harkins, E. C. Humphery: J. Amer. Chem., Soc. **38**, I, 228, 1916. The Drop wt. Method for the Determination of Surface Tension.
57. W. D. Harkins, F. E. Brown: J. of Amer. Chem., Soc. **41**, I, 499, 1919. The Determination of Surface Tension and the Wt. of Falling Drops; the Surface Tension of Wate and Benzene by the Gapillary Ht. Method.
58. B. B. Freud and W. D. Harkins: J. of phys. Chem., **33**, II, 1217. 1929, 1217 —. The Shapes of Drops and the Determination of Surface Tension.
59. J. Traube: Z. f. angewandte Chemie, Bd. **35**, 675, 1922. Eine neues Stalagmometer. und Stagonometer,

J. Traube: Koloid-Zst., **53**, 300, 1930. Bemerkungen überdie Tropfen-Methode zur Messung der Oberflächenspannung und Grenzflächenspannung.
60. L.J. Weber und J. Traube: Bioch. Zst., **219**, 468, 1930. Die Anwendung des Stalagnomenters zur Messung der Grenzflächenspannung flüssig/flüssig.
61. Ad. Adler, 前揭 35.
62. Agnes Pockels: Ann. d. Physik, **67**, 688, 1899. Untersuchung von Grenzflächenspannungen mit der Cohäsionswage,
F. von Lerch: Ann. d. Physik, 9. 434, 1902. Oberflächenspannung und Doppelschichte an der Grenzfläche zweier Lösungsmittel,
63. Du Noüy: 前揭 36.
64. W. Harkings, H. F. Jordan: J. Amer. Chem. Soc., **52**, 1751, 1930. A Method for the Determination of Surface and Interfacial Tension from the Maximum Pull on a Ring.
B. B. Freud, H. Z. Freud: J. Amer. Chem. Soc., **52**, 1772, 1930. A Theory of the Ring Method for the Determination of Surface Tension.
65. 島田八郎, 前揭 3.
66. 〃 土木試驗所報告第 26 號. 鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第1報)
67. 〃 前揭 3. 68. H. Rinde, E. Hückel, 前揭 26.
69. 島田八郎: 前揭 31. 70. 〃 前揭 3.
71. W. Hacker: Kolloide-Zst., **62**, H. 1, 67, 1933, Ueber die Messung der Wanderungschwindigkeit von Goldmizellionen durch Beobachtung der wandernder Grenze.
72. F. O. Howitt, E. B. R. Prideaux: J. of Sci. Instr. **7**, 89, 1930. An Improved Form of Macro-Apparatus for Cataphoresis.
73. F. Kohlrausch, Ann, d, Physik u. Chemie, **62**, 209, 1897. Ueber Conzentrationsverschiebungen durch Elektrolyse im Innern von Lösungen und Lösungsgemischen.
H. Weber, Sitz-Ber. d. Kön Preuss Akademie d. Wiss., 1897 II, S. 936, Ueber die Differentialeichungen der elektrolytischen Verschiebungen,
74. H. R. Kruyt: P.C. & Vander Willingen, Kolloid-Zst., **44**, 22, 1928. Ueber die Methodik der Kataphoretischen Messungen bei Suspensionen,
D. C. Henry, J. Britain, Trans, Paraday Soc. **29**, 798, 1933. A Comparison of the Results by Transport and Moving Boundary Method and a Theory of the Latter Method.
75. H. Helmholtz: Ann. d. Physik, **7**, 337, 1879. Studien uber elektrische Grenzschichten.
76. Smoulowski, Gaetz, Handbuch der Elektrizität und Magnetismus II.
77. P. Debye, E. Hückel: Physikal Zst. **25** Jg., No. 3, S. 49, 1924. Bemerkung zu einem Satz, ueber die kataphoretische Waderungs-Geschwindgkeit suspendierter Teilchen.
78. D. C. Henry: Proc. Royal Soc., London A, 133, 1931. The Cataphoresis of Suspended Particles, Part I.
79. 島田八郎: (未發表), 分散系電氣傳導度に關する一考察.
80. O. Milicka: A. Slama; 前揭 (9)

河川彎曲部に於ける水流に就て

内務技師　本　間　　仁

内容梗概

河川の彎曲部に於ては彎曲の外側に當る部分の水位が上昇し又その部分の洗掘が著しい．本試驗は彎曲水路内の水流に就てその水位及び流線を實測して水位上昇の程度を明かにすると共に，流線の形狀より洗掘の原因を明かならしめんとせるものである．

目　　次

I　彎曲部の水流に關する考察……（1）
〔1〕緒　論……（1）
〔2〕水面の形狀及び流線……（2）
II　彎曲部の水流に關する實驗……（5）
〔1〕實驗裝置及び方法……（5）
〔2〕90° 彎曲水路……（6）
〔3〕60° 及び 30° 彎曲水路……（12）
〔4〕特殊斷面を有する水路……（15）
III　結　言……（20）

I. 彎曲部の水流に關する考察

〔1〕緒　論

開水路の一部に彎曲部が存在する時は最早その前後を通じての等速定流は存在しない．即ち彎曲部には比較的大なる水頭損失を伴ふが故に若し斷面の形及び大きさが變化する事がなければ流水は之を通過する爲には平均勾配以上の勾配を必要とし，從つて彎曲部の前後に水位の昇降を來す事は明かである．之と同時に水分子の運動方向が彎曲する爲にこの部分にては遠心力が作用し從つて流水の横斷面は彎曲の外方が高く，内方が低くなる事も容易に察知せられる處である．

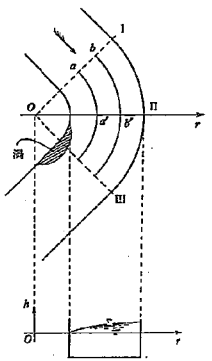
河川は自然河川に於ても既改修河川に於ても幾多の彎曲部を有してその流れの性質を複雜多岐ならしめてゐるのであつて，河川改修上特に注意を要する點は上述の如き水位の變化と之に伴つて起る河床の局部的洗掘である．その詳細に就ては後に記述するが彎曲の外側に深掘部を生ずる事は一般に知られる處である．

尚不定流の場合の一例としては彎曲部にて洪水傳播速度が幾分低下し上流側の高水位上昇を來す等の事實があるが，此處には先づ定流狀態に在る水流のみを考慮する事とした．

從つて以下に述べる所には不定流に關する事項を含んでゐないがそれ等の現象が近似的に不定流にも適用されると考へる事は差支へないと思ふ.

〔2〕 水面の形狀及び流線

（1） 彎曲による水頭損失　彎曲部にて特に水頭損失が大きくなる原因は第1圖の様に彎曲の內側に渦を生じて流水の斷面積が局部的に減少する爲と，後に述べる様に流線の平均方向が螺線形となり流線の長さが比較的長くなると共に流水の攪亂度（Turbulency）が大きくなる爲等がその主なるものと考へられる．その中でも最も大なる影響を有するものは第一の渦の發生に起因するものと見做す事が出來るから，直線部の平均流速を v にて表はせば水頭損失は略 v^2 に比例するものと考へる事が出來る．



第 1 圖

彎曲に起因する水頭損失の大さに關しては Boussinesq によれば水路中心線の單位長當りの損失水頭 h_r は次式にて與へられる．

$$h_r=\tau\frac{v^2}{h}\sqrt{\frac{b}{R}} \quad \cdots\cdots(1)$$

但し τ は常數，h は直線部の水深[1]，b は水路幅，R は彎曲部に於ける中心線の曲率半徑であつて，τ の値を實測せる結果は m－sec 單位にて Elbe 川及び Fulda 川に於て 0.0004，Weser 川及び Sprée 川に於て 0.00023 であつた．

（2） 水面の橫斷曲線　先づ流速があまり大きくなく渦の發生する事のない場合に就て考へる．第1圖にて水路の內壁及び外壁の曲率半徑を r_1 及び r_2 とし，外壁に沿ふ水位の高まりを求めるのであるが，水の靜力學基本方程式は

$$Xdx+Ydy+Zdz=\frac{dp}{\gamma}$$

の形となるからこの場合は鉛直上向きに z 軸を取り x 方向を r 軸とすれば

X＝各水分子に働く遠心力の加速度 $=\dfrac{v^2}{r}$

$Z=-$（重力の加速度）$=-g$

尙圖に示す様に $dz=dh$ であるからこの基本方程式は次の形となる．

$$\frac{dh}{dr}=\frac{1}{g}\frac{v^2}{r} \quad \cdots\cdots(2)$$

1) h は等速定流の場合の水深である．

之を解く爲に先づ彎曲部全體を通じて流速 v が一定なるものと假定すれば

$$h=\frac{v^2}{g}\ln r+\text{const.}$$

$r=r_1$ にて $h=0$ なるものとすれば　$h=\frac{v^2}{g}\ln\frac{r}{r_1}$

故に $r=r_2$ に於ける水位の高まりは $r=r_1$ に於ける水面上 h_2 なるものとすれば

$$h_2=\frac{v^2}{g}\ln\frac{r_2}{r_1} \quad \cdots\cdots(3)$$

(3) 式は最も近似的に水面の上昇を表はす式であるが實際は v が一定ではない事が明かであるから，第二の假定として流速は一定ではないが水面にある流線は終始水面に在つてその下に潛入する事がないものとする．その時は第1圖の樣な水面にある流線 aa' 及び bb' を考へてその各々に Bernoulli の定理を適用すれば

$$\left.\begin{aligned} h_a+\frac{v_a^2}{2g}&=h_a'+\frac{v_a'^2}{2g}\\ h_b+\frac{v_b^2}{2g}&=h_b'+\frac{v_b'^2}{2g}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(4)$$

但し h_a, v_a 及び h_b, v_b は夫々 a 及び b に於ける水位及び流速，h_a', v_a' 及び h_b', v_b' は夫々 a' 及び b' に於ける水位及び流速を表はすものである．a 及び b を相當上流の直線部に取れば　$h_a=h_b$ ，$v_a=v_b$　であるから彎曲部に於ては

$$h_a'+\frac{v_a'^2}{2g}=h_b'+\frac{v_b'^2}{2g} \quad \cdots\cdots(4)'$$

$$\therefore\quad h+\frac{v^2}{2g}=\text{const.}\quad (r\text{ に無關係})$$

$$\therefore\quad \frac{\partial}{\partial r}\left(h+\frac{v^2}{2g}\right)=0 \quad \cdots\cdots(5)$$

この水位差 h を生ずる原因を遠心力のみに在るものとすれば (2) 式の場合と同樣にして

$$\frac{\partial h}{\partial r}=\frac{1}{g}\frac{v^2}{r}$$

$$\therefore\quad \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{v^2}{2g}\right)+\frac{1}{g}\frac{v^2}{r}=0 \qquad \therefore\quad \frac{\partial v}{\partial r}+\frac{v}{r}=0$$

$$\therefore\quad vr=F(s) \quad \cdots\cdots(6)$$

但し F は任意の形の函數，s は水路の中心線に沿つて測れる長さである．故に vr は一斷面內にてはその水面の線上何れの點にても一定であるから任意の一斷面に就て考へる時は $r=r_1$ にて $h=0$ とすれば

$$\frac{\partial h}{\partial r}=\frac{1}{g}\frac{C}{r^3} \quad \text{但し} \quad vr=C$$

$$\therefore\quad h=-\frac{C}{g}\frac{1}{2r^2}+A\qquad 但し\qquad A=\frac{C}{g}\frac{1}{2r_1^2}$$

$$\therefore\quad h=\frac{C}{2g}\left(\frac{1}{r_1^2}-\frac{1}{r^2}\right)\cdots\cdots(7)$$

前と同じく $r=r_2$ に於ける水位を $r=r_1$ に於けるものよりも h_2 だけ高きものとすれば

$$h_2=\frac{C}{2g}\left(\frac{1}{r_1^2}-\frac{1}{r_2^2}\right)\qquad 又は\qquad h_2=\frac{F(s)}{2g}\left(\frac{1}{r_1^2}-\frac{1}{r_2^2}\right)\cdots\cdots(8)$$

尙水面の横斷は (7) 式にて表はされる曲線である.

(3) 流線　前節に於ては水面の形を近似的に求める爲に水面の流線は終始水面上に在るものと假定したが實際とはやゝ相異してゐるのである. 河川の水流は渦流(Turbulent flow) であるから假令直線部のみであつても水分子の經路は簡單ではないのであつて, 此處に流線と考へるものは水分子の運動の平均方向を連ねた線を意味し周壁の摩擦抵抗の爲に之は直線とはなり得ない. 故に彎曲部に於て流線が複雜な形態を示すのは當然であるが周壁の摩擦抵抗を無視し直線部の流線は平行なる直線群なりと假定するも彎曲部の流線は一種の立體曲線を畫くのであつて前節に用ひた假定は正確なものではないのである. 水中の或る點に於ける壓力を p, 水の單位體積の重さを w_0 とすれば (4)′ 式は次の形を取らなければならない.

$$h_a'+\frac{v_a'^2}{2g}+\frac{p_a'}{w_0}=h_b'+\frac{v_b'^2}{2g}+\frac{p_b'}{w_0}$$

$$\therefore\quad h+\frac{v^2}{2g}+\frac{p}{w_0}=C_1\cdots\cdots(9)$$

この C_1 は與へられたる常數である. 然し (9) 式に對して前節の如き近似解法を適用する事は殆ど不可能であるから此處には單に次の如くしてその傾向を考察して置く. 卽ち水面以下に在る流線が水面の流線と異る處は遠心力の作用を受けても後者の樣に直ちに高度水頭 (Elevation head) の變化となつて現はれる事なく, 彎曲の外側にては高度水頭の變化は水面より下るに從つて制限せられ壓力水頭 p/w_0 の增加を來す. 故に水底部の流線は一旦外壁に近付きたる後壓力の小さき內側上方に向ふ. 一方水面附近に在りし流線は遠心力の爲に外側に集つて流れるが, 上に述べた樣に水底部の流線が內側上方に向ふ爲に外側下方には再び低壓部を生じて水面部の流線が下向きの分速度を得る. 斯くして水路が右折する時ならば流線は全體的に左まはり螺線狀となり, 水路が左折する時は之が右まはり螺線狀となる. 而してこの傾向は彎曲部の中央 (第 1 圖の斷面 II) の附近より起り彎曲の末端 (同圖の斷面 III) を過ぎて直線部に入りたる後も多少繼續してゐる.

(4) 水面の縱斷曲線　既に述べた樣に彎曲部に於ては內側に渦を生じ流水の斷面積が減じて水頭損失が大きくなる. 故に流れが常流狀態に在るものとすれば水面の縱斷曲線

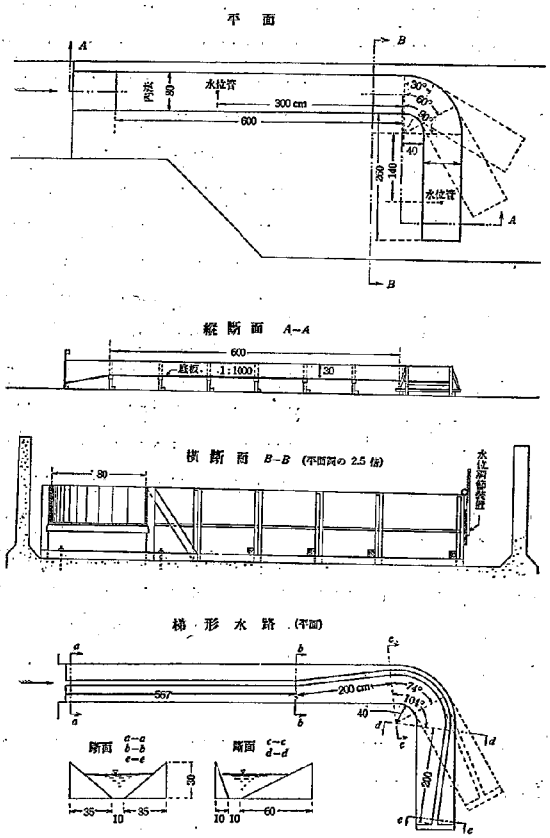
は當然豫想される様に渦の生ずる部分より上流側にては水位が高まり，その下流側にては水位が低下して中間に勾配の大なる部分を生ずる．渦は一般に彎曲部の中央よりも下流に於て生ずるのであるからその部分より上流にては水面勾配は却つて減少し，急勾配の部分は彎曲の中央より末端の間に在する．之等の關係は橋脚背水等の場合と同様である．

II. 彎曲部の水流に關する實驗

〔1〕 實驗裝置及び方法

(1) 實驗裝置

本實驗は本所赤羽分所内の工法試驗水路中に更に第2圖の如き木製の模型水路を製作し專ら之によつて測定せるものである．即ち水路は幅 80 cm，深さ 30 cm の矩形斷面を有しその中心線に沿ふ底勾配は 1/1,000 である．彎曲部は中心線の曲率半徑は常に 80 cm であつて彎曲の角度を 90°，60° 及び 30° の3種とし，梯形斷面に就て實驗を行ふ場合には圖に示す様にこの中に梯形水路の模型を作つた．而してこの梯形水路の場合は形を實際に近からしめる爲に彎曲部にては最深部が外側に寄る様にしたので矩形水路の彎曲の角度が 90° 及び 60°

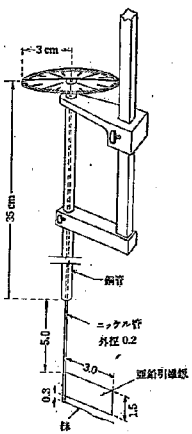


第 2 圖　彎曲水路實驗設備

なる時に梯形水路の彎曲角度は 104° 及び 74° となつた．その形の詳細は第2圖中の最後の圖に示す．

試驗に用ひたる工法試驗水路は上流端に一定水位に保たれたる高水槽及び矩形測定堰を有し之より絶えず任意の一定流量の水を送る事が出來る．水深を一定に保つ爲には木製矩形水路の末端に調節可能なる堰上板を設け，之を適當に上下する事によつて水深を任意の大きさに保つ樣にした．（第2圖參照）

（2）測定方法．　本實驗に於て主として觀測したのは水面の形狀及び流線の方向であつて，前者を測定する爲には移動觀測臺上に取り付けたる水面測定針により，後者を知る爲には第3圖の如き鉛直軸と指針を有する翼を製作して專ら之を用ひた．翼は 1.5 cm×3 cm の大きさを有する亞鉛引鐵板であつて鉛直軸は之を支持する鉛直管内に在る．翼の方向は指針の目盛盤上の動きによつて知られる．この裝置によれば測り得るのは流水の或る小部分に於ける流水の平均方向の中にてその水平方向のみであつて，鉛直方向は全然測り得ない．然しこの點に關しては後に示す樣に幾つかの水平斷面に就て水平分速度の方向を記入すれば鉛直面内の分速度の方向は自ら知られるのである．又この裝置によれば或る一點に於ける流水の方向は測り得ないが渦流狀態に在る水流に於ては流線が極めて狹き部分の流れの平均方向を意味するものと見てよいから，壁面の近く又は渦の中，等を除けばこの裝置にて測定せる流線の方向は略ゝ當を得たものと思ふ．尙この他に表面の流線を知る爲に小浮子を流して寫眞に撮影する方法を用ひた．之によれば浮子の移動せる距離と撮影の露出時間より速度をも求める事が出來るが，表面の流線が水面下に入る時にも浮子は水面に殘るからそれより下流の流線は實際とやゝ異つたものとなる．



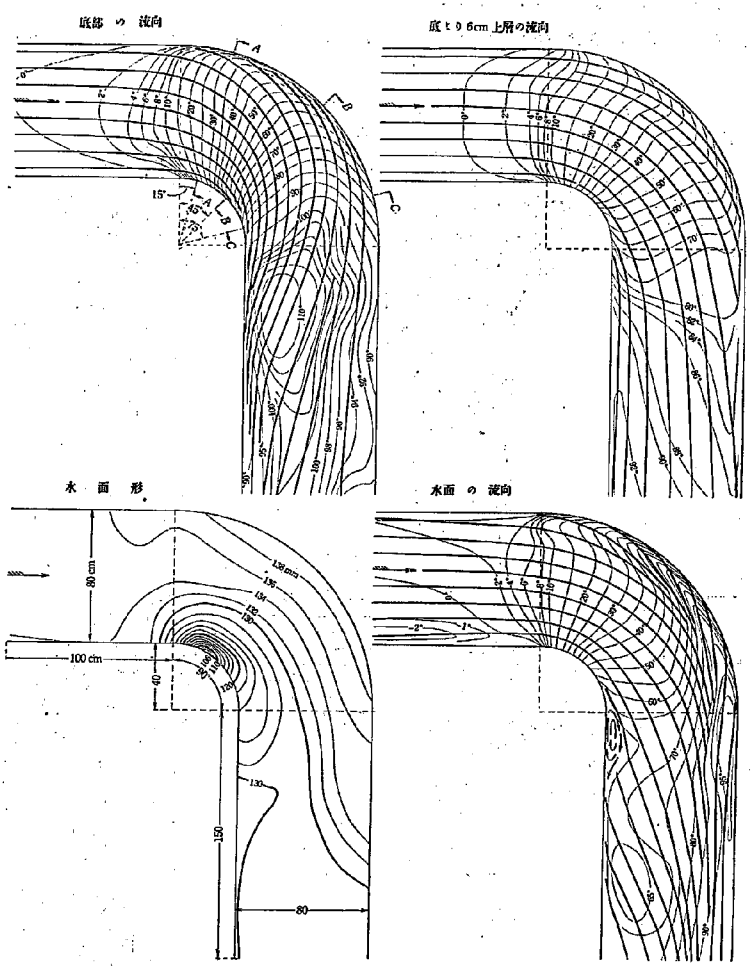
第 3 圖

〔2〕 90° 彎曲水路

（1）粗度小なる場合　模型水路内に流量 Q の水を送る時は之が直線水路ならば等速定流となるべき水深 H は次式より與へられる．

$$\left.\begin{aligned} &\frac{H^3}{1+\frac{2H}{B}}=\frac{Q^2}{B^2C^2I} \\ \text{又は近似的に}\quad &H^3=\left(1-\frac{2H}{B}\right)=\frac{Q^2}{B^2C^2I} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

但し　B; 水路幅,　C; Chézy の常数,　I; 水路底勾配,

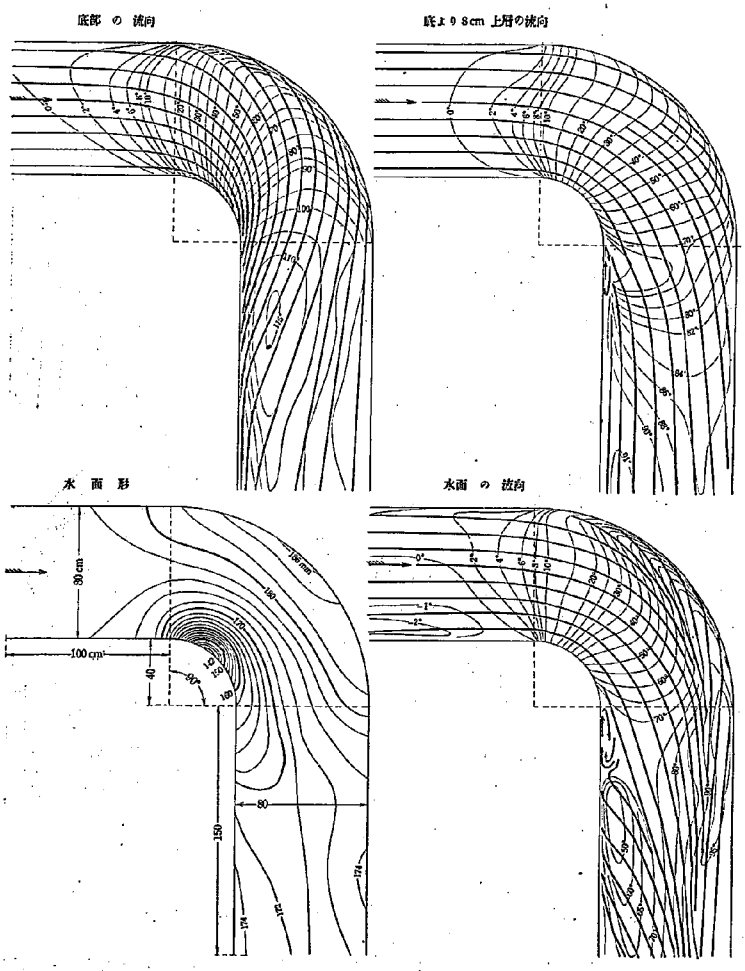


第 4 圖　彎曲部附近の流向及び水面形,　矩形斷面　90°彎曲　$Q=50$ l/sec

試驗に於ては平均の水深がこの H に略ゝ等しくなる樣に水位の調節を行つた. 先づ粗度の小なる場合として水路の兩側及び底を鉋仕上けせる水部をそのまゝ用ひ, 流量は 50l/sec

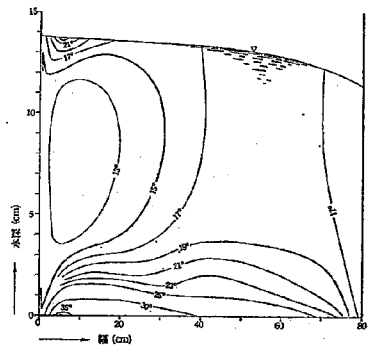
及び 75 l/sec の 2 種に就て觀測を行つた. その時の平均水深 H の大さは粗度 n を約 0.014 として 13.3 cm 及び 17.5 cm である.

流量が 50 l/sec 及び 75 l/sec の二つの場合に於ける彎曲部附近の流線の形及び水面形

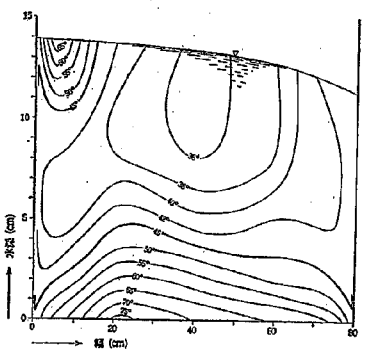


第 5 圖 彎曲部附近の流向及び水面形, 矩形斷面 90°彎曲 $Q=75$ l/sec

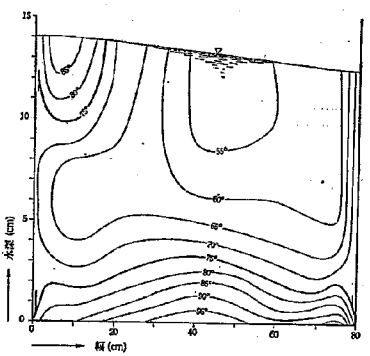
を第4圖及び第5圖に示した．その中にて水面形は等高線にて表はしたるものであつてその基準面は直線部より彎曲部に移る斷面の底の高さを用ひてゐる[1]．流線は底部，底より6 cm 又は 8 cm の高さにある水平層及び水面の3層にて測定せるものである．之等の流線圖を畫ける方法を述ぶれば，實測の結果より一つの水平斷面内に在る多數の點に於ける流線の方向を上流直線部の流心線となす角度を以て表はし，この角度の同じ値となる點を連ねて一種の等高線の如き曲線を畫く．之が圖中に細線を以て畫ける曲線であつて線上の數字はこの角度を示すものである．之等の曲線と交る時の流線の方向は既知であるから適當に補間法を用ふれば圖上にて流線を記入する事が出來る．但し渦の中の流線は肉眼的觀察によるものであつて，流線の途中にて切れたるものは便宜上のものであつて必ずしもこの點にて鉛直分速度を得て流線が此の水平面より消える事を意味するものではない．然し壁面附近にてはこの性質が見られるのであつて，例へば彎曲部より直線部に變遷してより少し下流の處にては底部の流線は内側の壁に當りて上向きの分速度を得，水面にては壁に沿つて下より流線が現はれてゐる．斯くして第1章に述べた様な螺線形の流線を生じてゐる事が明かに見られる．



(a) 斷面 $A-A$



(b) 斷面 $B-B$

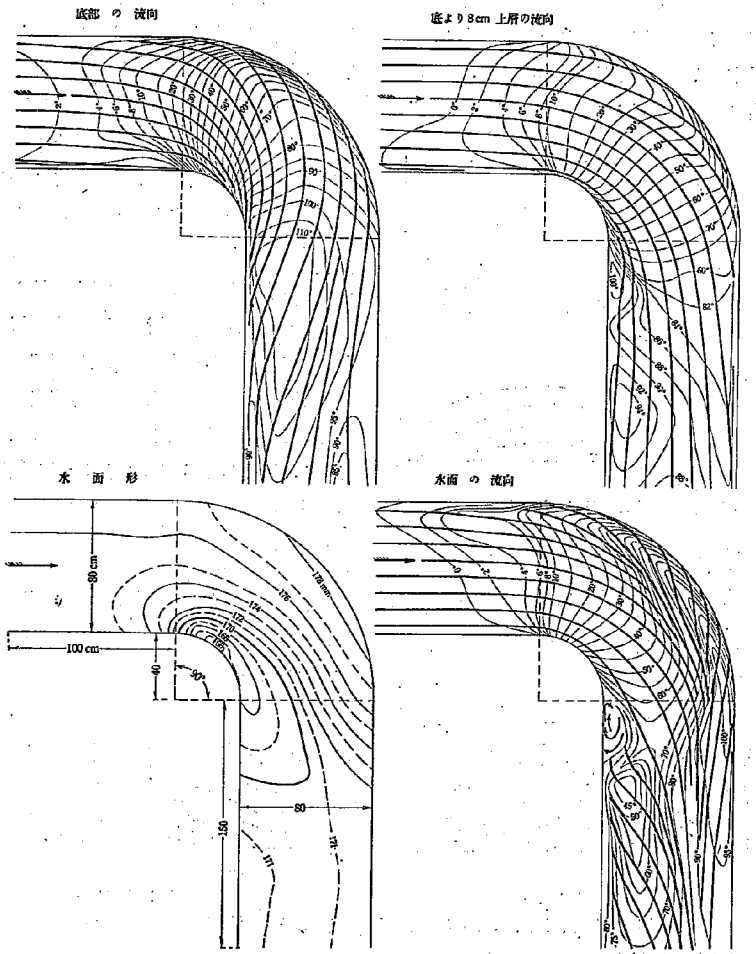


(c) 斷面 $C-C$

第 6 圖　横斷面中に於ける流向分布，(矩形水路　90°彎曲　$Q=50\ l/\mathrm{sec}$)

1) 以下 17 圖まで常にこの高さを基準としてゐる

第6圖の (a) (b) (c) は夫々第4圖中に示す斷面 A−A, B−B 及び C−C の位置に於ける水面の横斷曲線と流向分布を示すものであつて（圖は上流側より見たるもの），流向分布曲線は前と同じく各點に於ける流線の方向が上流側直線部の方向となす角度を求めてこの角度の等しき點を連ねたるものである．尙同圖は $Q=50$ l/sec の場合のみであるが



第7圖 彎曲部附近の流向及び水面形，矩形 90°彎曲 $Q=47$ l/sec 金網張り

$Q=75$ l/sec の時もその性質は略ゝ同じであるから省略した．各圖を見る便宜上この三つの斷面への垂線が基準方向たる上流側直線部の方向となす角度を示せば，A－A 斷面にて 15°，B－B 斷面にて 45°，C－C 斷面にて 75° であるから各斷面毎に夫々之等の値を差引いて考へれば流心線よりの傾きが得られる．但しこの差が正なる時は流線が流心線の方向より內側に向ふ場合であつて，之が負なる時は反對に外側に向ふ場合である．

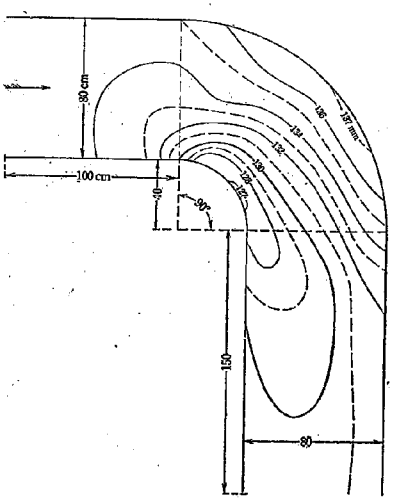
（2） 粗度大なる場合　次に同じ模型にて壁面及び水路床に大なる粗度を與へる爲に全面にクリンプ金網（鐵線徑 1.2 mm，網目 15 mm）を張り同樣の測定を行つた．その時水深を前と同じに保たしめる爲に流量を調節して $H=13.3$ cm 及び 17.5 cm の場合に對して夫々 $Q=32$ l/sec 及び 47 l/sec とした．從つて之より逆に金網のある場合の粗度係數を計算すれば

$$C=\frac{Q}{B}\frac{1}{\sqrt{IH^3\left(1-\frac{2H}{B}\right)}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

より計算して $C=34.05$ 及び 33.85 を得る．故に平均 $C=33.90$，粗度は $n=0.020$ の程度である．

この場合の水面形は第7圖及び第8圖に示してゐるが，流線の形狀は金網のない場合に比して著しく單調であるから比較的現象の明瞭な $Q=47$ l/sec の場合のみに就て觀測しその結果を第7圖中に示した．水面形も金網のない場合に比すれば凹凸が小さく渦の大きさも小さい．流線は全然前と同じ方法で畫いたものであるが第7圖を前の第5圖と比較すれば彎曲の外側にて壁面の粗度の影響が明瞭に現はれてゐるのが見られる．卽ち壁面に沿つては流速が小さくこの部分の流れは流心部とは別の層を生じ從つて表面の流線が水面下に沒する位置は壁面より相當に離れてゐる．而して粗度の影響の爲に螺線運動は著しく阻害され水面形もその凹凸が非常に少くなつてゐる事が見られる．

尙茲には水面の縱斷曲線に關しては全然述べてゐないが，之は他の場合の實驗



第 8 圖　彎曲部附近の水面形矩形斷面
90°彎曲　$Q=32$ l/sec 金網張り

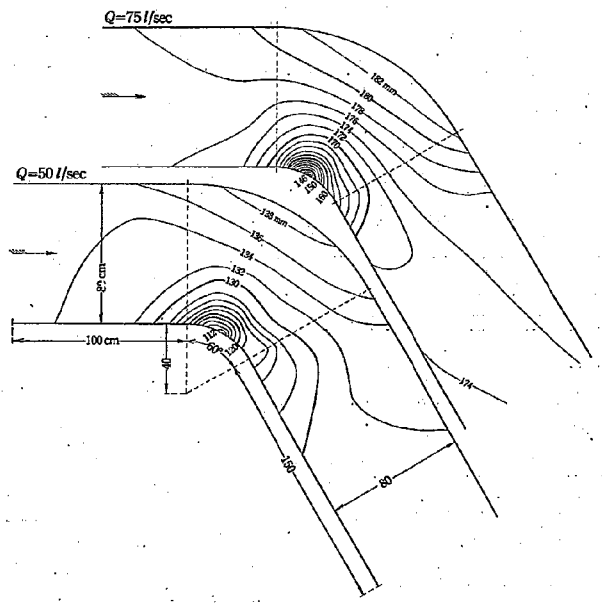
結果と共に後に第 12 圖に於て示す．從つてその說明も後に讓る事とする．

〔3〕 60° 及び 30° 彎曲水路

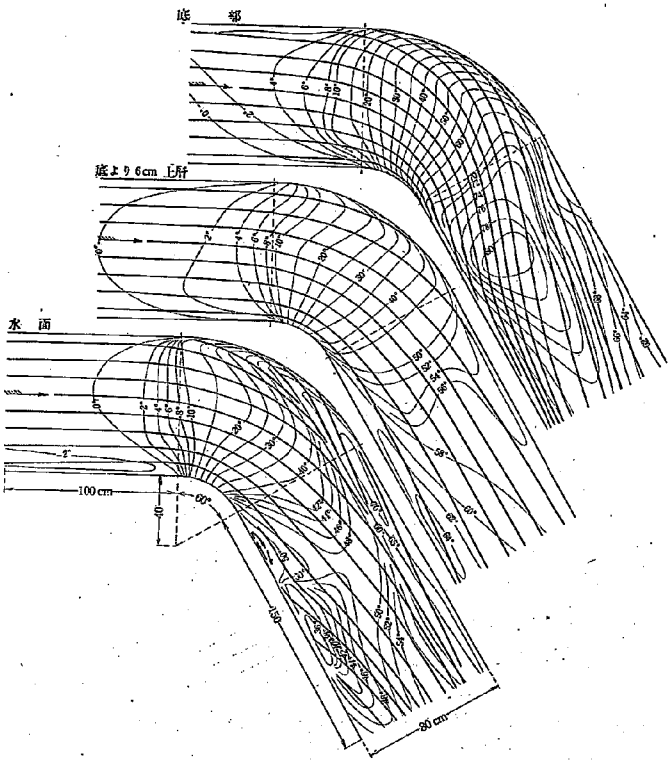
之は彎曲後の水路の方向が元の方向より 60° 又は 30° だけ變ずる場合であつて，水路中心線の曲率半徑は前と同じく 80 cm である．尙實驗は金網を張れる場合に就ては之を行はず流量は前と同じく 50 *l*/sec 及び 75 *l*/sec の 2 種として專ら彎曲の角度の影響を見る事を目的とした．故に以下に示す諸圖は第 4 圖及び第 5 圖と比較すべきものである．

（1） 60° 彎曲水路　90° 彎曲の場合と同じく $Q=50$ *l*/sec 及び 75 *l*/sec に對して水深は夫々 $H=13.3$ cm 及び 17.5 cm となる樣に調節して觀測を行つた．第 9 圖は水面形を表はす等高線であつて，第 10 圖は $Q=50$ *l*/sec の場合の流線の形狀を表はすものである．$Q=75$ *l*/sec の場合の流線形は省略した．

この場合も流線は明瞭な螺線形を取つてゐるが水面に現はれる渦は 90° 彎曲の場合に比して遙に小さくなつてゐる．水面形に於ても 90° 彎曲の時は內壁と外壁の水位差の最大が 33 mm なるに對し（第 4 圖參照）この場合は約 27 mm となつてゐる．又水面の



第 9 圖　彎曲部附近の水面形，矩形斷面　60°彎曲

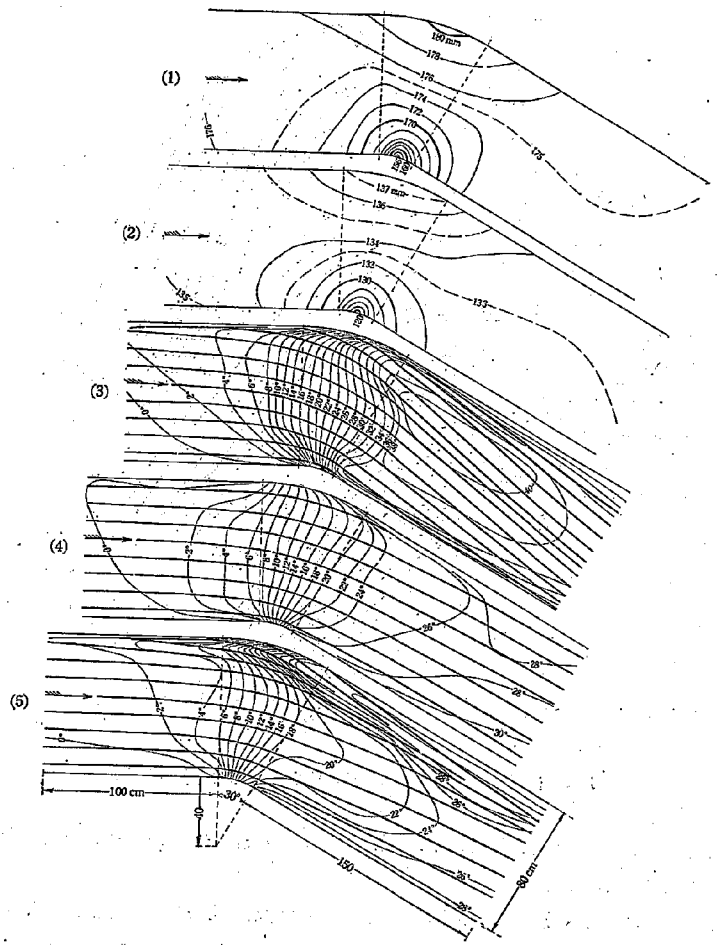


第 10 圖　彎曲部附近の流向，矩形斷面　60° 彎曲　$Q=50$ *l*/sec

影響に比して底の影響は比較的著しく底より 6 cm の處にある水平層内の流線の形狀は兩者の間に相當の差異がある．

（2）　30°彎曲水路　Q 及び H は何れも 60° 彎曲の場合と全然同じである．第 11 圖の(1)及び(2)は夫々 $Q=75$ 及び 50 *l*/sec の時の水面の等高線を表はすものであつて (3) 以下は何れも $Q=50$ *l*/sec の時の流線の形を示すもので(3)は底部，(4)は底より 6 cm 上層，(5)は水面に於けるものである．前と同じく $Q=75$ *l*/sec の時の流線の形狀は省略した．

第 11 圖を第 4 及び第 5 圖又は第 9 及び第 10 圖と比較すれば，水面形に於ては彎曲部の內壁と外壁の水位差の最大はこの場合は約 18 mm に過ぎず，水面の渦は全然存在してゐない．水分子の螺線運動は全く微弱となり狀況は非常に直線水路に近くなつてゐる．



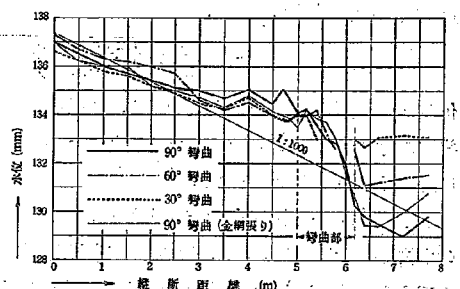
第 11 圖　彎曲部附近の流向及び水面形，矩形斷面　30°彎曲

60° 彎曲及び 30° 彎曲の場合に對しては粗度の異る狀態に就ての實驗は全然行はなかつたが，粗度が大きくなれば同じ水位に對しては流量が減じ且つ螺線運動が妨げられる爲に彎曲の影響は非常に小さくなる事は明かである．

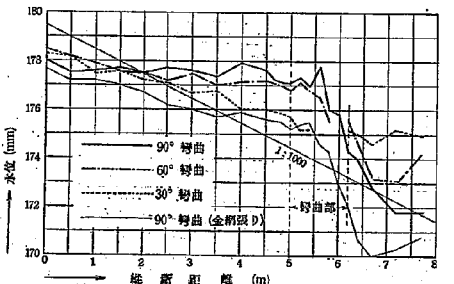
(3). **水面の縱斷形**　便宜上此處に矩形水路に於ける水面の縱斷形を 90° 彎曲の場合

も共に記載する．第12圖の(1)は $Q=50\,l$/sec（金網張りの場合は 32 l/sec）に於ける縦断形であつて，(2)は $Q=75\,l$/sec（金網張りの時は 47 l/sec）に於けるものである．圖中に彎曲部として示せる範圍は90°彎曲の時の長さであつて，彎曲の角度が小さい時は彎曲部の長さは小さいから縦断曲線が途中にて切れてゐるが實際は之が直線部の縦断曲線に直接連るのである．

第12圖中の金網張りの場合に對する曲線は流量を異にするものであるから直接に比較する事は出來ないが，他の3曲線は流量 Q 及び上流直線部の水深 H が等しいものであつて之より彎曲部の長さによる水面縦断形の變化を見る事が出來る．卽ち下流側直線部の水位は彎曲の角度の小さいもの程大きくなつてゐて彎曲の爲の水頭損失の狀態を現はしてゐる．本實驗に於ては水位の調節が稍不充分の爲に實驗結果より見れば水面勾配は 1/1,000 よりも小さくなつて居り，之を 1/1,000 とすれば水位は全體的に今少し低くなる筈である．然し夫々の場合の相互關係は第12圖に示すものと殆ど相異はないと思ふ．



(1) $Q=50l$/sec 及金網張り $Q=32l$/sec



(2) $Q=75l$/sec 及金網張り $Q=47l$/sec

第 12 圖

何れの場合に於ても彎曲による障碍の爲に上流側に起る背水現象は相當に著しく 1～3 mm 程度のものが見られる．之は渦の發生が大なる原因を爲すものと考へられ，渦の發生する事のない 30° 彎曲の場合は背水現象は極めて微弱である．90° 彎曲にて金網を張れる場合は流量を減じて水位を等しくしてゐるが，その結果水面の縦断曲線は金網のない場合のものと大差ない形となつてゐる．

〔4〕 特殊断面を有する水路

之は第〔1〕節の(1)に述べた様に矩形水路内に設けた梯形水路（第2圖參照）に關する實驗であつて既に述べた様に彎曲部にては最深部が外側に寄る様にし更に前後の直線

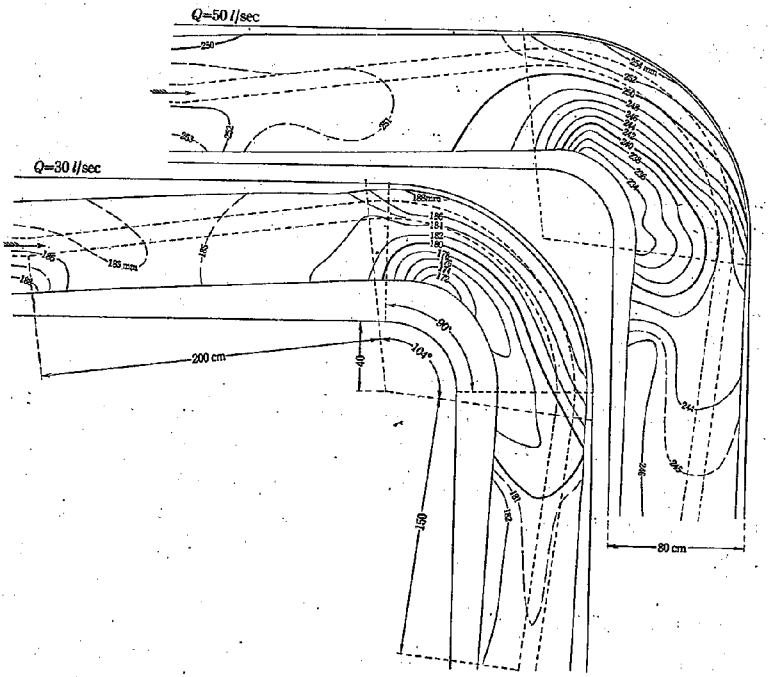
水路との間に對稱形取付部を設けた爲に彎曲の角度は 104° 及び 74° となる.

（1） 104° 彎曲水路　水面形は $Q=50$ l/sec 及び 30 l/sec の2種の場合に就て觀測を行ひ，その結果を第 13 圖に示した．梯形水路（側壁の傾角 θ）に於ける等速定流の流量 Q は次式にて與へられる.

$$Q=\sqrt{\frac{(B_1\sin\theta+H\cos\theta)^3}{\sin^2\theta(B_1\sin\theta+2H)}\cdot H^3C^2I} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

但し B_1 は底幅，I は水面勾配である．側面及び底の粗度を約 $n=0.014$ と取りて夫々の場合に對する水深 H を計算すれば大體 $Q=50$ l/sec に對して $H=24.2$ cm，$Q=30$ l/sec に對して $H=18.5$ cm となる.

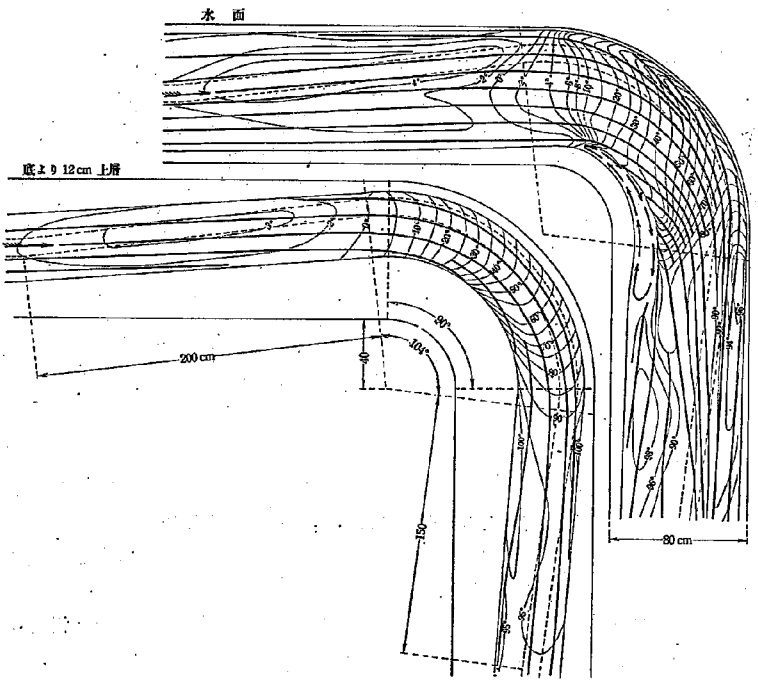
水面形は第 13 圖に示した様な狀態となつて居り $Q=50$ l/sec の時に水路の內壁と外壁の水位差の最大は約 21 mm であるから矩形斷面の時の 33 mm に比すれば約 2/3 となつてゐる．$Q=30$ l/sec の時は之が更に小さく約 17 mm である.



第 13 圖　彎曲部附近の水面形，梯形斷面　104°彎曲

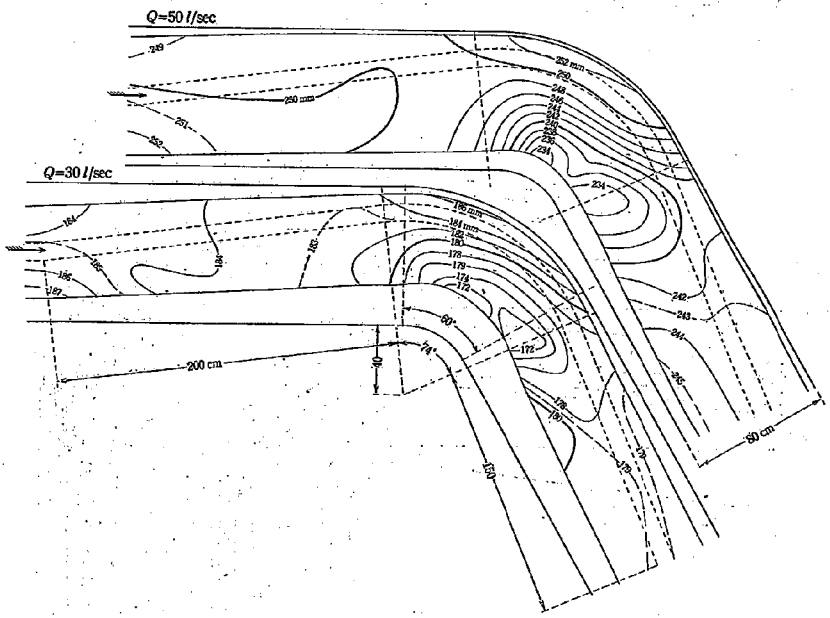
彎曲部附近の流線に關しては $Q=50\ l/\mathrm{sec}$ の場合に就てのみ觀測を行ひ，水面及び底より 12 cm の上層に於ける水平面内の流向を求めて之を第 14 圖に示してゐる．この圖より見れば梯形斷面にては表面に於ける彎曲内側の渦は相當に著しいが流れ全體としての螺線運動はあまり著しく現れてゐない．この一つの原因は後に述べる様に彎曲部に於て最深部が外側に寄る様にして實際河川の比較的安定となれる狀態に近からしめた爲であると思ふ．

（2） 74° 彎曲水路　　之は 60° 彎曲の矩形斷面内に梯形斷面の模型を設けたものであ



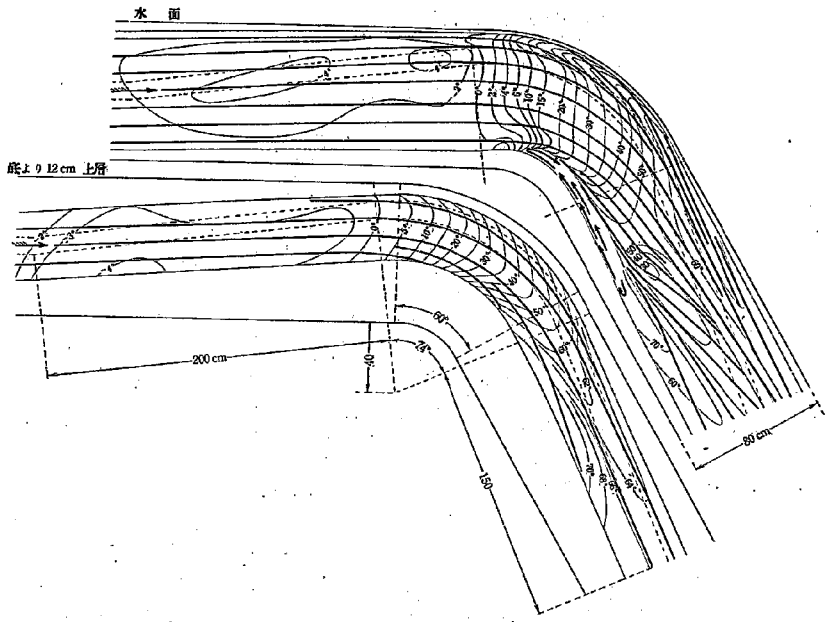
第 14 圖　彎曲部附近の流向　梯形斷面　104° 彎曲　$Q=50\ l/\mathrm{sec}$

つて $Q=50$ 及び 30 l/sec の場合に對する水面形を第 15 圖に示す．この時の $Q=50$ l/sec に對する內壁と外壁の水位差の最大は約 19 mm であつて，之に相當する矩形斷面の場合の大さは約 27 mm であつた．尙 $Q=30$ l/sec の時のこの水位差は約 15 mm である．この圖を第 13 圖と比較すれば水面等高線の性質は殆ど同じであつて唯その凹凸の程度を異にするのみなる事が見られる．



第 15 圖 彎曲部附近の水面形，梯形斷面 74° 彎曲

次に第 16 圖は $Q=50$ l/sec の場合の流線の形狀を表はすものであつて，90° 彎曲の時と同じく水面及び底より 12 cm 上層の二つの水平面內の流線の方向を描いた．この場合も水面の渦は相當著しく現れてゐるにも拘らず流れの螺線運動の傾向は極めて少く 90° 彎曲の場合（第 14 圖）に比しても一層少くなつてゐる．又之を第 10 圖と比較すれば水面の渦は梯形水路に於ける方が遙かに大きく，從つて彎曲による水頭損失は相當に著しいも

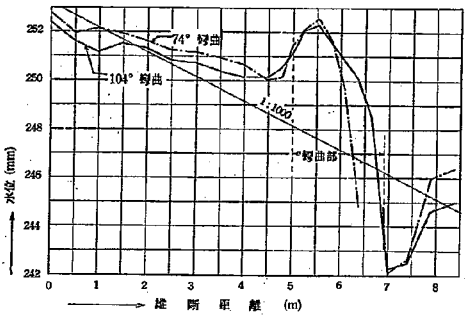


第 16 圖　彎曲部附近の流向　梯形斷面　74° 彎曲　Q=50 l/sec

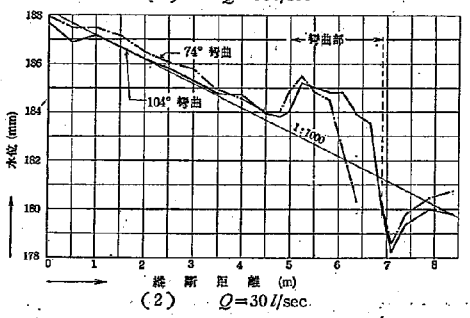
のと見なければならない.

（3） 水面縱斷曲線　矩形水路の種々の場合に對する水面縱斷曲線は既に第 12 圖に示したが，第 17 圖には梯形水路の場合にその流心線（底幅の中心線）に沿つて測れる水面の縱斷曲線を示す．圖中に彎曲部として示せる範圍は 104° 彎曲の場合の彎曲部の長さに相當するものであつて，74° 彎曲の場合には曲線の切れたる部分を接連せるものとして考へねばならないのである．流量 Q は 50 及び 30 l/sec であるが何れの場合にも平均水面勾配は 104° 彎曲の時の方が相當に大きくなつてゐる.

背水現象は Q=50 l/sec の時は明瞭に見られるが Q=30 l/sec の時は餘り著しくはない．然し矩形水路の場合（第 12 圖參照）に比して彎曲部の水位が著しく高いが，之は主として遠心力の影響と見なければならないから，梯形水路に於ては螺線運動は著しくはないが遠心力の作用による彎曲部外側の水位上昇は相當に大きいものであると言ふ事が出來る．然し內壁附近に於ける水面の凹みは矩形水路に於けるよりも遙かに小さいから內壁と外壁の水位差に就ては矩形水路の場合よりも小さくなつてゐる.



(1) $Q=50\,l/\mathrm{sec}$



(2) $Q=30\,l/\mathrm{sec}$

第 17 圖 水面の縦断形 (梯形水路)

III. 結　　言

(1) **水流の相似律**　先づ二つの相似矩形斷面に於ける水流の比較を行ふ事とし，各々に對する流量，水深，水路幅，流速，水面勾配を夫々 Q_1, H_1, B_1, v_1, I_1 及び Q_2, H_2, B_2, v_2, I_2 とする．この時 $H_2=nH_1$, $B_2=mB_1$ の關係あるものとし，C は兩者共通なるものとすれば[1] 廣矩形斷面と假定して

$$I_2=\frac{n}{m}I_1 \qquad (\text{水平伸縮率を } m \text{ とせり})$$

$$\therefore \quad Q_1=B_1H_1^{\frac{3}{2}}CI_1^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_2=B_2H_2^{\frac{3}{2}}CI_2^{\frac{1}{2}}=mn^{\frac{3}{2}}\frac{n^{\frac{1}{2}}}{m^{\frac{1}{2}}}B_1H_1^{\frac{3}{2}}CI_1^{\frac{1}{2}}$$

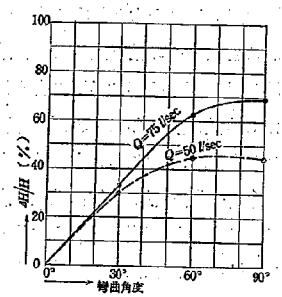
$$\therefore \quad Q_2=m^{\frac{1}{2}}n^2Q_1 \qquad \cdots\cdots(13)$$

1) 平均流速公式の係數 C は水路の大きによつてその値は大に異るが模型試驗に於ては壁面の材料を適當に撰ぶ事によつて C をほゞ共通ならしめる事が出來る．

流量に就ては大體 (13) 式の相似律が成立するものと考へられる．$m=n$ の場合は $Q_2=n^{2.5}Q_1$ である．

次に重力の場に於ける水分子の運動に關しては $m=n$ にて且つ摩擦抵抗の無視される時は相似律が成立する爲には Froude 數 lg/v^2 が共通なる事を必要とする．從つて必要なる條件は $v_2=n^{0.5}v_1$ であるから之は上の摩擦抵抗を考慮して，且つ $m=n$ にて C が共通なるものと假定せる時の條件と同じである．故に水平及び鉛直の伸縮率が等しい時は水流の相似律は大體に於て成立してゐると考へる事が出來る．

（2） 彎曲部に於ける水面の上昇　第 4 圖及び第 5 圖より見れば 90° 彎曲水路に於ては彎曲部の外側の水位上昇は $Q=50$ *l*/sec の時に約 6 mm．$Q=75$ *l*/sec の時に約 12 mm となつてゐるから之等は夫々平均水深の 4.5% 及び 6.9% に當つてゐる．同樣にして第 9 圖及び第 11 圖より彎曲の角度が 60° 及び 30° なる場合に於ける水位上昇の最大値を求めて之と平均水深との比を求むれば第 18 圖の樣になる．從つて之は (3) 式より與へられる樣な曲率半徑のみに關係する値ではなく，彎曲する角度も大いに影響するものである事は明かである．尙この値は流量 Q の大きい時の方が一般に大きくなつてゐるが之は Q の大なる時は流速も大きくなる爲に遠心力の作用が著しくなる爲であらう．又この水位上昇は彎曲の角度が小さくなれば急に減少してゐる．



第 18 圖

以上に述べたものは流水の遠心力に起因する水面上昇であるが，次に彎曲による水頭損失に起因する水面上昇も考へなければならない．勿論實測値にはこの兩者が含まれてゐるのであり實際の現象に於てもこの兩者は同時に現はれるのであるが，便宜上之を別々に考へれば第 12 圖の水面縱斷曲線は大體この彎曲による水頭損失を表はしてゐるものと見る事が出來る．今 (1) 式によつて單位長さ當りの損失水頭 h_r を計算すれば

$$h_r=\tau\frac{Q^2}{h^3b^{1.5}}\sqrt{\frac{1}{R}}$$

$$\therefore\quad h_r=\tau\frac{Q^2}{80^2h^5}\quad(\text{cm 單位})\cdots\cdots(14)$$

$Q=50$ *l*/sec, $h=13.3$ cm の時は　$h_r=166\,\tau$ cm

$Q=75$ *l*/sec, $h=17.5$ cm の時は　$h_r=164\,\tau$ cm

$\tau=0.00025$ とし彎曲の角度が 90°, 60° 及び 30° の場合に就て夫々に彎曲部全體としての損失水頭を計算すれば (cm 單位)

彎曲角度	90°	60°	30°
$Q=50$ l/sec	5.28	3.52	1.76
$Q=70$ l/sec	5.15	3.43	1.72

第 12 圖の實測の結果より見れば彎曲部にて生ずる全損失水頭は上の計算値よりも稍小さい様に思はれる．從つて斯の如き小型水路にては τ の値は 0.00020 位に取る方が良い様である．

（3） 彎曲部に起る洗掘に就て　この問題に就ては實驗は行はなかつたが第 13 圖～第 17 圖を見るに梯形斷面にては斯様に最深部を外側に寄せれば水流が略一様になるのであるから，斯の如き狀態は河流としては比較的安定に近く從つて洗掘も少い狀態である．然し流量によつて安定の狀態を異にするのであるから，實際の河流の様に流量の常に變化するものに於ては河床の狀態は絶えず變化するものと考へねばならない．

彎曲部にて洗掘の甚しいのは彎曲の外側に當る部分であつて，この附近にては流線は螺線運動の爲に上方より來る流線が方向を變じて內側上方に向ひ，從つてその河底は洗掘されると共にその稍下流側には內壁に沿つて沈澱を生ずる．故に螺線運動の繼續する間は河流の最深部は次第に外側に寄る傾向があるが，同時に螺線運動は減衰するのが普通であるから流量が變化しなければ或る程度に達すれば洗掘は大體停止するのである．上記の實驗に用ひた模型はこの安定に達した後の形狀を豫想して作つたものである[1]．

（4） 斷面形の水位に及ぼす影響　既に述べた様に梯形斷面の水路に於ては彎曲部の損失水頭は矩形斷面の場合に比して小さいが，遠心力による彎曲部外側の水面上昇は比較的著しい．之は同じ流量を流す時にも梯形斷面に於ては水面幅が非常に大きく，而も遠心力による水面上昇は水面附近の水がこの力を受ける爲に起るのであつて底部の水は遠心力の作用によつて壓力水頭の增加を來し流線の螺線運動を起すものと考へられる．從つて梯形斷面に於ては遠心力による水面上昇が著しく現はれる理由を知る事が出來るのであるが，之は又流速の增加に從つて大きくなり (3) 式によれば略流速の 2 乘に比例する事になる．

今一つ梯形斷面にて水位上昇の大きい理由と考へられるものは，かゝる斷面にては外壁附近に一帶の流速の小さい部分を生じ（第 14, 16, 17 圖參照）その爲にこの部分はその內側との釣合上位高水頭の增加を來して水面の上昇を見る事となる點である．

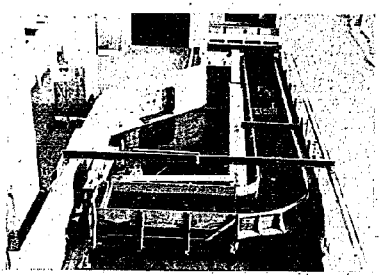
壁面の粗度を增加せしめた場合の影響も略之と同樣のものであるが水面幅が大きくならない爲に水位上昇は梯形斷面の時の様に著しくない．從つて大なる粗度は流線の螺線運

1) この問題に關して最近行はれた實驗の報告には次のものがある
Frity Habermaas; Geschiebeeinwanderung in Werkkanäle und deren Verhinderung. Wasserkraft u. Wasserwirtschaft, 3. Mai 1935.

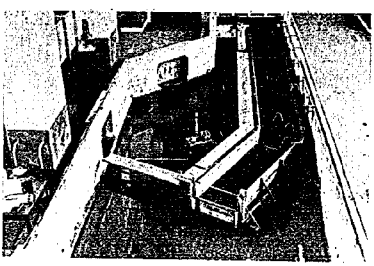
動を妨け水面の上昇を小ならしめるものと考へる事が出來る.

彎曲部に於ける流水の運動は非常に複雜であつて理論的に之を解決する事の困難なるのみならず, 實驗的に檢討する爲にも上に述べた程度のものでは未だ不充分と言はなければならないが, 第 II 章に掲げた實驗値は資料として多少の利用價値あるものと考へ測定値は出來得る限り掲載した.

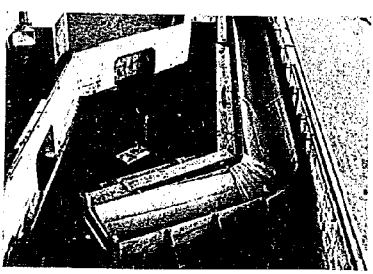
(5) 附圖及び附言　第 19 圖～第 21 圖の寫眞は用ひたる實驗裝置を示すものであ



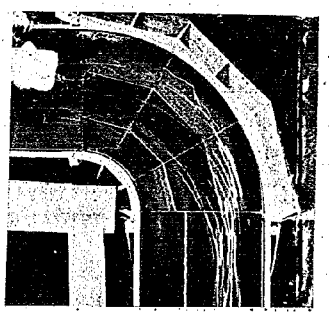
第 19 圖



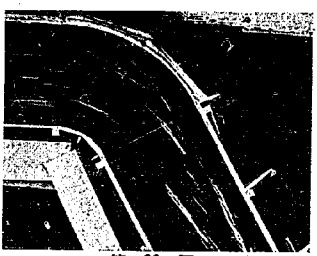
第 20 圖



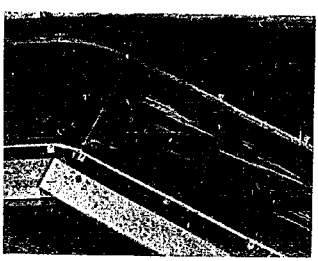
第 21 圖



第 22 圖



第 23 圖



第 24 圖

つて，第 19 圖は矩形斷面 90° 彎曲，第 20 圖は矩形斷面 30° 彎曲，第 21 圖は梯形斷面 74° 彎曲の場合である．第 22 圖～第 24 圖は矩形斷面 $Q=50\,l/sec$ の時の水面の流線を浮子を流して撮影せるものであつて，上より順次に 90°，60° 及び 30° 彎曲の場合を示す．

尙實際の河川に於ては彎曲部の水流の狀態は低水時と高水時とによつて大に異るのであるが，洪水時の水位及び河床洗掘に關しては大なる注意を要する．例へば改修せる複斷面形にて低水路が斷面の中央部にあるならば，彎曲部の凹岸附近は水深の比較的小さい爲に螺線運動は阻害され，從つて長期の出水に會へば洗掘を生ずる惧れがある．その時の水位上昇は螺線運動は著しくないから遠心力によるものと彎曲部の水頭損失による堰上背水の和となる．然し彎曲部に於て低水路が凹岸に接近せる時は實驗より知られる樣に水流の螺線運動は却つて幾分緩和せられ，流れの狀態は自然になり洗掘も減衰するものと思はれる．而してその時の水位上昇は螺線運動によるものが大きくなると同時に水頭損失は多少減ずるから，全體の上昇としては前の場合と大差はないであらう．尙彎曲部の水流は比較的不安定であるから洪水時には直線部に比して波が著しい事も注意すべき點である．

本報告中の實驗は昭和 10 年 4 月より同年 6 月に亙つて行つたものであつて，觀測の實施及び製圖に關しては內務技手八木龜助氏を煩はした．玆に同氏の勞を謝する次第である．

タールとアスファルトとの混合物の鋪装材としての性質

内務技師　西　川　榮　三

目　次

I 混合物（其の 1）……（ 1 ）
〔1〕 試料……（ 2 ）
〔2〕 エングラー比粘度……（ 3 ）
〔3〕 タール粘度……（ 3 ）
〔4〕 浮游試験……（ 4 ）
〔5〕 軟化點（R&B）……（ 4 ）
〔6〕 針度……（ 5 ）
〔7〕 凝固點……（ 6 ）
〔8〕 引火點及燃燒點……（ 6 ）
〔9〕 規格案 G とアスファルト混合タールの性質との比較……（ 7 ）
II 混合物（其の 2）……（ 9 ）
〔1〕 試料……（ 9 ）
〔2〕 比重……（ 10 ）
〔3〕 エングラー比粘度……（ 12 ）
〔4〕 タール粘度……（ 13 ）
〔5〕 浮游試験……（ 14 ）
〔6〕 軟化點（R&B）……（ 15 ）
〔7〕 針度……（ 16 ）
〔8〕 引火點，燃燒點，タール酸，ナフタリン，遊離炭素，凝固點等……（ 17 ）
〔9〕 蒸溜試驗成績……（ 18 ）
〔10〕 規格案 F 及 G とアスファルト混合タールの性質との比較……（ 21 ）
III 要　約……（ 24 ）

I. 混　合　物（其の 1）

タール混合マカダム，或はタール・コンクリート等の鋪裝工事に用ふべきタールとしては，規格案 F 及 G 程度のものが考へられるが，この中 G 程度のタールは，鋪裝用タールとしては最も硬質のものに屬し，低溫に於ては，凝固し易く，其の爲に脆弱となり，使用の範圍を制限せらるゝの缺陷を有する．この缺陷を補はんが爲に，常溫乃至加熱狀態に於ては，G 程度の製品と同程度の稠度を有し，且つ低溫に於ては脆化せざるが如きタールを得ば，鋪裝用タールの用途を更に擴大することが出來る．之には，やゝ軟質のタールを原料とし，之にアスファルトを混じ，上記の目的に合致する鋪裝用タール・アスファルト

混合物を得るも一方法である．之によりて，果して其の目的を達することを得ば，タールを鋪裝材として活用する上に，一考案を追加しうべく，瀝青混合マカダム，瀝青コンクリート等の鋪裝材料として，石油ストレート・アスファルトよりも，一層低溫の加熱に於て使用しうる便益を加へ得るもので，鋪裝工法上甚だ有意義なことゝ思はれる．本試驗は，この意味に於て，タール・アスファルト混合物の 1～2 例につき其の諸性質を研究したものである．

〔1〕 試 料

試料としてはタール（No. 1191）は，略ぼ混合マカダム式工法に使用しうる（規格案 F）程度のもの1種，石油アスファルトとしては，針度 53 のもの（No. 1395）及針度 110 のもの（No. 1396）の2種を選んだ．本試驗はタールに上記 2 種のアスファルトを 10～90 %の割合に混ずることに依つて生ずる種々の混合物の性質を研究せんとするものである．

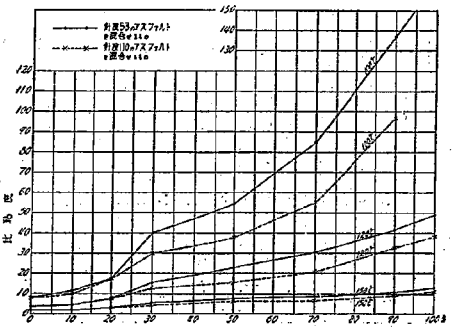
試料の性質は第1表の如くである．

第 1 表. 試 料 の 性 質

項目		タール	アスファルト	
		No. 1191	No. 1395	No. 1396
1. 比重	15°/15°C	1.205	1.029	1.021
	25°/25°C	1.199	1.025	1.017
2. 比粘度	80°C	.....	.....	.....
	100°C	7.7	.....	.....
	120°C	3.5	49.0	38.0
	150°C	2.0	12.0	10.0
3. タール粘度	30°C	305	.....	.....
	35°C	115	.....	.....
	80°C	.....	.....	31.0
4. 浮游試驗	32°C	221	.....	.....
	50°C	65	.....	.....
5. 軟化點	R&B °C	22	46	41.5
6. 凝固點	°C	−17	.....	.....
7. 針度	25°C	.....	53	110
8. 延性	15°C	.....	>100	>100
9. 引火點開放式	°C	117	275	256
10. 燃燒點	°C	137	305	280
11. 蒸溜試驗	%			
	0～170°C	0.20	.....	.....
	170～270°C	13.86	.....	.....
	270～300°C	7.30	.....	.....
	300°C 殘留物	78.44	.....	.....
12. 300°C 殘留物軟化點	°C	62.5	.....	.....
13. タール酸含有	%	1.61	0.0	0.0
14. ナフタリン	%	不結晶	0.0	0.0
15. 溶青	CS_2 %	85.84	99.7	99.8
16. 遊離炭素	%	14.47	0.0	0.0

〔2〕 **エングラー比粘度**

タール及アスファルト混合物につき 100°C, 120°C, 150°C の溫度に於て，エングラー比粘度を測定した結果は第1圖の如くである．卽ち針度小なるアスファルトを混合せるものは，針度大なるものを混合せるものより比粘度概して高く，其の差はアスファルトの混合百分率の增大するに從つて益々大となるも，高溫度に於ては，アスファルトの針度の相違の影響は比較的少い．アスファルト混合百分率 20% 位までは，アスファルト針度の影響は極めて少い．



第 1 圖　アスファルトの混合量と比粘度

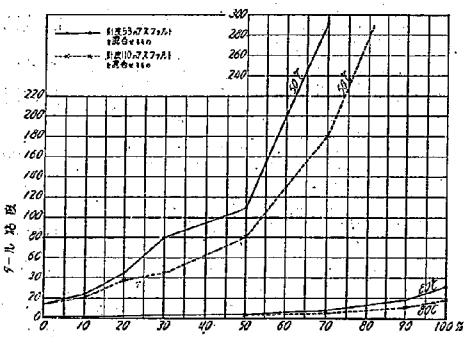
混合法用タールの比粘度は 100°C に於て 20 以下，120°C に於て 4.0～8.0 前後であるが，上記アスファルト混合タールについてこの程度の比粘度のものを求むれば，アスファルト混合率 10～20% 前後のものが之に相當する．

卽ちアスファルト 20%，タール 80% の混合タールの 100°C 比粘度は 17.3 及 17.7 にして，120°C の比粘度は 7.5 及 7.4 である．アスファルト量 30% に至れば，比粘度は遙かに大となる．

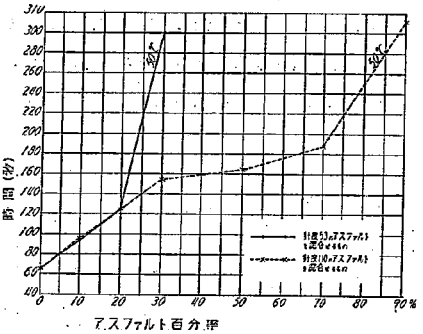
〔3〕 **タール粘度**

タール及アスファルト混合物につき 50°C 及 80°C に於てタール粘度を測定したる結果は第2圖の如くである．

混合用鋪裝用タール No. 1192 のタール粘度は 50°C に於て 149; 80°C にて 2.0 程度である，アスファルト30%を混合せるもの、80°C のタール粘度は略、この程度であるが，50°C に於ては稍低い．アスファルト20%



第 2 圖　アスファルトの混合量とタール粘度



第3圖　アスファルト混合量と浮游試験（50°C）

のものについては，タール粘度50°C は 44 及 38，タール粘度80°C は 1 程度である．

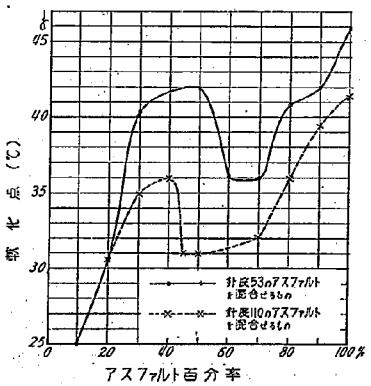
〔4〕浮游試験

タール・アスファルト混合物に對する浮游試験の結果は第3圖の如し．

卽ち針度 53 のアスファルトを混合せる場合は，左表の如く又針度110のアスファルトを混合せる場合は右表の如し．

アスファルト %	針度 53	
	32°C 試驗	50°C 試驗
0	221 Sec	65 Sec
10	333	93
20	……	124
30	……	300

アスファルト %	針度 110	
	32°C 試驗	50°C 試驗
0	221	65
10	335	95
20	……	122
30	……	155
50	……	165
70	……	188
90	……	312
100	……	



第4圖　タール及アスファルト混合物軟化點（タール No. 1991）

混合用鋪裝用タール G の 50°C の浮游試驗は 100～220 以下である．上記のアスファルト混合タールに於ては 20～30% 程度の混合物は之に相當する．

〔5〕軟化點（R & B）

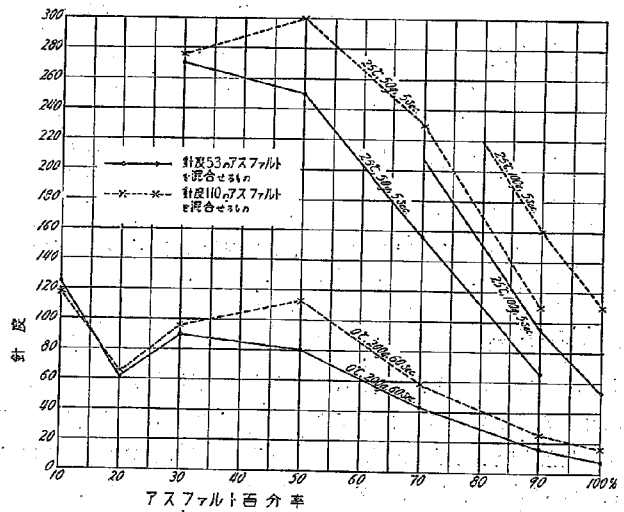
タール及アスファルト混合物の軟化點は，第4圖の如く，アスファルト混合率と共に增加するものに非ずして，30～50% の混合率に於て，異常に高き値を示し，混合率之より增加すれば，かへつて軟化點下り，更にアスファルト量の增加するに從ひ，ア

スファルトの軟化點に近づくものにして，比粘度，タール粘度，浮游試驗等にては明かに示されざる　特異性を示すものである，混合用鋪裝用タールの軟化點規格 25～35°C 程度のものを上記アスファルト混合タール中に於て求むれば，アスファルト量 30% 以下のものに局限せられアスファルト量 10～20% 程度が適當して居る．

〔6〕　針　度

タール•アスファルト混合物について 0°C, 200 g, 60 sec; 25°C, 100 g, 5 sec; 25°C, 50 g, 5 sec の 3 種の條件の下に針度を試驗せる結果は第 5 圖の如し．

混合用タール No. 1192 の針度 25°C, 100 g, 5 sec は 168 にして，針度 0°C, 200 g,



第 5 圖　アスファルト混合量と針度

第 2 表　アスファルト混合タールの針度

針　　度	アスファルト 10%		アスファルト 20%		アスファルト 30%	
	針度 53	針度 110	針度 53	針度 110	針度 53	針度 110
0°C, 200 g, 60 sec	125	118	62	65	90	97
25°C, 100 g, 5 sec	>300	>300	>300	>300	>300	>300
25°C, 50 g, 5 sec	>300	>300	>300	>300	270	275

60 sec は 25 であつて之は鋪裝用として稍軟質に失する場合がある．この程度のものを求むれば，アスファルト 70～90% を混合することを要するも，アスファルト 10～30% を混合せるものは既に相當の針度を有し，使用後硬化の現象を考慮に入るれば，既にこの程度にて混合用として使用するに適するものである．アスファルト量 10，20，30% の混合物の針度は第2表の如くである．

〔7〕 凝 固 點

タール及アスファルト混合物の凝固點を測定するに次の如し．

アスファルト%	タール %	混合せるアスファルト	
		針度 53	針度 110
0	100	−17.5℃	−17.5℃
10	90	−16.5	−17.0
30	70	−14.5	−16.0
50	50	−14.0	−12.5
70	30	− 8.5	− 9.0
90	10	− 5.0	− 5.5
100	0	2.5	− 7.5

即ちアスファルト 10～30% の混合物に於ては，凝固點は原タールと大差なく，ことに軟質アスファルトを混合せるものは結果良好である．

〔8〕 引火點及燃燒點

タール中にアスファルトを混合する時は，其の引火點及燃燒點はアスファルトの量 20% 位までは，殆ど影響がない．引火點に於ては 50% 位迄は大なる影響を認めず，燃燒點はアスファルトの量が 50% を越ゆれば相當大なる影響あるも，純アスファルトに比して遙かに低い値を與へる．之を換言すればアスファルトをタールに混ずるも，其の引火點及燃燒點を向上せしむるには大なる效果がない．

アスファルト %	タール %	針度 53		針度 110	
		引火點	燃燒點	引火點	燃燒點
0	100	117°C	137°C	117°C	137°C
20	80	117	140	117	140
50	50	120	170	117	140
70	30	120	180	140	180
90	10	210	245	215	250
100	0	275	305	256	280

〔9〕規格案Gとアスファルト混合タールの性質との比較

混合法用鋪裝タール及規格案Gとタール・アスファルト混合物との性質を比較すれば第3表の如くである.

第3表　鋪裝用タールとタール・アスファルト混合物との比較

項目	規格案 G	規格案 F	鋪裝用タール No. 1992	No. 2021	No. 2127	タールアスファルト混合物 アスファルト10% 110	10% 53	アスファルト20% 100	20% 53	アスファルト30% 110	30% 53
1. 比重 15°/15°C	1.20～1.25	1.16～1.24	1.222	1.220	1.211	1.184	1.183	1.165	1.164	1.135	1.135
2. 比粘度 100°C	……	5～8	20	10.4	7.7	10.3	11.4	17.7	17.3	30.0	40.0
120°C	3.0～8.0	……	8.0	4.1	3.2	4.4	4.5	7.4	7.5	13.2	15.7
3. タール粘度 30°C	……	70～300	……	380	350	……	……	……	……	……	……
50°C	……	……	148	<40	<25	21	24	38	44	45	80
80°C	……	……	3.0	1.0	1.0	<1.0	1.0	……	……	2	2.5
4. 浮游試験 32°C	……	……	……	……	……	335	333	……	……	……	……
50°C	100～220	……	244	……	110	95	93	122	124	155	300
5. 軟化點 R&B °C	25～35	……	38	28	25	25	25	30.5	30.5	35	40.5
6. 引火點 °C	>115	>110	120	125	133	117	117	117	117	117	<120
7. 燃燒點 °C	……	……	155	150	148	139	139	140	140	140	<170
8. 水分 %	>0.5	>0.5	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace
9. 蒸溜試験 %											
0～170°C	0～1	0～1	0.24	0.22	0.14	0.18	0.18	0.16	0.16	0.14	0.14
170～270°C	2～10	3～14	8.42	5.32	3.66	12.45	12.45	11.05	11.05	9.68	9.68
270～300°C	3～8	3～8	6.22	8.00	6.45	6.57	6.57	5.83	5.83	5.11	5.11
300°C 殘留物	>81	>78	84.92	86.44	89.61	80.8	80.8	82.96	82.96	85.07	85.07
10. 殘留物軟化點	<65	<65	71.5	50.5	42.5	……	……	……	……	……	……
11. タール酸 vol.%	< 2	< 2	1.00	0.41	0.41	1.45	1.45	1.29	1.29	1.13	1.13
12. ナフタリン %	< 3	< 3	不結晶	不結晶	不結晶	不結晶	不結晶	不結晶	不結晶	不結晶	不結晶
13. 遊書 CS_2 %	>78	>80	83.24	87.04	87.72	87.1	87.1	88.6	88.6	90.1	90.1
14. 遊離炭素	<22	<20	16.70	12.90	12.26	12.8	12.8	10.3	10.3	9.0	9.0
15. 凝固點 °C	……	……	−5	……	……	−17.0	−16.5	……	……	−16.0	−14.5
16. 針度 °C	……	……	……	……	……	118	125	65	62	97	90
25°C	……	……	……	……	……	>200	>200	>200	>200	276	270

備考 1. タール・アスファルト混合物の比重は，兩者の混合によりて，容積の收縮，膨脹等なきものと假定したる場合の計算比重である.

2. 蒸溜試驗成績は，アスファルト中に 300°C 以下の溜出油なきものと假定したる時の計算値である.

3. タール酸，ナフタリンについては，アスファルト中に之等のものゝ存在せざるを以て計算による推定値である.

4. 遊離炭素及遊書も計算値である.

第3表に依ればタール・アスファルト混合物の比重は，純タールに比して稍低い．この點はアスファルトがタールよりも比重に於て小なるに原因するもので，タール・アスファルト混合物に於ては當然の結果である．20% までアスファルトの混合を許す場合には，鋪裝用タール G の比重規格は最低 1.15 まで限度を擴張する要がある．

其の比粘度は，原料タール及アスファルトの稠度竝に配合量によりて如何樣とも變化せしめうべきも，上記の例に於ては，規格案 G 程度のものは，アスファルト 10～20% の配合に於て容易に得らるゝものである．タール粘度，浮游試驗，軟化點等より見て，10～20% のアスファルト混合により．其の常溫稠度及加熱時稠度は規格案 G の示す範圍のものを得べき事も明かである．

引火點及燃燒點は 10～30% 程度のアスファルトの混合によりては，原タールの夫等に比して著しい變化を來さない．水分は特に問題とするに足らず，蒸溜試驗の成績については，第3表中には計算値のみ揭げられ居るに過ぎないが，アスファルト量 20% 迄に於ては，規格案 F 程度のタールを使用する場合には，300°C 以下にて溜出しうべき成分の限度は次の如くである．

	アスファルト20%混合物	アスファルト10%混合物
0～170	0～ 0.8	0～ 0.9
170～270	2.4～11.2	2.7～12.6
270～300	2.4～ 6.6	2.7～ 7.2
300°C 殘留物	95.2～81.4	94.6～79.3

卽ち 170～270 溜出物に於て，規格案 G よりも稍多き結果を示す場合がないでもない．從つてこの規格は 170～270 溜出物の最大限 12.5, 300°C 殘留物 79.0% 位に少許の改訂を行ふが至當である．(但し混合物について實際蒸溜試驗を行ふ時は，上記の計算數値よりも低い結果を與ふるであらう)．

其の他タール酸，ナフタリン，瀝靑量，遊離炭素等に於ては問題を生じない．

上記の事柄を要約すれば，タールに對して 10～20% のアスファルト混合によりて得らる．鋪裝用タールの規格案 G に對して，次の諸項についてのみ，考慮すれば足りる．

i) 比重 15°/15°C 最小限を　　1.15 とすること
ii) 170～270°C 溜出油最大限を　　12.5% とすること
iii) 300°C 殘留物を最小限　　79.0% とすること

而してこれ等の改訂はタールの本質に重大なる影響を及ぼすものでなく，其の使用上何等差支を生じない．かくして，規格案 F 程度の鋪裝用タール No. 1191 にアスファルト 10～20% を混合することによりて鋪裝用タール G 程度の製品を得べく，而もこゝに得らるゝ

製品は其の凝固點は遙かに低く，瀝青量に富み，稠度の變化比較的少く，諸種の點に於て鋪裝材料としての性質向上せるを見るもので，鋪裝用タールに對してこの程度のアスファルトの混合は有意義なるものである．

卽ちアスファルト 10～20% を混合せる上記のタールは其の主要性質に於て略ゝ規格案 G に合致するものにして，鋪裝用膠着材料として純タールよりも一層好適の性質を有する．

本試驗はタールとして1種及アスファルトとして2種を選びたるのみなるを以て，タール及アスファルトの質に變化があれば其の混合物の性質も變化するを以て，混合量は一概に定めがたきも，適當調度のタールを選定し，之に適當なる軟質アスファルトの適當量を混合すれば，常溫又は使用時に於てタール・コンクリート用に適する稠度のタール・アスファルト混合物にして，低溫に於て脆弱ならざる材料を得べきことは，上記の數例の示す所である．

II. 混 合 物 (其の 2)

第1章に於てタールにアスファルトを混合せるものは，原タール及アスファルトの性質と其の配合量を適當に選定する時は，優良なる鋪裝用タールとしての使用可能なることを確めた．本章に於ては，更に材料を變へて同樣なる實驗を行つたものである．卽ち規格案 E に相當する程度のタールにアスファルトを混合して，規格案 F 或は G 程度の混合タールが得らるゝものなりや否やを確めんとするものである．

〔1〕 試 料

今回の試驗に於ては，試料として規格案 E程度の石炭瓦斯瀘タール (No. 2122) 及石油アスファルト No. 1962 (針度 163) 及 No. 2025 (針度 45) を用ゐた．アスファルトの混合量は 0, 10, 20, 30, 50, 70, 90, 100% の 8 種である．試料の諸性質は第 4 表の如くタール (No. 2122) は石炭瓦斯瀘タールを原料とせるもので，E程度のタールとしては比較的低溫溜出分に富み，高溫溜出分あまり多からず，300°C 殘留物の軟化點も甚だしく低からざる點より見て，アントラセン油のカット・バックによりて製造せられたるものに非るが如く，たとひカット・バック法が行はれたとしても，其の程度の低いもの>如くである．アスファルト No. 1962 は針度大なる軟質アスファルトで，多少パラフィンを含み，其の原油は幾分パラフィン系を混ずるものと推測せられる．之に反してアスファルト No. 2025 は針度 45 にして，あまりパラフィンを含まず，兩アスファルトの性質は稠度以外成分的にも異るもの>如くである．

かゝる2種のアスファルトを夫々タールに混合する時はアスファルトの稠度の影響のみならず，其の他の性質(成分)等の影響をも同時に推測しうるものと考へられる．

第4表 試料の性質

項目		タール	アスファルト	
		No. 2122	No. 1962	No. 2025
1. 比重	15°/15°C	1.184	1.006	1.026
	25°/25°C	1.180	1.002	1.022
2. 比粘度	80°C	13.5	.....	.....
	100°C	4.3	65.8	.....
	120°C	2.6	22.5	43.2
3. タール粘度	30°C	65	.....	.....
	35°C	31	.....	.....
	50°C	4	350	.....
	80°C	1	9	33
4. 浮游試験	32°C	115	.....	.....
	50°C	55	480	1260
5. 軟化點 R & B	°C	13.0	46	49
6. 凝固點	°C	<−20	.....	.....
7. 針 度	25°C	.....	163	46
8. 延性	15°C	.....	>100	>100
9. 引火點 開放式	°C	105	300.5	291
10. 燃焼點	°C	123	339	325
11. 蒸溜試験	%			
0～170°C		0.28	.....	.....
170～270°C		14.59	.....	.....
270～300°C		6.97	.....	.....
300°C 殘留物		77.89	.....	.....
12. 300°C 殘留物軟化點	°C	53.0	.....	.....
13. タール酸 容積	%	2.95	0.0	0.0
14. ナフタリン	%	1.67	0.0	0.0
15. 溜青 CS_2	%	87.58	99.84	99.93
16. 遊離炭素	%	12.38	固形パラフィン含有	.....

〔2〕 比 重

タール・アスファルト混合物の比重は，タール及アスファルトの比重及其の配合割合にて異ることは想像に難くないが，之を單なる混合物として……即ち混合によりて其の容積に特別の變化なきものとして……其の比重を算出して可なりや否やは之を實驗に徴するを要する．

今タールの比重を S_T; アスファルトの比重を S_A: 混合物の比重 S_{XY}; タール・アスファルトの配合量(重量) $X\%$; $Y\%$ (但し $X+Y=100$) として混合物 100 g につき考ふるに,

タールのみの容積　$V_T=\frac{X}{S_T}$ ……cc

アスファルトのみの容積　$V_A=\frac{Y}{S_A}$ ……cc

タール・アスファルトの混合物の容積 V_{XY} が V_T+V_A に等しいか否かは多少疑問がある. 今 $V_{XY}=V_T+V_A$ と假定した場合に於ては

$$S_{XY}=\frac{100}{V_{XY}}=\frac{100}{V_T+V_A}=\frac{100}{\frac{X}{S_T}+\frac{Y}{S_A}}$$

或は $$S_{XY}=\frac{100\,S_TS_A}{XS_A+YS_T}=\frac{100\,S_TS_A}{100\,S_A+Y(S_T-S_A)}=\frac{S_TS_A}{S_A+\frac{Y}{100}(S_T-S_A)}$$

$\frac{Y}{100}=y$;　$S_T-S_A=S_{T-A}$ と置けば

$$S_{XY}=\frac{S_TS_A}{S_A+yS_{T-A}} \quad \cdots\cdots(1)$$

茲に y は混合物中のアスファルト含有比率.

S_{T-A} はタール及アスファルトの比重の差.

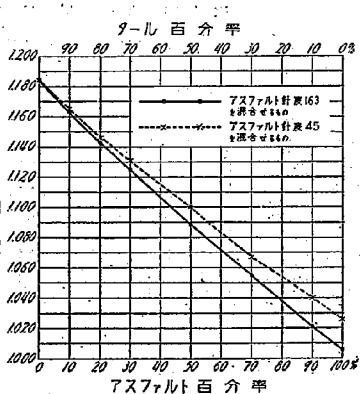
今タール及アスファルト混合物の容積が混合により $100p\%$ に變化したりとすれば

$$V_{XY}=p(V_T+V_A).$$

故に $$S_{XY}=\frac{S_TS_A}{p(S_A+yS_{T-A})} \quad \cdots\cdots(2)$$

p が 1 なるか, 1 に近き數値ならば, 混合物の比重は略: (1)式にて表してよろしい. 今式 (1) によりて, 本試料につきタール・アスファルト混合物の比重を算出すれば第 5 表及第 6 圖の如くになる.

瀝靑質材料同志が相溶解する場合, 其の容積の膨脹を起すことは先づ考へられない. 多くの場合容積收縮を伴ふものである



第 6 圖　タール・アスファルト混合物比重計算値(但し混合の際容積の變化なきものと假定す)

が，其の程度が極めて少ければ $p<1$ 且つ $p\fallingdotseq 1$ にして，タール・アスファルト混合物の比重は略ゝ第 4 表のものに近いものとなる．即ち計算値と實測値とを比較すれば第 6 表の如く計算値は實測値と略ゝ一致し，タール・アスファルトの混合によりては著しい容積變化なきことを示して居る．

第 5 表　タール・アスファルト混合物 15°/15°C 比重計算値

但し $V_{XY}=V_T+V_A$；　$S_{XY}=\dfrac{S_TS_A}{S_A+\gamma S_{T-A}}$ とす．

項目 ＼ 混合物		タール 100	90 / 10	80 / 20	70 / 30	50 / 50	30 / 70	10 / 90	アスファルト 100
アスファルト 163	S_T or S_A	1.184	……	……	……	……	……	……	1.006
	S_TS_A	1.191	1.191	1.191	1.191	1.191	1.191	1.191	1.191
	S_{T-A}	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178
	γS_{T-A}	0.000	0.018	0.036	0.053	0.089	0.125	0.160	0.178
	$S_A+\gamma S_{T-A}$	1.006	1.024	1.042	1.060	1.095	1.131	1.166	1.184
	S_{XY}	1.184	1.163	1.143	1.125	1.088	1.055	1.021	1.006
アスファルト 45	S_T or S_A	1.184	……	……	……	……	……	……	1.026
	S_TS_A	1.215	1.215	1.215	1.215	1.215	1.215	1.215	1.215
	S_{T-A}	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
	γS_{T-A}	0.000	0.016	0.032	0.048	0.079	0.111	0.142	0.158
	$S_A+\gamma S_{A-T}$	1.026	1.042	1.058	1.074	1.105	1.137	1.168	1.184
	S_{XY}	1.184	1.165	1.148	1.131	1.100	1.067	1.040	1.026

第 6 表　タール・アスファルト混合物の比重 15°/15°C の計算値と實測値比較（タール No. 2122）

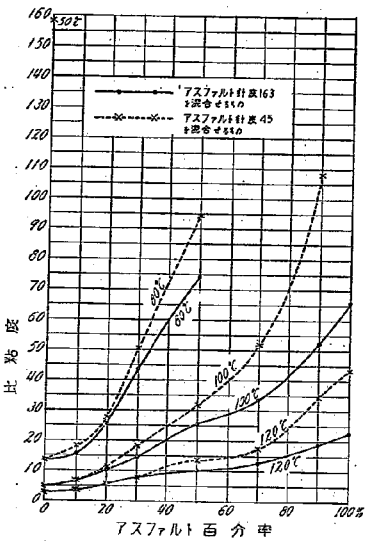
項目 ＼ 混合物		タール 100 / 0	90 / 10	80 / 20	70 / 30	50 / 50	30 / 70	10 / 90	アスファルト 100
アスファルト 163	計算値	1.184	1.163	1.143	1.125	1.088	1.055	1.021	1.006
	實測値	1.184	1.164	1.143	1.125	1.086	1.052	1.023	1.006
	差	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.003	0.002	0.000
アスファルト 45	計算値	1.184	1.165	1.148	1.131	1.100	1.067	1.040	1.026
	實測値	1.184	1.167	1.149	1.131	1.099	1.064	1.039	1.026
	差	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.003	0.001	0.000

〔3〕 エングラー比粘度

タール・アスファルト混合物につき，50°C，80°C，100°C，120°C の溫度に於て，エングラー比粘度を測定した結果は第 7 表及第 7 圖の如くである．即ちアスファルトの混合

量20%以下に於ては，アスファルト針度の相違は，混合物の比粘度の上にはあまりに影響してこない．アスファルト量30%に至れば其差漸く明かとなり，前回試験の結果とこの點は一致して居る．

規格案 F の比粘度は 100°C に於て 5.0～8.0 程度で，之を上記タール・アスファルト混合物に求むればアスファルト量大約 5～15% 即ち 10% 內外の混合物に於て得られる．又規格案 G の比粘度は 120°C に於て 3.0～8.0 あるが，之をタール・アスファルト混合物に求むれば，アスファルト量 20～30% 及其の前後の所で得られる．即ち比粘度の上のみより言へば，アスファルト量 30% 以內に於て其の量を變化することによりて，規格案 E 程度のタールより規格案 F 或は G 程度のものは容易に得られることゝなる．



第 7 圖　アスファルト混合物比粘度

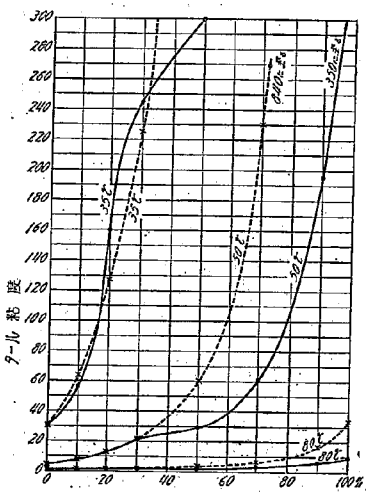
第 7 表　エングラー比粘度

原料＼配合 / 温度	タール 100 アスファルト 0	90 10	80 20	70 30	50 50	30 70	10 90	タール 0 アスファルト 100
アスファルト 163	50°C	158.5	……	……	……	……	……	……	……
	80°C	13.5	15.8	26.1	43.7	73.9	……	……	……
	100°C	4.3	6.6	10.1	14.4	25.6	33.2	52.3	65.8
	120C°	2.6	3.2	5.4	7.2	10.0	12.6	18.9	22.5
アスファルト 45	50°C	158.5	……	……	……	……	……	……	……
	80°C	13.5	18.6	27.5	50.4	94.6	……	……	……
	100°C	4.3	6.3	10.8	18.0	31.5	51.8	108.1	……
	120C°	2.6	3.0	5.0	7.4	13.5	17.6	34.6	43.2

〔4〕タール粘度

タール・アスファルト混合物につき，35°C，50°C，80°C に於てタール粘度を測定したるに，第 8 表及第 8 圖の如き成績を示して居る．

タール粘度 35°C 及 50°C に於ては，アスファルトの混合は明かに稠度を硬質ならしむることを示して居る．而してアスファルト量 30% 位までは，アスファルトの針度の影響はあまり大でない事は，比粘度の場合と同様である．この事は，アスファルト 20～30% 程度迄の混合により，常温附近及加熱時狀態に於けるタールの稠度を竝行して變化せしめうべき事を示すもので，針度 50～170 程度のアスファルトに ありては，アスファルトの稠度の變化はあまり大した影響がない事を物語るものである．



第 8 圖　タール・アスファルト混合物タール粘度

規格案 F のタール粘度は 35°C に於て 70～300 程度であるが，この程度のものはアスファルト 10～20% の添加によりて得られる．規格案 G 程度のタールに於てはタール粘度 35°C の實測例は 350 以上，タール粘度 50°C は 148 以下 20 位までである．アスファルト 30% の混合タールに於ては，タール粘度の上より見て，之より幾分軟質である．

第 8 表　タール粘度

原料 ＼ 配合	溫度	タール 100	90	80	70	50	30	10	アスファルト 100
			10	20	30	50	70	90	
アスファルト 163	35°C	31	56	160	245	300	770	……	……
	50°C	4	6.5	12	21	29	61	195	350
	80°C	1	1	1	2	2	3	6	9
アスファルト 45	35°C	31	63	127	225	665	2820	……	……
	50°C	4	7	13	21	60	230	840	……
	80°C	1	1	1.5	2	2.5	6	17	33

〔5〕浮游試驗

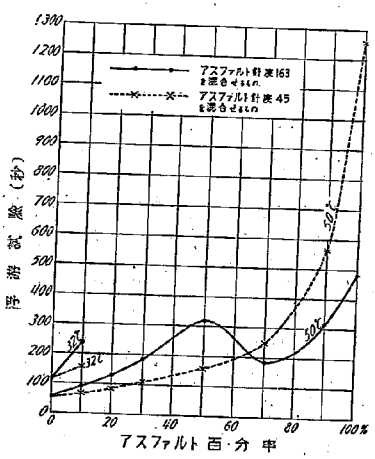
タール・アスファルト混合物につき，32°C 及 50°C に於ける浮游試驗を行ひたるに，第 9 表及第 9 圖の如き成績を示して居る．

第 9 表　浮 游 試 驗

原料＼配合	タール 100	90	80	70	50	30	10	アスファルト 100
温度	㊀	10	20	30	50	70	90	
アスファルト 163 32°C	115	240	……	……	……	……	……	……
50°C	55	90	130	183	320	182	317	480
アスファルト 45 32°C	115	158	……	……	……	……	……	……
50°C	55	67	83	107	㊀160	248	566	1260

卽ち針度 163（やゝパラフィン系）のアスファルトを混合したるタールは浮游試驗（50°C）の成績不規則にしてアスファルト混合量 30～70% の間に於て異常に高き數値を與へて居る．これに反して針度 45 のアスファルトを混合せるタールは其の變化に異常性なく，混合量 50% までは，軟質アスファルトを混合せるものよりもかへつて低い値を示して居る．

いづれにしても，アスファルト量 10～30% の範圍に於て規格案 G の示す程度の浮游試驗成績を有するものが得られる．



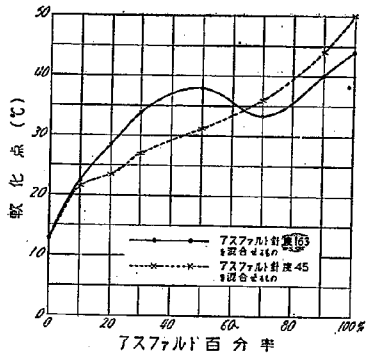
第 9 圖　タール・アスファルト混合物浮游試驗

〔6〕 軟 化 點（R&B）

タール・アスファルト混合物の軟化點（R&B）次の如し．（第 10 表及第 10 圖）

第 10 表　軟 化 點（R&B）……°C

原料＼配合	タール 100	90	80	70	50	30	10	アスファルト 100
		10	20	30	50	70	90	
	°C							
アスファルト163	13	22.5	28.5	34.0	38.0	33.5	40.0	44.0
アスファルト 45	13	21.5	23.5	27.0	31.0	36.0	44.0	50.0

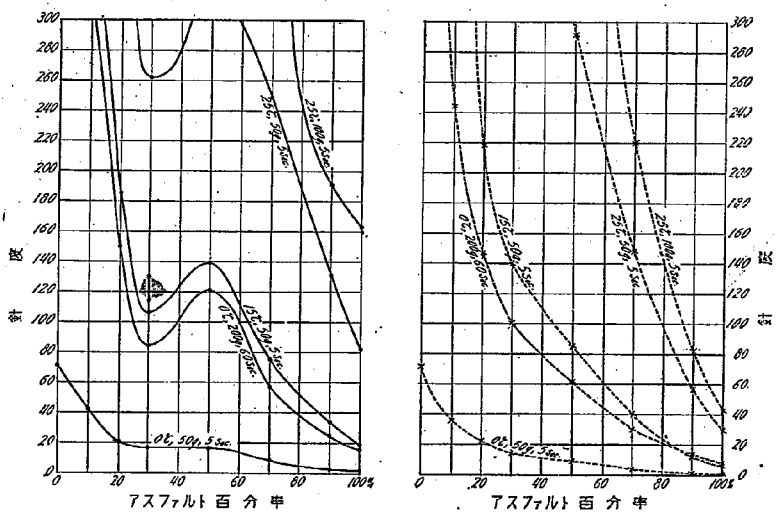


第 10 圖　タール・アスファルト混合物軟化點（R&B）……°C

軟化點の試驗に於ても，浮游試驗の場合と略ゝ同樣なる異常性を見ることが出來る．而してアスファルト量 10～20% に於て軟化點 20～25°C の混合物が得られ，（規格案 F のタールは略ゝこの位の軟化點を有する．但しタール F の規格案中には軟化點の規定はない）混合量 20～30% に於て軟化點 25～35°C の混合物が得られる．（規格案 G の軟化點規定は 25～35°C である．）

〔7〕　針　度

タール・アスファルト混合物につき，(0°C, 50 g, 5 sec)；(0°C, 200 g, 60 sec)；(15°C, 50 g, 5 sec)；(25°C, 50 g, 5 sec)；(25°C, 100 g, 5 sec) に於ける針度を測定したるに第 11 表及第 11 圖の如き成績を示して居る



第 11 圖　タール・アスファルト混合物

針度試験に於ても，針度 163 のアスファルトを混合したるタールに於ては，浮游試驗，軟化點試驗の場合と同樣に，アスファルト量 30～70% に於て其の變化に異常性が見られる．針度 45 のアスファルトを混合せるタールにはこの異常性は殆ど表れて居ない．而して混合量 30% 位までは軟質アスファルトを混合せるものゝ方が硬質である．この事實はアスファルトの稠度よりも，アスファルトの化學的性質の方がより多くの影響を與へるものなることを示して居るものである．

第 11 表　針　　度

原料及條件 ＼ 配合	タール 100	90 / 10	80 / 20	70 / 30	50 / 50	30 / 70	10 / 90	アスファルト 100
アスファルト 163 0°C 200 g 60 sec	.....	.....	149	84	121	57	25	16
0°C 50 g 5 sec	71	42	20	17	17	9	3	2
15°C 50 g 5 sec	.....	.....	185	106	139	75	34	19
25°C 50 g 5 sec	.....	.....	.....	262	>300	249	131	82
25°C 100 g 5 sec	.....	.....	.....	.....	.....	.....	191	163
アスファルト 45 0°C 200 g 60 sec	.....	244	147	100	62	30	14	7
0°C 50 g 5 sec	71	36	22	14	9	4	1	1
15°C 50 g 5 sec	.....	.....	218	140	85	40	13	6
25°C 50 g 5 sec	.....	.....	.....	.....	292	149	56	29
25°C 100 g 5 sec	.....	.....	.....	.....	.....	220	81	42

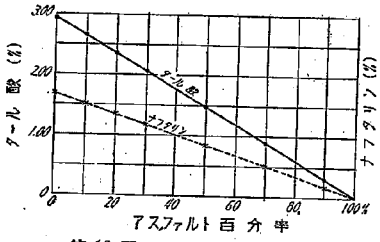
〔8〕 **引火點，燃燒點，タール酸，ナフタリン，瀝青，遊離炭素，凝固點等**

前回試驗の結果により，アスファルト量 30% 位までは引火點，燃燒點に對しては甚しき變化を來さゞるも幾分之を上昇せしめうる程度なることは當然推想せらるゝを以つて特に試驗を行はなかつた．タール酸，ナフタリン，遊離炭素等はアスファルト中には存在せざるを以つて，アスファルトの混合量多き程之等の含有率は減少すること大體次の計算の如くであらう．之に反して瀝青の量の增加することも當然と考へられる．（第 12 表第 12 圖第 13 圖參照）

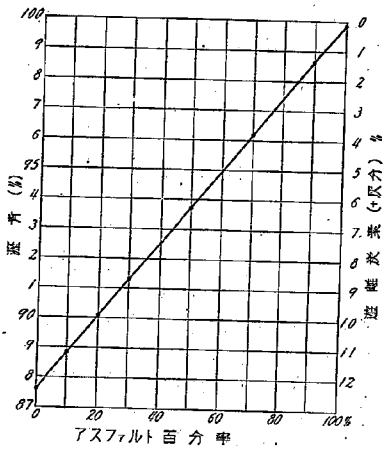
第 12 表　タール酸，ナフタリン，瀝青，遊離炭素の含有量計算値

配　合	タール 100	90 / 10	80 / 20	70 / 30	50 / 50	30 / 70	10 / 90	アスファルト 100
タール酸 %	2.95	2.65	2.36	2.06	1.47	0.88	0.30	0
ナフタリン %	1.67	1.50	1.34	1.17	0.84	0.50	0.17	0
瀝青 %	87.58	88.8	90.1	91.4	93.9	96.2	98.6	99.84
遊離炭素 %	12.38	11.2	9.91	8.69	6.19	3.72	1.24	0

卽ちこれ等の有害或は不要成分はアスファルト添加量多くなるに從つて減じ有效成分はアスファルト添加量多くなるに從つて增加するもので，これ等の關係より見る時はアスファルトの添加はすべて有利である．



第 12 圖 タール・アスファルト混合物中タール酸及ナフタリンの量



第 13 圖 タール・アスファルト混合物の凝固點及遊離炭素量

凝固點に關しては，アスファルト 30% 位までは原タールの凝固點に比して其の差はあまり大でない．從つて規格案 *E* 程度のタールにアスファルトを 10～30% 混合して *F*, *G* 等のタールが得らるゝならば，こゝに得らるゝアスファルト混合タールは，純タールより成る *F*, *G* 相當品に對して凝固點遙かに低きものたるの利がある．

〔9〕 蒸溜試驗成績

タールにアスファルトを混合したる場合其の蒸溜試驗の成績が如何樣に變化するものなりやは一考を要する問題である．アスファルトの混合によりて其の蒸溜試驗成績に及ぼさるゝ影響を推想するに次の諸點に止る．

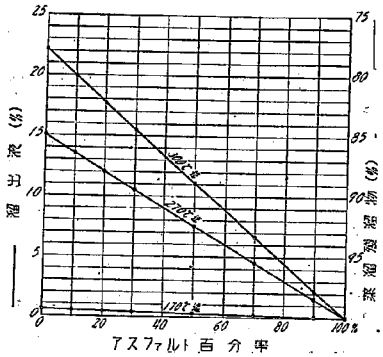
1. アスファルトを混合する場合，アスファルトは大體に於て 300°C 以下の溜出成分少きものなるを以つて，混合物に於ては，アスファルトの混合量が多ければ多き程，300°C 以下に於ける各溫度の溜出成分は少くなる．

2. アスファルトを混合せる場合には，混合物の粘度，其の他の物理性が變化するを以つて，タール中の溜出成分の溜出不完全となり，蒸溜試驗成績は，やゝ低くなる可能性がある．

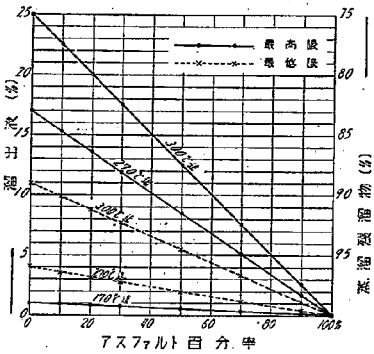
其の程度は之を實驗に徵する外知り難かるべし．

今假りにアスファルト中には 300°C 以下の溜出成分全くなきものと假定し，且つアスファルトの混合によりて，タール中の溜出成分の溜出に影響なきものと假定して，アスファ

ルト混合タールの溜出成分を算出すれば，第 13 表，第 14 圖，第 15 圖の如くになる．



第 14 圖　タール・アスファルト混合物溜出液量及蒸溜殘留物量計算値，(但しアスファルト中 300°C 迄は溜出成分なしと假定す)



第 15 圖　規格案 E タールにアスファルトを混合せるもの溜出液量計算値

第 13 表　アスファルト混合タールの溜出成分％計算値

配合 / 溜出温度	タール 100	90 / 10	80 / 20	70 / 30	50 / 50	30 / 70	10 / 90	アスファルト 100
0～170°C	0.44	0.40	0.35	0.31	0.22	0.13	0.04	0.00
170～270°C	14.59	13.1	11.7	10.2	7.3	4.4	1.5	0.0
270～300°C	6.97	6.3	5.6	4.9	3.5	2.1	0.7	0.0
300°C殘留物	77.89	80.1	82.3	84.5	88.9	93.4	97.8	100.0

卽ちアスファルト混合タールの溜出成分は第 13 表に示せる數値より大ならざるものと想像せられる．

第 14 表　規格案 E タールにアスファルトを混合せるもの溜出成分計算値 ％

配合 / 溜出温度	タール E 100	90 / 10	80 / 20	70 / 30	50 / 50	30 / 70	10 / 90	アスファルト 100	タール F
0～170°C	0～ 1	0～ 0.9	0～ 0.8	0～ 0.7	0～0.5	0～0.3	0～0.1	0.00	0～ 1.0
170～270°C	4～16	3.6～14.4	3.2～12.8	2.8～11.2	2～ 8	1.2～4.8	0.4～1.6	0.00	6～14.0
270～300°C	3～12	2.7～10.8	2.4～ 9.6	2.1～ 8.4	1.5～ 6	0.9～3.6	0.3～1.2	0.00	3～ 8
300°C殘留物	>75	>77.5	>80.0	>82.6	>87.5	>92.5	>97.5	100.00	>78

卽ち E 程度のタールにアスファルトを 10～20％ 混合して F 程度のタールを造らんとする時は原料タールとして 170～270°C, 270～300°C の溜出物夫々 15 以下，10 以下

位のものを選べばよろしい．或はアスファルト混合タールに限り其の量を最大 14.5 及 11.0 まで許容するも差支ない．（第 14 表參照）

アスファルトを混合せるタールに於ては，其の中に含まるゝアスファルトはタール中の蒸發成分の蒸發を遲延せしむる働きをなすを以て，其の蒸溜試驗成績は上記の計算値とは異るものあるべし．

試みに，アスファルト含有量 20% なるタールについて其の蒸溜試驗成績を比較すれば次の如くである．

第 15 表　アスファルト混合タールの蒸溜試驗成績

項　　目	原タール	アスファルト (45) 20% 含有タール	アスファルト (170) 20% 含有タール	アスファルト 20% 含有タール計算値
水　分　%	0.19	痕跡	痕跡	0.16
0～170°C（輕油）%	0.28	0.30	0.26	0.22
170～235°C　%	6.89	5.08	5.61	5.51
235～270°C　%	7.70	5.42	5.49	6.16
270～300°C　%	6.97	7.09	9.16	5.58
300°C 殘留物　%	77.89	81.87	79.48 a	82.3
計　%	99.92	99.76	100.00	99.93
實驗損失　%	0.08	0.24	……	0.07

備考　a は實驗損失をも含む．

第 15 表に依りて見る時は，アスファルト 20% を混合せるタールの 170°C までの溜出液は，計算値と大なる差なく，170～235°C，235°～270°C の兩溜出液は計算値よりも稍少い．之はアスファルトの存在が，蒸發を幾分遲延せしむるに依るものと解せられる．然るに 270～300°C の溜出液は計算値よりも多量なるのみならず，原タールよりも多き傾向を示して居る．この現象は，この溫度に於てクラッキングが相當顯著に行はるゝものたることを示して居るもので，こゝに得らるゝ溜出液中には，單なる蒸溜によりて溜出せる部分のみならず，加熱分解による生成物をも含むもので，單純なる蒸溜による溜出液のみを考ふる時は，計算値よりも少いものと想像せられる．從つてクラッキングが起らないものとすれば，300°C 蒸溜殘留物は，本表に示す數値よりも多くして，計算値以上に達すべきものである．之を換言すれば，アスファルト混合タールを大氣中に於て，自然硬化を受けしむる場合には，其の揮發して失はるゝ量は上記の計算値より豫想せらるゝ量よりも少く，風化殘留物は遙かに多いものと推定せられる．（この點に關しては，更に研究中なるを以て，追つて其の成績を發表すべし）．

〔10〕 規格案 F 及 G とアスファルト混合タールの性質との比較

上記の如く規格案 E 程度のタールにアスファルトを 0～30% 添加すれば，其の性質は規格案 F 或は G 程度のものに變化し，且つ其の或る性質は頗る善導せられる．今アスファルト混合タールの諸性質を之等の規格案 F, G 及 F, G に相當する純タール製品と比較すれば第 16 表，第 17 表の如くになる．

第 16 表　アスファルト混合タールと規格案 F 及 F 相當純タール製品との比較

項目	規格案 F	純タール製品 No. 1191	No. 2126	No. 2020K	No. 2123T	アスファルト混合タール 10% A_1	B_1	20% A_2	B_2
1. 比重 15°/15°C	1.16～1.24	1.205	1.211	1.216	1.197	1.163	1.165	1.143	1.148
2. 比粘度エングラー									
80°C	……		15.2	22.1	27.9	15.8	18.6	26.1	27.5
100°C	5.0～8.0	7.7	5.0	6.3	8.0	6.6	6.3	10.1	10.8
120°C	……	3.5	2.6	3.0	3.8	3.2	3.0	5.4	5.0
3. タール粘度									
30°C	……	305	170	240	440	……	……	……	……
35°C	70～300	115	67	98	150	56	63	160	127
4. 浮游試驗 32°C	……	221	……	……	……	240	158	……	……
50°C	……	65	65	……	88	90	67	130	83
5. 軟化點 R&B °C	……	22	16.5	22	22	22.5	21.5	28.5	23.5
6. 引火點 °C	>110	117	130	122	108	>105	>105	>105	>105
7. 燃燒點 °C	……	137	145	142	120	>123	>123	>123	>123
8. 水分 %	<0.5	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡
9. 蒸溜試驗 %	……								
0～170°C	0～1	0.2	0.17	0.22	0.18	0.40	0.4	0.35	0.35
170～270°C	3～14	13.86	4.10	6.77	14.18	13.1	13.1	11.7	11.7
270～300°C	3～8	7.30	7.71	9.42	6.03	6.3	6.3	5.6	5.6
300°C殘留物	>78.0	78.44	87.99	83.57	79.57	80.1	80.1	82.3	82.3
10. 殘留物軟化點 R&B °C	<65	62.5	38.0	48.0	61.0	……	……	……	……
11. タール酸 vol. %	<2.0	1.61	0.41	0.53	3.02	2.65	2.65	2.36	2.36
12. ナフタリン %	<3.0	不結晶	0.02	0.0	2.01	1.50	1.50	1.34	1.34
13. 遊離 CS_2 %	>80.0	85.44	87.58	87.51	86.59	88.8	88.8	90.1	90.1
14. 遊離炭素 %	<20.0	14.47	12.38	12.42	13.37	11.2	11.2	9.91	9.91
15. 凝固點 °C	……	−17	……	……	……	……	……	……	……

第 17 表　アスファルト混合タールと規格案 G 及 G 相當純タール製品との比較

項目	規格案 G	純タール製品 No. 1192	No. 2021	No. 2127	No. 1343	タール・アスファルト混合物 アスファルト20% 163	45	アスファルト30% 163	45	アスファルト50% 45
1. 比重 15°/15°C	1.2～1.25	1.222	1.220	1.211	1.225	1.143	1.148	1.125	1.131	1.115
2. 比粘度 100°C	……	20	10.4	7.7	12.9	10.1	10.8	14.4	18.0	31.5
120°C	3～8	8	4.1	3.2	6.0	5.4	5.0	7.2	7.4	13.5
3. タール粘度 35°C	……	……	380	350	540	160	127	245	225	665
50°C	……	148	<40	<25	……	12	13	21	21	60
80°C	……	3	1.0	1.0	……	1	1.5	2	2	2.5
4. 浮游試験 32°C	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……
50°C	100～220	244	……	110	168	130	83	183	107	160
5. 軟化點 R&B °C	25～35	38	28	25	32.5	28.5	23.5	34.0	27.0	31.0
6. 引火點 °C	>115	120	125	133	105	>105	>105	>107	>107	>107
7. 燃燒點 °C	……	155	150	148	127	>123	>123	>125	>125	>125
8. 水分 °C	<0.5	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace
9. 蒸溜試験 %										
0～170°C	0～ 1	0.24	0.22	0.14	0.20	0.35	0.35	0.31	0.31	0.22
170～270°C	2～10	8.42	5.32	3.66	10.80	11.7	11.7	10.2	10.2	7.3
270～300°C	3～ 8	6.22	8.00	6.45	13.21	5.6	5.6	4.9	4.9	3.5
300°C 殘留物	>81	84.92	86.44	89.61	75.30	82.3	82.3	84.5	84.5	88.9
10. 殘留物軟化點 R&B °C	<65	71.5	50.5	42.5	88.0	<53	<53	……	……	……
11. タール酸 vol %	< 2	1.00	0.41	0.41	1.72	2.36	2.36	2.06	2.06	1.47
12. ナフタリン %	< 3	不結晶	不結晶	……	2.31	1.34	1.34	1.17	1.17	0.84
13. 瀝青 CS_2 … %	>78	83.24	87.04	87.72	83.13	90.1	90.1	91.3	91.3	93.7
14. 遊離炭素 %	<22	16.70	12.90	12.26	16.85	9.91	9.91	8.69	8.69	6.19
15. 凝固點 °C	……	−5	……	……	−12	(<−23)	(<−23)	(<−23)	(<−23)	(<−20)
16. 針度										
0°C, 200 g, 60 sec	……	25	……	……	……	149	147	84	100	62
15°C, 50 g, 5 sec	……	……	……	……	……	185	218	106	140	85
25°C, 50 g, 5 sec	……	……	……	……	……	>300	>300	262	>300	292
25°C, 100 g, 5 sec	……	168	……	……	……	>300	>300	>300	>300	>300

第 16 表に依る時は比重は，アスファルト混合タールに於ては最低 1.14 程度迄許容することゝすれば，20% 迄の混合を行ひ得べし．

比粘度の上より見る時は A_1, B_1, はいづれも規格案 F にあてはまる．タール粘度の上よりいへば，いづれもアスファルト 10～20% の間に於て F に該當するものを造りうべし．軟化點（R&B）の上よりいへば，A_2(20%) は既に G 程度に達して居るから，之又 10～20% の間のアスファルト量にて F 程度となすことが出來る．引火點については原タールの引火點高きものを使用することを要する．蒸溜試驗乃至遊離炭素の各項目に對しては，全然問題となるべき點がない．

卽ち，次の諸項についてのみ規格案 F に關し少許の改正を行へば，タール E 程度のものにアスファルトを 10～20% の間に於て混合して F 程度のタール・アスファルト混合物が得られる．

i). 比重 15°/15°C 最低限を　1.14　とすること
ii). 170～270°C 溜出物最大限を　14.5% とすること
iii). 270～300°C 溜出物最大限を　11.0% とすること

而してこゝに得らるゝ混合物は其の凝固點はタール E 程度のものにして，純タールのみの F 程度のものより低きこと明かである．且つ溫度に對する感受性に於て之に優るものがあるのを利點とする．

アスファルト混合タールと規格案 G 及 G 程度の純タール製品とを比較するに比重はアスファルト混合タールに於て當然低かるべきもので，もしこの程度のタールにアスファルトを混合して鋪裝用タール(アスファルト混合物)が得らるゝものとすれば，G 規格案の比重最低限は 1.125 以下に引下けなければならないが，之は他の性質を考慮してからでないと定められない．

比粘度 120°C について考ふるにアスファルト 20～30% 程度の混合物は G に該當する．タール粘度は一般に純タール製品よりも低い．而も其の軟化點は概ね 25～35°C の範圍内にある．

引火點，燃燒點，水分等は原タールの夫れ等の適當のものを選びて原料とすれば，規格案 G に合格せしむることが出來る．

蒸溜試驗に於ては 170～270°C 溜出物がやゝ多い恨みがあるが，第 1 章（8 頁）の改正範圍で滿足せしめられる．

其の他の項目については問題を生じない．

依つてタールに對して 20～30% のアスファルト混合を許容して差支ないものとすれば大體次の改訂により規格案 G に相當する鋪裝用タールをタール E 及アスファルトの混

合によりて製しうる譯である．これが爲の規格案 G 改訂要點次の如し．

1. 比重 15°/15°C の最低限を　　1.12　とすること

2. 170°～270°C 溜出成分最大限を　12.5% とすること(第1章と同様)

然しながら，第1章其の他の實驗の結果一般にタールに對してアスファルトを 20% 以上混合することは，時として，甚しく不規則なる物理的變化を來す場合なきに非らざるを以て，通常之を回避するを賢明なりとする．

從つて一般鋪裝用タールの規格としては 20% 以上のアスファルトを含有せしめざることゝすべきであるが，タール，アスファルトの材質如何によりては 20～30% の間に於てアスファルトを混合するも，上記の如き不規則的變化 (Abnormal change) を生じない場合もないではない．かゝる場合には，其の混合物は鋪裝用タール，アスファルト混合物として取扱ひ，之を道路に使用することが出來る．

III. 要　　約

上記の實驗より次の事を推論し得る．

1. タールにアスファルトを混合する場合には，タール及アスファルトの稠度竝に配合量の如何によりてタール，アスファルト混合物の稠度は種々に變化するものにして，大體に於ては，アスファルト量の多き程硬質となる傾向あるも，アスファルト量 20～80% の間に於て稠度の異常變化を現す場合がある．而してこの異常變化は軟化點，浮游試驗，針度等の測定に於て最も著しく見られる．

2. 從つてタールにアスファルトを混合する場合には，アスファルト量 20% を超ゆる時は，時として豫期せざる硬質の混合物を得ることなきにあらざるを以て，通常の場合アスファルト量は 20% 以下に限定すべきものである．

3. タール F 程度或は之より少しく硬質のものに，針度 50～120 程度のアスファルト 10～20% を混合することによりて，タール G 程度の常溫稠度，加熱時稠度を有するものを得べく，かくして得たるアスファルト混合タールは，其の凝固點低く，溫度の感受性少く，遲青量に富み，其の他の點に於ても鋪裝用材料として性質良好のものとなる．

卽ち，原タールの性質，アスファルトの性質を適當に選ぶ時は，アスファルト混合タールを以て規格案 G 程度の優良品を得ることが出來る．

4. タール混合用アスファルトとしては，同系統のアスファルトならば針度大なるアスファルトを選ぶをよしとするも，混合量 20% 以內に於てはアスファルト (針度 40～120) の針度の影響は割合に少い．

5. 上記のタール，アスファルト混合物を以て鋪裝用タール規格案 G に適合せしむる

ことは可能なるも，かゝる混合物を目標とする時は，規格案 *G* は，次の諸點に於て小許の變更を行ふを穩當とする．

i). 比重 (15°/15°C) 最小限を　1.15 位まで引きさぐること
ii). 170～270°C 溜出油の最大限を　12.5% まで擴大すること
iii). 300°C 殘留物の量の最小限を　79.0% まで引きさぐること

而して之等の僅少なる變更は，鋪裝用タールの本質に惡影響なき所のものである．

6. タールにアスファルトを混合する場合にはアスファルト量 20% を超ゆる時は，時として豫期せざる硬質の混合物を得ることなきに非ざるも，20% 以上の混合物に於てもある場合にはかゝる異常變化を認めず，其の混合物の性質が鋪裝用に供し得らるゝ場合がないでもない．かゝる場合には，之を鋪裝用タールとせずして，鋪裝用タール・アスファルト混合物として別個に取扱ふをよしとす．

7. タール・アスファルト混合物に於て，同一タールに等量のアスファルトを混合したる場合，混合物の稠度は必ずしもアスファルトの稠度の硬質なる場合に硬質となるものとは限らない．却つて軟質のアスファルトを混合したる場合に硬質となることがある．之を換言すれば混合物の稠度はアスファルトの稠度以外の性質（或成分）にも關係あるものゝ如く，從つてタール・アスファルト混合物は單なる兩者の混合物でなくして，兩者の成分間に化學作用が伴ふものゝ樣である．

8. 略ぼ規格案 *E* 程度のタールにアスファルトを 10～20% 混合することに依りて，大體規格案 *F* 程度の鋪裝用タールを得．且つこのものは凝固點低く，溫度の感受性少く，瀝靑に富み，其の他の點に於ても鋪裝用材料として性質良好である．

但しアスファルトをこの程度に混合したる鋪裝用タールに對しては，規格案 *F* は次の諸點に於て小許の變更を行ふを穩當とする．

i). 比重 (15°/15°C) 最小限を　1.14 とすること
ii). 170～270°C 溜出物最大限を　14.5% とすること
iii). 270～300°C 溜出物最大限を　11.0% とすること

而して之等の僅少なる變更は鋪裝用タールの本質に惡影響なき所のものである．

9. 規格案 *E* 程度のタールにアスファルトを 20% 以上混合して，規格案 *G* 程度の稠度を有する鋪裝用タール・アスファルト混合物を得ることが出來る．この場合はアスファルトの性質を適當に選ぶを要し且つ規格案 *G* に對して次の諸點に於て小許の變更を行ふを穩當とする．

i). 比重 (15°/15°C) 最小限を 1.12 程度とすること

ii). 170～270°C 溜出成分最大限を 12.5% とすること

然しながら，*G* 程度のタール製品としては，*F* 程度の鋪裝用タールにアスファルトを 20% 以内混合して得らるゝ鋪裝用タールを用ふるをよしとする．

10. 之を要するに，タールに 20% 以内の石油アスファルトを混ずることにより，比較的硬質の鋪裝用タール *F*, *G* 等の凝固點を低下し且つ其の他の性質良好なるものとなすことが可能である．

タール鋪裝と水稻の發育との關係

(農林省農事試驗場に於ける研究)

本研究は農林省農事試驗場が，內務省土木試驗所の依頼に依つて行つたるものであるが，特に同試驗場の承諾を得て其の概要を記し且つ其の檢閲を經たる上，道路技術家の參考に供するものである．
(內務技師　西川榮三記す)

目　次

緒　言……(1)
I　調査研究依頼要目及試料タール……(1)
II　農事試驗場に於ける研究の結果……(4)
〔1〕タール酸の主成分たる石炭酸；オルト・クレゾール；メタ・クレゾール；パラ・クレゾール等のフェノール類(砂耕)及ナフタリン(土耕)の影響……(5)
〔2〕タール酸を比較的多量に含む鋪裝用タールの蒸溜各成分の影響(土耕)……(8)
〔3〕タール酸含有量を異にせる各種タール抽出液の影響(主として砂耕)……(10)
〔4〕タール鋪裝上を流るゝ水の影響(土耕)……(13)
〔5〕寫　眞……(15)
要　約……(16)

緒　言

鋪裝用タール(以下單にタールと略稱する)は，一般にタール酸其の他の物質を含み，且つタール酸自身は，生物に對し諸種の作用を及ぼすものであるが，タールを水田に接する道路の鋪裝に使用したる場合，果して鋪裝中のタールが水稻の發育に惡影響あるものなりや否やは，疑問とせられて居た．この問題は，本邦の如く水田に富む國に於ては，鋪裝用タール使用上重大なる問題である．若し，上述の惡影響なきものとすれば，地方道路の鋪裝工事にタールを使用する上に，一光明を投ずるものである．

上記の理由により，研究に必要なる試料タール，其の他の資料を農林省農事試驗場に送り，下記の如き要目(1 參照)により，タール鋪裝と水稻の發育との關係について，調査研究方を依頼したるに，昭和 10 年 8 月 9 日其の回答を得た．依つて同試驗場の承諾を得，且つ其の檢閲を經て，其の研究の要點を記述し，鋪裝用タール使用上の參考に供することとした．

I. 調査研究依頼要目及試料タール

調査研究の依頼要目は下記の如くである．

水田中を通ずる道路（タール舖裝を施せる）のタール中に含まるゝタール酸其他の水可溶成分が，稻の發育，米作等に及ぼす影響についての調査研究依頼に關する件.

(1) 道路舖裝用に供し得る瀝靑質材料としては，アスファルト系材料とタール系材料との2者を考へる事が出來るが，アスファルト系材料は其の原料を海外の原油に求めなければならぬ不便利があるに反して，タール系材料は之が原料を國內に求むることが出來る上，其の年産出高は十數萬噸の多きにのぼる.

この意味に於てタールを舖裝材料として使用することに關しては，充分研究の價値あるものである．英米獨各國に於ては多年タールを舖裝材料とし，本邦に於ても既に使用せられて居るが，之を尙廣く利用せしむるの要あり.

(2) 然るに，タールとアスファルトは，其の起原を異にし，其の生成の經路を異にするを以てタールを使用するに當りては，種々考究すべき問題がのこされて居るが，其の中についても，本邦の如く水田に富む國に於ては，タール道路と稻の發育狀態との關係を明かにして置くことは甚だ必要である.

(3) 骸炭爐，石炭瓦斯爐等より出づる粗タールを脫水せる脫水タール中にはタール酸其他の水可溶成分を少量含有する．之を精製加工して造れる舖裝用タール中には，其の量遙かに減ずるも，

第 1 表　タール酸及ナフタリンの 170～270°C 溜出液に對する百分率

番號	試料及參考試料	タールに對する%			170～270°C 溜出液に對する%			170～270°C 溜出液%
		タール酸	ナフタリン	合量	タール酸	ナフタリン	合量	
3	No. 932 (t)	5.62	4.03	9.65	18.4	13.2	31.6	30.54
4	(3) T	5.45	2.51	7.96	21.2	9.7	30.9	25.77
3	(5) Y	2.40	6.94	9.34	11.1	32.0	43.1	21.64
1	(1) K	1.92	1.50	3.42	9.2	7.2	16.4	20.86
7	No. 1187 (k)	2.39	0.67	3.06	11.5	3.2	14.7	20.80
11	(7) T	3.83	3.42	7.25	18.8	16.8	35.6	20.40
2	(2) K	1.66	0.56	2.22	8.4	2.8	11.2	19.86
16	No. 1342 (c)	3.02	5.42	8.44	16.3	29.3	45.6	18.49
6	No. 1188 (k)	1.43	1.50	2.93	8.0	8.4	16.4	17.80
10	No. 1189 (k)	1.76	0.23	1.99	10.0	1.3	11.3	17.66
15	(2) T	2.60	1.67	4.27	17.9	11.5	29.4	14.59
21	(13) T	2.63	2.01	4.64	18.5	14.2	32.6	14.18
14	No. 931 (t)	2.48	……	2.48	16.9	……	16.9	14.88
20	No. 1191 (k)	1.40	……	1.40	10.1	……	10.1	13.86
5	(4) K	0.99	0.37	1.36	7.5	2.8	10.3	13.26
13	No. 1190 (k)	1.32	……	1.32	10.3	……	10.3	12.80
25	No. 1343 (o)	1.47	2.31	3.78	13.6	21.4	35.0	10.80
12	(8) Y	0.76	2.51	3.27	7.2	23.5	30.7	10.67
9	(6) K	0.72	0.26	0.98	6.7	2.4	9.1	10.76
23	No. 1353 (k)	0.46	3.07	3.57	5.5	36.4	41.7	8.43
26	No. 1192 (k)	0.86	……	0.86	10.2	……	10.2	8.42
13	(11) K	0.49	……	0.49	6.6	……	6.6	7.43
19	(12) K	0.46	……	0.46	6.8	……	6.8	6.77
24	(15) K	0.35	……	0.35	6.6	……	6.6	5.32
17	(10) Y	0.35	0.02	0.37	8.5	0.49	9.0	4.10
22	(14) Y	0.35	……	0.35	9.6	…	9.6	3.66

猶少許のタール酸其の他の水可溶分を含む．（タール酸含有量の例は第 1 表の如し）これ等の水可溶成分中にはフェノール，其の他の物質を含み，其の濃厚なる水溶液は，生物の發育に對して何等かの影響あるものと想像せられる．

鋪裝用タールを以て築造せる道路上に撒水し或は降雨等ある時は，タール中の水可溶成分は之等の水に溶解して，路傍に流れ去り，もし附近に水田あらば，水田中に流入する．

この場合其の溶液は極めて稀薄なるものなるべきを以て，稻の發育に對して果して惡影響あるものなりや否や疑問である．

若しこの程度に於ては惡影響なき事が確認せらるゝならば，鋪裝用タールは本邦の地方道路の鋪裝材料として使用しうべし．

この意味に於いて，タール鋪裝上を流れ來れる水が稻の發育に對して如何なる影響あるものなりやにつき調査御研究を願ひたし．

(4) タール鋪裝の施工方法には種々あるを以づて其の中に含まるゝタールの含有量は一定せざるも，如何に多き場合と雖も路表面に於ては 13.0% (重量)を超ゆることなかるべし．從つてタールのみを水にて處理せる場合よりも，其の水溶液は稀薄なるべきも，今鋪裝用タールのみの水に對する溶解程度の數例を擧ぐれば次の如し．

第 2 表　鋪裝用タールの水により溶出せらるゝ量 % (c)

	タール II	タール III	タール IV
3 日	(a)	0.11	0.06
7 日	(a)	0.23	0.12
15 日	(a)	0.37	0.18
1 月	1.21	0.70	0.39
3 月	2.48	1.15	0.59
タール中のタール酸量 (b)	0.72%	0.46%	0.35%

備考　1. (a) ……タール硬化前に於ては水中に浸漬しがたし．
(b) ……內務省土木試驗所標準方法による．

2. 內務省土木試驗所の方法は，鋪裝用タール中のタール酸の量を比較する便法にしてタールを蒸溜して 170～270°C の溜出液を得，この中に含まるゝタール酸を測定せるものである．
タール中には之よりも高級のタール酸類も含まるべく，其の他の水可溶成分なしと斷言しがたし．從つて水による溶出損失量と，こゝにかゝぐるタール酸の量とは，必ずしも一致しがたかるべし．

3. (c) …… 實驗操作中の自然蒸發量をも含むを以て實際の溶出量よりは多少多き數値を與へ居るものと考へらる．

(5) 調査，御研究を願ひたき事項

1. 鋪裝用タール中の如何なる成分が稻の發育に害ありや．
2. フェノール其の他類似化合物の稀薄溶液の濃度と稻の發育狀態との關係
如何なる濃度迄は實際的見地よりして，稻の發育に惡影響なしと考へてよろしきや

3. タールを鋪裝に使用したる場合（タール 13.0% 以下の混合物を想定せるもの），路面上を流るゝ雨水が，流入せる水田中の稻の發育狀態如何

4. 鋪裝用タール中にはタール酸の量多きものより，少きものまで種々あり，稻の發育を考慮する場合，鋪裝用タール中のタール酸の量何%までは惡影響なきものと認めてよろしきや

5. タール酸其の他の水可溶成分が，其の濃度によりて多少の害ありとする場合，其の豫防法ありや，ありとすれば如何なる方法を用ふべきか

添附書類

1. 內務省土木試驗所報告　第 25 號　1 册
2. 同　土木工事用材料標準試驗方法　1 册

本研究に使用したる試料タールは，タール酸含有量を異にせるもの 4 種にして，殆ど液狀をなすものより，半固狀をなすもの迄を含み，鋪裝用材料として各種の製品を略ゝ代表しうるものと考へられる．其の一般性質は第 3 表の如くである．

第 3 表　試料用タールの一般性質（內務省土木試驗所試驗）

試料タール番號	(3) T No. 2124	(13) T No. 2123	(8) Y No. 2125	(14) Y No. 2127
1. タール酸　容積%	5.85	3.02	0.88	0.41
重量%	5.43	2.63	0.76	0.35
2. ナフタリン　重量%	2.51	2.01	2.51	痕跡
3. 比　重　25°/25°C	1.120	1.193	1.203	1.215
4. 比粘度　エンプラー				
50°C, 50cc	16.2	(浮游試驗88)	90.1	(浮游試驗 110)
80°C, 50cc	3.1	27.9	9.5	28.8
100°C, 50cc	1.9	8.0	3.7	7.7
5. 軟化點　R&B　°C	液狀	22.0	6.0 液狀	25.0
6. 引火點　開放式　°C	86	108	95	133
7. 燃燒點　°C	98	120	120	148
8. 水　分　%	0.20	痕跡	0.16	痕跡
9. 蒸溜試驗　重量%				
0~170°C	0.34	0.18	0.36	0.14
100~270°C	25.97	14.18	10.67	3.66
270°C 殘留物	73.69	85.64	88.97	97.20
10. 遲青 CS_2　%	93.42	86.59	86.22	87.72
11. 灰　分　%	0.01	0.04	0.05	0.02
12. 遊離炭素 CS_2　%	6.57	13.37	13.73	12.26

II. 農事試驗場に於ける研究の結果

農事試驗場に於ては，上記の依頼に對して直ちに研究に着手し，次の諸項につき試驗を行ひ，其の成績を本試驗所に送附せられた．

（1）　タール酸中の主成分たる各種フェノール類の溶液，並にナフタリン等の影響

（2）　タール酸を比較的多量に含む鋪裝用タールの分溜各成分の影響

（3）　タール酸含有量を異にする各種鋪裝用タールの水による抽出液及び其の稀釋液の影響

（4）　タール鋪裝上を流るゝ水の影響

以下〔1〕乃至〔5〕に記す所は其の研究成績の概要である．

試驗の方法としては，土耕及砂耕の兩方法が用ゐられて居る．

土耕の場合には，處定量の試藥或は試料を石英砂 50g と豫め混合したる後，鴻巢試驗地水田土壤細土 300 g と充分混合し，之を硝子製發芽皿に盛り，井水 180 cc を加へて水田狀態となし，一夜放置し，翌日豫め 26°C の井水中に 24 時間浸漬せる水稻籾（1934 年度鴻巢試驗地產撰一種）100 粒宛を播種し，26°C 恒溫室に靜置し，種子の浸漬後 4, 5, 6, 7, 8, 9 日目の發芽粒數を記錄し，發芽の速速及び發芽の歩合を知ると共に，9 日後の幼植物を抜き取り，草丈及根長の 100 粒平均を算出し，幼植物の生育に及ぼす影響を檢したものである．

上記の方法は供試品がナフタリン；タール蒸溜の溜出油，殘留物等の如き水に不溶解なる物質の場合に用ゐられたものであつて，試料が水溶液なる場合には，石英砂 50 g，鴻巢試驗地水田土壤細土 300 g，及試料液 180 cc を以て水田狀態を作り；其の他は上記と同樣にして試驗せるものである．

砂耕の場合には，石英砂 100 g に供試液 35 cc を加へたものに播種を行ひ，其の他は上記と同樣の方法により，發芽粒數，幼植物の草丈及根長を檢したものである．

〔1〕 タール酸の主成分たる石炭酸；オルト・クレゾール；メタ・クレゾール；パラ・クレゾール等のフェノール類(砂耕)及ナフタリン(土耕)の影響

タール酸中には，種々の成分が含まれて居るが，其の中最も主要なる成分についての試驗は，純化學藥品によつて行はれて居る．藥品として使用せられたものは，

1. 石炭酸……メルク製　結晶　石炭酸
2. オルト・クレゾール……メルク製　融點　約 30°C
3. メタ・クレゾール……カールバウム製
4. パラ・クレゾール……メルク製　融點　約 36°C

備考　上記 4 種の化合物の性質は土木試驗所報告第 31 號 48 頁第 12 表に表示してある．

この外に，タール中に含まるゝ成分としてナフタリン（和製發熱量定量用最純品）についても試驗が行はれて居る．

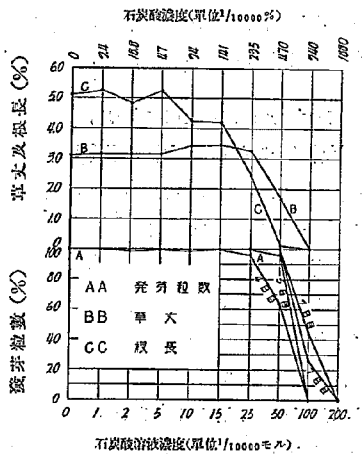
試驗の方法はフェノール類溶液については砂耕法が用ゐられ，ナフタリンについては土耕法が用ゐられた．

(1) フェノール類溶液の影響(砂耕)

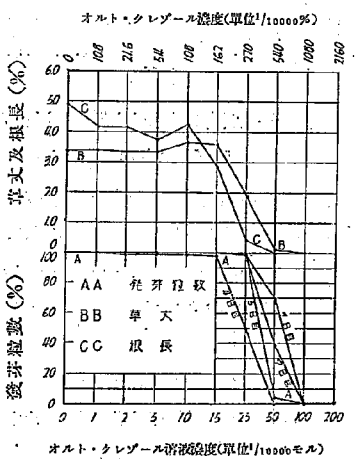
供試フェノール類溶液の濃度は，0 (非水)，0.0001; 0.0002; 0.0005; 0.001; 0.0015; 0.0025; 0.005; 0.01; 0.02 モルにして，之を重量百分率にて示せば第 4 表の如くである．

第 4 表 供試フェノール類溶液濃度

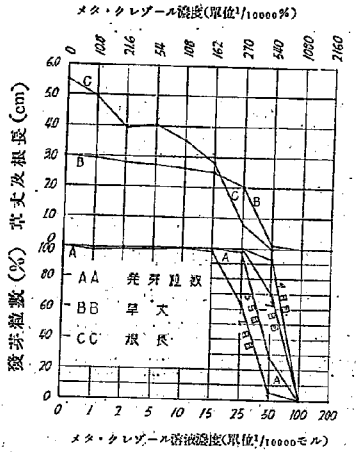
供試薬品	石炭酸		オルト・メタ・パラ・クレゾール	
分子式	$C_6H_5 \cdot OH$		$CH_3 \cdot C_6H_4 \cdot OH$	
分子量	94.05		108.06	
0 モル	0.0	%	0.0	%
0.0001 〃	0.00094	〃	0.00108	〃
0.0002 〃	0.00188	〃	0.00216	〃
0.0005 〃	0.0047	〃	0.0054	〃
0.0010 〃	0.0094	〃	0.0108	〃
0.0015 〃	0.0141	〃	0.0162	〃
0.0025 〃	0.0235	〃	0.027	〃
0.005 〃	0.047	〃	0.054	〃
0.01 〃	0.094	〃	0.108	〃
0.02 〃	0.188	〃	0.216	〃



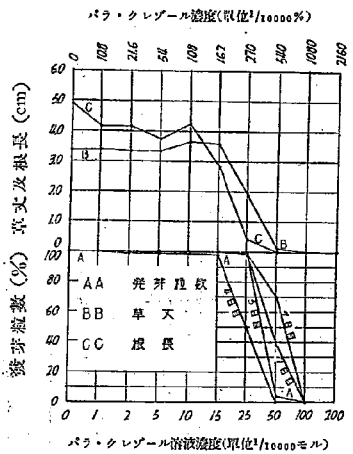
第 1 圖 石炭酸溶液の影響(砂耕)



第 2 圖 オルト・クレゾール溶液の影響(砂耕)



第3圖　メタ・クレゾール溶液の影響(砂耕)



第4圖　パラ・クレゾール溶液の影響(砂耕)

農事試驗場の報告に於ては，詳細なる數字を以て，試驗成績が表示せられて居るが，ここには，比較に便にする爲にこれを圖示するに止める．(以下すべての試驗成績についても同樣) 卽ちフェノール類の試驗成績は第1圖乃至第4圖に示したるが如く，何れもある濃度以上に濃厚なる場合には，水稻の發芽及幼植物の生育を阻害すること著しく，尙其の有害作用は，石炭酸；オルト・クレゾール；メタ・クレゾール；パラ・クレゾール；の順序に少しく增加することが認められる．(16-17 頁，寫眞 I, II, III, IV 參照)．

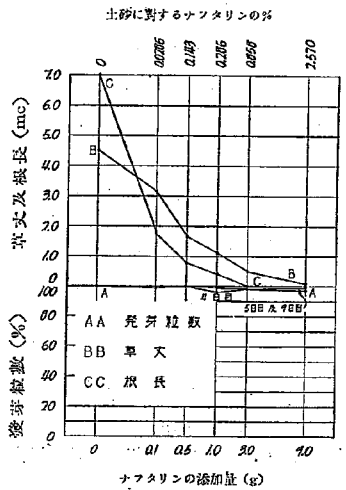
(2) ナフタリンの影響(土耕)

ナフタリンは土砂 350 g に對して 0.1 g 乃至 9.0 g が添加せられ，土耕法によつて試驗せられたもので，土砂に對するナフタリンの百分率は第5表の如くである．

第5表　ナフタリン添加量

添加量 (g)	0.0	0.1	0.5	1.0	3.0	9.0
土砂に對する %	0.0	0.0286	0.143	0.286	0.858	2.57

ナフタリン添加による試驗成績は第5圖の如くにして，試驗の範圍に於ては，ナフタリンの添加は發芽には無害なるも，幼植物の生育には顯著なる有害作用を呈する．(17頁，寫眞 V 參照) 然しながら，ナフタリンの水に對する溶解度は 0.003% に過ぎざるが故に，鋪裝中のタール中よりナフタリンが雨水により溶出せられて水田に流入するものとは考



第 5 圖 ナフタリンの影響(土耕)

へられず，水に可溶なる有害成分としては考慮の必要はなかろう．

〔2〕 タール酸を比較的多量に含む鋪裝用タールの蒸溜各成分の影響(土耕)

上記各フェノール類はタール酸の主成分なる事は上述の如くであるが，タール酸は主として 170～270°C の溜出液中に含まれるものであり，ナフタリンも主としてこの中に含まれるものである．從つてタールを蒸溜して 170～270°C の溜出液と，270°C 以上の蒸溜殘留物とに分別すれば，この 2 者は，其の影響に著しい差のあるべきことが想像せられる．又 170～270°C の溜出液中のタール酸のみを除去したものは，原溜出液とは其の作用に於て異なるものがあらう．

これ等の關係を確めんが爲，タール酸を比較的多量に含むタール（タール酸含有量 5.85 vol. %）を分溜して，170～270°C 溜出油と 270°C 以上の殘留物とを得，更に 170～270°C 溜出油の一半を苛性曹達及水にて充分に洗滌してタール酸を除去し次の 3 部分となし，土耕によりて其の影響が試驗せられて居る．

1. 170～270°C 溜出油　タール酸を含む．タール酸含有率約 22.0 %；ナフタリンをも含む．
2. 170～270°C 溜出油　タール酸除去，但しナフタリンを含む．
3. 270°C 以上蒸溜殘留物　タール酸，ナフタリン共に少し．

〔備考〕 上記 3 種の試料の調製は內務省土木試驗所に於て行つた．

試料の添加量は第 6 表，第 1 行目及 7 行目の如くである．尙蒸溜の際の各部分收得量は 0～170°C 溜出液は 0.61%；170～270°C 溜出油 26.57%；270°C 以上殘留物は 72.80% なるを以て，170～270°C 溜出油中のタール酸の含有率は 22% となる．

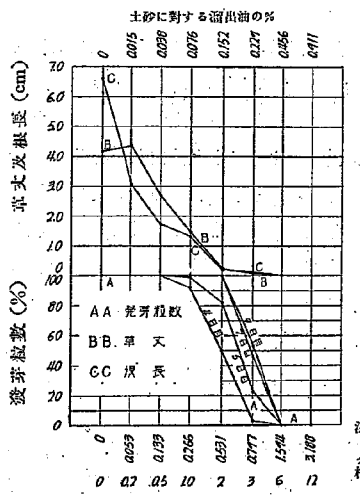
卽ち溜出油及 270°C 蒸溜殘留物の土砂に對する百分率は第 6 表，2 行目及 8 行目の如くであり，溜出油中のナフタリンの量及其の土砂に對する百分率は 3 行目，4 行目に示す如き割合となり，タール酸を含む溜出油にありては，タール酸の量及水田狀態に用ゐられた非水 180 cc に對するタール酸の百分率（タール酸全部が水に溶解したるものと假定せる場合の濃度）は 5 行目及 6 行目に示すが如くである．而して溜出油及蒸溜殘留物の各添加量に相當するタールの量は 9 行目に示す如く 3 者に共通である．

本試驗の成績は第 6 圖乃至第 8 圖に示すが如く，タール酸を含む溜出油（170～270°C

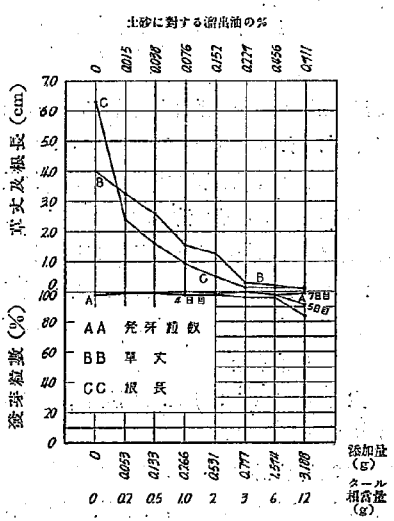
第 6 表　試料添加量（但し土砂 350 g, 非水 180 cc に於ける土耕試験）

170～270°C 溜出油（タール酸を含むもの 及び タール酸を含まざるもの）						270°C 以上		タール
兩者に共通				タール酸を含むもの		蒸溜殘留物		相當量
添加量 g	土砂に對する %	ナフタリンの量 g	ナフタリンの土砂に對する %	タール酸の量 g	180cc の非水に對するタール酸の %	添加量 g	土砂に對する %	g
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
0.053	0.0152	0.005	0.0014	0.012	0.0065	0.146	0.042	0.2
0.133	0.038	0.013	0.0036	0.030	0.0167	0.364	0.104	0.5
0.266	0.076	0.025	0.0071	0.059	0.0328	0.728	0.208	1.0
0.531	0.152	0.050	0.0143	0.117	0.065	1.456	0.417	2
0.797	0.229	0.075	0.022	0.175	0.097	2.184	0.625	3
1.594	0.456	0.150	0.043	0.350	0.194	4.368	1.25	6
3.188	0.911	0.300	0.086	0.700	0.389	8.736	2.5	12

（附記　第 6 表によればナフタリンの土砂に對する百分率は，純藥品による試驗の場合……第 5 表……よりも稍低き點まで試驗せられ，タール酸の 假定濃度は 純藥品試驗の場合……第 4 表……よりも稍高き點まで試驗が行はれて居ることゝなる）

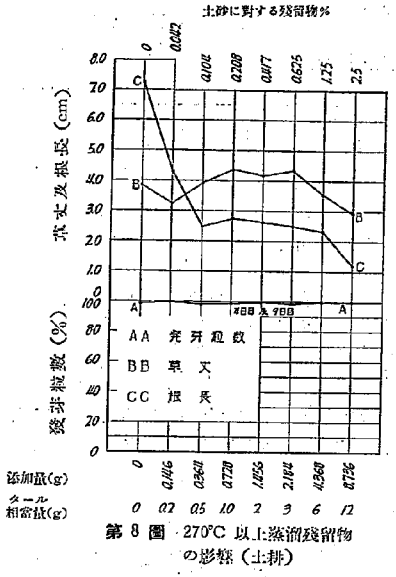


第 6 圖　170～270°C 溜 出 油（タール酸を含む）の影響



第 7 圖　170～270°C 溜 出 油（タール酸除去）の影響（土耕）

溜出）は發芽及幼植物の生育を害すること最も甚しく，（タール酸，ナフタリン其の他の影響）；添加量約 1.6g（タール酸の非水に對する % 約 0.2%）に於ては全然發芽せず．ター



第 8 圖 270°C 以上蒸溜殘留物の影響（土耕）

ル酸を除去せる溜出油（170～270°C 溜出）は發芽には殆ど無害なるも，幼植物の生育尙著しく有害である．（ナフタリン其の他のに影響）．270°C 以上殘留物は，發芽には全く無害で，幼植物の生育には稍有害である．（19～20頁，寫眞 VI, VII, VIII 參照）．

〔3〕 タール酸含有量を異にせる各種タール抽出液の影響（主として砂耕）

〔2〕に於ける土耕試驗は，タール中の如何なる部分が，水稻の發芽，幼植物の生育に影響を及ほすものなるかを推測せしむるに役立つものであるが，タール鋪裝上を流るゝ水の影響を考ふる場合にはタール中の水可溶成分の水溶液について考ふるを至當とする．

農事試驗場に於ては，更にこの方面に研究を進め，タール酸含有量夫々5.85; 3.02; 0.88; 0.41 vol. % の 4 種のタールの各を，50 g 宛秤取し，300 cc のエルレンマイヤー・フラスコの器壁に之を展張したる後，井水 200 cc を加へ，振盪器にかけて 1 時間振盪し，傾瀉法によりて水を除去し，再び 200 cc の井水を加へ，振盪傾瀉し，之を反覆すること 5 回にして，抽出液 1 リットルを得，濾紙にて濾過し，こゝに得たる抽出原液を更に 2, 4, 6, 8, 16, 32 倍等に稀釋して試料液となし，砂耕（一つのタールについては土耕試驗をも竝用した）によりて其の影響を試驗して居る．土耕の場合は土砂 350g に對して試料液 180 cc が使用せられて居る．

タール酸含有量 5.85 vol. % のタールの場合に，井水抽出後の殘留タール中のタール酸を定量し，（土木試驗所定量）之より抽出せられたるタール酸の量及抽出百分率を算出すれば第 7 表の如くである．

卽ち抽出操作に於ては，50 g のタールより 1 liter の井水中に 1.48 g のタール酸が溶けこんだことゝなるから，抽出液のタール酸濃度は 0.148 % である．之を石炭酸として換算すれば 0.016 モルに相當する．

第 7 表に示す如く，タール酸含有量 5.85 vol. % のタールについては，其の約 55% が抽出せられて居る．其の他のタールについては，井水抽出後の殘留タール中のタール酸の定量を行はなかつた

第 7 表　タール酸量 5.85 vol. % のタールよりの抽出百分率

	原タール中のタール酸 %	非水抽出後殘留タール中のタール酸 %	抽出せられたるタール酸%	抽出百分率 %
容　積 %	5.85	2.67	3.18	54.4
重　量 %	5.43	2.48	2.95	54.4

〔備考〕 タール酸の百分率はすべて原タールを 100 とせるものである

から，抽出百分率を知るに由なきも，タールの粘性，其のタール酸含有量，抽出の難易等より推測するに，上記のタール程充分なる抽出が行はれたるものとは考へられざるも，比較の便宜上今假りに其の各の抽出百分率を 55% と假定すれば，第 8 表の如き假想抽出量を算出することが出來る．（但し實際に於ける抽出率は遙かに低きものと推定せらる）．

第 8 表　タール酸假想抽出量（抽出百分率を 55% と假定す）

タール種別	タール酸量 5.85 vol. % のタール	タール酸量 3.02 vol. % のタール	タール酸量 0.88 vol. % のタール	タール酸量 0.41 vol. % のタール
原タール中タール酸	5.43 %	2.63 %	0.76 %	0.35 %
抽出せられたるタール酸	2.95	1.46	0.42	0.19

〔備考〕 表中の百分率は原タールを 100 とし，重量百分率にて表す．

上記の抽出量及假想抽出量を基として抽出原液及稀釋液の濃度を算出すれば第 9 表の如くなる．第 9 表の數字はタール酸含有量 5.85% のタールに關するものを除きては假想的のもの（實濃度は之より遙かに低きものと推定せらる）であるが，前揭の諸試驗と比較する上に參考となり得るものと考へる．

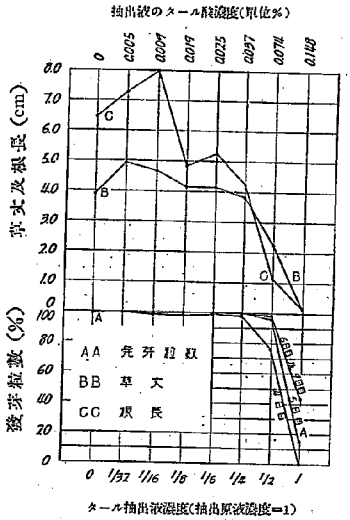
第 9 表　抽出原液及稀釋液濃度（實測及假想）

タール種別	濃度單位	抽出原液	2 倍液	4 倍液	6 倍液	8 倍液	16倍液	32倍液
タール酸含有量 5.85 vol % のタール	%	0.148	0.074	0.037	0.025	0.019	0.009	0.005
	モル	0.016	0.008	0.004	0.0027	0.002	0.001	0.0005
同　上 3.02 vol % のタール	%	0.073	0.037	0.018	……	0.009	0.005	……
	モル	0.0078	0.0039	0.0020	……	0.0009	0.0005	……
同　上 0.88 vol % のタール	%	0.021	0.0105	0.0053	……	0.0026	0.0013	……
	モル	0.0022	0.0011	0.0006	……	0.0003	0.00015	……
同　上 0.41 vol % のタール	%	0.010	0.005	0.0025	……	0.0013	……	……
	モル	0.0011	0.0006	0.0003	……	0.00015	……	……

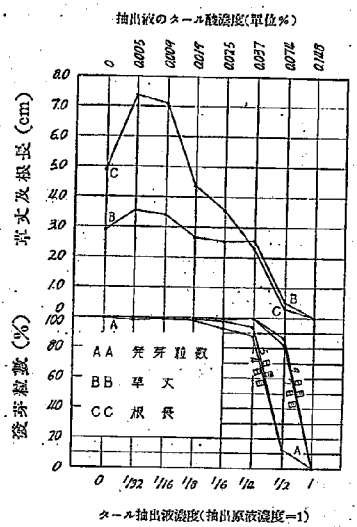
〔備考〕 1. タール酸含有量 5.85 vol. % のタールに關するものは實測により，他は假想抽出百分率より算出せるものである．

2. モル數はタール酸を假りに石炭酸として算出せる假想モル數である．

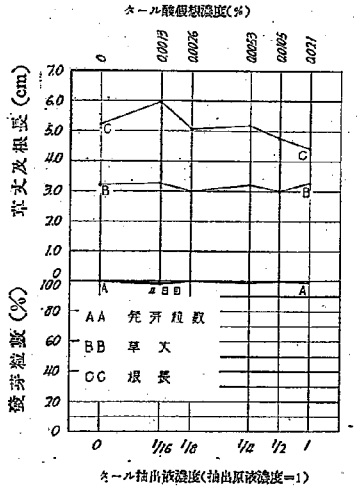
3. タール酸 3.02 vol. %，0.88 vol. %，0.41 vol. % のタールの抽出液の實濃度は，表記の假想濃度よりも遙かに低きものと推定せらる．



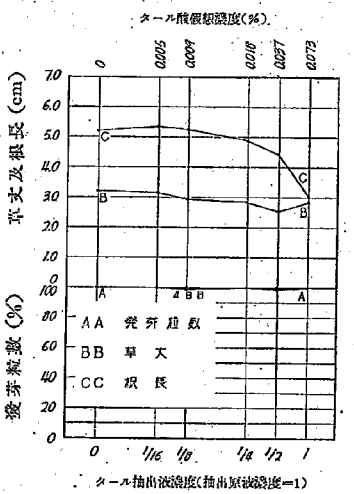
第9圖 タール酸含有量 5.85 vol. %のタールの抽出液及稀釋液の影響（土耕）



第10圖 タール酸含有量 5.85 vol. %のタールの抽出液及稀釋液の影響（砂耕）



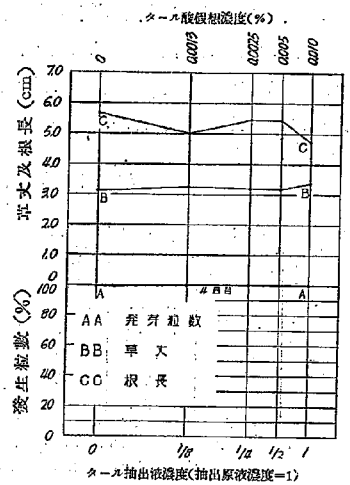
第11圖 タール酸含有量 3.02 vol. %のタールの抽出液及稀釋液の影響（砂耕）



第12圖 タール酸含有量 0.88 vol. %のタールの抽出液及稀釋液の影響（砂耕）

本試驗の成績は第 9 圖乃至第13圖に示すが如く，タール酸含有量 5.85 vol. % のタール抽出液の場合には，抽出原液及 2 倍稀釋液に於て發芽及幼植物の生育を害すること顯著なるも，タール酸含有量 3.02 vol. % のタール抽出液に於ては有害作用輕微にして，タール酸含有量 0.88 及 0.41 vol. % のタール抽出液に於ては全く無害である．

尙タール酸含有量 5.85 vol. % のタール抽出液に於ては，8～32 倍稀釋液を用ゐたる場合，地上部，地下部共に生育を促進せられたるは興味ある事實である．（20～22 頁，寫眞 IX, X, XI, XII 參照）．



第 13 圖　タール酸含有量 0.41 vol. % のタールの抽出液及稀釋液の影響（砂耕）

〔4〕 **タール鋪裝上を流るゝ水の影響(土耕)**

前節の鋪裝用タール抽出液の影響に關する試驗はタール其のものを水と數回振盪して其の可溶成分の影響を檢したるものであるが，タール鋪裝に於ては，其の狀態は之と著しい相違がある．其の相違する所を擧ぐれば次の如くである．

1. タール鋪裝中には，タールの他に，骨材或は塡充材等を多量に含み，タールの含有量は多くとも 13% を超ゆることはない．
2. タール鋪裝は，上記の如きタール及骨材，塡充材等の混合物を輾壓成形せるもので，大體に於て水に對しては，不滲透性であるから，この上に雨水其の他の水が流るゝ時は，鋪裝內部のタール成分を溶解することは困難である，從つて主として其の表面部のタール分にのみ作用するに過ぎない．

上記の如き理由に基き，タール鋪裝上を流るゝ水は，第 3 節に於て得たる抽出液に比して遙かに稀薄なる溶液をなすものと想像せられる．既に前節の研究により，タール酸含有量の相當多きタールの抽出液にありても，ある程度以上の稀薄液は水稻の發芽，幼植物の生育に無害なるを以て，タール鋪裝上を流るゝが如き稀薄液が水稻に對して必ずしも惡影響あるものとは想像し難い．これ等の關係を實驗的に窺知する爲に次の如き研究が行はれて居る．

タール酸含有量 5.85; 3.02; 0.88; 0.41 vol. % の 4 種のタールを各 13.0%; 石英砂（セメント試驗用標準砂）84.0 %; 炭酸石灰 3.0 % を混合し，之をビーカー底に搗き固めタール鋪裝道路の模型とし，（本混合物は實鋪裝よりやゝ粗にして，可溶成分の溶出やゝ多きものと思考せらる）1 時間に 1, 2, 5, 10 mm の割合に 1 日降雨ありたるものと假定し，それぞれの雨量に相當する水量を第 10 表に示す規定によりてビーカー中に注入し，

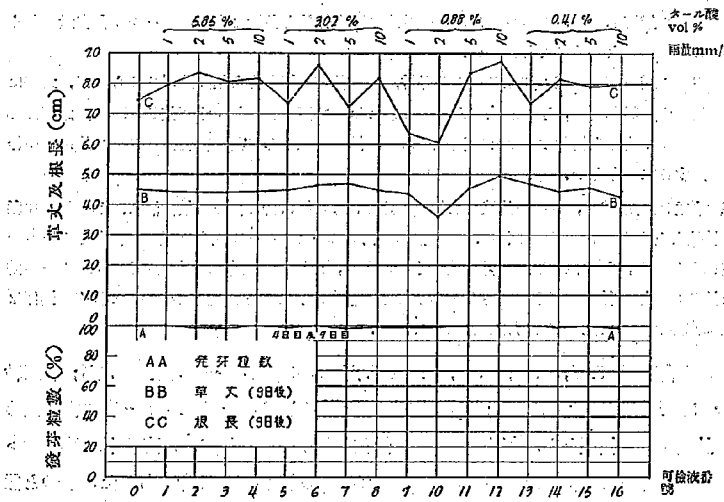
時々攪拌して合計 24 時間の滲出を行ひ，可檢液 16 種類を得た．上述の可檢液の調製は實驗室内の便宜的方法によりたるものにして實際の雨水が鋪裝道路に降下せる場合と若干の相違あるべきも，其の概要を推知するに足るものと考へられる．（可檢液の調製は内務省土木試驗所に於て行つた）．

第 10 表　可 檢 液 採 取 方 法

降雨量		ビーカー直徑	1 回の注入水量		水の取かへ時間	水取かへ回數	滲出全時間	採取せる溶液の全量
mm/h	mm/day	cm	水深 mm	cc	h		h	cc
1	24	a 10	3	23.5	3	8	24	188 } 376
		b 10	3	23.5	3	8	24	188
2	48	10	6	47.0	3	8	24	376
5	120	8	5	25.2	1	24	24	604
10	240	6	10	28.6	1	24	24	680

〔備考〕 1) a, b は全く同様にして滲出を行ひ，兩液を合して 1 試料とせるものである．
2) 水の取かへは 8 回以上行ひたるを以て，鋪裝表面より滲出しうべき成分は充分滲出せしめ得たるものと考へられる．

上述の方法によりて得られたる可檢液 16 種を用ゐて土耕によりて水稻の發芽及幼植物の生育に及ぼす影響が試驗せられたが，其の成績は第 14 圖の如くである．



第 14 圖　タール鋪裝面を流るゝ雨水の影響(土耕)

上記の試驗の成績に依れば，可檢液 16 種のいづれの場合に於ても，水稻の發芽，及幼植物の生育には殆ど無害である．(22～23頁，寫眞 XIII, XIV 參照)．

之によりて考ふるに，實際の鋪裝道路にタールを使用せる場合には，少くともタール酸含有量 5.85 vol. % のタール迄は水稻の發育に無害なりと推定し得べし．

〔5〕 寫・眞

上記各種試驗に於ける 9 日後の幼植物の生育狀況は寫眞に於て一見明瞭である．

寫 眞 說 明。

1. タール酸の主成分に相當すべき數種の化學藥品其の他の影響に關するもの
   - 寫眞 〔 I 〕　石炭酸溶液（砂耕）の影響
   - 寫眞 〔 II 〕　オルト・クレゾール溶液（砂耕）の影響
   - 寫眞 〔III〕　メタ・クレゾール溶液（砂耕）の影響
   - 寫眞 〔IV〕　パラ・クレゾール溶液（砂耕）の影響
   - 寫眞 〔 V 〕　ナフタリン（土耕）の影響
2. タール酸を比較的多量に含む鋪裝用タールの蒸溜各成分の影響（土耕）
   - 寫眞 〔 VI 〕　170～270°C 溜出油（タール酸を含む）(土耕）の影響
   - 寫眞 〔VII〕　同 上 （タール酸除去）(土耕）の影響
   - 寫眞 〔VIII〕　270°C 以上蒸溜殘留物（土耕）の影響
3. タール抽出液の影響（主として砂耕）
   - 寫眞 〔 IX 〕　タール酸含有量 5.85% のタールの抽出液（土耕）の影響
   - 寫眞 〔 X 〕　同 （砂耕）の影響
   - 寫眞 〔 XI 〕　タール酸含有量 3.02% のタールの抽出液（砂耕）の影響
   - 寫眞 〔XII〕　タール酸含有量 0.88% のタールの抽出液（砂耕）の影響
   - 寫眞 〔XIII〕　タール酸含有量 0.41% のタールの抽出液（砂耕）の影響
4. タール鋪裝上を流るゝ水の影響（土耕）
   - 寫眞 〔XIV〕　タール酸含有量 5.85% 及 3.02% のタールを用ゐたるタール鋪裝上を流るゝ水の影響（土耕）
   - 寫眞 〔XV〕　タール酸含有量 0.88% 及 0.41% のタールを用ゐたるタール鋪裝上を流るゝ水の影響（土耕）

寫眞 〔XIV〕 及 〔XV〕 中の番號はタール及雨量の相違を示す．即ち第 11 表の如し．

第 11 表

番號	使用タールのタール酸含有量 vol.%	雨量 mm/h	番號	使用タールのタール酸含有量 vol.%	雨量 mm/h	番號	使用タールのタール酸含有量 vol.%	雨量 mm/h	番號	使用タールのタール酸含有量 vol.%	雨量 mm/h
1	5.85	1	5	3.02	1	9	0.88	1	13	0.41	1
2		2	6		2	10		2	14		2
3		5	7		5	11		5	15		5
4		10	8		10	12		10	16		10

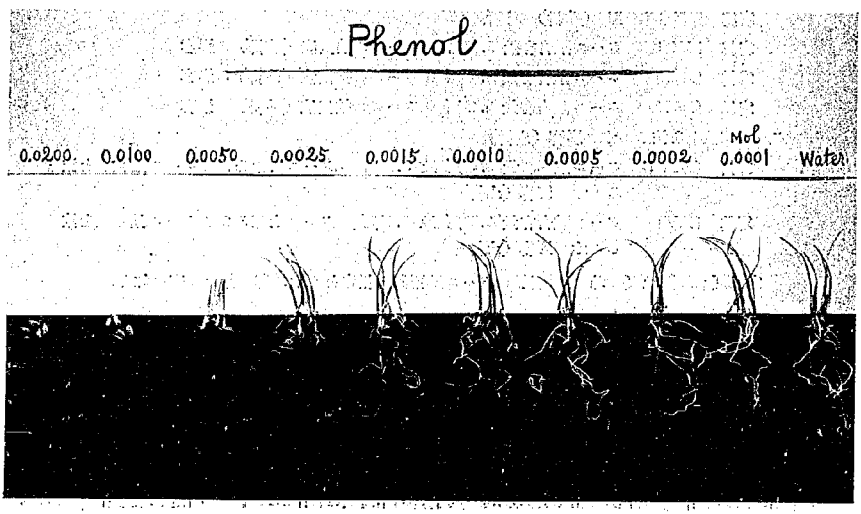
要　約

上記農事試驗場に於ける研究により次の結論に達し得たるを以て，安じてタールを鋪裝工事に使用することが出來るに至つた，卽ち

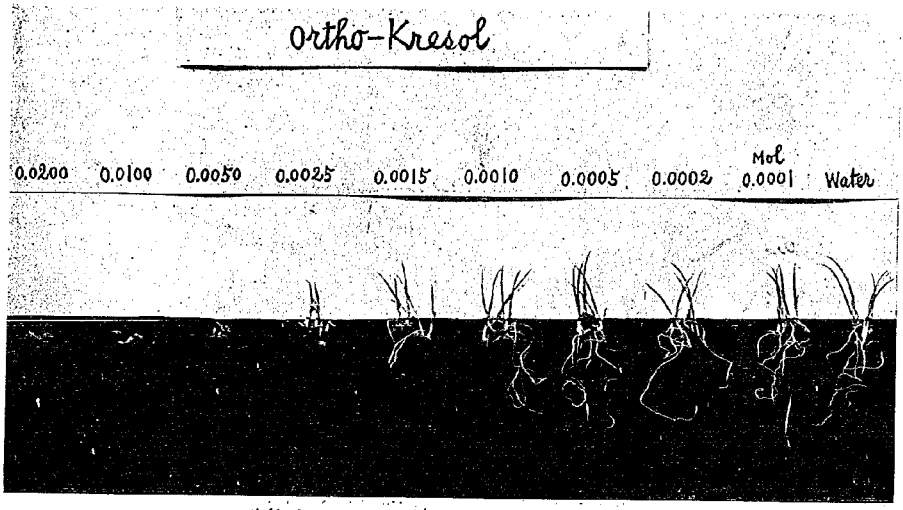
鋪裝用タール中のタール酸の各主成分の溶液，タール抽出(人工的)液は，ある濃度以上に於ては，水稻の發芽及幼植物の生育に有害なるも，ある程度以上のタール抽出稀薄液は殆ど有害作用が認められない．タール含有量 5.85 vol %以下のタールを用ゐたるタール鋪裝の上を流るゝ雨水其の他の水は，極めて稀薄にして，たとひ水田中に流入することありとするも，水稻の發育には無害である．

附記　本研究を擔當し上記の事實を確定せられたる農事試驗場に對し，深き謝意を表す．

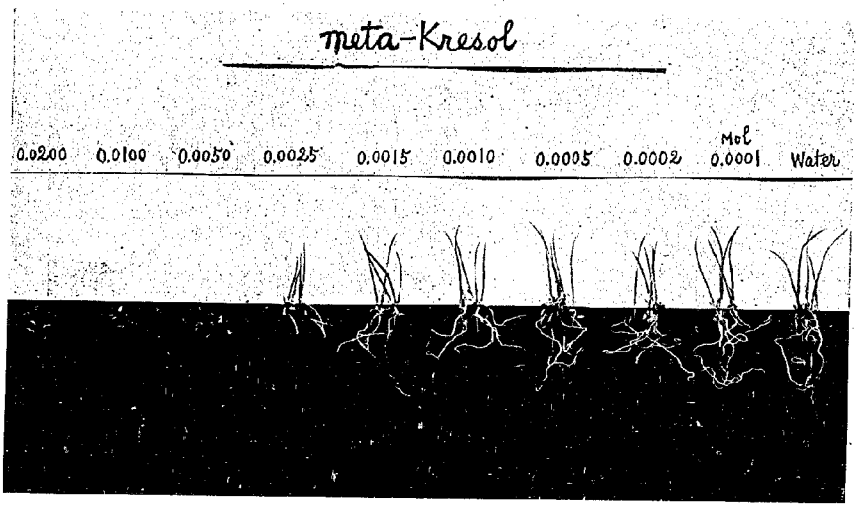
1. タール酸の主成分に相當すべき數種の化學藥品の影響に關するもの (I～V)



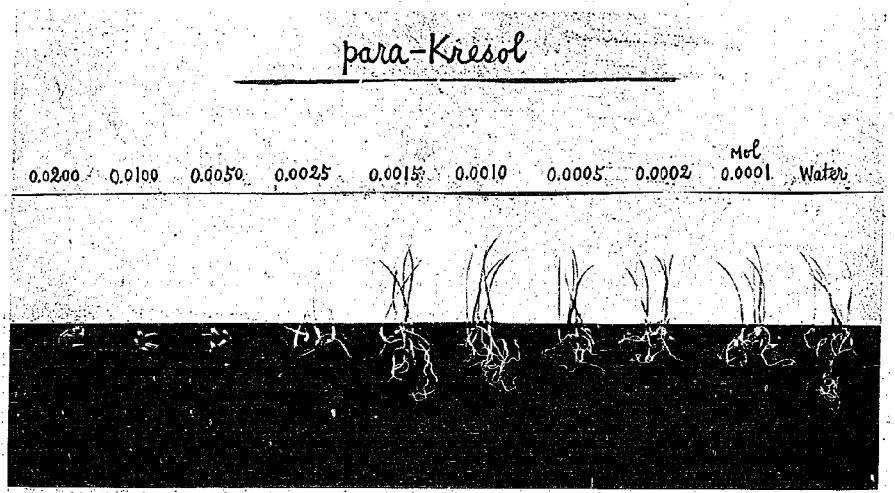
寫眞〔I〕　石炭酸溶液(砂耕)の影響



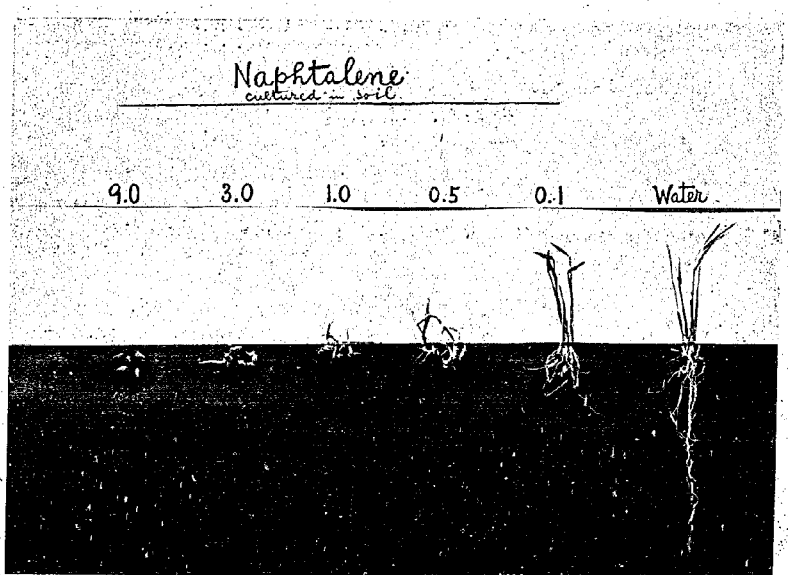
寫眞〔II〕 オルト・クレゾール溶液(砂耕)の影響



寫眞〔III〕 メタ・クレゾール溶液(砂耕)の影響

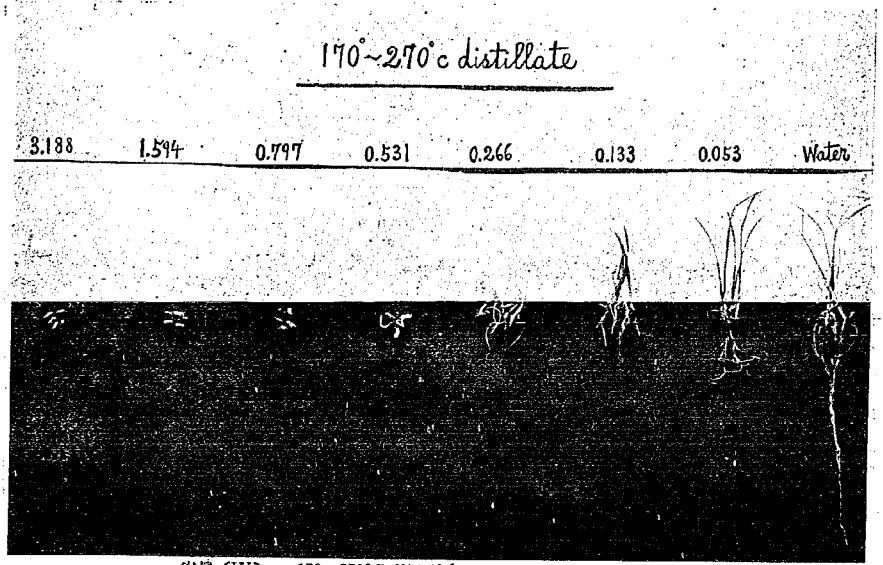


寫眞 [IV] パラクレゾール溶液(砂耕)の影響

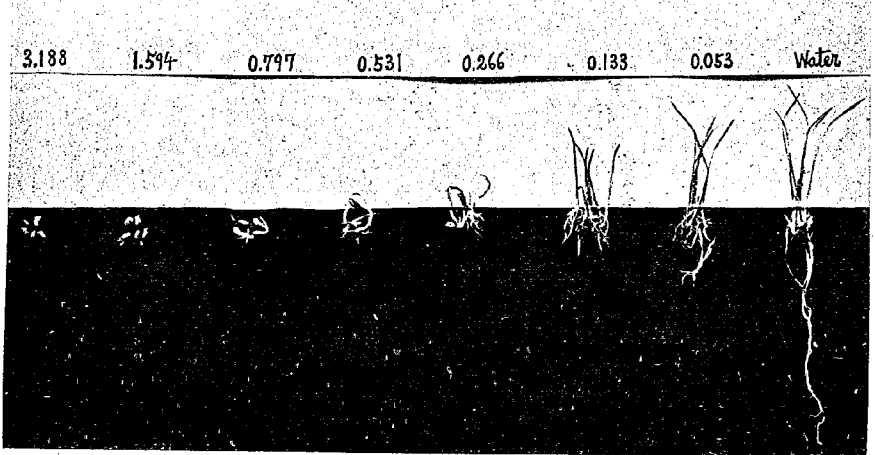


寫眞 [V] ナフタリン(土耕)の影響

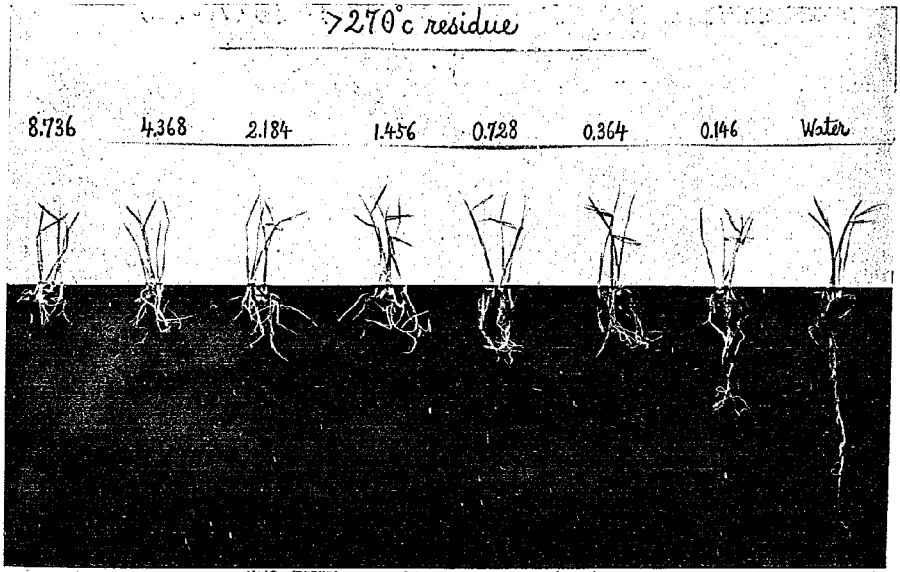
2. タール酸を比較的多量に含む舗裝用タールの蒸溜各成分の影響（土耕）（VI～VIII）



寫眞〔VI〕　170～270°C 溜出油（タール酸を含む）（土耕）の影響

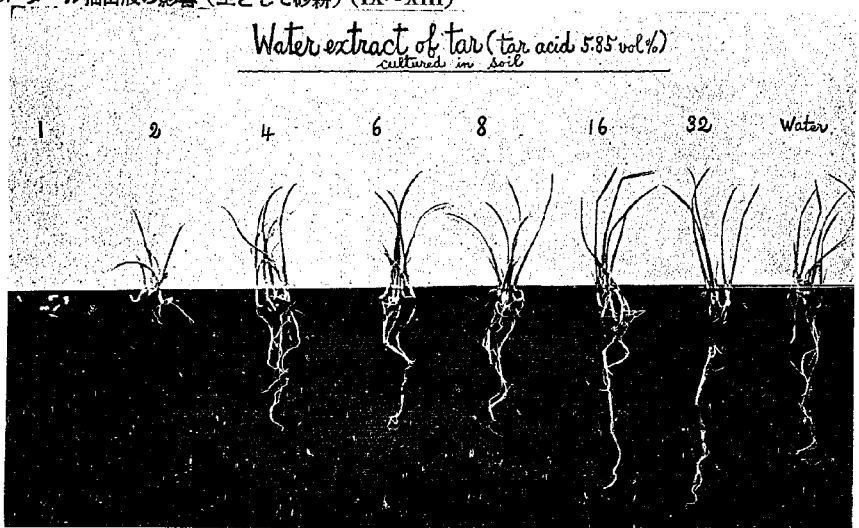


寫眞〔VII〕　170°～270°C 溜出油（タール酸除去）（土耕）の影響

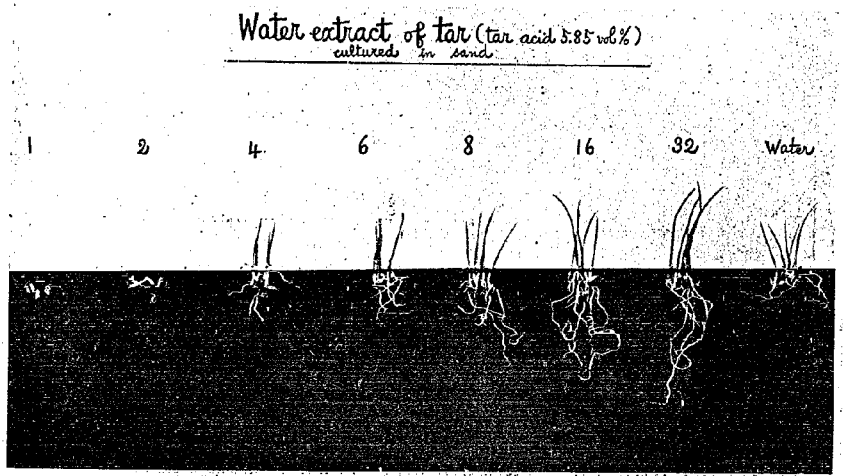


寫眞〔VIII〕 270°C 以上蒸溜殘留物(土耕)の影響

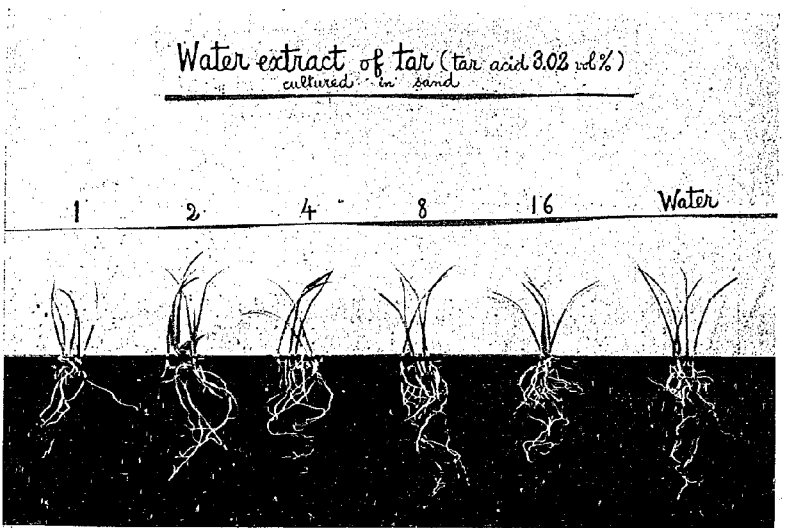
3. タール抽出液の影響（主として砂耕）(IX～XIII)



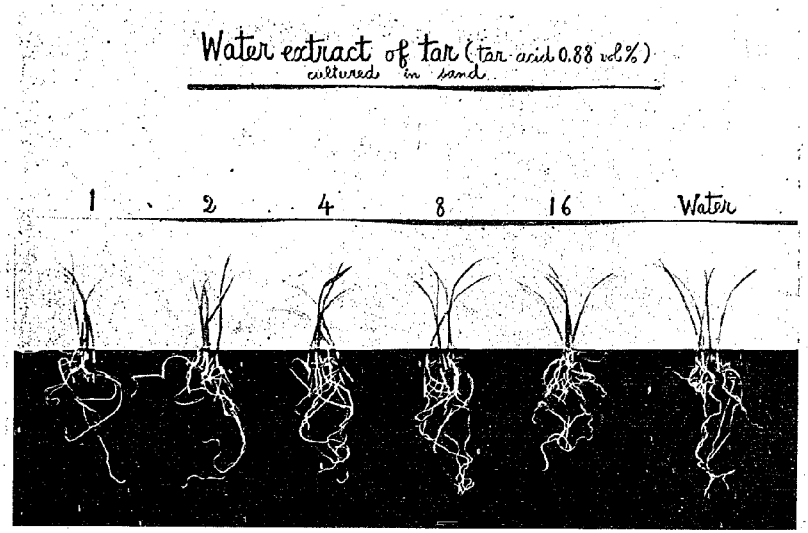
寫眞〔IX〕 タール酸含有量 5.85 % のタールの抽出液(土耕)の影響



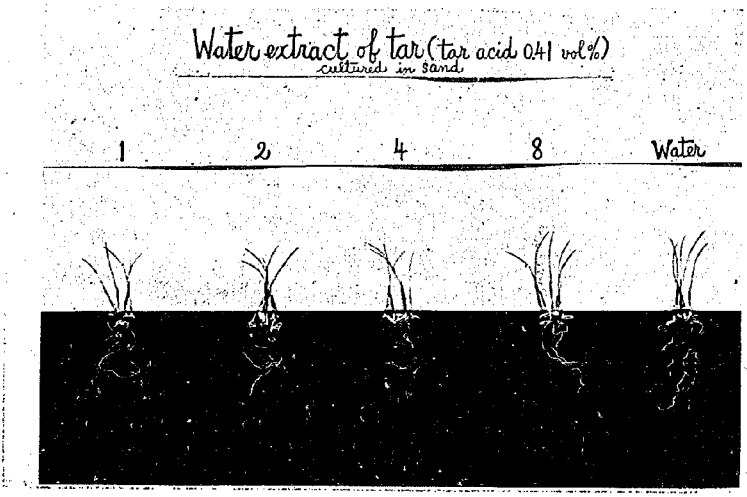
寫眞〔X〕　タール酸含有量 5.85% のタールの抽出液(砂耕)の影響



寫眞〔XI〕　タール酸含有量 3.02 % のタールの抽出液(砂耕)の影響

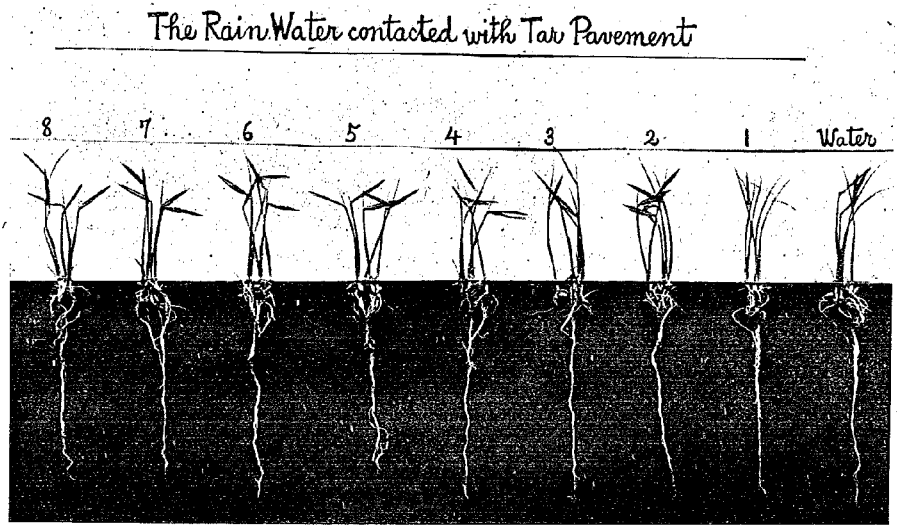


寫眞〔XII〕　タール酸含有量 0.88% のタールの抽出液(砂耕)の影響

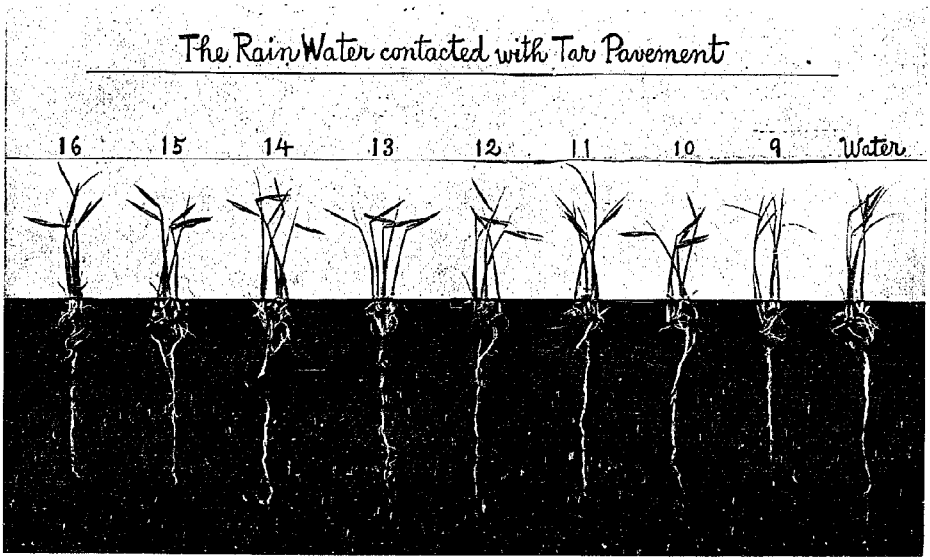


寫眞〔XIII〕　タール酸含有量 0.41% のタールの抽出液(砂耕)の影響

4. タール鋪裝上を流るゝ水の影響（土耕）（XIV～XV）



寫眞〔XIV〕　タール酸含有量 5.85% 及 3.02% のタールを用ゐたるタール鋪裝上を流るゝ水の影響(土耕)



寫眞〔XV〕　タール酸含有量 0.88% 及 0.41% のタールを用ゐたるタール鋪裝上を流るゝ水の影響(土耕)

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

内務技師　高田　昭

目　次

緒　言 ……（1）
1. *pH* の測定方法 ……（2）
2. 石灰の溶液の *pH* ……（2）
3. セメントの溶液の *pH* ……（3）
4. 硬化セメントの溶液の *pH* ……（4）
5. 流水に溶解せる硬化セメントの成分 ……（5）
結　言 ……（8）

緒　言

コンクリートの強度及耐久力は永久不變のものではなく，之れで工作物を築造して或る期間を經過すれば最も強い時期となるが之れを過ぎれば漸次に耐久力を減じ强度も亦低下するに至る．此の原因には云ふ迄もなく物理的及化學的の兩作用があり，其の激しさに於ては兩者一樣でなく，又作用の進行も極めて緩慢であつて吾人の生命の短さに比すれば相當に永い年月を單位として考慮されるのが一般的情勢であるが，孰れにしてもコンクリート工作物は終には本質的に老衰頽化の時期に到達し其の儘では所期の目的に副ふことの出來ない狀態となるのを免れない．我國の如き氣象條件の良好な所に在つては物理的作用は一般に輕微であるが，堰堤，水路，隧道其他河川工作物等に於て水を貯溜し或は水の流動を制御するが如き目的の爲めに築造されるものは常に水に接觸し，其の甚だしい場合には高い水壓に耐抗してゐるものであつて斯樣なものは水の滲透により內部的に其の性狀に變化を生じ，其の影響は建築物其他之に類する常に水に接觸せざる工作物の場合に比し格段に激烈なものである．從來我國に於て施行されたコンクリート工作物中で主として水の作用のみによつて頽化したと考へられる實例としては水力發電用の水路隧道の場合を 2，3 擧げることが出來る程度であるが，今後 10 年又は 100 年を 1 期として算へた數期後には諸種の工作物が老衰狀態に達するに至ることが豫想される．

コンクリートの性質に及ぼす水の影響に關する研究は數十年來各所に於て研究されて居るが，其の多くは酸類を溶解せるもの或は海水等に依る場合であり又近頃は淡水中に於け

る各成分の平衡狀態に就て考慮される樣になつたが，孰れも容易に結論を得るには至らず，恐らく今後數年を經て理論的結論を得るに至るとも其の實際問題に於ける適用性の發見は至難であらう．併しコンクリートの內部を滲透する水の爲に生じた變化は內部的であるが爲に外面的觀察は不可能であるから實際にはボーリング等の方法によつて其の一部を摘出して檢査することが最も望ましいが之れを實行することは豫想外に困難な場合が多い．從つて之れを間接的方法によつて打診することが出來れば最も好都合であると考へポートランドセメントに水を加へて之を凝結せしめた後に其の中に水を滲透させた場合に水に溶解する狀況を水素イオン濃度に就て調べた結果，多量の石灰と少量の珪酸とが溶出し其の量は水素イオン濃度によつて指示し得ることが判明した．勿論水の溶解作用は水に曝露する物體の成分，形狀，水の流速及流量，水の成分等に影響されること大なるものであるから同一構造物であつても全く均質でない限り部分的には作用狀態が一定でないことが普通であらうが，一般的にはコンクリートが化學的作用を受けて變化する速さは其の滲透係數の函數であるべきものと考へられる．從つて貯水堰堤の如き保安上に於ても又利用上に於ても愼重な監視を必要とする工作物に在つては其の內部を滲透する水量と其の水の化學的成分とを永年月に亘つて調査すれば，少くとも漏水箇所のコンクリートの成分の變化の一部を推定することが出來る．而してセメント中に含まれる石灰の約 1/3 が溶解流出すればコンクリートが崩壞する(1)のが通例であるとすれば，其の大體の見當を付けることは必ずしも不可能ではないと思ふ．

（1） *pH* の測定方法

水素イオン濃度の測定には 1 氣壓の水素瓦斯を含ませた白金黑を一方の電極とし，飽和甘汞を他方の電極とし中間接合は飽和鹽化加里溶液によつて接續して行ひ，電壓の測定には 0.000005 ボルトの目盛を有する電位差計或は *pH* を 15 から 0 迄を 0.001 の精度で直讀し得る橫河電機製作所製の電位差計を用ひた．

白金黑電極の取扱は常に周到な注意を要するものであり，永い保存又は數回以上の使用には堪えないから常に再沈澱を行つて新しいものを用ひた．而して此の操作を容易ならしめる爲に白金上に金を鍍金した後に白金黑の鍍金を行つた．

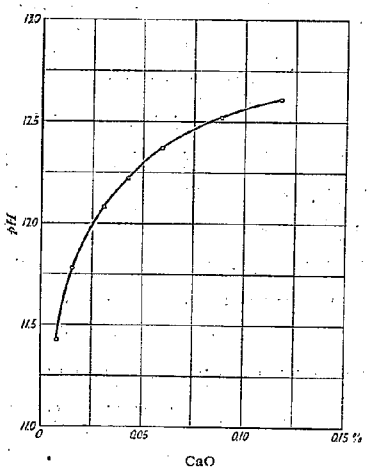
pH の測定は氣溫が上昇して 25°C を超へた場合には行はないことにした．

（2） 石灰の溶液の *pH*

純粹なる酸化石灰の水溶液のアルカリ性は其の濃度によつて強弱あるものであるから其の *pH* も亦之れに應じて變化する．

(1) G. Westerberg: Déterioration, par vieillissement, du béton des barrages-poids. 1er Congrés des Grands Barrages. (1933) p. 49.

酸化石灰の飽和溶液 (16°C) を作り之れを漸次に稀釋して其の pH を測定し，其の時の石灰の量は飽和溶液中の石灰を定量分析した結果を用ひて算出した．其の結果は第1圖に示す如く抛物線狀の關係を示して居る．此の關係はコンクリート堰堤の內部を滲透した水に就て調べた結果とは極めてよく一致して居る．(2)



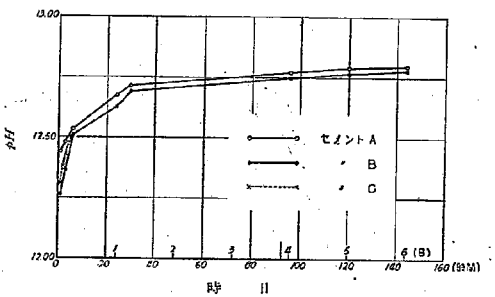
第1圖　石灰溶液の pH

(3)　セメントの溶液の pH

セメントに多量の水を加へた場合には最初に遊離石灰が溶解し，以後時間の經過するに從つて珪酸石灰鹽の一部が加水分解し，次いで他の化合物にも分解を誘ふ等互に相當複雜な推移を伴つた平衡關係が展開されるのである．之れはセメントに水及骨材を加へて混合し，コンクリート又はモルタルを作る場合に於て混加水とセメントとの間に起る作用であつて，滲透水による作用とは其の趣を異にして居るが，從來各所で行はれた例も多く又コンクリートの硬化後に於ける狀態を考察する必要もあるから次の如き實驗を行つた．

ポートランドセメント A, B, C の 3 種を用ひ，其の 20 gr を蒸溜水 1,000 cc 中に入れ電氣攪拌器で攪拌しつゝ所定の時間を經過すれば其の內から 100 cc だけ採り出し，直ちに濾過して pH の測定を行つた．之れに使用した硝子容器は市販の普通品で，又液の上面は自由に空氣に接觸する狀態に置いた．

實驗の結果は第2圖に示す如く，孰れも一樣な抛物線狀の關係を示し，卽ち pH の値は混合後5～6日目に最大となり飽和溶液となつたことを示して居る．



第2圖　セメントの溶液に於ける pH の時間的變化

(2)　高田昭：玉淀堰堤の湧水の溫度及水素イオン濃度，土木試驗所報告第32號，昭和10年11月

併し混合後6時間位の間に於ける溶出速度はセメントの種類によつて多少の差異がある.

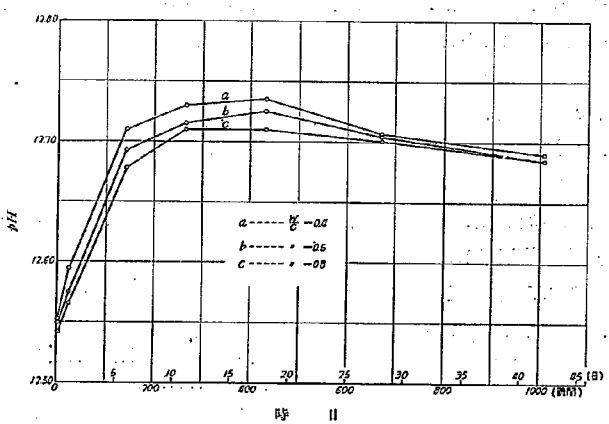
此の實驗に用ひた溶液は實際にコンクリートを作る場合に比し格段に多量の水を用ひて其の凝結を防ぎ且つセメント粒各個が自由に水の作用を受ける狀態に置いたのであるが, 實際の場合は水分が極めて少量であるから之に溶解する成分中石灰の如きは極く短時間内に飽和點に達し其の時間的關係は水分の量的關係に從つて變る.

コンクリートが硬化した後に其の孔隙内に殘つた水分中には此の溶解物が飽和して存しセメントの珪酸石灰鹽の加水分解によつて或は過飽和となつて一部の石灰を沈澱する場合もあり, 又全體が乾燥すれば無論石灰は沈澱し, 同時に水の表面張力はコンクリートの實體内に張應力の形となつて殘り孔隙内に空氣の侵入の許す部分では炭酸石灰を生ずる等の諸現象を伴ひ, 爲めにコンクリートの强度は乾燥狀態に於て最も顯著となるのである.

(4) 硬化セメントの溶液の *pH*

セメントに水を加へて一度凝結硬化させた後のものは既にセメント粒の表面に化學變化を生じ又粒間の細隙には沈澱石灰が塡まるから, 之れを水中に浸した場合には前項の未硬化セメントの場合に比し多少異る現象を示すだらうと云ふ豫想の下に次の如き實驗を行つた.

セメント (A) を水セメント重量比に於て 0.4, 0.6, 0.8 の 3 種に分けて水を加へて凝結せしめ濕潤狀態に於て 1 週間放置した. 次に之れを室内に於て 1 週間乾燥させた後に粉碎して 200 番篩を通過するものだけを採り更に 100～110°C に於て完全に乾燥させた. 斯樣な粉末を 20 gr 採つて蒸溜水 1,000 cc 中に入れて攪拌し, 所定の時間後に 100 cc



第 3 圖　硬化セメントの溶液に於ける *pH* の時間的變化

採り直ちに濾過して液の pH を測定した.

實驗の結果は第 3 圖に示す如く a, b, c に共に極めて近似の曲線を示した. 此の結果から次のことが云ひ得る.

(1) 水に溶解するアルカリの量は混加水量の少ないもの程多量である.

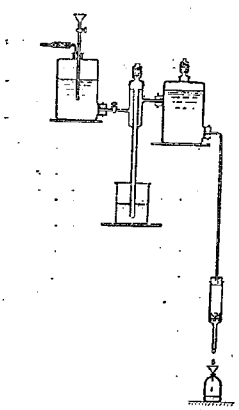
(2) 水中に入れた後 15 日以上 20 日以内に於て飽和狀態に達する.

20 日以後に於て pH が減少した原因は溶液の溫度が低下した爲めか, 空氣と接觸した爲めか, 珪酸の溶出によつて平衡狀態に變化を生じたのか不明である.

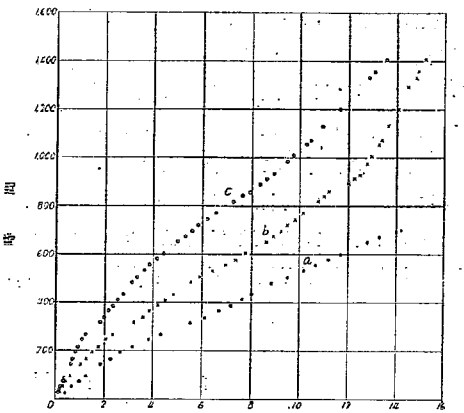
(5) 流水に溶解せる硬化セメントの成分

前揭の諸實驗は孰れも一定量の水中に於ける溶解速度に關するものであつて, コンクリートとなつた後に滲透水の爲め可溶性成分が流出し又加水分解も繼續的に進行する場合とは其の趣を異にしてゐるから, 此の實際の場合に近い狀態として次の如き實驗を行つた.

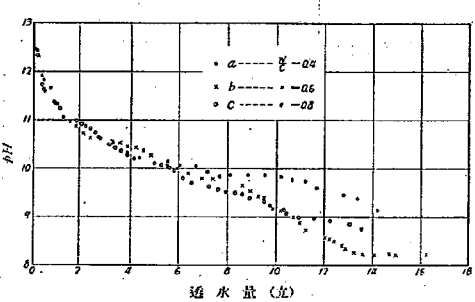
試料は前述の硬化セメントを粉末としたものを用ひ, 之れを硬質硝子筒に入れ一定の壓力水頭を有する蒸溜水を間斷なく流



第 4 圖　透水實驗裝置



第 5 圖　透水速度



第 6 圖　硬化セメントに於ける透水量と其の pH との關係

して所定の時間毎に採つた水の pH を測定した．實驗裝置の大要は第 4 圖に示す如くである．試料は正確に 1 gr を秤取して用ひ之を直徑 14 mmの硝子管の底に石綿を詰めたもの上に詰め，蒸溜水の水槽は 2 個用ひ一方は補給用他は定水位用とし其の中間に溢流管を附け，水の自由表面が空氣に接觸する箇所の入口にはソーダライム粒を詰めて炭酸瓦斯を吸收せしめて水中に炭酸瓦斯の溶解するのを防いだ．併し長期間に亘る實驗の爲に容器の硝子中に含まれてゐるアルカリが一部溶出して蒸溜水を極微なアルカリ性となした．即ち實驗の初めには蒸溜水の pH は 7.565 であつたが 1,400 時間後には 7.680 となつて居た．壓力水頭は (a) を 530 mm, (b) 及 (c) を 800 mm としたが，水の漏出速度は試料の詰め方竝に粒子に起る變化等の爲に常に一定ではなく第 5 圖に示す如き狀態であつた．

實驗の結果は第 2 表に示す如くである．漏水量と pH との關係は第 6 圖に示す如く，漏水速度が (a), (b), (c) 共に相異してゐたにも拘らず比較的一樣な結果を示してゐる．但し (a) では壓力水頭を最小としたにも拘らず漏水が多量であり又其の加水分解の進行も他に比し稍〻速かであつたやうに認められたが，實驗の終りに至つて殘渣が水に流し出された爲め其の分析を行ふことが出來なかつた．

第 1 表に示す化學分析の結果は試料 (b) 及 (c) 中を 15.232 及 13.573 立の水を通した後のものと實驗前のもの竝に加水前のセメントとの成分を比較したものである．透水後のものは加水分解の結果鐵の如きは水酸化鐵となつて明かに遊離し又其他のものも膠質物に

第 1 表　分 析 結 果

項　　目	未硬化セメント	硬化セメント		透水後の殘渣	
		(b)	(c)	(b)	(c)
灼熱減量	% 1.76	% 14.73	% 14.84	% 24.14	% 24.32
SiO_2	21.50	17.89	17.64	27.32	27.04
$Al_2O_3+Fe_2O_3$	8.40	8.46	7.97	18.72	19.95
CaO	65.02	55.94	56.60	25.72	24.68
其　　他	3.32	2.98	2.95	4.04	4.01
計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3+Fe_2O_3}$	2.56	2.11	2.21	1.45	1.41
$\frac{CaO}{Al_2O_3+Fe_2O_3}$	7.74	6.67	7.08	1.37	1.24
$\frac{CaO}{SiO_2}$	3.02	3.13	3.21	0.94	0.91

似た觀を呈するに至つた．溶解による流失減量は石灰が最も多量を占め，珪酸の一部も亦流失して居る．礬土及酸化鐵にも些少の減少が窺へるから實驗前後を通じて一定せるものが得られず　從つて各成分の減少量を求めることが出來ない．

第 2 表　硬化せるセメントの粉末中を滲透した水の *pH*

a			*b*			*c*		
透水時間	透水量	*pH*	透水時間	透水量	*pH*	透水時間	透水量	*pH*
時	立		時	立		時	立	
3.00	0.060	12.460	3.00	0.020	12.485	3.25	0.018	12.495
26.50	0.405	11.815	27.25	0.202	12.285	27.50	0.135	12.425
50.25	0.692	11.515	50.75	0.345	11.915	39.50	0.195	12.325
74.75	0.985	11.320	75.00	0.495	11.585	75.50	0.355	11.730
194.25	2.697	10.635	194.50	1.510	10.972	84.75	0.410	11.625
217.75	3.232	10.512	218.25	1.770	10.860	194.75	0.872	11.375
241.00	3.840	10.325	245.50	2.060	10.725	218.75	0.940	11.325
264.50	4.360	10.210	264.75	2.339	10.625	242.75	1.095	11.235
316.25	5.555	10.145	317.00	3.210	10.570	265.00	1.239	11.055
337.00	6.080	10.050	338.50	3.558	10.525	317.50	1.803	10.980
362.25	6.700	10.050	362.50	3.883	10.495	338.75	1.983	10.910
386.25	7.186	9.910	386.75	4.205	10.435	363.00	2.169	10.870
433.75	8.041	9.885	410.75	4.540	10.355	387.00	2.352	10.820
482.50	8.845	9.875	433.75	4.869	10.255	411.00	2.530	10.740
506.25	9.514	9.870	482.75	5.544	10.040	433.75	2.723	10.600
530.00	10.172	9.825	506.50	5.924	10.010	483.00	3.142	10.485
554.75	10.694	9.765	530.50	6.426	9.895	506.75	3.367	10.420
578.25	11.215	9.740	555.00	6.981	9.790	530.75	3.612	10.350
601.50	11.697	9.590	578.10	7.399	9.780	555.00	3.875	10.268
651.25	12.794	9.445	650.75	8.606	9.675	579.00	4.167	10.195
674.25	13.332	9.385	674.50	8.930	9.540	651.25	5.033	10.100
700.00	14.197	9.135	698.75	9.244	9.420	675.10	5.330	10.055
			722.25	9.479	9.390	699.20	5.630	10.030
			746.55	9.834	9.165	722.75	5.848	9.950
			769.50	10.176	9.140	747.00	6.193	9.780
			819.00	10.759	9.000	769.50	6.556	9.690
			842.50	11.016	8.880	819.00	7.253	9.630
			867.50	11.259	8.710	843.00	7.606	9.565
			891.00	12.056	8.570	867.50	7.976	9.520
			914.50	12.249	8.550	890.75	8.321	9.500
			938.00	12.429	8.490	914.50	8.631	9.470
			987.50	12.769	8.400	938.00	8.941	9.385
			1011.00	12.908	8.340	987.00	9.511	9.320
			1059.00	13.232	8.270	1011.00	9.756	9.240
			1072.00	13.317	8.245	1059.00	10.300	9.150
			1131.00	13.659	8.240	1072.00	10.440	9.070
			1203.00	14.097	8.225	1131.00	10.990	9.000
			1333.00	14.797	8.250	1203.00	11.645	8.985
			1357.00	14.947	8.220	1333.00	12.845	8.930
			1409.00	15.232	8.230	1357.00	13.073	8.850
						1409.00	13.573	8.760

結言

實驗の結果を要約すれば次の如くである.

(1) 石灰の水溶液の濃度と其の pH との間には拋物線で現はし得る關係がある.

(2) セメントの未硬化のものと硬化後のものとの溶解狀態は相當に相違して居る.

(3) 硬化したセメントの粉末中を略一定の速さで滲透した水の pH は透水量の增加と共に減少する.

(4) 滲透水に溶解するもの>大部分は石灰であるが珪酸の一部も同時に流失する.

附記 本實驗は本所佐川榮雇の助力によつて行つたものである.

王泊堰堤の漏水の溫度及水素イオン濃度

内務技師　高　田　　昭

I. 緒　言 ……（1）
II. 王泊堰堤の構造の概要 ……（2）
III. 水溫の測定 ……（3）
〔1〕池水の溫度 ……（4）
〔2〕堤體内部の溫度 ……（5）
〔3〕漏水の溫度 ……（6）
IV. 水素イオン濃度の測定 ……（7）
〔1〕池水の *pH* ……（8）
〔2〕漏水の *pH* ……（8）
〔3〕漏水の石灰含有量と *pH* ……（9）
V. 結　言 ……（10）

I. 緒　言

王泊堰堤は廣島電氣株式會社下山發電所の貯水竝に調整用として廣島縣山縣郡中野村地先に於て太田川支流瀧山川に築造したもので，昭和 8 年 6 月基礎岩盤の掘鑿に着手し，9 年 10 月に溢流頂以下の堤體竣工し 10 月 17 日假排水路を閉鎖して湛水を開始したものである．

一般に貯水堰堤は其の決潰により下流の地域に及ぼす被害が莫大である爲工事には極めて愼重なる考慮と練達せる技術とを必要とするものであるが，基礎岩盤の狀態，堰堤の構造，築造材料，施工方法等の關係上貯水後には多少の漏水あるは免れない事實である．漏水の程度が輕微であれば堰堤の安全を脅かすが如き惧れのないことは從來の經驗上周知の事實であるが，唯斯樣な理由のみを以て將來も漏水を其の儘に放置して置いて差支へないとは斷言出來ない．何となればコンクリートは完全なる不透水性でない限り永年月の間に化學的變化を起して終には老朽の域に入る者である．從つて將來斯樣な問題に實際に逢着することは極めて明白であるから豫め之れに對する研究を行ふべきであると考へるが，變化は永年月に亘つて漸次に進行するものであるから工作物に就て實際の變化を研究するとしても永年月に亘つて繼續されない限り其の達成を望むことが出來ない．此の調査は以上の目的に副ふ第一歩として築造直後に於ける堰堤の漏水の溫度と水素イオン濃度（*pH*）とを調べたもので此の結果が後世の研究者の參考になれば幸甚である．

此の調査の結果の全部は前記の理由に依つても明かである通り實際問題に對する應用性には比較的乏しいが，漏水の溫度は池水の溫度と關聯するものであると同時に其の通路が龜裂或は接合箇所の如き滲透に對する抵抗の比較的少ない場合とコンクリートの孔隙内を迂廻するやうな場合とでは漏水の溫度も *pH* も共に相當に著しい差異を示すから之を逆に考へれば漏水箇所の大體の狀況を推定することが出來る結果を得たことは此の調査の一大收獲である．

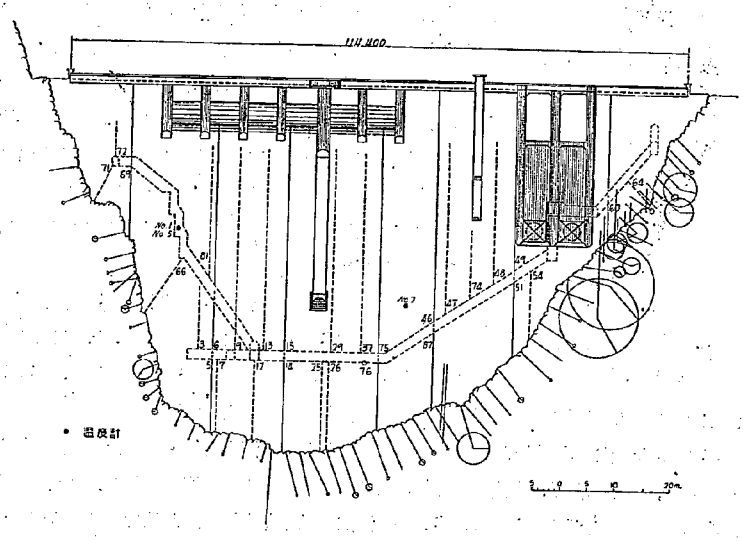
此の調査は昭和 9 年 12 月 14～15 日及 10 年 5 月 30 日の兩度に亘り現地に出張して行つたもので，*pH* の測定は本所佐川榮雇の助力に係るものである．此の試みは本邦に於ける最初のものであるが此の實行に當り土木局の谷口第一技術課長，荻原技師，物部土木試驗所長より賜つた御厚意と廣島縣土木部の山口及長谷川兩部長，後藤及松本兩技師，廣島電氣株式會社の重役各位及赤松，空閑，味野三技師等より與へられた理解に富む御援助とに對し深く感謝する．

II. 王泊堰堤の構造の概要

王泊堰堤は直線形重力堰堤で基礎岩盤上の最大高 64 m，堤頂長 118.1 m を有し，其の最大貯水量は 1800×10^4 m^3 である．基礎岩盤は石英斑岩で右岸上部には多龜裂箇所があつたが他は龜裂に乏しく堤堰基礎としては良好なる部類に屬して居る．堤體コンクリートは石英斑岩の碎石を粗骨材とし，同岩の碎石砂に約 3 割の細粒川砂を混じたものを細骨材とし，配合 1:2.5:5，水セメント比 0.70，スランプ 8 cm を標準とし，又打繼箇所は富配合とし，之等の混合にはオーセクリーターを使用した．碎石砂はハンマーミルで作られたものであるが稍粗粒に失する傾向があり，爲めに貯水後堤體内に池水の滲透するを虞れ，之れを防止する爲に堰堤上流面の低水位（標高 502 m）以下の表面には鐵網を張り，ガナイトを厚さ 5～10 cm に施工した．伸縮接合箇所には上流面より約 1.5 m，及之れより内部に向ひ 2.5～5.0 m の 2 箇所に止水銅鈑を挿入し，其の中間には排水管を置いた．此の排水管は片側のブロック施工時には丸木を半切したものを用ひて半圓形の溝を殘した所へ約 7 mm 目鐵網を直徑約 10 cm に卷き之れをセメント包裝紙で卷いてセメントの流入を防いだものを詰めて殘りのブロックを施工して設けたもので包裝紙が腐れば漏水が自由に流入し得るのである．各ブロックの内にも監査坑の上下には同樣の排水管を埋設した．

漏水量の調査は湛水開始と共に行はれたが，始めて滿水位に達した時には總漏水量 7.3 *l*/sec であつたが，其後時日の經過すると共に漸次に減少して本年 5 月には滿水時に在つても僅かに 2.8 *l*/sec となつた．之れを漏水箇所別に見るに伸縮接合箇所よりのものが大部分を占め全量の約 3/4 に相當して居る．又監査坑の最低部に漏出するものが最多量で，

次は右岸寄りの部分にして，最少量の部分は左岸寄りである．堰堤の中央部の排砂門の下には工事中の排水坑が2坑あり，呑口は3口に分れて居たから其の締切後に新舊コンクリートの境界にグラウチングを施工したが猶ほ少量の湧水がある．

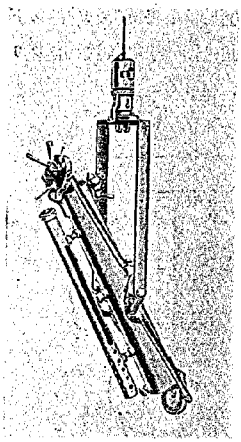


第1圖　王泊堰堤上流面圖

數字は排水管の番號を示し，グラウト孔の先端の圓は其の直徑でセメント注入量の比を表す．最大注入量は 2.68 m³ である．

III. 水温の測定

堤體内の監査坑へ湧出する湧水の温度測定には硝子製の棒狀寒暖計を用ひ，之れを排水孔内に5分間以上挿入した後取り出して直ちに讀みを取つた．池水の温度の測定には第1回は最高最低寒暖計に錘を附けて沈めたが當時の池水は全部靜止し且つ 12 月中旬の氣温 7 度内外の時で水温の變化が餘り著しくない時であつた爲め比較的良好な結果を得ることが出來た．第2回目（10年5月30日）は既に氣温が20度を越え夜間には15度位に低下する時であつたから 0.1 度の目盛を有する顚倒寒暖計を用ひた．之は測定せんとする深さに於て5分間以上靜止せしめた後顚倒さすれば水銀柱は水銀溜より分離して顚倒位置に於ける水温を正確に示すものである．此の寒暖計は顚倒と同時に其處の水を採取する Ekman 顚倒採水器（第2圖）に取付けたもので水温の測定と採水とを同時に行つた．



第 2 圖　エクマン顛倒採水器

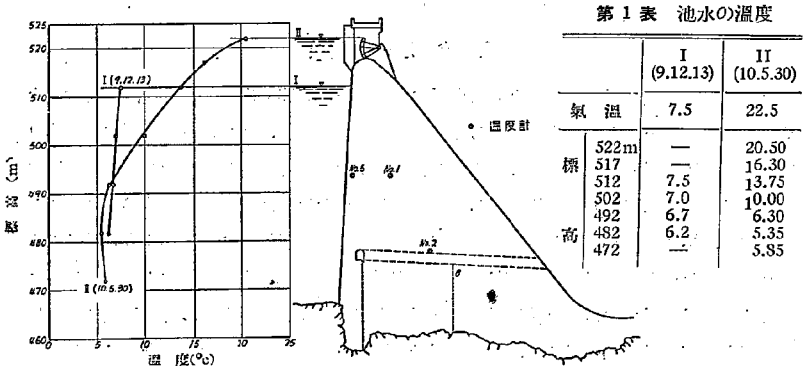
池底の最深部には諸種の障害物があつて，第 1 回の時の如きは寒測計が之に引懸り終に引上げ得なかつたこともあつたから之を警戒して最深部の測定を避けた．又發電所に於て使用する水量は夕刻前から急激に增加するから此の時には池水も亦異常な流動をなし，標高 480 m 卽水面下 40 m 以上の深さに在る水も局部的に取水口の方へ吸ひ上けられることが池水の溫度測定中に發見された．從つて王泊堰堤の如き取水口の構造を有するものでは池底の水も常に靜止狀態に在るものではなく相當に流動するもので，此の事實は *pH* の測定結果より見ても裏書きされるのである．

〔1〕 池水の溫度

池水の溫度を測定した結果は第 1 表竝に第 3 圖に示す如くである．卽ち第 1 回の測定結果は氣溫が 7.5 度であつたにも拘らず池底附近の水溫が 6.2 度であつたが，第 2 回の測定結果では氣溫が 22 度附近であつたにも拘らず池底附近の水溫は 6 度以下であつた．第 1 回の測定の時の水溫の稍〻高かつた理由としては湛水開始後僅かに 2 箇月を經たのみで地溫，河水の溫度，有機物の分解，堤體コンクリートの熱等の影響を受け更に池水が滯溜して居たことが擧げられる．第 2 回の測定は約半年を經過した後であつて水溫も水質も略〻恒久性に近い値を示すに至つた時期であらうと豫想して居たが，標高 482 m と 472 m とに於ける水溫を比較するに下の方が僅かながら高溫であつた．之れに對しては既

第 1 表　池水の溫度

		I (9.12.13)	II (10.5.30)
氣溫		7.5	22.5
標高	522m	—	20.50
	517	—	16.30
	512	7.5	13.75
	502	7.0	10.00
	492	6.7	6.30
	482	6.2	5.35
	472	—	5.85

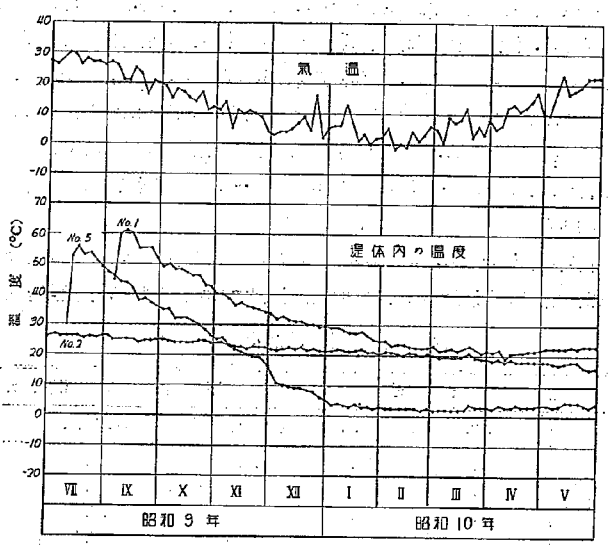


第 3 圖　池水の溫度

に測定中に不審に感じたから數回に亘つて反復測定したが其の結果誤りなき事實であることが判明した．測定箇所は排砂門前約5 m であつたが，更に 10 m 離れた上流に於ても略同様であつた．斯様に最深部に近い所の方が其の上の方より高溫である原因としては堤體コンクリートの有する影響であるとより考へられない．從つて池底の水溫を他物より影響されない狀態で測定し得るに至る時期は堤體コンクリートの溫度が低下して外界よりの影響を受けるに至る時より少し以前であらう．

〔2〕 堤體內部の溫度

堤體コンクリートの硬化熱を測定する爲に北辰電機製作所製の電氣抵抗式溫度計を6箇所に埋設して觀測したが其內の3箇所の結果を第4圖に示した．此の觀測圖は廣島電氣株



第4圖　堤體內部の溫度

式會社にて作られたものから抄錄したものである．埋設位置は第1圖及第3圖に示してある．No. 2 は昭和9年3月末に埋設したもので當初は 25 度位に昇つた後 14 度迄降つたが附近のコンクリートを施工した結果再び上昇して8月初には 27 度となつたのである．No. 1, 5 は共に施工後僅かに 6~7 日目に 61 度及 56 度の高溫に達し以後次第に降下した．本年 3~4 月には No. 1 及 2 は共に 20 度內外に迄下つて略停止して居るが，No. 5 は昨年 11 月末より本年 1 月始迄の間に急速なる低下を示し以後 2~5 度の間に停止して

居る．此の現象は明かに滲透水の爲めに冷却されたことを示すもので，此の溫度計は上流面より僅かに 2.5 m の內部に埋設されたから池水の影響には最も敏感であるべきである．本年 5 月 30 日の測定によれば此の溫度計は 5 度，之れと同位置の池水の溫度は 6 度であるから兩者は事實上符合してゐると考へて差支へない．又 No. 1 の如きは 3～4 月に最低となつたが 5 月には多少上昇の傾向を示して居る點より見れば此の箇所は池水の影響圈外に在ると考へられる．以上の事實に徵すれば此の堰堤の上流側から池水の滲入してゐる箇所もあるが其の多くは排水管によつて監査坑內へ排出され約 10 m の內部迄は殆ど達して居ないやうである．但し施工繼手に於ては例外の箇所があるかも知れぬ．

〔3〕漏水の溫度

堤體內には接合箇所及其の中間に排水管を埋設して漏水を監査坑內へ導いた後之れを下流へ排出して居る．測定を行つた箇所は孰れも多少の漏水ある管を選んで行つたもので其の配置は第 1 圖に示す如くである．水溫測定の結果は第 2 表に示す通りである．第 1 及 2 回の測定の結果最高溫度を示して居るのは No. 8 で堰堤の上流端から約 25 m 下流の位置に設けた堤底排水管である．此の水は岩盤內の龜裂を通過するものならば斯かる高溫度を維持する管がないから明かに岩盤と堤體コンクリートとの境界若くは其の附近の堤體內を滲透して來るものでなければならぬ．

伸縮接合箇所には漏水止め銅鈑を挿入してあるが之れが完全に止水の效を示さない場合があり，又其の附近より滲透したものが此處へ滲出する場合もある．監査坑より上部に在

第 2 表　監査坑內漏水の溫度

上部の漏水			下部の漏水		
排水管	I (9.12.17)	II (10.5.30)	排水管	I (9.12.17)	II (10.5.30)
No. 3	16.0	10.3	No. 5 (J)	11.3	11.0
6 (J)	8.0	6.5	7	11.5	7.5
9	21.5	12.3	8	24.0	19.5
13	21.0	10.5	12	12.5	7.5
29	9.6	11.5	14 (J)	8.2	6.2
37	7.5	11.5	25	13.0	8.2
46 (J)	12.0	8.0	26	11.5	8.0
47	13.5	11.2	51 (J)	13.5	6.5
48	18.5	11.5	54	12.5	11.5
49 (J)	14.5	10.5	64	14.5	12.5
74	9.5	10.5	66	17.2	8.6
75 (J)	7.0	9.0	87 (J)	10.5	11.0
81 (J)	8.5	9.5	坑內氣溫	7.5	14.1

(J) は接合箇所の排水管を示す

る接合箇所の漏水は No. 6, 46, 49, 75 及 81 の 5 管だけである.

是等の内で第 1 及 2 回の測定結果が共に近似であつたものは No. 6, 75 及 81 で孰れも池水の温度に近接した低温である. 就中 No. 75 の如きは標高 500 m 附近の池水の温度と一致して居る點より考へれば其の大部分は明かに 500 m 附近の間隙より流入するものである. No. 6 及 81 では第 1 回の測定時の温度が稍〻高いやうであるが, 第 2 回の測定時の温度に近接してゐる點竝に池水の温度によつて影響されてゐる狀態より考へれば No. 6 では大體標高 490 m, No. 81 では 500 m 附近に在る水が多量に滲入して居ると推定される. No. 46 及 49 は共に第 1 回の測定時には相當に高温を示し又漏水量も微少であるから第 2 圖の測定結果のみから判斷するのは誤謬に陷る虞れがあるが, *pH* の測定結果から見れば其の漏水も主として接合箇所又は之れに接近せる抵抗の極く少ないコンクリート内を通過して來るもので其の爲に多少熱の影響を受けたと考へれば主なる漏水箇所は共に標高 500 m 附近のやうに推定される.

監査孔より下部の接合箇所よりの漏水は No. 5, 14, 51, 及 87 の 4 管だけであつて, No. 5 及 87 は共に相當に高温であるが, No. 14 及 51 は共に多少堤體の熱の影響を受けて居るが主として鋼鈑附近より滲入するものであらう.

堤體内に設けた排水管よりの漏水は一般に少量であるから其の温度も亦比較的高いものが多い. 併し No. 29, 37, 74 の 3 管は池水の影響を受けて居ることは明瞭であつて孰れも標高 500～505 m 附近の池水が滲入し其の途中で多少温められたものではないかと推測される. 以上は孰れも監査坑より上部の漏水であつて下部よりの漏水は前記の接合箇所よりの内 2 管の漏水のみが池水の影響を受けてゐるに止まり堤體内の漏水は總べて池水の温度より高い.

IV. 水素イオン濃度の測定

試料の採取は一見簡單であるが之れには充分の注意を拂つた. 採取管は 100 cc 入の硬質硝子製で二酸化マンガン, アルカリ及酸で充分洗滌したもので, 採取した水を之れに滿す前には必ず其の水で管内及栓を數回洗滌した. 測定には 1 氣壓の水素瓦斯を含ませた白金黑を一方の電極とし, 飽和甘汞を他方の電極とし中間結合は飽和鹽化加里溶液によつて接續して行ひ, 電壓の測定には 0.000005 ボルトの目盛を有する電位差計或は *pH* を 15 より 0 迄を 0.001 の精度で直讀し得る横河電機製作所製の電位差計を用ひた.

測定は原則として採水後直ちに行はねば其の正確を期し難いが, 堰堤所在地の如き山間部では測定裝置の温度を一定に保つことは不可能である. 第 1 回の測定には現場の事務所内に於て炭火及電熱器で保温して不滿足ながら一通りの測定を行ひ, 其の試料を東京迄

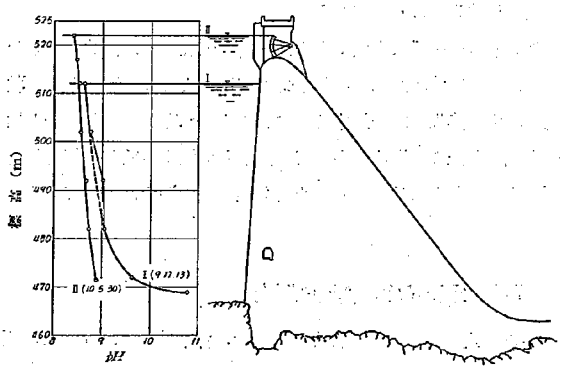
持ち歸り採水後 3～4 日目に實驗室内で再測定を行つた．其の結果には多少の差違があつたが現場測定の方は溫度の補正値が不正確であり又結果に大差が無いから實驗室で測定した結果をとることにした．併し試料を 10 日以上放置する時には石灰が沈澱して來ることがある．第 2 回の測定は前回の結果に徴し總べて實驗室へ持ち歸り採取後 3 日目に行つた．

水素イオン濃度測定後殘りの溶液中に含まれて居る石灰だけを定量した．

〔1〕 池水の *pH*

試料の採取には第 1 回の時は硝子蠟に栓を施して目的の深さ迄沈めた後栓を脫して其處の水を詰めたが，第 2 回の時は第 2 圖に示す採水器を用ひた．

池水の *pH* の値は第 3 表及第 5 圖に示す如くである．第 1 回の測定時は湛水開始後僅かに 2 箇月を經たに過ぎないから工事中に散亂したセメント及コンクリートは元より其他池の周壁より溶解したもので池水は相當に强いアルカリ性を示して居た．殊に池底では急に濃度が增加して居た．第 2 回の測定結果は前回に比し總體にアリカリ性を低下し且つ水深と *pH* との關係が略ゝ直線的に變化して居る．此の原因は水溫測定の項に於て述べたやうに池底の水も相當に流動する爲である．



第 5 圖　池水の *pH*

第 3 表　池水の *pH*

標高 (m)	I (9.12.13)	II (10. 5. 30)
522	—	8.415
517	—	8.475
512	8.670	8.535
502	8.745	8.540
492	9.055	8.685
482	9.065	8.725
472	9.595	8.880
469	10.840	—

〔2〕 漏水の *pH*

漏水の *pH* 測定結果は第 4 表に示す如く孰れも大なる値を示して居る．漏水量は一般に減少の傾向が明かであるが其の微量なものは總べて *pH* が 12.5 內外である．又 No. 75 の如き接合箇所に於ける多量の漏水中にも未だ相當多量に石灰が溶解されて居て，水溫の場合とは其の關係が相違して居る．第 1 回の測定時には池水も强いアルカリ性であつたからコンクリート內の石灰の溶解も比較的輕微であつたが，池水のアルカリ度の低下と共に

第 4 表　湧水の pH

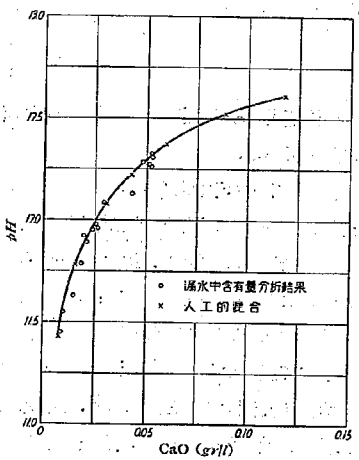
上部の湧水				下部の湧水			
排水管	湧水量 cc/sec	I (9.12.15)	II (10.5.30)	排水管	湧水量 cc/sec	I (9.12.15)	II (10.5.30)
No. 3	25	12.295	—	No. 7	25	12.182	11.920
9	10	12.495	12.310	8	25	12.105	11.785
13	20	12.475	12.260	12	52	12.262	11.955
37	微	12.580	—	25	微	12.142	12.295
47	2	12.685	—	26	微	12.570	12.305
6 (J)	252	11.838	11.960	66	50	11.875	11.890
49 (J)	45	12.335	11.455	5 (J)	166	11.950	12.090
75 (J)	1,277	10.635	11.625	14 (J)	622	12.045	11.960

(J) は伸縮接合箇所，　湧水量は第 1 回測定當時のもの

次第に增加したことは想像に難くない．又或る箇所では過飽和となつて孔隙内に沈殿した石灰も兩後に於ける滲透水のアルカリ度の低下と共に再溶解するものあり，或はコンクリート内の複雜な組織に從つて滲透竝に溶解作用に複雜なる推移を起こすもの，排水管の周圍に附着したセメントの溶出等諸種の作用が多岐に亘つて展開するから以上の結果のみでは今日に於ける湧水の狀態を判斷する資料とはならない．卽ち今後數年間の測定結果と對比して始めて活用されるものである．

〔3〕 湧水の石灰含有量と pH

湧水の pH はセメント中の石灰の溶解によるアルカリ性を示すことは明かであるが實驗の結果(1)と堰堤の湧水中に溶解して居る石灰の量と pH との關係を檢べる爲に，石灰の定量分析を行つた．其の結果は第 5 表に示す如くであつて，之れを別に任意の割合で作つた石灰溶液の場合と對比したものが第 6 圖である．之れに依れば少數の例外はあるが兩者が極めてよく一致して居る．卽ち堰堤内の湧水中に溶解して居るアルカリ性物質は其の大部分或は全部が石灰で



第 6 圖　湧水の石灰含有量と pH

(1) 高田昭：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，土木試驗所報告第 32 號，昭和 10 年 11 月

第 5 表　漏水の *pH* と石灰含有量

排水管	*pH*	CaO (*gr/l*)	排水管	*pH*	CaO (*gr/l*)
No. 5	12.090	30×10^{-3}	No. 46	12.270	51×10^{-3}
6	11.960	27	48	11.955	24
7	11.920	20	49	11.455	9
8	11.785	19	51	10.655	2
9	12.310	53	60	11.555	10
12	11.955	21	66	11.890	21
13	12.260	52	71	9.875	1
14	11.960	27	72	12.125	43
25	12.295	48	75	11.625	15
26	12.305	53	87	11.955	20

あると云ひ得るのである．併し河水の *pH* が 8 以上であり，又附近の谷川の水も同様に 8.7 内外であるから *pH* の値が 9 に接近するに従つて石灰以外の成分の影響を受けるに至るであらう．又河水の成分も 1 年中を通じて一定せるものではなく，降雨，融雪，上流滯澱地の情況，浮流物，水中に棲息する生物其他諸種の原因によつて變異を來たすものである．從つて堰堤コンクリートの化學的變化に關する研究には多大の年月と忍耐とを要するのである．

V. 結　　言

王泊堰堤の池水及漏水の溫度及 *pH* の測定を 2 回に亘つて行つた結果を要約すれば次の如くである．

(1) 池中の水溫は堤體コンクリートの熱の爲に高められる．王泊堰堤では堪水開始後 8 箇月目に於ても最深部の水は未だ影響を受けて居た．

(2) 堤體內に滲透する水の大部分は排水管に集まり，上流面より約 10 m の內部には殆ど達しないか或は達しても殆ど流動しない狀態に在ると考へられる．

(3) 漏水の溫度は池水の溫度及水量と其の滲透する通路附近のコンクリートの持つ熱とによつて變るから，池水と漏水との溫度を同時に測定すれば漏水箇所又は其の通路の狀況の大體を推測することが出來る．此の測定は堤體が未だ相當に高溫狀態に在る時と冷却した後とに就て數回に亘つて行ふ程其の確實性を增す．

(4) 池水の *pH* は堪水直後には極めて高かつた．此の傾向は一般の堰堤に於ても起り得ることであるが，堤體內に池水の滲透することが免れないとすれば成る可く池水のアルカリ度を大にして置いた方が堰堤の爲に良い結果を齎すことがあるとも惡影響を及ぼ

すことは絶對にない.

(5) 堤底と基礎岩盤との境界に沿つて滲透する水或は其他の通路を經て堤底に達する水は堤體に揚壓力を及ぼすが其の通路を推定せんが爲には排水管の位置及深さに注意すると共に漏水の溫度と pH との測定を行へば大體其の目的が達せられる.

(6) 漏水の pH は其の通路に曝露するセメントの量及狀態と其處を通過する水量及水質とに依つて一定せないが永年月に亘つて測定すれば, セメントの溶解速度との關係によつて溶出した石灰の量を推定することは必ずしも不可能ではないであらう.

(7) 堰堤の漏水中溶解するアルカリ性物質の全部又は殆ど全部は石灰であつて其の濃度は一般に高い.

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．瀝青質材料並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	簡易鋪裝に關ずる試驗報告	昭和二年三月發行
*第六號	混凝土及鐵筋混凝土抗拉力試驗報告	同　五月發行
*第七號	八幡製鐵所副產部製品，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」の耐壓强度に關する試驗．「ブロック」に關する試驗．高知縣黑瀨川產砂に關する試驗．多摩川產砂利及砂に關する調查．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．瓦斯燈及骸炭竈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．橋梁用鋲板强度試驗．鐵筋構鐵材の腐蝕に關する調查．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．瀝青滲透ブロツクに關する試驗．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．混凝土鋪裝繼目用ニラスタイト試驗．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．大和川筋魚ノ潟地に關する調査(第一)	同	七月發行
第二十四號	道路の背向曲線の設計に就て．扛柱に關する試驗．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．横溢流堤流量試驗．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）．エタニツト・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．鋒肯鋼引張試驗用小型驗片．國產瀝青乳劑試驗成績．骨材及び類似材料の靱性に關する研究．鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的並に耐震的設計 (1)	同	十月發行
第二十九號	矢板擁壁の控板に作用する力に關する試驗．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．國道鉄筋鈑桁橋標準設計案　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）．　昭和十年八月發行

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

（＊印は殘部なし）

昭和十年十一月十日　印刷
昭和十年十一月十五日　發行

內務省土木試驗所
東京市本鄕區駒込富士前町二十六番地
電話大塚(86){自3101番 至3103番
印刷者　守岡功
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