土木試驗所報告

第三十五號

昭和十一年 第三冊

基礎版の基本的研究（第3報）圓形基礎版……松村孫治 中西健吉

浦戸港々口の潮流に關する試驗（第2報）……松尾春雄 本間仁

アスファルト混合タールの鋪裝材としての性質……西川榮三

鋪裝コンクリートの力學的性質に關する試驗……藤井眞透

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第4報）……島田八郎

1936 — VIII

內務省土木試驗所

正　誤　表

頁	行	誤	正
8	上から10行目	10行目は全部消す	
13	下から 5 行目	$\frac{a^2}{a^2b^2}$	$\frac{a^2}{a^2+b^2}$
24	上から11行目	$\frac{1}{2}\ \frac{10}{10^2\cdot12}$	$\frac{1}{2}\ \frac{11}{10^2\cdot12}$
26	上から17行目	$-\frac{1}{4^2\cdot6^2}\left(\frac{r}{a}\right)^9$	$-\frac{1}{4^2\cdot6^2}\left(\frac{r}{a}\right)^6$
35	上から 7 行目	$\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}$	$\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}+$
41	上から 8 行目	底面より	水表面に於て又底面より
44	上から 6 行目	$\frac{K_2}{K_0}$	$\frac{K_2}{K_1}$
45	上から 1 行目	*Chézyg*	*Chézy*
100	下から 9 行目	$r\psi$	ψ
103	下から 3 行目	37	38
120	下から 7 行目	$/\lambda\mathfrak{E}/$	$\lambda/\mathfrak{E}/$

土木試驗所報告

第三十五號

序　言

本報告は「基礎版の基本的研究（第3報）」「浦戸港々口の潮流に關する試驗（第2報）」「アスファルト混合タールの鋪裝材としての性質」「鋪裝用コンクリートの力學的性質に關する試驗」「道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第4報）」等を輯錄せるものである.

基礎版の基本的研究（第3報）　は彈性地盤上に設置せる圓形基礎版に作用する應力の近似計算法に就き述べたものである.

浦戸港々口の潮流に關する試驗（第2報）　は高知縣浦戸港防波堤の形狀と港口に於ける潮流の狀態との關係を實驗的に定めんとして行ひたる小型模型試驗（第1報）に引續き，大型模型による同樣の試驗結果を述べたるものにして，第1報に掲げたる結果と比較し實際に對する相似關係を確めたものである.

アスファルト混合タール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（規格案F或はG相當品）の低溫脆化其他の缺陷を改良せんが爲め前回に引續きアスファルト及びカット・バック・タール混合物に就き研究したるものにして，兩回研究の結果は大體に於て，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.

鋪裝用コンクリートの力學的性質に關する試驗　は基層及び上層用コンクリートの壓縮强さと引張强さ竝に之等の彈性係數を測定してコンクリート鋪裝設計の資料を求め，併せて骨材の粒子形狀がコンクリートの强さに及ぼす影響に關する試驗を行ひ，骨材選定に關する資料を求めたものである.

道路鋪裝用瀝青乳劑に關する基本的研究（第4報）　は瀝青乳劑の路面上に於ける碎石との相互作用を明かにし，且つ內部組織を闡明せんが爲め三部門に分ち，其第I部及び第II部の研究結果を述べしものにて主として瀝青乳劑のアルカリ性に關する特性及び道路鋪裝用碎石，アルカリ溶液に對する吸着性を研究し，兩者の關係を明かにし，乳劑及び濾液の電導度の値を測定し，瀝青乳劑の如き不均一系の電導度を一般的に論じ，分散質粒子の負電位を有する場合の影響を述べ，瀝青乳劑の特性を新なる視野より明かにしたるものである.

昭和十一年八月

內務省土木試驗所長　內務技師　物　部　長　穗

目　　次

基礎版の基本的研究（第3報）圓形基礎版…… 1

内務技師　松　村　孫　治
　　中　西　健　吉

浦戸港々口の潮流に關する試驗（第2報）…… 39

内務技師　松　尾　春　雄
内務技師　本　間　　仁

アスファルト混合タールの鋪裝材としての性質…… 47

内務技師　西　川　榮　三

鋪裝コンクリートの力學的性質に關する試驗…… 61

内務技師　藤　井　眞　透

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第4報）…… 81

内務技師　島　田　八　郎

基礎版の基本的研究(第3報)
圓形基礎版

内務技師　松村孫治
中西健吉

目　次

緒　言……(1)
I　基礎地盤表面の沈下……(1)
II　近似の程度……(3)
III　計算例……(13)
附　錄　I　基礎地盤表面の沈下……(27)
附　錄　II　圓形版の撓度……(31)

緒　言

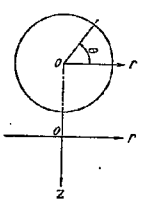
基礎版の基本的研究(第1報)及(第2報)に於ては彈性地盤上に設置せる基礎桁の地盤反力及彎曲力率を求める近似計算法に就て述べたるが，本文に於ては圓形基礎版に就て同樣なる計算を行はんとする．

近似計算法の原理竝に方法に就ては本文にて取扱つた軸對稱荷重の場合は基礎桁と全く同樣である．本文の計算は比較的實在する可能性多き圓形基礎版に軸對稱荷重の作用する場合に止めた．

I. 基礎地盤表面の沈下

本近似計算法にて最も重要なるは基礎地盤表面の沈下 w の算定にして，此の場合も基礎地盤を半無限彈性體 (semi-infinite elastic body) と考へ，その表面に基礎版を設置するものとして計算した．

第1圖に示す如く圓壔座標 (r,θ,z) を用ひ，z は地中に向ふを正の方向とする．



第 1 圖

本文中に使用する主なる記號は次の如し．

a; 基礎版の半徑，h; 基礎版の厚さ，w; 地盤表面の沈下，v; 版の中立軸の撓度$=v_q+v_p$，v_q; 地盤反力のみに依る版の撓度，v_p; 荷重のみに依る版の撓度，E_1,σ_1; 版の彈性係數及ポアソン比，E_2,σ_2; 地盤の彈性係數及ポアソン比，$q(r)$; 地盤反力，p; 垂直荷重，M_r; 半徑に垂直なる斷面に作用する彎曲力率，M_t; 半徑に沿へる斷面に作用する彎曲力率

$$N=\frac{E_1h^3}{12(1-\sigma_1^2)},\qquad \varepsilon=6\frac{E_2}{E_1}\frac{1-\sigma_1^2}{1-\sigma_2^2}\frac{a^3}{h^3}$$

荷重が軸對稱なるを以て地盤反力も軸對稱でなければならぬ．從つて $q(r)$ は r のみの函數にて示さる．基礎桁の場合と同樣に $q(r)$ は一般に冪級數に依り次の如く示さる．

$$\left.\begin{aligned} q(r)&=a_0+a_1\left(\frac{r}{a}\right)^2+\cdots\cdots+a_n\left(\frac{r}{a}\right)^{2n}+\cdots\cdots & r<a\\ &=0 & r>a \end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

而して地盤反力が $r<a$ なる範圍にて有限なる限り一般に冪級數にて示し得る譯である．(1) 式に於て a_0, a_1 等は基礎版の撓度と地盤表面の沈下とを數個所の特定の點にて等しくする條件の下に決定される常數である．

(1) 式に示す地盤反力による基礎地盤表面の沈下 w は附錄 I より求められる．但し w は地中に向ふを正の方向とする．

$$w=\frac{2(1-\sigma_2^2)}{E_2}a\,(a_0A_0+a_1A_1+\cdots\cdots+a_nA_n)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

(2) 式の $A_0, A_1\cdots\cdots$ は附錄 I の (16) 式に示され，何れも $r/a=\xi$ のみの函數にして，版の大さ，厚さ，地盤の力學的性質，荷重，基礎版の限界條件等には全く無關係なるを以て總ての圓形基礎版に對して同一である．從つて ξ の與へられたる値に對し $A_0, A_1, \cdots$ を豫め計算して置く時は w の値を直ちに求めることが出來る．A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 の値を $\xi=0$, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 及 1. に就て計算し第 1 表に示す．第 1 表より總ての圓形基礎版を設置せる基礎地盤表面の沈下を容易に求め得らる．例へば地盤反力が次式の如く示さる時

$$\left.\begin{aligned} q(r)&=a_0+a_1\left(\frac{r}{a}\right)^2+a_2\left(\frac{r}{a}\right)^4 & r<a\\ &=0 & r>a \end{aligned}\right.$$

地盤反力に依る各點の基礎地盤表面の沈下 w は第 1 表より

$$(w)_{r=a}=\frac{2(1-\sigma_2^2)}{E_2}a(0.63662a_0+0.35367a_1+0.25182a_2)$$

$$(w)_{r=0.6a}=\frac{2(1-\sigma_2^2)}{E_2}a(0.90278a_0+0.40327a_1+0.24316a_2)$$

$$(w)_{r=0}=\frac{2(1-\sigma_2^2)}{E_2}a(a_0+0.33333a_1+0.2a_2)$$

の如く求められる．但し a は圓形基礎版の半徑を示す．

第 1 表にては A_0, A_1,…の値を示したるが，後節に述べる如く常數 a_0, a_1,… を決定する聯立方程式を求むるに當りては，A_0, A_1,…の値そのものよりも $r=0$ に於ける値と

の差を求めてをけば便利なるを以て，第2表に $(A_0)_{r=0.2a}-(A_0)_{r=0}$, $(A_0)_{r=0.4a}-(A_0)_{r=0}$ …… の値を示す．

第1表　A_0, A_1, …… の値（圓形基礎版）

r	0	$0.2a$	$0.4a$	$0.6a$	$0.8a$	a
A_0	1	0.9899237219	0.9587122065	0.9027799278	0.8125495997	0.6366198724
A_1	0.3333333333	0.3431062108	0.3695891858	0.4032695075	0.4230284336	0.3536776513
A_2	0.2	0.2035520182	0.2165156031	0.2431558852	0.2789407715	0.2518184877
A_3	0.1428571428	0.1449381993	0.1524058364	0.1700817952	0.2037364314	0.1980017414
A_4	0.1111111111	0.1125869509	0.1177210689	0.1299757366	0.1582212994	0.1643053238
A_5	0.0909090909	0.0920536644	0.0959696080	0.1050836295	0.1281955501	0.1410508442

$$w=\frac{2(1-\sigma_2^2)}{E_2}a(a_0A_0+a_1A_1+\cdots\cdots+a_5A_5)$$

第2表　$r=0$ に於ける値との差 $(A)_{r=a}-(A)_{r=0}$（圓形基礎版）

r	$0.2a$	$0.4a$	$0.6a$	$0.8a$	a
A_0	−0.01007627806	−0.04128779354	−0.09722007222	−0.1874504003	−0.3633801276
A_1	0.00977287747	0.03625585244	0.06993617420	0.0896951003	0.0203443180
A_2	0.00355201823	0.01651560315	0.04315588518	0.0789407715	0.0518184877
A_3	0.00208105641	0.00954869354	0.02722465230	0.0608792885	0.0551445986
A_4	0.00147583976	0.00660995784	0.01886462553	0.0471101882	0.0531942126
A_5	0.00114457350	0.00506051714	0.01417453863	0.0372864592	0.0501417533

II. 近似の程度

本近似計算法を圓形基礎版に適用するに先立ちその近似の程度を確める必要がある．第1報，第2報に於て厚さ一様なる基礎桁に就て地盤反力中に含まるゝ未知數の數及地盤表面の沈下と桁の撓度とを一致せしむる個所の異なる場合に就て計算せる結果に依れば，大體實用に供し得る程度の近似さを有する事を知つた．本文に於ても厚さ一様なる圓形版に就て同様なる計算を行ふ．特に圓形基礎版に於ては版が全く變形せざる場合の地盤反力の正確なる値が求められゝを以て，基礎桁の場合に比し尙一層近似の程度を確め得る譯である．

1) 常數決定法

基礎版の撓度 w は普通の計算法に依り各荷重，各限界條件に就て求められ，地盤反力に依る w_q, 荷重に依る w_p とを別々に求むれば計算上都合がよい．一様なる厚さの圓形基礎版の w は一般に次の如く示さる．

$$w=\frac{a^4}{N}(a_0B_0+a_1B_1+\cdots\cdots+L+c)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

式中 B_0, B_1,…… は何れも E_1, 版の大さ及荷重狀態に無關係にして限界條件によりて決定され, L は荷重及限界條件に關係する項である. 餘り重要ならざるポアソン比を無視すれば, B_0, B_1,…… は更に簡單となり總て (r/a) の函數として示さる, 從つて限界條件等しき版に同樣に使用し得る. c は積分常數にして a^4c/N が版全體としての沈下を示す.

特定の點に於て地盤表面の沈下と版の撓度とは等しきを以て

$$r=r_0,\ r_1,\qquad w=v\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

又は (2), (3) 式を (4) 式に代入して

$$a_0(A_0-\varepsilon B_0)+a_1(A_1-\varepsilon B_1)+a_2(A_2-\varepsilon B_2)+\cdots\cdots+C=\varepsilon L\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

但し $$\varepsilon=6\frac{E_2(1-\sigma_1^2)}{E_1(1-\sigma_2^2)}\left(\frac{a}{h}\right)^3,\qquad C=\varepsilon c$$

更に基礎版に作用する全荷重を P とすれば地盤反力の總和と等しきを以て

$$a_0+\frac{a_1}{2}+\frac{a_2}{3}+\cdots\cdots=\frac{P}{\pi a^2}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

(5) 及 (6) 式の聯立方程式より未知の常數 a_0, a_1,…… を求め, 各點に作用する地盤反力及彎曲力率が計算出來る. 此の場合も n 個の未知數を以て, n 個所に於て版の撓度と基礎地盤の沈下とを一致せしめ得る.

2) 正確なる計算との比較

前述の如く彈性地盤上に全く變形せざる圓形基礎版を置き $P=\pi a^2p_0$ なる荷重を載荷したる場合の地盤反力は彈性力學的に正しき解が得られ[1], その分布は次式に示す如くである.

$$\left.\begin{aligned} q(r)&=\frac{1}{2}\frac{p_0}{\sqrt{1-\left(\frac{r}{a}\right)^2}} && r<a\\ &=0 && r>a \end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

版が全く變形せざるを以て, 基礎版の彈性係數 E_1 は地盤の彈性係數に比し非常に大にして, $E_2/E_1=0$, 從つて $\varepsilon=0$, 又 $P=\pi a^2p_0$ なるを以て (5) 及 (6) 式は次の如く示さる.

$$\left.\begin{aligned} A_0a_0+A_1a_1+A_2a_2+\cdots\cdots+C&=0 && at\ r=r_0,\ r_1,\\ a_0+\frac{1}{2}a_1+\frac{1}{3}a_2+\cdots\cdots&=p_0 \end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

但し A_0, A_1, は第1表に示す値である.

1) Riemann-Webers; Differentialgleichungen der Physik II S. 673

未知數の數を4個，5個，6個の3場合とし，沈下と撓度とを一致せしむる點の組み合せを次の如く選び (8) 式より未知の常數を求め，(1) 式より地盤反力を計算し第3表，第2圖に示す．

① $r/a=1,\ 0.6,\ 0.4,\ 0,$　② $r/a=1,\ 0.6,\ 0.2,\ 0,$

③ $r/a=1,\ 0.8,\ 0.4,\ 0,$　④ $r/a=1,\ 0.8,\ 0.2,\ 0,$

⑤ $r/a=1,\ 0.8,\ 0.6,\ 0.4,\ 0,$　⑥ $r/a=1,\ 0.8,\ 0.6,\ 0.2,\ 0,$

⑦ $r/a=1,\ 0.6,\ 0.4,\ 0.2,\ 0,$　⑧ $r/a=1,\ 0.8,\ 0.6,\ 0.4,\ 0.2,\ 0,$

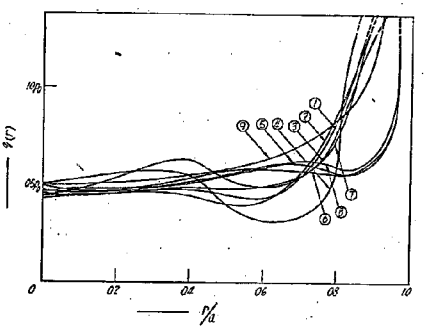
⑨ 正確なる値，即ち（7）式の分布を示す．

第3表　地盤反力の分布 ($\varepsilon=0$)

r/a	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
①	0.430	0.456	0.468	0.432	0.833	3.49
②	0.442	0.455	0.448	0.424	0.861	3.43
③	0.443	0.535	0.629	0.495	0.764	4.20
④	0.503	0.559	0.545	0.320	0.622	4.18
⑤	0.491	0.464	0.508	0.589	0.563	4.66
⑥	0.457	0.464	0.531	0.580	0.558	4.60
⑦	0.452	0.459	0.484	0.489	0.735	3.92
⑧	0.472	0.482	0.510	0.585	0.599	4.97
⑨	0.500	0.510	0.546	0.625	0.833	∞

但し表中の數字は p_0 の係數を示す

是等の値の差異を見るに中央部に於ては比較的小にして $r<0.4a$ の範圍内に於ては正確なる値は大體近似値の平均値に近く，$0.4a<r<0.8a$ の範圍にては正確なる値は近似値より一般に大であり，特に $r=0.6a$ の附近にて差異比較的大なるは，版の端に於ける近似値が有限なる爲による影響と考へらる．而して端の附近を除き，正確値と近似値間の差異と近似値相互間の差異とは大體同じ大さである．而して未知數の數多き ⑦，⑧ は全體的に ⑨ の正確なる値に近似してゐる．基礎桁の場合及後節に示す如く未知數の數及沈下と撓度とを一致せし

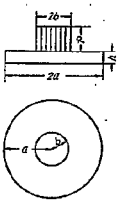


第2圖　地盤反力分布の比較

むる點を變へて得た各地盤反力分布に可成りの差異ある場合に於ても，夫等より求めたる版に作用する彎曲力率の差異は著しく小である．從つて版に作用する彎曲力率を求める場合には本近似計算法が可成り信賴し得る値を與へ得ることを知る．

3) 近似の程度

2) に於て $\varepsilon=0$ なる場合の比較を行ひたるが，本節に於ては第3圖に示す荷重の作用する場合に就て比較を行ふ．而して $\varepsilon=0$ なる場合は (5) 式に於て $B_0,B_1,\cdots\cdots$ 及 L の係數は總て零なるを以て是等の値を計算する必要はなかつた．然し本節に於ては是等の係數は零ならざるを以て $B_0,B_1,\cdots\cdots$ 及 L を必要とする，從つて v_q 及 v_p を求めなければならぬ．基礎板が周邊にて自由なる場合の v_q は附錄 II の $(6)_1$ 式より次の如し．



第 3 圖

$$v_q=\frac{a^4}{N}\Big[-\sum_{n=0}\frac{a_n}{\{(2n+2)(2n+4)\}^2}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+4}+\frac{1}{2(1+\sigma_1)}\Big(\frac{r}{a}\Big)^2$$
$$\sum_{n=0}a_n\frac{(2n+3)+\sigma_1}{(2n+2)^2(2n+4)}+\frac{1}{4}\Big(\frac{r}{a}\Big)^2\log\frac{r}{a}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}-\frac{1}{8}\frac{3+\sigma_1}{1+\sigma_1}\Big(\frac{r}{a}\Big)^2\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}+c\Big]$$

上式に於てポアソン比が各係數中に含まるゝを以て，σ_1 の値が異なると共に $a_0,a_1,\cdots\cdots$ の係數たる $B_0,B_1,\cdots\cdots$ を計算しなければならぬ．而して本文の近似の程度に於ては $\sigma_1=0$ と置くも餘り影響なきを以て以下の計算に於ては $\sigma_1=0$ とする．然る時 v_q 及彎曲力率は附錄 II の $(6)_2$ 式より

$$\left.\begin{aligned}
v_q&=\frac{a^4}{N}\Big[-\sum_{n=0}\frac{a_n}{\{(2n+2)(2n+4)\}^2}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+4}+\frac{1}{2}\Big(\frac{r}{a}\Big)^2\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3}{(2n+2)^2(2n+4)}\\
&\quad+\frac{1}{4}\Big(\frac{r}{a}\Big)^2\log\frac{r}{a}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}-\frac{3}{8}\Big(\frac{r}{a}\Big)^2\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}+c\Big]\\
M_{rq}&=a^2\Big[\sum_{n=0}a_n\frac{(2n+3)}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+2}-\frac{1}{2}\log\frac{r}{a}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}-\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big]\\
M_{tq}&=a^2\Big[\sum_{n=0}a_n\frac{1}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+2}-\frac{1}{2}\Big(\log\frac{r}{a}-1\Big)\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\\
&\quad+\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big]
\end{aligned}\right\}\cdots(9)$$

第 3 圖に示す如き荷重による基礎版の沈下 v_p は附錄 II の $(7)_1$ 式より次の如く示さる．

$$v_p=\frac{a^4}{N}p_0\Big[\frac{1}{64}\Big(\frac{r}{a}\Big)^4-\frac{1}{8}\Big(\frac{b}{a}\Big)^2\Big(\frac{r}{a}\Big)^2\log\frac{r}{a}+\frac{1}{8}\Big(\frac{b}{a}\Big)^2\Big(\frac{r}{a}\Big)^2\log\frac{b}{a}$$

$$+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{r}{a}\right)^2+\frac{1}{32}\frac{1-\sigma_1}{1+\sigma_1}\left(\frac{b}{a}\right)^4\left(\frac{r}{a}\right)^2+D\Big] \qquad 0\leqq r\leqq b$$

$$=\frac{a^4}{N}p_0\Big[\frac{1}{32}\frac{1-\sigma_1}{1+\sigma_1}\left(\frac{r}{a}\right)^2\left(\frac{b}{a}\right)^4+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\log\frac{r}{a}+D\Big] \qquad b\leqq r\leqq a$$

$\sigma_1=0$ とすれば v_p 及彎曲力率は附錄 II の $(7)_2$ 式より

$$v_p=\frac{a^4}{N}p_0\Big[\frac{1}{64}\left(\frac{r}{a}\right)^4-\frac{1}{8}\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}+\frac{1}{8}\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{b}{a}$$
$$+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{r}{a}\right)^2+\frac{1}{32}\left(\frac{b}{a}\right)^4\left(\frac{r}{a}\right)^2+D\Big] \qquad 0\leqq r\leqq b$$
$$=\frac{a^4}{N}p_0\Big[\frac{1}{32}\left(\frac{r}{a}\right)^2\left(\frac{b}{a}\right)^4+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\log\frac{r}{a}+D\Big] \qquad b\leqq r\leqq a \qquad \cdots\cdots(10)$$

$$M_{rp}=-a^2p_0\Big[\frac{3}{16}\left(\frac{r}{a}\right)^2-\frac{1}{4}\left(\frac{b}{a}\right)^2\Big(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\Big)-4\left(\frac{b}{a}\right)^2+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\Big] \qquad 0\leqq r\leqq b$$

$$=a^2p_0\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\Big[\left(\frac{a}{r}\right)^2-1\Big] \qquad b\leqq r\leqq a$$

$$M_{tp}=-a^2p_0\Big[\frac{1}{16}\left(\frac{r}{a}\right)^2-\frac{1}{4}\left(\frac{b}{a}\right)\Big(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\Big)+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\Big] \qquad 0\leqq r\leqq b$$

$$=-a^2p_0\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\Big[1+\left(\frac{a}{r}\right)^2\Big] \qquad b\leqq r\leqq a$$

従つて版の撓度 v では次式の如く示さる．

$$v=\frac{a^4}{N}(a_0B_0+a_1B_1+a_2B_2+a_3B_3+a_4B_4+a_5B_5+L+c) \qquad \cdots\cdots(11)$$

但し

$$B_0=\frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2\frac{3}{2^2\cdot4}-\frac{1}{2^2\cdot4^2}\left(\frac{r}{a}\right)^4+\frac{1}{4}\frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}-\frac{3}{8}\frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2$$

$$B_1=\frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2\frac{5}{4^2\cdot6}-\frac{1}{4^2\cdot6^2}\left(\frac{r}{a}\right)^6+\frac{1}{4}\frac{1}{4}\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}-\frac{3}{8}\frac{1}{4}\left(\frac{r}{a}\right)^2$$

$$B_2=\frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2\frac{7}{6^2\cdot8}-\frac{1}{6^2\cdot8^2}\left(\frac{r}{a}\right)^8+\frac{1}{4}\frac{1}{6}\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}-\frac{3}{8}\frac{1}{6}\left(\frac{r}{a}\right)^2$$

$$B_3=\frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2\frac{9}{8^2\cdot10}-\frac{1}{8^2\cdot10^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{10}+\frac{1}{4}\frac{1}{8}\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}-\frac{3}{8}\frac{1}{8}\left(\frac{r}{a}\right)^2$$

$$B_4=\frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2\frac{11}{10^2\cdot12}-\frac{1}{10^2\cdot12^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{12}+\frac{1}{4}\frac{1}{10}\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}-\frac{3}{8}\frac{1}{10}\left(\frac{r}{a}\right)^2$$

$$B_5=\frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2\frac{13}{12^2\cdot14}-\frac{1}{12^2\cdot14^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{14}+\frac{1}{4}\frac{1}{12}\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}-\frac{3}{8}\frac{1}{12}\left(\frac{r}{a}\right)^2$$

B_0, B_1, B_2,…… 及 L を夫々第4表，第5表に示す．

第4表 B_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, の値 ($\sigma_1=0$)

(版の端が自由なる場合)

r/a	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
B_0	0	−0.0118221895	−0.0337258146	−0.0587621530	−0.0842514810	−0.109375
B_1	0	−0.0067320392	−0.0200033517	−0.0359495765	−0.0527141864	−0.0694444444
B_2	0	−0.0046962865	−0.0141644448	−0.0257946743	−0.0382455347	−0.0507812500
B_3	0	−0.0036055474	−0.0109564700	−0.0200914830	−0.0299796482	−0.0400000000
B_4	0	−0.0029261045	−0.0089318307	−0.0164475817	−0.0246417356	−0.0329861111
B_5	0	−0.0024622300	−0.0075384295	−0.0139205056	−0.0209133135	−0.0280612244

表中の数字は p_0 の係数を示す

第5表 L の 値

r/a \ b/a	1.0	0.8	0.6	0.2	0.1
1.0	0.1093750000	0.0505124749	0.0183126875	0.0003359437	0.0000253286
0.8	0.0842514841	0.0401920000	0.0150472247	0.0002956294	0.0000228090
0.6	0.0587621530	0.0293182436	0.0115830000	0.0002528612	0.0000201359
0.4	0.0337258146	0.0177202839	0.0075673487	0.0002023147	0.0000169768
0.2	0.0118221895	0.0065731419	0.0030645021	0.0001270000	0.0000122696
0	0.	0.	0.	0.	0.

表中の数字は p_0 の係数を示す

未知數は4個, 5個, 6個, 沈下と撓度とを一致せしむる點の組合せを次の如く選んだ.

① $r/a=1,\ 0.6,\ 0.4,\ 0,$　　② $r/a=1,\ 0.6,\ 0.4,\ 0.2,\ 0,$

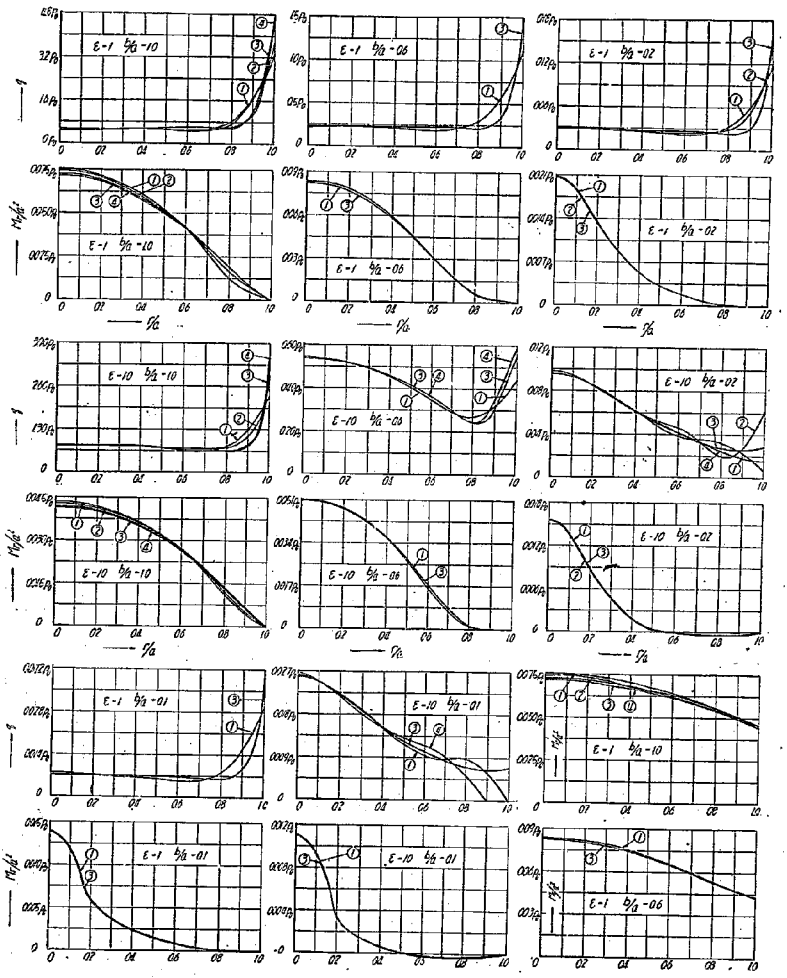
③ $r/a=1,\ 0.8,\ 0.6,\ 0.4,\ 0,$　　④ $r/a=1,\ 0.8,\ 0.6,\ 0.4,\ 0.2,\ 0,$

$\varepsilon=1$ 及 10, 荷重の分布は $b/a=1.0,\ 0.6,\ 0.2,\ 0.1,$ の4場合とした. 地盤反力及彎曲力率の値を第4圖に示す.

第4圖より未知數の數及沈下と撓度とを一致せしむべき點の位置の地盤反力及彎曲力率に及ぼす影響は基礎桁の場合より寧ろ小にして, 近似の程度は圓形基礎版の方が大であると考へらる. 從つて本近似計算法は圓形基礎版の設計の基準とするに足る地盤反力及彎曲力率を與へ得る. 而して近似の程度は地盤反力は彎曲力率より小にして, ε の增大と共に低下する傾向を有す.

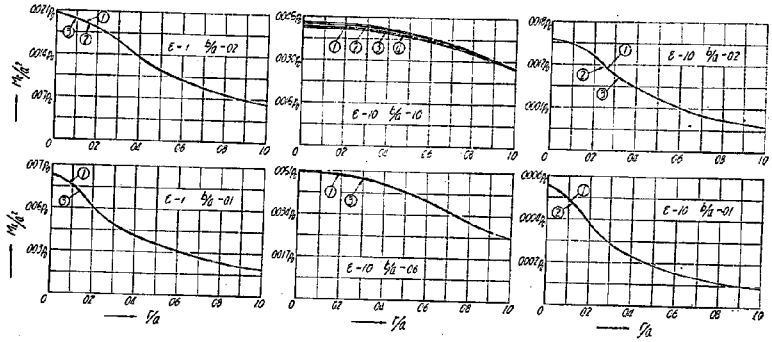
4) ε 及 b/a と地盤反力及彎曲力率

基礎桁の場合と同樣に $\varepsilon=6\dfrac{E_2(1-\sigma_1^2)}{E_1(1-\sigma_2^2)}\left(\dfrac{a}{h}\right)^3$ を以て基礎と地盤との力學的性質を示すことが出來, ε の小なる程基礎版が地盤に比して變形し難きことを示す. ε 及荷重分布狀態の地盤反力及彎曲力率に及ぼす影響の著しきことは旣に基礎桁に於て示した. 本節に於



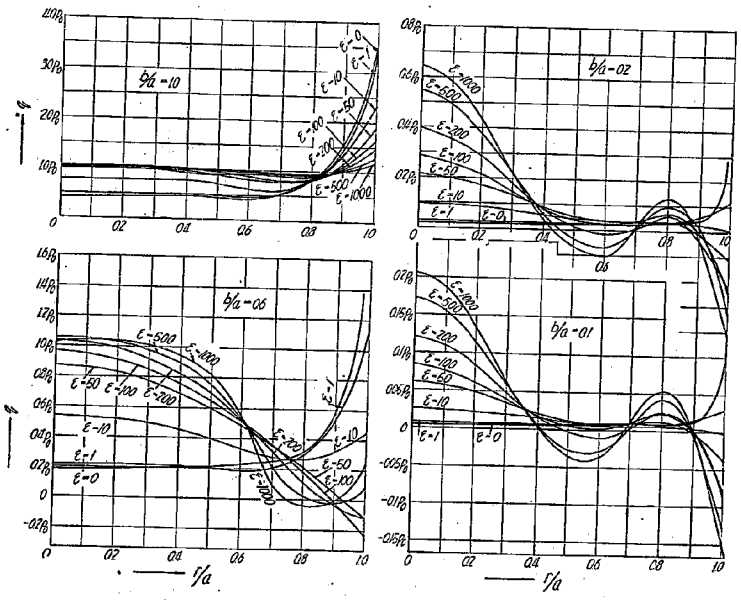
第 4 圖 (1) q, M_r 及 M_t の値 (ε=1 及 10)

ては圓形基礎版に就て是等の影響を算定した．此の場合未知數は 4 個とし $r=a$, $0.6a$, $0.4a$, 0, の 4 個所に於て沈下と撓度を一致せしめた．荷重は第 3 圖に示す如く半徑 b なる範圍内に p_0 なる等布荷重の作用する場合に就て行ひ，ε は 0 より 1000 の範圍に變化せしめた．第 5 圖に ε の變化による影響，第 6 圖に荷重分布に依る影響とを示す．

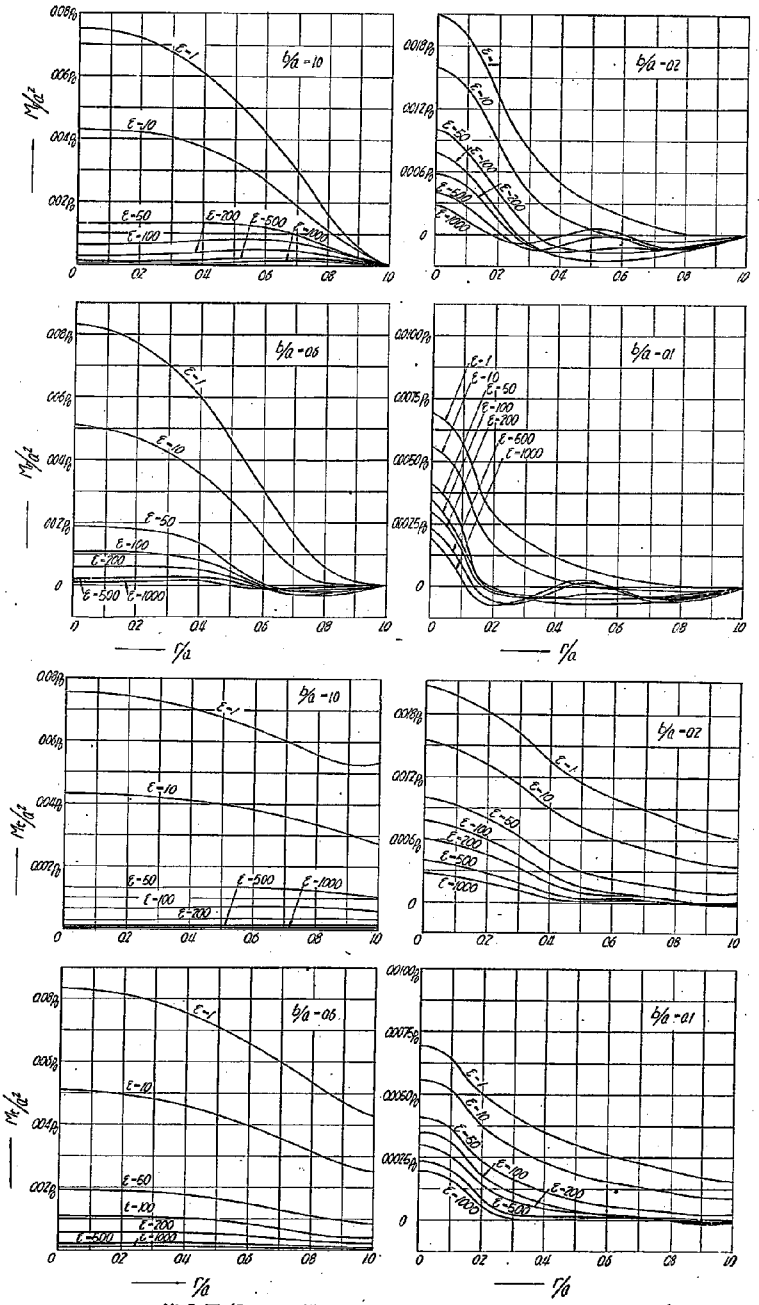


第 4 圖 (2) q, M_r 及 M_t の値 (ε=1 及 10)

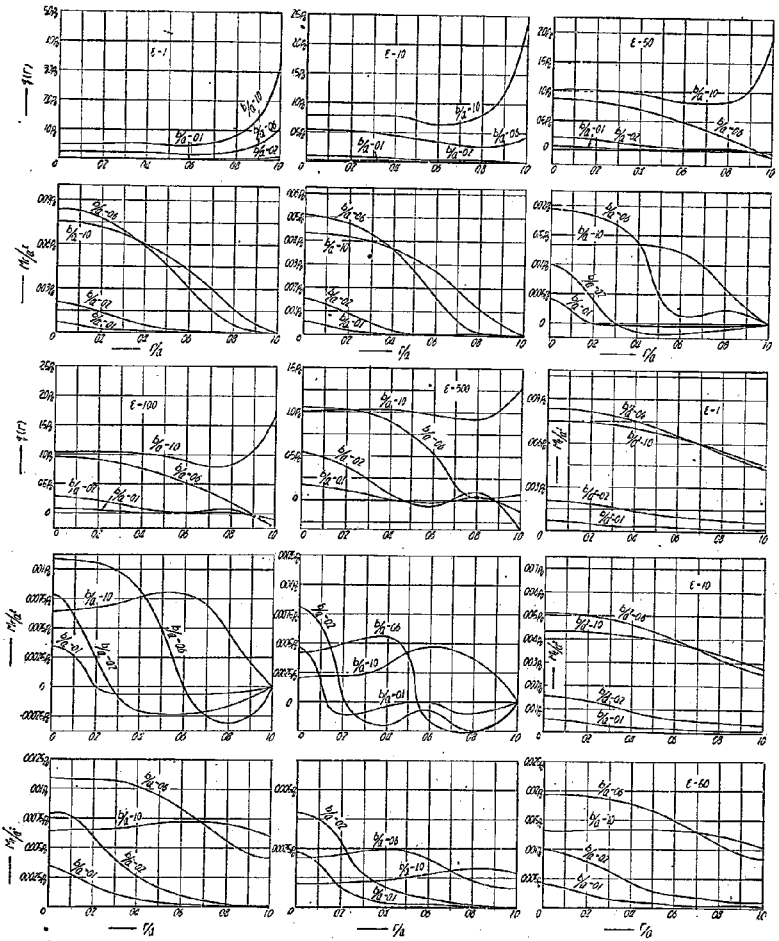
第5圖，第6圖より荷重分布及 ε の及ぼす影響の大體の傾向を知ることが出來る．地盤反力は荷重分布に無關係に中央に於ては ε の小なるもの程小にして，端に於ては之と逆である．荷重が中央に集中すると共に地盤反力も中央にて增大し，その割合は ε の大



第 5 圖 (1) ε の變化による影響 (ε=0—1000)



第 5 圖 (2)　ε の變化による影響 (ε=0～1000)



第6圖 荷重分布による影響

なるもの程大である．彎曲力率は一般に中央に於て最大にしてεの小なるもの程大である．而して荷重が中央に集中するに從ひ版の端の附近に中央と符號を異にする彎曲力率が作用し，荷重分布の範圍の小なる程，εの大なる程上記の彎曲力率の作用する範圍が中央に向つて增大する．中央に生ずる彎曲力率のεによる影響はbの大なる程著しく，又載

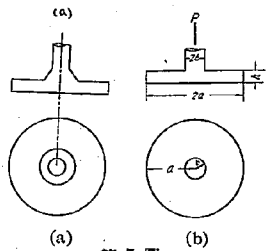
荷面積の小なる程増大する．從つてかゝる場合は基礎版の半徑を大とすることは却つて有害なる結果を示してゐる．

III. 計　算　例

本近似計算法の使用法を說明する爲に，比較的實際問題に近き二，三の計算例を示す．

計 算 例 1.

第7圖 (a) に示す如く柱の基礎として一樣なる厚さの圓形版を使用する場合，柱と基礎版との接合部の隅肉を無視するか或は適當なる補正を行ふ時は (b) 圖の如く示され，厚さの異なる圓形版として强度を求めることが出來る．



第 7 圖

a; 基礎版の半徑，b; 柱の半徑，P; 柱に作用する荷重，版の厚さは $0<\gamma<b$ にては無限大，$b<\gamma<a$ にては h である．本近似計算法を適用するに當り基礎版の撓度 v を求める必要がある．此の場合荷重による版の撓度は一樣なるを以て地盤反力のみに依る v を求むれば足る．

地盤反力 $q(\gamma)$ を次式の如く示す．

$$q(\gamma)=a_0+a_1\left(\frac{\gamma}{a}\right)^2+a_2\left(\frac{\gamma}{a}\right)^4+a_3\left(\frac{\gamma}{a}\right)^6+a_4\left(\frac{\gamma}{a}\right)^8+a_5\left(\frac{\gamma}{a}\right)^{10} \quad 0<\gamma<a$$
$$=0 \quad a<\gamma \qquad \cdots\cdots(12)$$

但し (12) 式の $q(\gamma)$ は必要に應じ適當に項數を選ぶ．

(12) 式に示す $q(\gamma)$ に依る v は附錄 II の (9) 式より，版のポアソン比を 0 とする時は次の如く示される．

$$v=\frac{a^4}{N}(a_0B_0+a_1B_1+a_2B_2+a_3B_3+a_4B_4+a_5B_5)+C \cdots\cdots (13)$$

但し

$$B_0=\frac{1}{2^2\cdot4^2}\left\{\left(\frac{b}{a}\right)^4-\left(\frac{\gamma}{a}\right)^4\right\}+\frac{a^2}{a^2b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\gamma^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)+\log\frac{\gamma}{a}-\log\frac{b}{a}\right\}\frac{1}{2^2\cdot4}\left(\frac{b}{a}\right)^4$$
$$+\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\gamma^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)-\frac{b^2}{a^2}\left(\log\frac{\gamma}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}\frac{3}{2^2\cdot4}$$
$$+\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{8}\left(\frac{b^2}{a^2}-\frac{\gamma^2}{a^2}\right)\left(3+\frac{b^2}{a^2}\right)+\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{\gamma^2}{a^2}+2\frac{b^2}{a^2}+\frac{\gamma^2}{a^2}\right)\log\frac{\gamma}{a}\right.$$
$$\left.-\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{\gamma^2}{a^2}+3\frac{b^2}{a^2}\right)\log\frac{b}{a}-\frac{1}{2}\frac{b^2}{a^2}\log\frac{b}{a}\left(\log\frac{\gamma}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}\frac{1}{2}$$

$$B_1=\frac{1}{4^2\cdot6^2}\left\{\left(\frac{b}{a}\right)^6-\left(\frac{\gamma}{a}\right)^6\right\}+\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\gamma^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)+\log\frac{\gamma}{a}-\log\frac{b}{a}\right\}\frac{1}{4^2\cdot6}\left(\frac{b}{a}\right)^6$$

$$+\frac{5}{4^2\cdot6}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)-\frac{b^2}{a^2}\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}$$

$$+\frac{1}{4}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{8}\left(\frac{b^2}{a^2}-\frac{r^2}{a^2}\right)\left(3+\frac{b^2}{a^2}\right)+\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+2\frac{b^2}{a^2}+\frac{r^2}{a^2}\right)\log\frac{r}{a}\right.$$

$$\left.-\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+3\frac{b^2}{a^2}\right)\log\frac{b}{a}-\frac{1}{2}\frac{b^2}{a^2}\log\frac{b}{a}\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}$$

$$B_2=\frac{1}{6^2\cdot8^2}\left\{\left(\frac{b}{a}\right)^8-\left(\frac{r}{a}\right)^8\right\}+\frac{1}{6^2\cdot8}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)+\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right\}\left(\frac{b}{a}\right)^8$$

$$+\frac{7}{6^2\cdot8}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)-\frac{b^2}{a^2}\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}$$

$$+\frac{1}{6}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{8}\left(\frac{b^2}{a^2}-\frac{r^2}{a^2}\right)\left(3+\frac{b^2}{a^2}\right)+\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+2\frac{b^2}{a^2}+\frac{r^2}{a^2}\right)\log\frac{r}{a}\right.$$

$$\left.-\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+3\frac{b^2}{a^2}\right)\log\frac{b}{a}-\frac{1}{2}\frac{b^2}{a^2}\log\frac{b}{a}\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}$$

$$B_3=\frac{1}{8^2\cdot10^2}\left\{\left(\frac{b}{a}\right)^{10}-\left(\frac{r}{a}\right)^{10}\right\}+\frac{1}{8^2\cdot10}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)+\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right\}\left(\frac{b}{a}\right)^{10}$$

$$+\frac{9}{8^2\cdot10}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)-\frac{b^2}{a^2}\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}$$

$$+\frac{1}{8}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{8}\left(\frac{b^2}{a^2}-\frac{r^2}{a^2}\right)\left(3+\frac{b^2}{a^2}\right)+\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+2\frac{b^2}{a^2}+\frac{r^2}{a^2}\right)\log\frac{r}{a}\right.$$

$$\left.-\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+3\frac{b^2}{a^2}\right)\log\frac{b}{a}-\frac{1}{2}\frac{b^2}{a^2}\log\frac{b}{a}\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}$$

$$B_4=\frac{1}{10^2\cdot12^2}\left\{\left(\frac{b}{a}\right)^{12}-\left(\frac{r}{a}\right)^{12}\right\}+\frac{1}{10^2\cdot12}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)+\log\frac{r}{a}\right.$$

$$\left.-\log\frac{b}{a}\right\}\left(\frac{b}{a}\right)^{12}+\frac{11}{10^2\cdot12}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)-\frac{b^2}{a^2}\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}$$

$$+\frac{1}{10}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{8}\left(\frac{b^2}{a^2}-\frac{r^2}{a^2}\right)\left(3+\frac{b^2}{a^2}\right)+\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+2\frac{b^2}{a^2}+\frac{r^2}{a^2}\right)\log\frac{r}{a}\right.$$

$$\left.-\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+3\frac{b^2}{a^2}\right)\log\frac{b}{a}-\frac{1}{2}\frac{b^2}{a^2}\log\frac{b}{a}\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}$$

$$B_5=\frac{1}{12^2\cdot14^2}\left\{\left(\frac{b}{a}\right)^{14}-\left(\frac{r}{a}\right)^{14}\right\}+\frac{1}{12^2\cdot14}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)+\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right\}\left(\frac{b}{a}\right)^{14}$$

$$\frac{11}{12^2\cdot14}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\right)-\frac{b^2}{a^2}\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}$$

$$+\frac{1}{12}\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{8}\left(\frac{b^2}{a^2}-\frac{r^2}{a^2}\right)\left(3+\frac{b^2}{a^2}\right)+\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+2\frac{b^2}{a^2}+\frac{r^2}{a^2}\right)\log\frac{r}{a}\right.$$

$$\left.-\frac{1}{4}\left(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+3\frac{b^2}{a^2}\right)\log\frac{b}{a}-\frac{1}{2}\frac{b^2}{a^2}\log\frac{b}{a}\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)\right\}$$

B_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, の値を第6表に示す

第 6 表　$B_0\ B_1\ B_2\ B_3\ B_4\ B_5$ の値

b/a	γ/a	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
0.1	B_0	0	−0.1296438312	−0.2729015860	−0.3685151273	−0.4436430834	−0.5068176932
	B_1	0	−0.0371191187	−0.0827329932	−0.1173665837	−0.1460574945	−0.1737117686
	B_2	0	−0.0178227594	−0.0417684584	−0.0617062793	−0.0798799344	−0.0966771995
	B_3	0	−0.0105977416	−0.0259731412	−0.0396785731	−0.0526780023	−0.0649762723
	B_4	0	−0.0070935297	−0.0181019979	−0.0284439467	−0.0385366956	−0.0482434694
0.2	B_0	0	0	−0.0089207939	−0.0260503664	−0.0453172950	−0.0647754923
	B_1	0	0	−0.0056086566	−0.0168154352	−0.0298037435	−0.0430744024
	B_2	0	0	−0.0040582948	−0.0123265952	−0.0220887531	−0.0321567215
	B_3	0	0	−0.0031728330	−0.0097139010	−0.0175085007	−0.0256134388
	B_4	0	0	−0.0026029062	−0.0079961971	−0.0144880315	−0.0212677727
0.4	B_0	0	0	0	−0.0040108945	−0.0117102629	−0.0200801509
	B_1	0	0	0	−0.0028585357	−0.0085494438	−0.0148413601
	B_2	0	0	0	−0.0021902635	−0.0066538183	−0.0116605046
	B_3	0	0	0	−0.0017652136	−0.0054176742	−0.0095600988
	B_4	0	0	0	−0.0014747139	−0.0045574502	−0.0080836797

版に作用する彎曲力率 M_r, M_t は附錄 II の (9) 式より夫〻次の如し.

$$\left.\begin{aligned}
M_r = a^2\sum_{n=0}^{3}a_n\Bigg[&\frac{(2n+3)}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{\gamma}{a}\right)^{2n+2}+\frac{1}{(2n+2)^2(2n+4)}\,\frac{a^2}{a^2+b^2}\left(\frac{a^2}{\gamma^2}-1\right)\left(\frac{b}{a}\right)^{2n+4}\\
&-\frac{a^2}{a^2+b^2}\left(1+\frac{b^2}{a^2}\,\frac{a^2}{\gamma^2}\right)\frac{2n+3}{(2n+2)^2(2n+4)}\\
&-\frac{1}{2n+2}\,\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\,\frac{b^2}{a^2}\left(1-\frac{a^2}{\gamma^2}\right)\left(1-\log\frac{b}{a}\right)+\frac{1}{2}\left(1+\frac{b^2}{a^2}\right)\log\frac{\gamma}{a}\right\}\Bigg]\\
M_t = a^2\sum_{n=0}^{3}a_n\Bigg[&\frac{1}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{\gamma}{a}\right)^{2n+2}-\frac{1}{(2n+2)^2(2n+4)}\,\frac{a^2}{a^2+b^2}\left(1+\frac{a^2}{\gamma^2}\right)\left(\frac{b}{a}\right)^{2n+4}\\
&-\frac{2n+3}{(2n+2)^2(2n+4)}\,\frac{a^2}{a^2+b^2}\left(1-\frac{b^2}{a^2}\,\frac{a^2}{\gamma^2}\right)-\frac{1}{2n+2}\,\frac{a^2}{a^2+b^2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{b^2}{a^2}-1\right)\right.\\
&\left.+\frac{1}{2}\left(\frac{b^2}{a^2}+1\right)\log\frac{\gamma}{a}-\frac{1}{2}\,\frac{b^2}{a^2}\left(1+\frac{a^2}{\gamma^2}\right)\log\frac{b}{a}\right\}\Bigg]
\end{aligned}\right\}\quad(14)$$

此の場合荷重に依る基礎版の沈下は一様なるを以て荷重を示す函數 L は零にして, A_0, A_1…… 及 B_0, B_1…… は夫〻第 1 表第 6 表に示さるゝを以て未知數は (5) 及 (6) 式の聯立方程式より求めらる. 今 (12) 式に示す地盤反力が最初の 4 項に示さるゝ場合は未知數 4 個なるを以て 4 個所に於て地盤の沈下と版の撓度とを一致せしむることが出來, それ等の點を γ_1, γ_2, γ_3, γ_4 とすれば次に示す聯立方程式が得らる.

$$\left.\begin{aligned} &a_0(A_0-\varepsilon B_0)+a_1(A_1-\varepsilon B_1)+a_2(A_2-\varepsilon B_2)+(a_3-\varepsilon B_3)+C=0 \quad at\ r=r_1,r_2,r_3,r_4 \\ &a_0+\frac{1}{2}a_1+\frac{1}{3}a_2+\frac{1}{4}a_3=\frac{P}{\pi a^2}=p_0\left(\frac{b}{a}\right)^2, \quad \text{但し} \quad p_0=\frac{P}{\pi b^2} \end{aligned}\right\}(15)$$

沈下と撓度とを一致せしむる點の1つに原點を選ぶ時は，$r=0$ に於ては B_0, B_1, B_2, B_3 は總て零なるを以て，係數 A_0, A_1, A_2, A_3 に於て豫め $r=0$ に於ける値との差を求めて置く時は，(15) 式の代りに常數 C を消去せる聯立方程式が求められ非常に便利である．第2表に A_0, A_1,…… と夫等の $r=0$ に於ける値との差を示した．第2表に示したる値を夫々 A_0', A_1',…… にて示す時は (15) 式は次の如く示さる．

$$\left.\begin{aligned} &a_0(A_0'-\varepsilon B_0)+a_1(A_1'-\varepsilon B_1)+a_2(A_2'-\varepsilon B_2)+a_3(A_3'-\varepsilon B_3)=0 \quad at\ r=r_2,\ r_3,\ r_4 \\ &a_0+\frac{1}{2}a_1+\frac{1}{3}a_2+\frac{1}{4}a_3=p_0\left(\frac{b}{a}\right)^2 \end{aligned}\right\}(16)$$

(16) 式の聯立方程式を解きて a_0, a_1, a_2, a_3 を求むる時は (12) 及 (14) 式より基礎版に作用する地盤反力及彎曲力率が求められ，從つて版に作用する應力を計算することが出來る．

先に一樣なる厚さの圓形版に就て近似の程度を求めたるが，本節に於ても未知數の數が地盤反力及彎曲力率に如何なる影響を及ぼすかを $b/a=0.1$ 及 $\varepsilon=1$ の場合に就て求めた．比較したるは次の 3 場合にして未知數の數は 6 個，5 個，4 個である．

① 未知數 6 個　$r=0,\ 0.2a,\ 0.4a,\ 0.6a,\ 0.8a,\ a$ にて一致せしむ

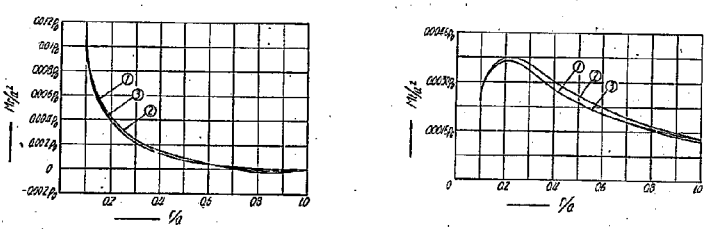
② 〃　5 個　$r=0,\ 0.2a,\ 0.4a,\ 0.6a,\ a$ 〃

③ 〃　4 個　$r=0,\ 0.4a,\ 0.6a,\ a$ 〃

①, ②, ③ の地盤反力の比較を第7表に，彎曲力率の比較を第8圖に示す．

第 7 表　地盤反力の比較　(p_0 の係數を示す)

r/a	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
①	0.0273	0.0158	0.0084	0.0090	−0.0009	0.0094
②	0.0172	0.0158	0.0047	−0.0057	0.0276	−0.0582
③	0.0231	0.0177	0.0071	0.0034	0.0120	0.0090



(a)　(b)

第 8 圖　彎 曲 力 率 の 比 較

是等の比較の結果に依れば，第7表に示す如く地盤反力分布は可成りの差異あるにかゝはらず，彎曲力率 M_r, M_t は第8圖 (a), (b) に示す如く可成りよく一致し，特に最大の彎曲力率を與へる M_r は 3 者殆ど一致してゐる．從つて此の場合も本近似計算法は可成り信賴し得る彎曲力率を與へ得ることを知る．

i) 基礎版の材料にコンクリートを使用すれば $E_1=200{,}000\text{kg/cm}^2$, 基礎版の彈性係數 $E_2=100\text{kg/cm}^2$, $\sigma_2=0$, $a=500\text{cm}$, $b=50\text{cm}$, $h=30\text{cm}$ とし，且つ $\sigma_1=0$ とすれば ε は (5) 式より

$$\varepsilon=6\times\frac{1\times10^2}{2\times10^5}\left(\frac{500}{30}\right)^3=\frac{125}{9}=13.8$$

基礎地盤の沈下と基礎桁の沈下とを $r=a,\ 0.6a,\ 0.4a,\ 0,$ の 4 點にて一致せしむる時，聯立方程式は次の如く得られる．

$$\left.\begin{aligned}
&6.675754a_0+2.433008a_1+1.394557a_2+0.957593a_3=0\\
&5.021045a_0+1.700028a_1+0.900188a_2+0.578316a_3=0\\
&3.749012a_0+1.185325a_1+0.596633a_2+0.369793a_3=0\\
&a_0+0.5a_1+\frac{1}{3}a_2+0.25a_3=0.01p_0
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(17)$$

是等の聯立方程式より a_0, a_1, a_2, a_3, を求むれば

$$a_0=-0.1662p_0,\quad a_1=2.0408p_0,\quad a_2=-5.2842p_0,\quad a_3=3.6686p_0$$

是等の値を (12) 及 (14) 式に代入すれば地盤反力 $q(r)$ 及彎曲力率 M_r 及 M_t は次の如し．

$$\left.\begin{aligned}
q(r)&=(-0.1662+2.0408\xi^2-5.2842\xi^4+3.6686\xi^6)p_0\\
M_r&=a^2(-0.1662b_0+2.0408b_1-5.2842b_2+3.6686b_3)p_0\\
M_t&=a^2(-0.1662c_0+2.0408c_1-5.2842c_2+3.6686c_3)p_0
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

(18) 式に於ける b_0, b_1, b_2, b_3, 及 c_0, c_1, c_2, c_3 の係數は (b/a) 及 (r/a) のみの函數にして第8表に示す．

第 8 表　b_0, b_1, b_2, b_3, 及 c_0, c_1, c_2, c_3, の値 $(b/a=0.1)$

r/a	M_r				M_t			
	b_0	b_1	b_2	b_3	c_0	c_1	c_2	c_3
0.1	1.01614	0.58934	0.41351	0.31838	0.24504	0.12252	0.08168	0.06126
0.2	0.37414	0.23489	0.16943	0.13223	0.36232	0.21095	0,14835	0.11436
0.4	0.10477	0.08253	0.06519	0.05321	0.26871	0.16832	0.12172	0.09514
0.6	0.01894	0.02486	0.02381	0.02148	0.19325	0.12684	0.09385	0.07430
0.8	−0.00815	−0.00084	0.00205	0.00331	0.14346	0.09661	0.07263	0.05811
1.0	0	0	0	0	0.11235	0.07618	0.05753	0.04619

(18) 式より地盤反力及彎曲力率を求め，第9圖の $\varepsilon=13.8$ の曲線に示す．

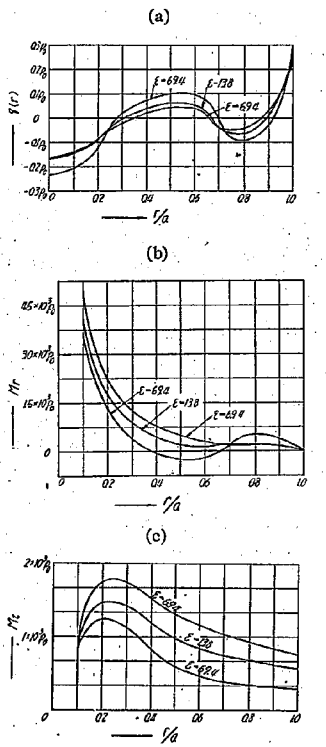
今地盤の彈性係數が大となり，$\varepsilon=500\text{kg/cm}^2$ となる場合は

$$\varepsilon=6\times\frac{5\times10}{2\times10^5}\left(\frac{500}{30}\right)^3=69.4$$

又彈性係數が小となり $\varepsilon=50\text{kg/cm}^2$ とすれば

$$\varepsilon=6\times\frac{5\times10}{2\times10^5}\left(\frac{500}{30}\right)^3=6.94$$

となり，$\varepsilon=13.8$ の場合と全く同様なる方法にて (17) 式に相當する聯立方程式より a_0, a_1, a_2, a_3 を求め (18) 式に代入して地盤反力及彎曲力率を求め得る．是等の値を夫々第9圖の $\varepsilon=69.4$, $\varepsilon=6.94$ の曲線に示す．



第 9 圖

第 9 圖より基礎地盤の彈性係數が 50～500 kg/cm² に變化してゐるに拘らず，地盤反力の分布及彎曲力率の差異は餘り著しからず，ε の小なる程即ち彈性係數 E_2 の小なる程彎曲力率は增加するを知る．而して $E_2=50\text{kg/cm}^2$ の場合と彈性係數が 10 倍大なる $E_2=500\text{ kg/cm}^2$ の場合との彎曲力率を比較するに M_r の最大値にありては 1.36 倍，M_t の最大値に於ては 1.41 倍，即ち地盤の彈性係數が1/10に減小する場合彎曲力率の增加は僅か 40% に過ぎず，本計算の範圍に於ては E_2 の彎曲力率に及ぼす影響の小なることを知る．

本例の計算に依れば基礎版の中央附近に於て可成り大なる負の地盤反力が存在することを知る．一般に負の地盤反力は基礎地盤と基礎版との間に應張力の存在を意味し，始めより又は他の荷重によりそれに打ち勝つに足る正の地盤反力が存在する場合以外は版と地盤とは相離れ，その部分の地盤反力は零となる．從つてかゝる場合は本近似計算法の適用は不可能となる．

實際本計算例は柱の太さに比し版の半徑大なる爲にして ii) に示す如く基礎版の半徑を $a=250$ cm 卽ち半分に減少せしめたる場合は，地盤反力は總ての個所に於て正なるを知る．

今コンクリートの許容抗曲强度 (σ_b) を 30 kg/cm² とし，各場合に支持し得る最大荷重 (P_a) を求むるに σ_b と彎曲力率 $M=Cp_0$ との關係は次式にて示さる．

$$\left.\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{6M}{h^2}=\frac{6Cp_0}{h^2} \qquad 又は \qquad p_0=\frac{\sigma_b h^2}{6C} \\ P_a &= \pi b^2 p_0=\frac{\pi b^2 h^2}{6C}\sigma_b \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

然るに最大彎曲力率は柱の版への附根の部分に生じ，係數 C は夫々 3.65×10^3, 4.21×10^3, 4.97×10^3 且つ $h=30$ cm, $b=50$ cm, $\sigma_b=30$ kg/cm² を (19) 式に代入すれば p_0, P_a 及最大地盤反力 (q_{max}) は次の如し．

$E_2=500$ kg/cm² に對し $p_0=1.23$ kg, $P_a=9.69$ t, $q_{max}=0.37$ kg

$E_2=100$ kg/cm² に對し $p_0=1.07$ kg, $P_a=8.39$ t, $q_{max}=0.28$ kg

$E_2=50$ kg/cm² に對し $p_0=0.91$ kg, $P_a=7.11$ t, $q_{max}=0.21$ kg

是等より柱の太さに比し版の直徑の大にすぎたることを知る．

ii) 基礎版の直徑を 250 cm, 卽ち i) の半分とする場合は $E_1=200{,}000$ kg/cm², $\sigma_1=0$, $\sigma_2=0$, $E_2=50$, 100, 500 kg/cm², $a=250$ cm, $b=50$ cm, $h=30$ cm

ε の値は夫々次の如くなる．

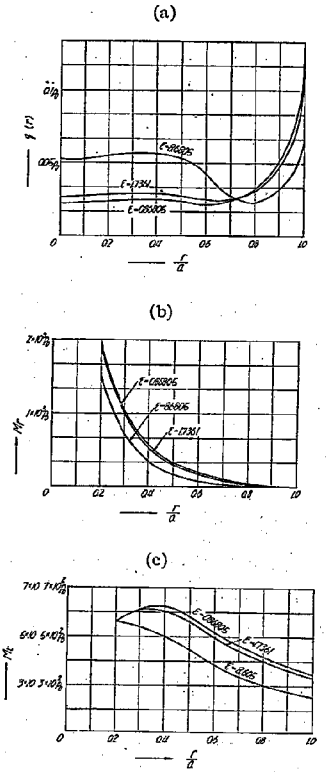
$$E_2=500 \text{ kg/cm}^2 \qquad \varepsilon=6\times\frac{5\times10^2}{2\times10^5}\left(\frac{250}{30}\right)^3=8.6805$$

$$E_2=100 \text{ kg/cm}^2 \qquad \varepsilon=6\times\frac{1\times10^2}{2\times10^5}\left(\frac{250}{30}\right)^3=1.7361$$

$$E_2=50 \text{ kg/cm}^2 \qquad \varepsilon=6\times\frac{5\times10}{2\times10^5}\left(\frac{250}{30}\right)^3=0.86805$$

此の場合 $b/a=0.2$ なるを以て第2表及第6表の $b/a=0.2$ に相當する，B_0, B_1, B_2, B_3 を用ひて基礎地盤の沈下と基礎版の撓度とを $r=a$, $0.6a$, $0.4a$ 及 0 の4個所にて一致せしむる時 (17) 式に相當する聯立方程式が得られる．從つて a_0, a_1, a_2, a_3 が求められるを以て地盤反力，彎曲力率を計算し，第 10 圖に示す．

E_2 による地盤反力分布及彎曲力率の差異は i) に比し更に小にして $E_2=50$ kg/cm² と $E_2=500$ kg/cm² とを比較するに M_r の最大値にありては 1.30 倍，M_t の最大値は 1.14 倍である．特に $E_2=50$ kg/cm² と 100 kg/cm² に於ては彎曲力率の差異が僅か 3～4% にて殆ど一致すると見做し得る程度である．地盤反力は版全體に亙りて正なるを以て地盤と



第 10 圖

版とが離れることは無く，從つて本近似計算法を適用し得ることを知る．

$\sigma_b=30\ \mathrm{kg/cm^2}$ に相當する P_a 及 q_{max} を (19) 式より求めるに，最大彎曲力率は此の場合も柱と版の附根 $r=0.2a$ の個所に生じ，夫々 1.49×10^5，1.87×10^5，1.94×10^5 である，從つて p_0，P_a，q_{max} は夫々次の如し．

E_2	p_0	P_a	q_{max}
500 kg/cm²	3.01 kg	23.67 t	0.191 kg
100 kg/cm²	2.41 kg	18.93 t	0.283 kg
50 kg/cm²	2.32 kg	18.25 t	0.297 kg

i) 及 ii) は最大地盤反力が大體等しいに拘らず，支持し得る荷重は基礎版の小なる ii) の方が却つて大にして約 2.5 倍に及ぶことを知る．然し此の場合最大地盤反力は 0.3 kg なるを以て地盤の支持力が充分なる時は更に基礎版の半徑を小とすることが出來る．

iii) 更に基礎版の半徑を ii) の場合の半分とし 125 cm とする．$E_1=200{,}000\ \mathrm{kg/cm^2}$，$\sigma_1=0$，$\sigma_2=0$，$E_2=100{,}500\ \mathrm{kg/cm^2}$，$a=125$ cm，$b=50$ cm，$h=30$ cm．

E_2 は 100 及 500 kg/cm² の 2 場合に就て行つたが他の E_2 に就ても最大彎曲力率は第 15 圖に示す曲線より容易に求め得る．

ε の値は夫々次の如く示さる．

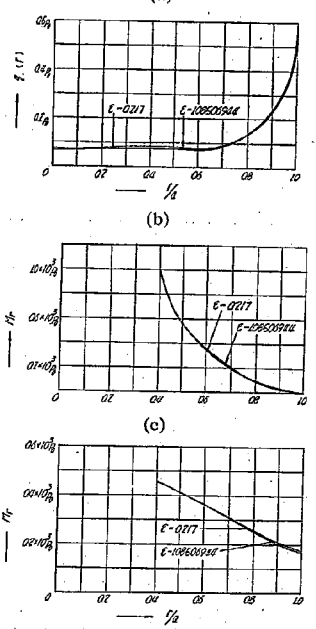
$$E_2=500\ \mathrm{kg/cm^2}\qquad \varepsilon=6\times\frac{5\times10^2}{2\times10^5}\left(\frac{125}{30}\right)^3=1.085$$

$$E_2=100\ \mathrm{kg/cm^2}\qquad \varepsilon=6\times\frac{10^2}{2\times10^5}\left(\frac{125}{30}\right)^3=0.217$$

此の場合に於ては $b/a=0.4$ なるを以て第 2 表及第 6 表の $b/a=0.4$ の B_0，B_1，B_2，B_3

を使用し $r=a$, $0.6a$, $0.4a$, 0 の 4 個所に於て沈下と撓度とを一致せしめ，地盤反力及彎曲力率を求め第 11 圖に示す.

第 11 圖により E_2 による彎曲力率の差異は ii) よりも更に小にして $E_2=100\ \mathrm{kg/cm^2}$ と 500 $\mathrm{kg/cm^2}$ と比較するに M_r の最大値は 1.02 (ii の場合は 1.25), M_t の最大値は 1.00 (ii の場合は 1.09) にて E_2 の影響は殆どない. 地盤反力は總て正にして版の端に接近するに伴ひ著しく増大する.



第 11 圖

コンクリートの許容抗曲應力を 30 $\mathrm{kg/cm^2}$ とする場合の p_0, P_a, $q_{\max}$ を求むるに，最大彎曲力率は $r=0.4a$ に生じ夫々 0.992×10^3, 1.020×10^3, 1.022×10^3 (之は $E_2=50\ \mathrm{kg/cm^2}$ に相當する値にて第 15 圖の曲線より求めた) である.

E_2	p_0	P_a	$q_{\max}$
500 $\mathrm{kg/cm^2}$	4.52 kg	35.5 t	2.38 $\mathrm{kg/cm^2}$
100 $\mathrm{kg/cm^2}$	4.41 kg	34.6 t	2.44 $\mathrm{kg/cm^2}$
50 $\mathrm{kg/cm^2}$	4.40 kg	34.5 t	

支持力 P_a は ii) に比し 1.4～1.9 倍にして，E_2の減少に依る支持力の減少度は極めて小さい.

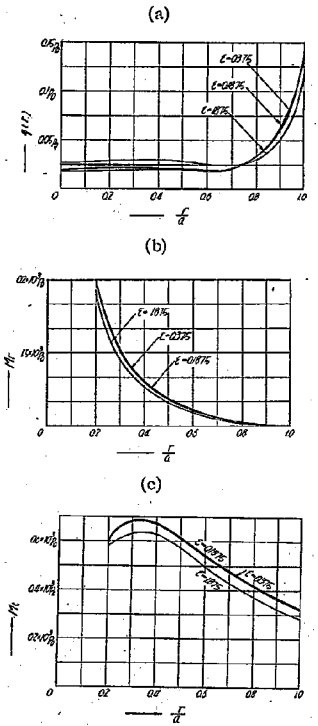
以上 3 場合は基礎版の厚さを 30 cm としたが，厚さの變化の影響を知る爲に厚さ大なる $h=50$ cm に就て同様なる計算を行ふた.

iv) 基礎版の厚さ 50 cm の場合　$E_1=200{,}000\ \mathrm{kg/cm^2}$, $\sigma_1=0$, $\sigma_2=0$, $E_2=500$, 100, 50 $\mathrm{kg/cm^2}$, $b=50$ cm, $h=50$ cm, $a=250$ cm, 125 cm, 卽ち $b/a=0.2$ 及 0.4

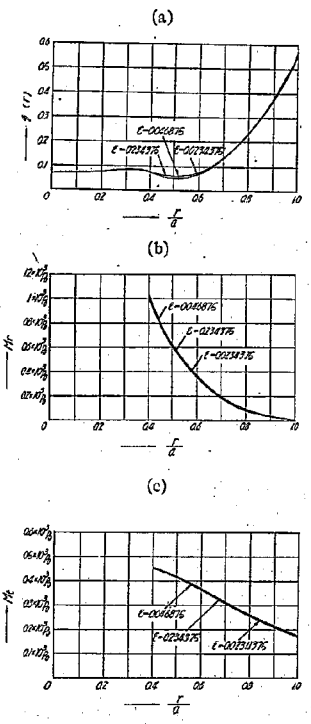
a) $a=250$cm, 卽ち $b/a=0.2$ の場合　εの値は $E_2=500\mathrm{kg/cm^2}$, $100\mathrm{kg/cm^2}$, $50\ \mathrm{kg/cm^2}$ に對し夫々 1.875, 0.375, 0.1875 となる. 地盤反力，彎曲力率を第 12 圖に示す. $\sigma_b=30\ \mathrm{kg/cm^2}$ に相當する p_0, P_a, $q_{\max}$ は次の如し.

E_2	p_0	P_a	$q_{\max}$
500 $\mathrm{kg/cm^2}$	6.73 $\mathrm{kg/cm^2}$	52.9 t	0.78 $\mathrm{kg/cm^2}$
100 $\mathrm{kg/cm^2}$	6.31 $\mathrm{kg/cm^2}$	49.6 t	0.85 $\mathrm{kg/cm^2}$
50 $\mathrm{kg/cm^2}$	6.26 $\mathrm{kg/cm^2}$	49.2 t	0.86 $\mathrm{kg/cm^2}$

E_2 の影響は ii) の場合より著しく小にして $E_2=50\ \mathrm{kg/cm^2}$ と 500 $\mathrm{kg/cm^2}$ との比較



第 12 圖



第 13 圖

を行ふに，M_r の最大値は 1.07 倍，M_t の最大値は 1.08 倍である．又支持力 P_a は 2.2～2.7 倍にして，基礎版のコンクリートの體積は 1.7 倍にして支持力の增加の割合は體積の增加の割合より大にして此の關係は E_2 小，卽ち地盤の軟弱なる程有利である．

b) $a=125$ cm，卽ち $b/a=0.4$ の場合　此の場合厚さは直徑の 1/5 となり，普通の版の計算を適用する爲の誤差が大となるが，本文は版としての計算が適用するものとして行ふ．ε は $E_2=500$，100，50 kg/cm² に對し夫々 0.2344，0.04687，0.02344 にして，地盤反力及彎曲力率を第 13 圖に示す．

第 13 圖より E_2 の影響は殆ど存在しないことを知る．此の場合版の厚さが直徑の 1/5 ならを以て，版の厚さは抗曲强度より寧ろ抗剪强度に依り決定されなければならぬが，今假りに抗曲强度より決定されるものとし，$\sigma_b=30$ kg/cm² に相當する p_0 P_a q_{max} は夫々次の如し．

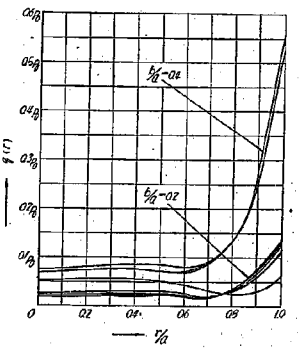
E_2	p_0	P_a	q_{max}
500 kg/cm²	12.26 kg/cm²	96.3 t	6.76 kg/cm²
100 kg/cm²	12.19 kg/cm²	95.7 t	6.80 kg/cm²
50 kg/cm²	12.18 kg/cm²	95.7 t	6.80 kg/cm²

支持力 P_a は $h=30$ cm の場合に比し 2.7～2.8 倍にして，最大地盤反力が基礎地盤の許容支持力内にある場合は版の厚さを増加せしむるは有利である．

v) 是等の計算の結果より第7圖(b)に示す圓形基礎版に就ては本節の計算の範圍内にては次の事項が述べられる．

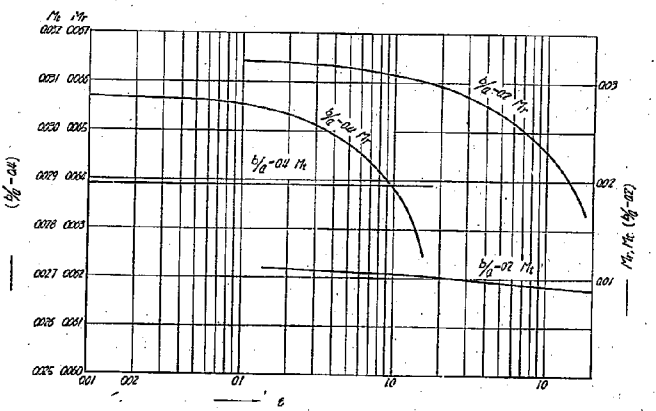
a) 基礎地盤の支持力が充分なる時は圓形版の半徑を小とするの有利なるは當然である．

b) 基礎地盤の支持力不充分なる場合圓形基礎版の半徑を徒に大にするは有利でない．第14圖に示す如く柱と圓形版の半徑の比が一定なる場合は地盤反力分布は基礎地盤の彈性係數の大さ及版の厚さには餘り關係しない．且つ版の厚さを增す時支持力の增加率は體積の增加率より大なるを以て，圓形版の半徑は出來る限り小とし，版の厚さを增加して彎曲力率に抵抗するが有利である．



第 14 圖

c) 第15圖に ε と版に生ずる M_r と M_t との關係を示したが ε の小なる場合は餘り變化なきを以て ε の適當なる値に就て M_r, M_t を豫め計算して

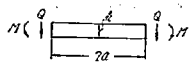


第 15 圖

置く時は ε の他の値の M_r, M_t を圖上より求め得る.

計算例 2.

第 16 圖 (a) に示す如く厚さ一樣なる圓形版の端に彎曲力率及外垂直荷重の作用する場合.



第 16 圖

周邊の單位長に作用する彎曲力率を M, 垂直荷重を Q にて示す時, 撓度 v は附錄 II の (11) 式より版のポアソン比を 0 とする時は次の如く示さる.

$$v=\frac{a^4}{N}(a_0B_0+a_1B_1+a_2B_2+a_3B_3+a_4B_4+a_5B_5)+C+\frac{Mr^2}{2N} \quad \cdots\cdots\cdots(20)$$

但し

$$B_0=\frac{1}{2}\frac{3}{2^2\cdot4}\left(\frac{r}{a}\right)^2-\frac{1}{2^2\cdot4^2}\left(\frac{r}{a}\right)^4, \qquad B_1=\frac{1}{2}\frac{5}{4^2\cdot6}\left(\frac{r}{a}\right)^2-\frac{1}{4^2\cdot6^2}\left(\frac{r}{a}\right)^6$$

$$B_2=\frac{1}{2}\frac{7}{6^2\cdot8}\left(\frac{r}{a}\right)^2-\frac{1}{6^2\cdot8^2}\left(\frac{r}{a}\right)^8, \qquad B_3=\frac{1}{2}\frac{9}{8^2\cdot10}\left(\frac{r}{a}\right)^2-\frac{1}{8^2\cdot10^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{10}$$

$$B_4=\frac{1}{2}\frac{10}{10^2\cdot12}\left(\frac{r}{a}\right)^2-\frac{1}{10^2\cdot12^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{12}, \qquad B_5=\frac{1}{2}\frac{13}{12^2\cdot14}\left(\frac{r}{a}\right)^2-\frac{1}{12^2\cdot14^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{14}$$

B_0, B_1, B_2, ……B_5 の値を第 9 表に示す.

第 9 表 B_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 の値

r/a	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
B_0	0.	0.003725	0.0146	0.031725	0.0536	0.078125
B_1	0.	0.00104155	0.00415955	0.009294	0.01621155	0.0243055
B_2	0.	0.00048611	0.00194416	0.00436771	0.00770496	0.01171875
B_3	0.	0.00028125	0.0011249837	0.0025303053	0.0044832228	0.006875
B_4	0.	0.0001833333	0.0007333321	0.0016498488	0.0029285611	0.0045138
B_5	0.	0.0001289682	0.0005158729	0.0011606865	0.0020619337	0.0031887755

地盤反力の總和は垂直荷重の總和に等しきを以て

$$\sum_{n=0}\frac{a_n}{n+1}=\frac{2Q}{a} \quad \cdots\cdots\cdots(21)$$

彎曲力率は附錄 II の (11) 式より

$$\left.\begin{aligned} M_r&=a^2\left[\sum_{n=0}a_n\frac{(2n+3)}{(2n+2)^2(2n+4)}\left\{\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-1\right\}-\frac{M}{a^2}\right]\\ M_t&=a^2\left[\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\left\{\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}\cdot(2n+3)\right\}-\frac{M}{a^2}\right]\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots(22)$$

i) 今半徑 500 cm, 厚さ 50 cm, のコンクリート版の周邊に單位長當り M なる彎曲力率及垂直荷重 Q が作用する場合.

未知數を 4 個とする時地盤反力は次の如く示さる.

$$q(r)=a_0+a_1\left(\frac{r}{a}\right)^2+a_2\left(\frac{r}{a}\right)^4+a_3\left(\frac{r}{a}\right)^6 \quad \cdots\cdots(23)$$

$E_1=2\times10^5\ \mathrm{kg/cm^2}$, $E_2=100\ \mathrm{kg/cm^2}$, $\sigma_1=0$, $\sigma_2=0$, $a=500\ \mathrm{cm}$, $h=50\ \mathrm{cm}$,

$$\varepsilon=\frac{6\times10^2}{2\times10^5}\left(\frac{a}{h}\right)^3=3$$

版の撓度と基礎地盤の沈下とを $r=0$, $0.4a$, $0.6a$, a の 4 個所に於て一致せしむる時は第 2 表の A_0', A_1' …及第9表の B_0, B_1, …より a_0, a_1, を與へる聯立方程式は次の如し.

$$-0.597755a_0-0.052572a_1+0.016662a_2+0.034520a_3=1.5M/a^2$$
$$-0.192395a_0+0.042054a_1+0.030052a_2+0.0191633a_3=0.54M/a^2$$
$$-0.085087a_0+0.023777a_1+0.010683a_2+0.006173a_3=0.24M/a^2$$

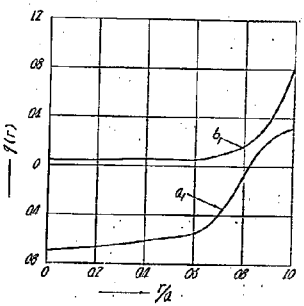
$$a_0+0.5a_1+0.333333a_2+0.25a_3=\frac{2Q}{a}$$

是等の方程式より a_0, a_1, a_2, a_3 を求むれば

$$\left.\begin{aligned} a_0&=-2.1113\frac{M}{a^2}+0.4407\frac{Q}{a}, \quad a_1=2.9448\frac{M}{a^2}+2.3612\frac{Q}{a}\\ a_2&=-10.3741\frac{M}{a^2}-11.4186\frac{Q}{a}, \quad a_3=16.3873\frac{M}{a^2}+16.7395\frac{Q}{a}\end{aligned}\right\} \cdots(24)$$

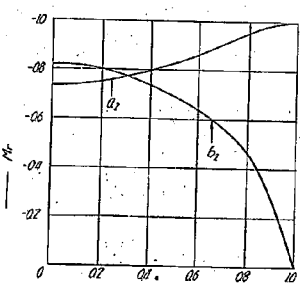
(24) 式に示す a_0, a_1, a_2, a_3 を用ひ, (23) 及 (22) 式より地盤反力及彎曲力率を求め第 17 圖に示す.

第 17 圖より彎曲力率に依る地盤反力は負の場所が生ずるが, 垂直荷重に依るものは總て正である. M による彎曲力率は中央に行く程減少し, Q に依る彎曲力率の内 M_r は之



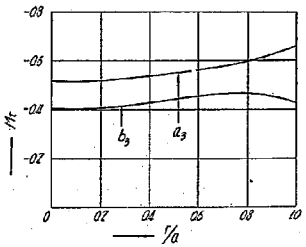
$$q(r)=3a_1\frac{M}{a^2}+10b_1\frac{Q}{a}$$

第 17 圖 (a)



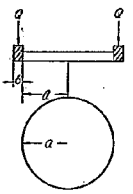
$$M_r=a_2M+100b_2Q$$

第 17 圖 (b)



$M_t = a_3 M - 100 b_3 Q$

第 17 圖 (c)



第 18 圖

に反し中央に行く程增大する．M 又は Q が單獨に作用する場合 $\sigma_b = 30\ \mathrm{kg/cm^2}$ に相當する M 及 Q の最大値は夫々次の如くである．

$$M_{\max} = 30 \times \frac{(50)^2}{6} = 1.25 \times 10^4\ \mathrm{kg\text{-}cm}$$

$$Q_{\max} = 30 \times \frac{(50)^2}{6} \times \frac{1}{81.74} = 1.52 \times 10^2\ \mathrm{kg/cm}$$

計算例 3

第 18 圖 (a) に示す如く厚さ一樣なる圓形版が周邊に於て剛性の非常に大なるものにて補強され Q なる垂直荷重を受ける場合．

剛性非常に大なるものにて補強さるゝを以て，周邊に於ける角變位は近似的に零である．又上圖の b なる幅が小なる場合は垂直荷重の圓形版の周邊に生ずる彎曲力率は省略し得る程度に小なるを以て，版の周邊の單位長に Q なる垂直荷重が作用し，角變位零なる場合に相當する．

此の場合の圓形版の撓度 v は附錄 II の (12) 式より

$$v = \frac{a^4}{N}(a_0 B_0 + a_1 B_1 + a_2 B_2 + a_3 B_3 + a_4 B_4) + C$$

但し
$$B_0 = \frac{1}{2}\frac{1}{2^2\cdot 4}\left(\frac{r}{a}\right)^2 - \frac{1}{2^2\cdot 4^2}\left(\frac{r}{a}\right)^4,\quad B_1 = \frac{1}{2}\frac{1}{4^2\cdot 6}\left(\frac{r}{a}\right)^2 - \frac{1}{4^2\cdot 6^2}\left(\frac{r}{a}\right)^6$$

$$B_2 = \frac{1}{2}\frac{1}{6^2\cdot 8}\left(\frac{r}{a}\right)^2 - \frac{1}{6^2\cdot 8^2}\left(\frac{r}{a}\right)^8,\quad B_3 = \frac{1}{2}\frac{1}{8^2\cdot 10}\left(\frac{r}{a}\right)^2 - \frac{1}{8^2\cdot 10^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{10}$$

$$B_4 = \frac{1}{2}\frac{1}{10^2\cdot 12}\left(\frac{r}{a}\right)^2 - \frac{1}{10^2\cdot 12^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{12} \qquad \cdots(25)$$

又垂直荷重の總和は地盤反力の總和に等しきを以て $\displaystyle\sum \frac{a_n}{n+1} = \frac{2Q}{a}$

彎曲力率は附錄 II の (12) 式より

$$M_r = a^2\left\{\sum_{n=0}\frac{(2n+3)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2} - \sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\right\}$$

$$M_t = a^2\left\{\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2} - \sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\right\}$$

(25) 式の B_0, B_1, B_2, B_3, B_4 の値を第 10 表に示す．

半徑 500 cm，厚さ 50 cm なるコンクリート版に就き計算する．$E_1 = 2\times 10^5\ \mathrm{kg/cm^2}$,

$E_2=100\ \mathrm{kg/cm^2}$, $\sigma_1=0$, $\sigma_2=0$, $a=500\ \mathrm{cm}$, $h=50\ \mathrm{cm}$, $\varepsilon=\dfrac{6\times10^2}{2\times10^5}\left(\dfrac{500}{50}\right)^3=3$

未知數を 4 個とし，版と地盤とを $r=a$, $0.6a$, $0.4a$, 0 の4個所にて一致せしむる時地盤反力，M_r 及 M_t は第 11 表に示す如し．

第 10 表 B_0, B_1, B_2, B_3, B_4 の値

r/a	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
B_0	0.	0.001225	0.0046	0.009225	0.0136	0.015625
B_1	0.	$0.000208\dot{2}$	$0.000826\dot{2}$	0.001794	$0.002878\dot{2}$	$0.003472\dot{2}$
B_2	0.	0.000069443	0.000277493	0.00061771	0.001038293	0.001302083
B_3	0.	0.00003125	0.0001249837	0.0002803053	0.0004832228	0.000625
B_4	0.	$0.000016\dot{6}$	0.000066665	0.0001498488	0.0002618945	$0.000347\dot{2}$

第 11 表 $q(r)$, M_r, M_t の値 (Q の係數)

r/a	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$q(r)$	0.0015	0.0016	0.0017	0.0016	0.0033	0.0142
M_r	−27.550	−24.658	−15.416	0.408	23.501	73.645
M_t	−27.550	−26.594	−23.597	−19.436	−11.028	0

(單位は kg, cm)

$\sigma_b=30\ \mathrm{kg/cm^2}$ に相當する場合支持し得る最大荷重 $Q_{\max}$ を求めるに

$$Q_{\max}=30\times\frac{(50)^2}{6}\times\frac{1}{73.64}=170\ \mathrm{kg/cm}$$

計算例2の周邊自由の場合と比較する時支持力は約 11 %増加するに過ぎない．

附錄 I. 基礎地盤表面の沈下

基礎桁の場合と同様に地盤表面の沈下は基礎地盤を半無限彈性體と考へ，その表面に垂直荷重のみ作用し水平荷重なきものとして求めらる．

座標は本文と同じく cylindrical coordinate (r, θ, z) を用ひ，原點を地盤面上にとり，z は下向きを正とする．然る時半無限彈性體の表面に軸對稱荷重の作用する場合の解は (1) 式及限界條件を滿足する如く適當なる χ の函數を見出すことが出來れば求め得る．

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)\left(\frac{\partial^2\chi}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\chi}{\partial r}+\frac{\partial^2\chi}{\partial z^2}\right)=0 \quad \cdots\cdots(1)$$

地盤表面の沈下 w, 地盤表面に作用する垂直及水平應力 $(\widehat{zz})_{z=0}$, $(\widehat{zr})_{z=0}$ は夫々次の如し．

$$\left.\begin{aligned} w&=\frac{1+\sigma_2}{E_2}\left\{(1+2\sigma_2)\nabla^2\chi+\frac{\partial^2\chi}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\chi}{\partial r}\right\}_{z=0}\\ (\widehat{zz})_{z=0}&=\left[\frac{\partial}{\partial z}\left\{(2-\sigma_2)\nabla^2\chi-\frac{\partial^2\chi}{\partial z^2}\right\}\right]_{z=0}\\ (\widehat{zr})_{z=0}&=\left[\frac{\partial}{\partial r}\left\{(1-\sigma_2)\nabla^2\chi-\frac{\partial^2\chi}{\partial z^2}\right\}\right]_{z=0}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(2)$$

但し $\nabla^2=\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$, 其の他の記號は本文に同じ.

基礎地盤は半無限彈性體なるを以て z 及 r が無限大なる場合の變位は總て零なるを要す, 然るに χ を (3) 式の如く定める時は上記の條件及 (1) 式を滿足するは明である.

$$\chi=\int_0^\infty (A+Bz)e^{-kz}J_0(kr)dk \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中 $J_0(kr)$ は 0 次のベツセル函數, A 及 B は限界條件を滿す如く定められる k の函數を示す.

(3) 式を (2) 式に代入すれば

$$\left.\begin{aligned} w&=-\frac{1+\sigma_2}{E_2}\int_0^\infty k\{Ak+2(1-2\sigma_2)B\}J_0(kr)dk \\ (\widehat{zz})_{z=0}&=\int_0^\infty k^2\{Ak+(1-2\sigma_2)B\}J_0(kr)dk \\ (\widehat{zr})_{z=0}&=\int_0^\infty k^2(Ak-B)J_1(kr)dk \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(4)$$

但し $J_1(kr)$ は一次のベツセル函數を示す.

今地盤反力を $q(r)$ とし, 壓力の場合を正とすれば, 地盤表面に於ける限界條件は次の如し.

$$(\widehat{zz})_{z=0}=-q(r),\quad (\widehat{zr})_{z=0}=0$$

(4) 式を上記の限界條件に代入すれば, A 及 B は次の聯立方程式より決定さる.

$$\left.\begin{aligned} &Ak-2\sigma_2B=0 \\ &\int_0^\infty k^2\{Ak+(1-2\sigma_2)B\}J_0(kr)dk=-q(r) \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(5)$$

(5) 式より A, B を求めるには (6) 式に示す Hankel の逆關係を用ふ. 即ち $\varphi(x)$ が $0<x<\infty$ にて Dirichlet の條件を充し且つ $\int_0^\infty |f(y)|ydy$ が有限なる時 (i) なる關係が成立すれば (ii) なる關係も成立する.

$$\left.\begin{aligned} \psi(x)&=\int_0^\infty \varphi(x)J_0(ax)ada \qquad \text{(i)} \\ \varphi(x)&=\int_0^\infty \psi(x)J_0(ax)ada \qquad \text{(ii)} \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(6)$$

(6) 式の關係を (5) 式の (2) 式に適用すれば

$$Ak-2\sigma_2B=0$$

$$Ak+(1-2\sigma_2)B=-\frac{1}{k}\int_0^\infty q(a)J_0(ka)ada$$

從つて

$$A=-\frac{2\sigma_2}{k^2}\int_0^\infty q(a)J_0(ka)ada,\quad B=-\frac{1}{k}\int_0^\infty q(a)J_0(ka)ada \qquad \cdots\cdots(7)$$

(7) 式を (4) 式に代入すれば基礎地盤表面の沈下 w は次の如し.

$$\left.\begin{aligned} w&=-\frac{2(1-\sigma_2^2)}{E_2}\int_0^\infty \frac{X(k)J_0(kr)}{k}dk \\ \text{但し}\quad X(k)&=-k\int_0^\infty q(a)J_0(ka)ada \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(8)$$

基礎地盤に作用する垂直荷重は地盤反力にして本文の (1) 式に示され

$$\left.\begin{aligned} q(r)&=a_0+a_1\left(\frac{r}{a}\right)^2+a_2\left(\frac{r}{a}\right)^4+a_3\left(\frac{r}{a}\right)^6+\cdots\cdots+a_n\left(\frac{r}{a}\right)^{2n} && r<a\\ &=0 && r>a \end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(9)$$

(9) 式を (8) 式の $X(k)$ に代入すれば

$$\left.\begin{aligned} X(k)=&-a_0k\int_0^a J_0(k\alpha)\alpha d\alpha-a_1k\int_0^a\left(\frac{\alpha}{a}\right)^2 J_0(k\alpha)\alpha d\alpha-\cdots\cdots\\ &-a_nk\int_0^a\left(\frac{\alpha}{a}\right)^{2n} J_0(k\alpha)\alpha d\alpha\\ =&-(a_0B_0+a_1B_1+a_2B_2+\cdots\cdots+a_nB_n) \end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(10)$$

然るに

$$\int x^{n+1}J_n(x)dx=x^{n+1}J_{n+1}(x)$$

なるを以て，B_0, B_1, B_2, ……は部分積分を行ひ容易に次の如く求め得る．

$$B_0=aJ_1(ka),\quad B_1=aJ_1(ka)-2\frac{J_2(ka)}{k},\quad B_2=aJ_1(ka)-4\frac{J_2(ka)}{k}+8\frac{J_3(ka)}{k^2a}$$

$$B_3=aJ_1(ka)-6\frac{J_2(ka)}{k}+24\frac{J_3(ka)}{k^2a}-48\frac{J_4(ka)}{k^3a^2}$$

$$B_4=aJ_1(ka)-8\frac{J_2(ka)}{k}+48\frac{J_3(ka)}{k^2a}-192\frac{J_4(ka)}{k^3a^2}+384\frac{J_5(ka)}{k^4a^3}$$

$$B_5=aJ_1(ka)-10\frac{J_2(ka)}{k}+80\frac{J_3(ka)}{k^2a}-480\frac{J_4(ka)}{k^3a^2}+1920\frac{J_5(ka)}{k^4a^3}-3840\frac{J_6(ka)}{k^5a^4}$$

(10) 式の $X(k)$ を (8) 式に代入すれば

$$w=\frac{2(1-\sigma_2^2)}{E_2}a(a_0A_0+a_1A_1+a_2A_2+a_3A_3+a_4A_4+a_5A_5)\quad\cdots\cdots(11)$$

(11) 式の A_0, A_1, … A_5 は B_0, B_1, … B_5 より次の如く示さる．

$$A_0=\int_0^\infty\frac{J_1(ka)J_0(kr)}{k}dk,\qquad A_1=\int_0^\infty\frac{J_1(ka)J_0(kr)}{k}dk-\frac{2}{a}\int_0^\infty\frac{J_2(ka)J_0(kr)}{k^2}dk$$

$$A_2=\int_0^\infty\frac{J_1(ka)J_0(kr)}{k}dk-\frac{4}{a}\int_0^\infty\frac{J_2(ka)J_0(kr)}{k^2}dk+\frac{8}{a^2}\int_0^\infty\frac{J_3(ka)J_0(kr)}{k^3}dk$$

$$A_3=\int_0^\infty\frac{J_1(ka)J_0(kr)}{k}dk-\frac{6}{a}\int_0^\infty\frac{J_2(ka)J_0(kr)}{k^2}dk+\frac{24}{a^2}\int_0^\infty\frac{J_3(ka)J_0(kr)}{k^3}dk-\frac{48}{a^3}\int_0^\infty\frac{J_4(ka)J_0(kr)}{k^4}dk$$

$$A_4=\int_0^\infty\frac{J_1(ka)J_0(kr)}{k}dk-\frac{8}{a}\int_0^\infty\frac{J_2(ka)J_0(kr)}{k^2}dk+\frac{48}{a^2}\int_0^\infty\frac{J_3(ka)J_0(kr)}{k^3}dk-\frac{192}{a^3}\int_0^\infty\frac{J_4(ka)J_0(kr)}{k^4}dk$$
$$+\frac{384}{a^4}\int_0^\infty\frac{J_5(ka)J_0(kr)}{k^5}dk$$

$$A_5=\int_0^\infty\frac{J_1(ka)J_0(kr)}{k}dk-\frac{10}{a}\int_0^\infty\frac{J_2(ka)J_0(kr)}{k^2}dk+\frac{80}{a^2}\int_0^\infty\frac{J_3(ka)J_0(kr)}{k^3}dk$$
$$-\frac{480}{a^3}\int_0^\infty\frac{J_4(ka)J_0(kr)}{k^4}dk+\frac{1920}{a^4}\int_0^\infty\frac{J_5(ka)J_0(kr)}{k^5}dk-\frac{3840}{a^5}\int_0^\infty\frac{J_6(ka)J_0(kr)}{k^6}dk$$

又は (13) 式に示す定積分を適當に組み合せて次の如く示さる．

$$\left.\begin{aligned} &A_0=I_1,\quad A_1=I_1-\frac{2}{a}I_2,\quad A_2=I_1-\frac{4}{a}I_2+\frac{8}{a^2}I_3 \\ &A_3=I_1-\frac{6}{a}I_2+\frac{24}{a^2}I_3-\frac{48}{a^3}I_4,\quad A_4=I_1-\frac{8}{a}I_2+\frac{48}{a^2}I_3-\frac{192}{a^3}I_4+\frac{384}{a^4}I_5 \\ &A_5=I_1-\frac{10}{a}I_2+\frac{80}{a^2}I_3-\frac{480}{a^3}I_4+\frac{1920}{a^4}I_5-\frac{3840}{a^5}I_6 \end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(12)$$

$I_1, I_2, \cdots I_6$ は次式に示す.

$$\left.\begin{aligned} &I_1=\int_0^\infty \frac{J_1(ka)J_0(kr)}{k}dk,\qquad I_2=\int_0^\infty \frac{J_2(ka)J_0(kr)}{k^2}dk \\ &I_3=\int_0^\infty \frac{J_3(ka)J_0(kr)}{k^3}dk,\qquad I_4=\int_0^\infty \frac{J_4(ka)J_0(kr)}{k^4}dk \\ &I_5=\int_0^\infty \frac{J_5(ka)J_0(kr)}{k^5}dk,\qquad I_6=\int_0^\infty \frac{J_6(ka)J_0(kr)}{k^6}dk \end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(13)$$

(13) 式の定積分は $r<a$ なる時は次の公式より求められ

$$I_n=\frac{a^{n-1}}{1\cdot3\cdots(2n-3)\cdot(2n-1)}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},\ -n+\frac{1}{2};\ 1;\ \frac{r^2}{a^2}\right)$$

上式中の ${}_2F_1(\alpha,\beta;\gamma;z)$ は hypergeometric function と呼ばれ一般に次の無限級数にて示さる.

$${}_2F_1(\alpha,\beta;\gamma;z)=1+\frac{\alpha\cdot\beta}{1\cdot\gamma}z+\frac{\alpha\cdot(\alpha+1)\cdot\beta\cdot(\beta+1)}{1\cdot2\cdot\gamma\cdot(\gamma+1)}z^2+\frac{\alpha\cdot(\alpha+1)\cdot(\alpha+2)\cdot\beta\cdot(\beta+1)\cdot(\beta+2)}{1\cdot2\cdot3\cdot\gamma\cdot(\gamma+1)\cdot(\gamma+2)}z^3+\cdots\cdots(14)$$

特に $z=1$ なる時は次の如く簡単となる.

$${}_2F_1(\alpha,\beta;\gamma;1)=\frac{\Gamma(\gamma)\Gamma(\gamma-\alpha-\beta)}{\Gamma(\gamma-\alpha)\Gamma(\gamma-\beta)}\qquad \text{if}\quad \gamma-\alpha-\beta>0\cdots\cdots(15)$$

$\Gamma(\alpha)$ は gamma function と呼ばれ次の關係あり.

$$\Gamma(n+1+x)=(n+x)\Gamma(x+n),\quad \Gamma\left(\frac{1}{2}\right)=\sqrt{\pi}$$

(12) 式の $A_0, A_1, \cdots A_5$ は hypergeometric function に依り (16) 式に示さる.

$$\left.\begin{aligned} &A_0={}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{1}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right) \\ &A_1={}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{1}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)-\frac{2}{3}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{3}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right) \\ &A_2={}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{1}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)-\frac{4}{3}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{3}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)+\frac{8}{15}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{5}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right) \\ &A_3={}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{1}{2};1;\frac{r^2}{a_2}\right)-2{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{3}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)+\frac{24}{15}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{5}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right) \\ &\quad-\frac{48}{105}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{7}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right) \\ &A_4={}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{1}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)-\frac{8}{3}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{3}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)+\frac{48}{15}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{5}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right) \\ &\quad-\frac{192}{105}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{7}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)+\frac{384}{945}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{9}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right) \end{aligned}\right\}\quad(16)$$

$$A_5={}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{1}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)-\frac{10}{3}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{3}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)+\frac{80}{15}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{5}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)$$
$$-\frac{480}{105}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{7}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)+\frac{1920}{945}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{9}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)-\frac{3840}{10395}{}_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{11}{2};1;\frac{r^2}{a^2}\right)\Bigg)$$

(14) 及 (15) 式を用ひて r/a に對し A_0, A_1, … A_5 を容易に計算し得る. (16) 式に示す如く常數 A_0, A_1, … A_5 は總て $(r/a)^2$ のみの函數である. 從つて r/a に對し A_0, A_1, … を求めて置く時は (11) 式より直ちに地盤表面の沈下 w を求め得る.

附錄 II. 圓形版の撓度

座標軸に polar coordinate (r, θ) を用ひ, 圓形版の中心を原點とし, 軸對稱荷重の作用する場合 beam theory が適用されるものとすれば, 厚さ一樣なる版の撓度 v は次の微分方程式により示さる.

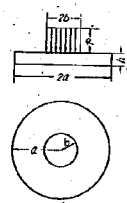
$$\left(\frac{d^2}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\right)\left(\frac{d^2v}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dv}{dr}\right)=\frac{p}{N} \quad \cdots\cdots(1)$$

但し $N=\dfrac{E_1h^3}{12(1-\sigma_1^2)}$, p は荷重にて下方に作用するを正とする.

版に作用する彎曲力率及剪力は次式に示さる.

$$\left.\begin{aligned} M_r&=-N\left(\frac{d^2v}{dr^2}+\frac{\sigma_1}{r}\frac{dv}{dr}\right)\\ M_t&=-N\left(\frac{1}{r}\frac{dv}{dr}+\sigma_1\frac{d^2v}{dr^2}\right)\\ S_t&=-N\frac{d}{dr}\left\{\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dv}{dr}\right)\right\}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

但し M_r; 半徑に垂直なる面に作用する彎曲力率
M_t; 半徑に沿へる面に作用する彎曲力率
S_t; 剪力



第 1 圖

從つて (1) 式より一般解を求め積分常數をして限界條件を滿す如く決定して v を求め得る.

1. 圓形版の端が自由なる場合　第 1 圖の荷重に依る撓度

地盤反力に依る v_q と荷重による v_p とを分ちて求める.

i) 地盤反力による撓度 v_q　本文に示す $q(r)$ を (1) 式に代入すれば(地盤反力は上方に作用するが正なるを以て $p=-q$ である).

$$\left(\frac{d^2}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\right)\left(\frac{d^2v_q}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dv_q}{dr}\right)=-\frac{1}{N}\left\{a_0+a_1\left(\frac{r}{a}\right)^2+\cdots\cdots+a_n\left(\frac{r}{a}\right)^{2n}\right\}\cdots(3)$$

(3) 式の一般解並に M_r, M_t, S_t は (4) 式に示さる.

$$v_q=\frac{a^4}{N}\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2+2n)^2(2n+4)^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+4}+\frac{C_1}{4}r^2(\log r-1)+\frac{C_2}{4}r^2+C_4$$

$$M_r=a^2\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3+\sigma_1}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-N\left[\frac{C_1}{4}(2\log r+1)+\frac{C_2}{2}+\sigma_1\left\{\frac{C_1}{4}(2\log r-1)+\frac{C_2}{2}\right\}\right]$$

$$M_t=a^2\sum_{n=0}a_n\frac{(2n+3)\sigma_1+1}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-N\left[\frac{C_1}{4}(2\log r-1)+\frac{C_2}{2}+\sigma_1\left\{\frac{C_1}{4}(2\log r+1)+\frac{C_2}{2}\right\}\right]$$

$$S_t=a\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+1}-N\frac{C_1}{r} \qquad \cdots\cdots(4)$$

但し (3) 式の一般解には $C_3\log r$ なる項が含まれるが，撓度は有限なるを以て $C_3=0$ なるを要す．(4) 式の C_1, C_2, C_4 は限界條件より定めらるゝ積分常數を示す．

圓形版は端に於て自由なるを以て限界條件は次の如く示され，

$$r=a;\quad M_r=0,\quad S_t=0 \qquad \cdots\cdots(5)$$

(4) 式を (5) 式に代入して C_1, C_2 を求むれば次の如し．

$$C_1=\frac{a^2}{N}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}$$

$$C_2=\frac{2}{1+\sigma_1}\frac{a^2}{N}\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3+\sigma_1}{(2n+2)^2(2n+4)}-\frac{2(1+\sigma_1)\log a+(1-\sigma_1)}{2(1+\sigma_1)}\frac{a^2}{N}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}$$

C_1, C_2 を (4) 式に代入すれば

$$v_q=\frac{a^4}{N}\left[-\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+4}+\frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3}{(2n+2)^2(2_n+4)}\right.$$
$$\left.+\frac{1}{4}\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}-\frac{1}{8}\frac{3+\sigma_1}{1+\sigma_1}\left(\frac{r}{a}\right)^2\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\right]+C_4$$

$$M_r=a^2\left[\sum_{n=0}a_n\frac{(2n+3)+\sigma_1}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-\frac{1+\sigma_1}{2}\log\frac{r}{a}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}-\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3+\sigma_1}{(2n+2)^2(2n+4)}\right]$$

$$M_t=a^2\left[\sum_{n=0}a_n\frac{1+(2n+3)\sigma_1}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-\left(\frac{1+\sigma_1}{2}\log\frac{r}{a}-\frac{1-\sigma_1}{2}\right)\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\right.$$
$$\left.-\sum_{n=0}a_n\frac{(2n+3)(1+\sigma_1)}{(2n+2)^2(2n+4)}\right]$$

$$S_t=a\left[\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+1}-\left(\frac{a}{r}\right)\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\right] \qquad \cdots\cdots(6)_1$$

上式に於て特に $\sigma_1=0$ とすれば

$$v_q=\frac{a^4}{N}\left[-\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+4}+\frac{1}{2}\left(\frac{r}{a}\right)^2\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3}{(2n+2)^2(2n+4)}\right.$$
$$\left.+\frac{1}{4}\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}-\frac{3}{8}\left(\frac{r}{a}\right)^2\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\right]+C_4$$

$$M_r=a^2\left[\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-\frac{1}{2}\log\frac{r}{a}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}-\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3}{(2n+2)^2(2n+4)}\right]$$

$$M_t=a^2\left[\sum_{n=0}a_n\frac{1}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-\frac{1}{2}\left(\log\frac{r}{a}-1\right)\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}+\sum_{n=0}a_n\frac{2n+3}{(2n+2)^2(2n+4)}\right]$$

$$S_t=a\left[\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+1}-\left(\frac{a}{r}\right)\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\right] \qquad \cdots\cdots(6)_2$$

(6)，式に於て版の力學的性質は N の項に，且つ版の大さを示す a は，共通項を除きて何れも r/a の形にて式中に含まれ，a_0, a_1, …の係數は版の大さ及彈性係數に無關係である．

ii) 荷重による版の撓度　第1圖に示す如く $0<r<b$ なる範圍に一樣なる荷重 p_0 が作用する時 $p(x)$ は次の如く示さる．

$$p(x)=p_0 \qquad 0<r<b$$
$$=0 \qquad b<r<a$$

從つて $0<r<b$ の撓度を v_{p1}, $b<r<a$ の撓度を v_{p2} とすれば v_{p1}, v_{p2} は夫々次に示す微分方程式及限界條件を滿足しなければならぬ．

$$\left(\frac{d^2}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\right)\left(\frac{d^2v_{p1}}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dv_{p1}}{dr}\right)=\frac{p_0}{N},\quad \left(\frac{d^2}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\right)\left(\frac{d^2v_{p2}}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dv_{p2}}{dr}\right)=0$$

$r=a$;　$\dfrac{d^2v_{p2}}{dr^2}+\dfrac{\sigma_1}{r}\dfrac{dv_{p2}}{dr}=0,\quad \dfrac{d}{dr}\left\{\dfrac{1}{r}\dfrac{d}{dr}\left(r\dfrac{dv_{p2}}{dr}\right)\right\}=0$

$r=b$;　$\dfrac{d^3v_{p1}}{dr^3}=\dfrac{d^3v_{p2}}{dr^3},\quad \dfrac{d^2v_{p1}}{dr^2}=\dfrac{d^2v_{p2}}{dr^2},\quad \dfrac{dv_{p1}}{dr}=\dfrac{dv_{p2}}{dr},\quad v_{p2}=v_{p1}$

上式より v_p 及 M_r, M_t, S_t を求め v_p 以外は計算に必要なる $\sigma_1=0$ の値を次式に示す．

$$\left.\begin{aligned} v_p&=\frac{a^4}{N}p_0\left[\frac{1}{64}\left(\frac{r}{a}\right)^4-\frac{1}{8}\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}+\frac{1}{8}\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{b}{a}+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{r}{a}\right)^2\right.\\ &\qquad\left.+\frac{1}{32}\frac{1-\sigma_1}{1+\sigma_1}\left(\frac{b}{a}\right)^4\left(\frac{r}{a}\right)^2\right]+C \qquad 0<r<b\\ &=\frac{a^4}{N}p_0\left[\frac{1}{32}\frac{1-\sigma_1}{1+\sigma_1}\left(\frac{b}{a}\right)^4\left(\frac{r}{a}\right)^2+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)+\frac{5}{64}\left(\frac{b}{a}\right)^4\right]+C\\ &\qquad b<r<a \end{aligned}\right\}\cdots(7)_1$$

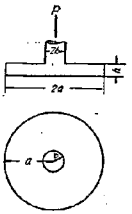
特に $\sigma_1=0$ とすれば

$$\left.\begin{aligned} v_p&=\frac{a^4}{N}p_0\left[\frac{1}{64}\left(\frac{r}{a}\right)^4-\frac{1}{8}\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{r}{a}+\frac{1}{8}\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{r}{a}\right)^2\log\frac{b}{a}+16\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{r}{a}\right)^2\right.\\ &\qquad\left.+\frac{1}{32}\left(\frac{b}{a}\right)^4\left(\frac{r}{a}\right)^2\right]+C \qquad 0<r<b\\ &=\frac{a^4}{N}p_0\left[\frac{1}{32}\left(\frac{b}{a}\right)^4\left(\frac{r}{a}\right)^2+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)+\frac{5}{64}\left(\frac{b}{a}\right)^4\right]+C \qquad b<r<a\\ M_r&=-a^2p_0\left[\frac{3}{16}\left(\frac{r}{a}\right)^2-\frac{1}{4}\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)-4\left(\frac{b}{a}\right)^2+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\right] \qquad 0<r<b\\ &=a^2p_0\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\left[\left(\frac{a}{r}\right)^2-1\right] \qquad b<r<a\\ M_t&=-a^2p_0\left[\frac{1}{16}\left(\frac{r}{a}\right)^2-\frac{1}{4}\left(\frac{b}{a}\right)\left(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\right)+\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\right] \qquad 0<r<b\\ &=-a^2p_0\frac{1}{16}\left(\frac{b}{a}\right)^4\left[1+\left(\frac{a}{r}\right)^2\right] \qquad b<r<a\\ S_t&=-ap_0\frac{1}{2}\left[\left(\frac{r}{a}\right)-\left(\frac{b}{a}\right)^2\left(\frac{a}{r}\right)\right] \qquad 0<r<b\\ &=0 \qquad b<r<a \end{aligned}\right\}\cdots(7)_2$$

a_0, a_1, ……の値が求められる時は (6) 及 (7) 式より基礎版の各點に作用する彎曲力率及剪力即ち

應力を計算することが出來る.

2. 第 2 圖に示す如く厚さ一樣なる圓形版の中央に半徑 b なる柱のある場合



第 2 圖

柱のある部分に於ては版の厚さが非常に大なるを以て，その部分に於ける版としての變形は零であると假定し得る，從つて柱の下部の版の撓度は一樣なるを以て，柱以外の部分の撓度を求むれば足る.

今荷重が柱のみにより傳達さるゝ時は荷重に依る撓度は基礎版全體に亙りて一樣なるを以て，地盤反力のみに依る版の撓度のみを求める.

$$\left(\frac{d^2}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\right)\left(\frac{d^2v}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dv}{dr}\right)=-\frac{1}{N}\sum_{n=0}a_n\left(\frac{r}{a}\right)^{2n} \quad \cdots\cdots(8)$$

(8) 式の一般解は次の如く求められ

$$v=-\frac{a^4}{N}\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+4}+\frac{C_1}{4}r^2(\log r-1)+\frac{C_2}{4}r^2+C_3\log r+C_4$$

從つて角變位，彎曲力率及剪力は次の如し.

$$\frac{dv}{dr}=-\frac{a^3}{N}\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+3}+\frac{C_1}{2}r\left(\log r-\frac{1}{2}\right)+\frac{C_2}{2}r+\frac{1}{r}C_3$$

$$M_r=-N\left(\frac{d^2v}{dr^2}+\frac{\sigma_1}{r}\frac{dv}{dr}\right)$$

$$=a^2\sum_{n=0}\frac{(2n+3+\sigma_1)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-\frac{NC_1}{2}(1+\sigma_1)\log r+\frac{NC_2}{r^2}(1-\sigma_1)-\frac{NC_1}{4}(1-\sigma_1)$$

$$-\frac{NC_2}{2}(1+\sigma_1)$$

$$M_t=-N\left(\frac{1}{r}\frac{dv}{dr}+\sigma_1\frac{d^2v}{dr^2}\right)$$

$$=a^2\sum_{n=0}\frac{(2n+3)\sigma_1+1}{(2n+2)^2(2n+4)}a_n\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+2}-\frac{NC_1}{2}(1+\sigma_1)\log r-\frac{NC_2}{r^2}(1-\sigma_1)+\frac{NC_1}{4}(1-\sigma_1)$$

$$-\frac{NC_2}{2}(1+\sigma_1)$$

$$S_t=-N\frac{d}{dr}\left\{\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dv}{dr}\right)\right\}=a\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+1}-\frac{NC_1}{r}$$

然るに柱の部分の變形は一樣なるを以て角變位は零である，從つて限界條件は次の如く示さる.

$$r=a\,;\quad M_r=0,\quad S_t=0$$

$$r=b\,;\quad v=C,\quad \frac{dv}{dr}=0$$

是等の限界條件より積分常數 C_1, C_2, C_3, C_4 を求むれば次の如し.

$$C_1=\frac{a^2}{N}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}$$

$$C_2=\frac{2}{1+\sigma_1}\frac{a^2}{N}\sum_{n=0}\frac{(2n+3+\sigma_1)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}-\frac{a^2}{N(1+\sigma_1)}\left\{(1+\sigma_1)\log a+\frac{1-\sigma_1}{2}\right\}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}$$

$$+2\frac{1-\sigma_1}{1+\sigma_1}\frac{1}{a^2}C_3$$

$$C_3=\frac{a^5b(1+\sigma_1)}{\{a^2(1+\sigma_1)+b^2(1-\sigma_1)\}N}\Big[\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{b}{a}\Big)^{2n+3}$$

$$-\frac{1}{1+\sigma_1}\Big(\frac{b}{a}\Big)\sum_{n=0}\frac{(2n+3+\sigma_1)}{(2n+2)^2(2n+4)}a_n-\frac{1}{2}\Big(\log\frac{b}{a}-\frac{1}{1+\sigma_1}\Big)\Big(\frac{b}{a}\Big)\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\Big]$$

$$C_4=\frac{a^4}{N}\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\Big(\frac{b}{a}\Big)^{2n+4}-\frac{a^4}{4N}(\log a-1)-\frac{C_2}{4}a^2-C_3\log a$$

是等の値を代入して基礎版の撓度を求むれば

$$v=\frac{a^4}{N}\Big[\sum_{n=0}\Big\{\Big(\frac{b}{a}\Big)^{2n+4}$$

$$-\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+4}\Big\}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\frac{\frac{1-\sigma_1}{2}\Big(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\Big)+(1+\sigma_1)\Big(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\Big)}{(1+\sigma_1)+(1-\sigma_1)\frac{b^2}{a^2}}$$

$$\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{b}{a}\Big)^{2n+4}$$

$$+\frac{\frac{1}{2}\Big(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\Big)-\frac{b^2}{a^2}\Big(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\Big)}{(1+\sigma_1)+(1-\sigma_1)\frac{b^2}{a^2}}\sum_{n=0}\frac{(2n+3+\sigma_1)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}+\frac{1}{4}\Big\{\frac{b^2}{a^2}\Big(1-\log\frac{b}{a}\Big)$$

$$-\frac{r^2}{a^2}\Big(1-\log\frac{r}{a}\Big)\Big\}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}-\frac{1}{4}\frac{1}{(1+\sigma_1)+(1-\sigma_1)\frac{b^2}{a^2}}\Big\{(1-\sigma_1)\frac{b^2}{a^2}\Big(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\Big)\log\frac{b}{a}$$

$$+\frac{1-\sigma_1}{2}\Big(1-\frac{b^2}{a^2}\Big)\Big(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\Big)+2(1+\sigma_1)\Big(\log\frac{b}{a}-\frac{1}{1+\sigma_1}\Big)\times\frac{b^2}{a^2}\Big(\log\frac{r}{a}-\log\frac{b}{a}\Big)\Big\}$$

$$\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\Big]+C$$

特に $\sigma_1=0$ なる場合の撓度，彎曲力率及剪力を計算すれば次の如し．

$$v=\frac{a^4}{N}\Big[\sum_{n=0}\Big\{\Big(\frac{b}{a}\Big)^{2n+4}-\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+4}\Big\}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}+\frac{1}{1+\frac{b^2}{a^2}}\Big\{\frac{1}{2}\Big(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\Big)+\log\frac{r}{a}$$

$$-\log\frac{b}{a}\Big\}\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{b}{a}\Big)^{2n+4}+\frac{1}{1+\frac{b^2}{a^2}}\Big\{\frac{1}{2}\Big(\frac{r^2}{a^2}-\frac{b^2}{a^2}\Big)-\frac{b^2}{a^2}\Big(\log\frac{r}{a}$$

$$-\log\frac{b}{a}\Big)\Big\}\sum_{n=0}\frac{(2n+3)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}+\frac{1}{1+\frac{b^2}{a^2}}\Big\{\frac{1}{8}\Big(\frac{b^2}{a^2}-\frac{r^2}{a^2}\Big)\Big(3+\frac{b^2}{a^2}\Big)+\frac{1}{4}\Big(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}$$

$$+2\frac{b^2}{a^2}+\frac{r^2}{a^2}\Big)\log\frac{r}{a}-\frac{1}{4}\Big(\frac{b^2}{a^2}\frac{r^2}{a^2}+3\frac{b^2}{a^2}\Big)\log\frac{b}{a}-\frac{1}{2}\frac{b^2}{a^2}\log\frac{b}{a}\Big(\log\frac{r}{a}$$

$$-\log\frac{b}{a}\Big)\Big\}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\Big]+C$$

$$=\frac{a^4}{N}(a_0B_0+a_1B_1+a_2B_2+\cdots\cdots)+C$$

$$M_r=-N\frac{d^2v}{dr^2}$$

$$=a^2\Big[\sum_{n=0}\frac{(2n+3)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+2}-\frac{1}{1+\frac{b^2}{a^2}}\Big(1-\frac{a^2}{r^2}\Big)\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{b}{a}\Big)^{2n+4}$$

$$-\frac{1}{1+\frac{b^2}{a^2}}\Big(1+\frac{b^2}{a^2}\frac{a^2}{r^2}\Big)\sum_{n=0}\frac{(2n+3)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}-\frac{1}{1+\frac{b^2}{a^2}}\Big\{\frac{1}{2}\frac{b^2}{a^2}\Big(1-\frac{a^2}{r^2}\Big)\Big(1-\log\frac{b}{a}\Big)$$

$$+\frac{1}{2}\Big(1+\frac{b^2}{a^2}\Big)\log\frac{r}{a}\Big\}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\Big]$$

$$M_t=-N\frac{1}{r}\frac{dv}{dr}$$

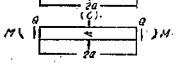
$$=a^2\Big[\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+2}-\frac{1}{1+\frac{b^2}{a^2}}\Big(1+\frac{a^2}{r^2}\Big)\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{b}{a}\Big)^{2n+4}$$

$$-\frac{1}{1+\frac{b^2}{a^2}}\Big(1-\frac{b^2}{a^2}\frac{a^2}{r^2}\Big)\sum_{n=0}\frac{(2n+3)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}-\frac{1}{1+\frac{b^2}{a^2}}\Big\{\frac{1}{2}\Big(\frac{b^2}{a^2}-1\Big)+\frac{1}{2}\Big(\frac{b^2}{a^2}+1\Big)\log\frac{r}{a}$$

$$-\frac{1}{2}\frac{b^2}{a^2}\Big(1+\frac{a^2}{r^2}\Big)\log\frac{b}{a}\Big\}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\Big]$$

$$S_t=-N\frac{d}{dr}\Big\{\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\Big(r\frac{dv}{dr}\Big)\Big\}=a\Big[\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+1}-\frac{2}{1+\frac{b^2}{a^2}}\frac{a}{r}\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}\Big] \qquad (9)$$

(9) 式に於て總ての項は r/a, b/a の函數なるを以て形狀の相似なる場合に同一の B_0, B_1, ……を使用することが出來る.



第 3 圖

3. 第 3 圖に示す如く厚さ一樣なる圓形版の端に彎曲力率及剪力の作用する場合

一樣なる荷重 p_0 が作用する場合版の撓度は次の微分方程式より求められる.

$$\Big(\frac{d^2}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\Big)\Big(\frac{d^2v}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dv}{dr}\Big)=\frac{1}{N}\Big\{p_0-\sum_{n=0}a_n\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n}\Big\}$$

上式より

$$v=\frac{a^4}{N}\Big[\frac{p_0}{64}\Big(\frac{r}{a}\Big)^4-\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+4}\Big]+\frac{C_1}{4}r^2\log r-\frac{C_1}{4}r^2+\frac{C_2}{4}r^2+C_3\log r+C$$

然るに $r=0$ に於て撓度は有限なるを以て $C_3=0$ なるを要す.

從つて

$$v=\frac{a^4}{N}\Big\{\frac{p_0}{64}\Big(\frac{r}{a}\Big)^4-\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+4}\Big\}+\frac{C_1}{4}r^2\log r-\frac{C_1}{4}r^2+\frac{C_2}{4}r^2+C\cdots\cdots(10)$$

i) 圓形版の周邊の單位長に M なる彎曲力率作用し, 剪力の作用なき場合　限界條件は次の

如し.

$$r=a\,;\qquad M_r=-M,\quad S_t=0$$

(10) 式に代入して常数 C_1, C_2 を求める時は撓度及彎曲力率は夫々次の如し.

$$v=\frac{a^4}{N}\Big[\frac{1}{2(1+\sigma_1)}\sum_{n=0}\frac{(2n+3+\sigma_1)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{r}{a}\Big)^2-\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+4}$$
$$+\frac{p_0}{32}\Big\{\frac{1}{2}\Big(\frac{r}{a}\Big)^4-\frac{3+\sigma_1}{1+\sigma_1}\Big(\frac{r}{a}\Big)^2\Big\}\Big]+\frac{Mr^2}{2N(1+\sigma_1)}+C$$

$$M_r=a^2\Big[\sum_{n=0}\frac{2n+3+\sigma_1}{(2n+2)^2(2n+4)}a_n\Big\{\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+2}-1\Big\}-\frac{p_0(3+\sigma_1)}{16}\Big\{\Big(\frac{r}{a}\Big)^2-1\Big\}\Big]-M$$

$$M_t=a^2\Big[\sum_{n=0}\frac{(2n+3)\sigma_1+1}{(2n+2)^2(2n+4)}a_n\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+2}-\sum_{n=0}\frac{2n+3+\sigma_1}{(2n+2)^2(2n+4)}a_n-\frac{p_0}{16}\Big\{\Big(\frac{r}{a}\Big)^2(1+3\sigma_1)$$
$$-(3+\sigma_1)\Big\}\Big]-M$$

特に $\sigma_1=0$, $p_0=0$ なる場合には

$$\left.\begin{aligned}v&=\frac{a^4}{N}\Big[\frac{1}{2}\sum_{n=0}\frac{(2n+3)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{r}{a}\Big)^2-\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+4}\Big]+\frac{Mr^2}{2N}+C\\ M_r&=a^2\Big[\sum_{n=0}\frac{(2n+3)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big\{\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+2}-1\Big\}-\frac{M}{a^2}\Big]\\ M_t&=a^2\Big[\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big\{\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+2}-(2n+3)\Big\}-\frac{M}{a^2}\Big]\end{aligned}\right\}\cdots(11)$$

(11) 式に示す如く此の場合も a_n の係数は総て (r/a) の函数なるを知る.

ii) 版の周邊の單位長に Q なる外力が作用し，角變位零なる場合　版の撓度 v は (10) 式に示され，式中の常数 C_1, C_2 は次の限界條件より定めらる.

$$r=a\ ;\ S_t=+Q,\quad \frac{dv}{dr}=0$$

(10) 式に代入し C_1, C_2 を求むれば $\sigma_1=0$, $p_0=0$ なる場合の撓度及彎曲力率は次の如し.

$$\left.\begin{aligned}v&=\frac{a^4}{N}\Big\{-\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+4}+\frac{1}{2}\Big(\frac{r}{a}\Big)\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big\}+C\\ M_r&=a^2\Big\{\sum_{n=0}\frac{(2n+3)a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+2}-\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big\}\\ M_t&=a^2\Big\{\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big(\frac{r}{a}\Big)^{2n+2}-\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)}\Big\}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots(12)$$

(12) 式に於て a_n の係数は総て r/a の函数である.

iii) 版の周邊の單位長に彎曲力率 M 及外力 Q が作用する場合　i) は iii) の特別の場合にして限界條件は次の如し.

$$r=a\,;\qquad M_r=-M,\quad S_t=Q$$

(10) 式に代入して $p_0=0$ なる場合 C_1, C_2 を求むれば

$$C_1=0,\quad C_2=\frac{2a^2}{N(1+\sigma_1)}\sum_{n=0}\frac{(2n+3)+\sigma_1}{(2n+2)^2(2n+4)}a_n+\frac{2M}{(1+\sigma_1)N}$$

版の撓度vは次の如し.

$$v=\frac{a^4}{N}\left[\frac{1}{2(1+\sigma_1)}\frac{r^2}{a^2}\sum_{n=0}\frac{(2n+3)+\sigma_1}{(2n+2)^2(2n+4)}a_n-\sum_{n=0}\frac{a_n}{(2n+2)^2(2n+4)^2}\left(\frac{r}{a}\right)^{2n+4}\right]$$

$$+\frac{Mr^2}{2N(1+\sigma_1)}+C$$

上式は i) の場合と全く同様にして從つて $\sigma_1=0$ なる場合の撓度, 彎曲力率 M_r, M_t は (11) 式と全く同様になる. 但し i) の場合は地盤反力の總和は零であつたが, 此の場合には次式の如く示さる.

$$\sum_{n=0}\frac{a_n}{2n+2}=\frac{Q}{a} \qquad \cdots\cdots(13)$$

(終 り)

浦戸港々口の潮流に關する試驗
(第 2 報)

內務技師　松　尾　春　雄
內務技師　本　間　仁

內容梗概

第 1 報の試驗に引續いて行つた結果の報告であつて最のものよりも大型の模型を使用して結果を確めたものである.

目　次

I　緒　論……(1)
II　模型及び試驗方法……(2)
III　試驗結果……(3)
IV　相似律……(5)
V　結　論……(7)

I. 緒　論

高知縣浦戸港口に設置すべき防波堤計畫の 2 種の案に就き，主として潮流の關係を模型によつて試驗した結果は既に第 1 報として土木試驗所報告第 31 號に報告した通りである. 同試驗は平面に於ける縮尺 1/1500 の小型模型に就て行つたものであるが，本報告は其以後に更に大型の縮尺 1/300 の模型を使用して得た結果である.

この試驗の要領は全く第 1 報と同樣であつて波浪に依る影響は無視してある. 之は前記の 2 種類の防波堤は波浪による漂砂に對しては略ゝ同樣に作用すると考へたからである. 波に原因する漂砂に就ては全く別な立場から試驗をしなければならぬと思ふ，その上で潮流と組合はせて結果を明にするのも一方法であると思ふが今は之には及んでゐない.

防波堤の 2 種の案は第 1 報に述べた通り第 1 案は浦戸灣口狹搾部右岸より東北東に向つて岩礁帶を折線狀に連ねたもの (第 1 圖 I)，第 2 案は同右岸より略ゝ直線狀に東方に延びるもの (第 2 圖 破線 II) である.

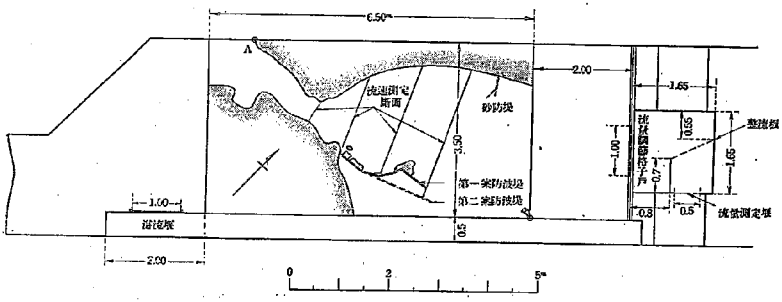
以上 2 案に就て主として流速及流向を調査し，之によつて築造後の潮流の狀況及土砂の堆積狀況等を推論する.

灣口附近の堆砂は主として退潮時に於て狹搾部附近に現出する著しい潮流に依り押し流

され，此の附近の水深が維持されるとの考へから專ら退潮時に於ける潮流に相當する定流を以て試驗を行つた．

II. 模型及び試驗方法

模型 本所赤羽分所内の幅 4 m の屋内水路内に第 1 圖の如き幅 3.5 m 長 6.5 m，平面の縮尺 1/300 の模型を板にて作る．底面はすべて水平とし海岸線に相當する部分は高さ 30 cm の鉛直の板を曲げたものを立てる．此の試驗では第 1 報の模型に比し鉛直の縮尺と平面の縮尺との比を小にした爲，海底の凹凸の影響は小となり，從つて之を無視して一樣に平らな底面を有するとしても誤差は割合に尠いと考へる．防波堤は厚さ 2 cm の板を以て作り模型全體にはペンキ塗を施した．寫眞（第 10～13 圖）に見る通りである．



第 1 圖 模型平面圖

灣内に相當する部分より水を流すのであるが，水位は上下流 A 及 B（第 1 圖參照）にて測定し常に之を一定に保つ樣にした．流量は上流側にある潛流堰と下流側にある格子戸により調節し，流量測定は下流端に設けた矩形堰に依つた．

試驗方法 上流 A 點に於ける水深を 10 cm とし次の 2 種類の狀態の下に行つた．

	上流に於ける水深 (cm)	A，B 間の水位差 (cm)	流量 (l/秒)		備考
(a)	10	1.25	第 1 案防波堤	19.5	防砂堤なし
			第 2 案 〃	20.5	〃
(b)	10	1.00	第 1 案 〃	18.2	〃
			第 2 案 〃	18.5	〃
(c)	10	1.25			防砂堤あり

實際の平均水深を約 4 m とすれば鉛直方向の縮尺は約 1/40 となる．

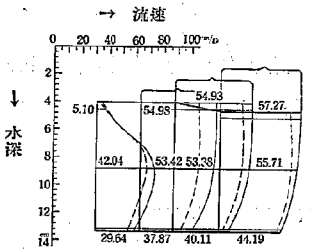
之等の水位差及流量は實際に相當するよりも大であつて略〻第 1 報の場合と同樣であ

1) 2 種の落差にて試驗を行つたのは前にも述べた樣に落差の違ひによつて第 1 案と第 2 案の間の關係が殆ど變化しない事を確める爲である．

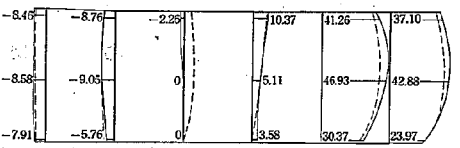
る,[1] 流速及流向測定個所は前と同樣の4つの斷面を選び（第1圖）各斷面毎に平面に於ける間隔 25 cm 毎，深さ約 5 cm 毎に觀測する．

III. 試 驗 結 果

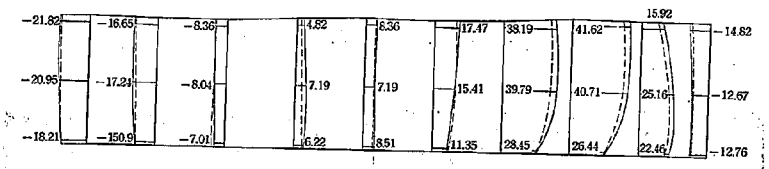
前項 (a) に相當する 4 箇所の斷面に於ける流速分布を第 2～9 圖に示す．この中第 2～5 圖は防波堤第 1 案によるもの，第 6～9 圖は第 2 案による流速である．尙鉛直線の右側に示した場合は順流，左側は逆流である．破線は前項 (b) に相當する場合で之に對する數字は掲げてない．(a) の場合の水表面の渦の狀態は第 10～13 圖の寫眞によつて明らかであるが，底面より 5 cm の深さの點に於て觀測した流向及流速は第 14～21 圖に示した通りである．



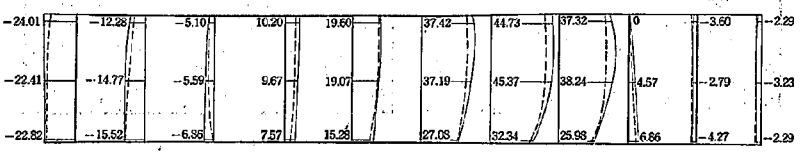
第2圖　防波堤第1案　斷面1



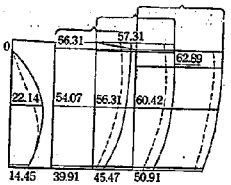
第 3 圖　斷 面 2



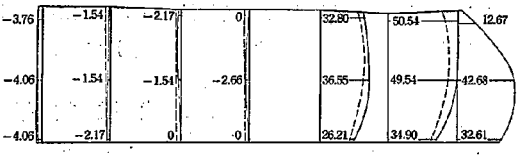
第 4 圖　斷 面 3



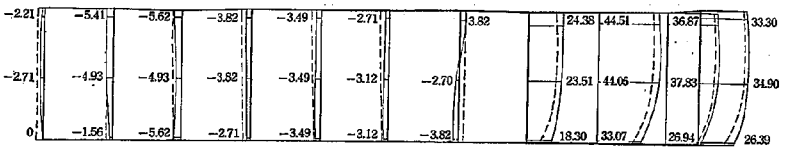
第 5 圖　斷 面 4



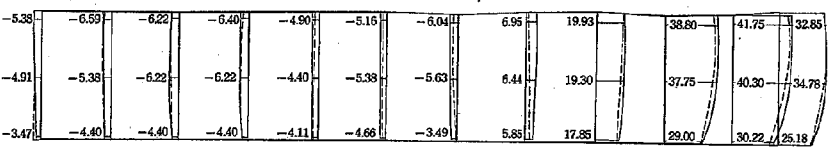
第6圖 防波堤第2案 斷面1



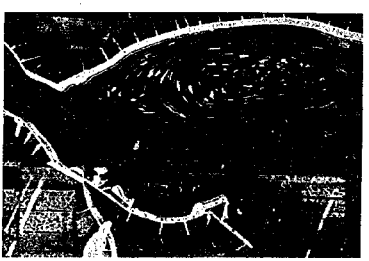
第 7 圖 斷 面 2



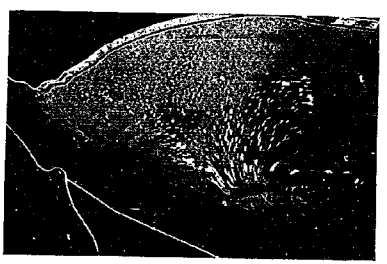
第 8 圖 斷 面 3



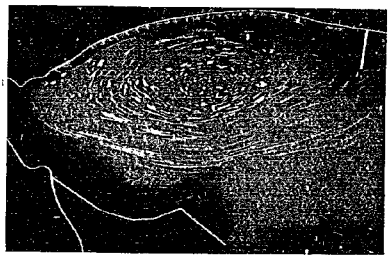
第 9 圖 斷 面 4



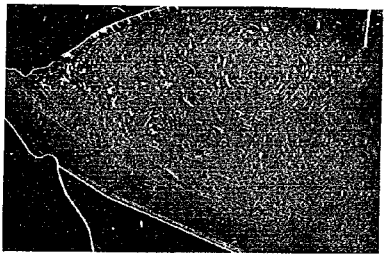
第 10 圖
防 波 堤 第 1 案



第 11 圖
防 波 堤 第 2 案



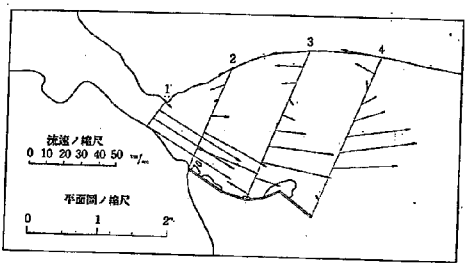
第12圖　防波堤第１案 防砂堤あり



第13圖　防波堤第２案 防砂堤あり

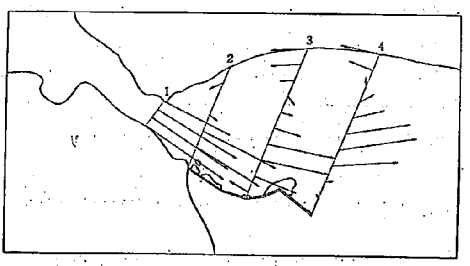
IV. 相　似　律

この試驗の目的は第１報の場合に比し水平にて５倍，鉛直にて約2.5倍の模型に就て行つた試驗の結果が，第１報に擧げた結果と相似關係を有するや否やを見て，之によつて第１報に述べた結論を慥めんとするのである．模型が板張りの構造となつた關係上，第１報の場合の如く海底の形狀をそのまゝに造る事が出來ず，平均水底を定めて一樣水深の水平底模型とした．從つて流向，流速等が完全な相似關係を保ち得ないのは當然であるが，此處には防波堤計畫の第１案と第２案の間の關係が，模型の擴大によつて變化する事がない點を慥める事を第一とするのである．

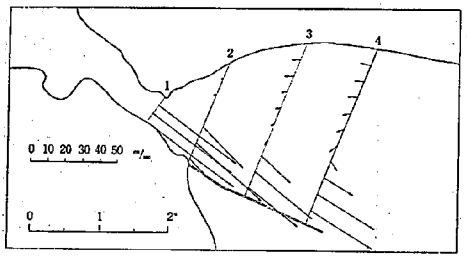


第14圖　第１案 水面流向圖

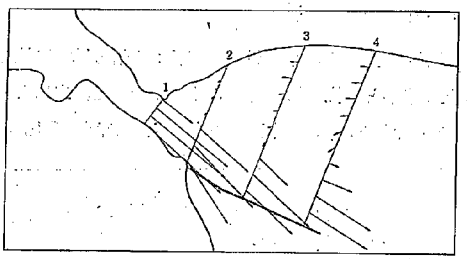
第１報の場合の流速，流量，平均水深，水面勾配，流速係數を夫々 V_1, Q_1, H_1, I_1, K_1, 第２報の場合の之等の諸量を夫々 V_2, Q_2, H_2, I_2, K_2 とし，模型の大さを後者が前者に比し水平にて m 倍，鉛直にて n 倍するものとすれば



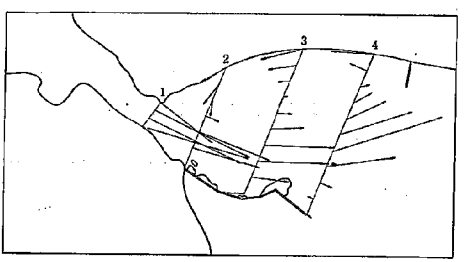
第15圖　第１案 底面より 5cm の深さ



第 16 圖　第 2 案　水面



第 17 圖　第 2 案　底面より 5cm の深さ



第 18 圖　第 1 案　水面　防砂堤あり

$$V_1=K_1\sqrt{2gh_1}\quad 1)$$

$$V_2=K_2\sqrt{2gh_2}=\sqrt{n}\,\frac{K_2}{K_1}V_1$$

この場合は $n=2.5$ であるから

$$V_2=1.58\frac{K_2}{K_1}V_1 \qquad \cdots\cdots(1)$$

尙

$$Q_2=mn\sqrt{n}\,\frac{K_2}{K_0}Q_1$$

$m=5$ であるから上の關係は

$$Q_2=19.8\frac{K_2}{K_1}Q_1 \qquad \cdots\cdots(2)$$

然るに Q_2/Q_1 は實測の結果によれば

第 1 案の時に

$$\frac{19.5}{0.94}=20.8$$

第 2 案の時に

$$\frac{20.5}{0.89}=23.0$$

故に平均して

$\frac{Q_2}{Q_1}=22$ と取れば (2) 式より

$$\frac{K_2}{K_1}=\frac{22}{19.8}=1.1$$

實際に於て K_2/K_1 が如何なる値となつてゐるかは計算し難いから，相似律を的確に成立させる事は困難であるが，K_1 と K_2 は何れも 1 に近い事と K_2 の方が K_1 よりも稍〻大きい事は想定し得るから，相似律に著しい誤りのない點だけは確言する事が出來る．

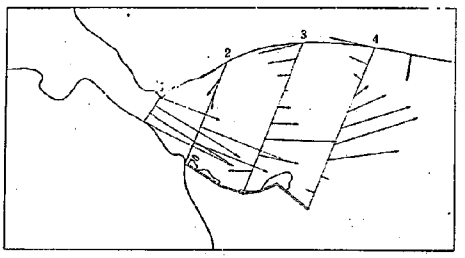
1)　この形の流速公式を採用する事に關しては，土木試驗所報告第 31 號「浦戸港々口の潮流に關する試驗（第 1 報）」146 頁參照．

流速公式に Chézyg 公式の形を用ひその係數を C_1, C_2 として同樣に相似律の成立する爲の條件を求めれば

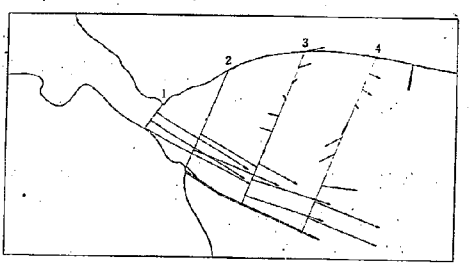
$$\frac{C_2}{C_1}=15.7$$

となり之も大體當を得た値である.

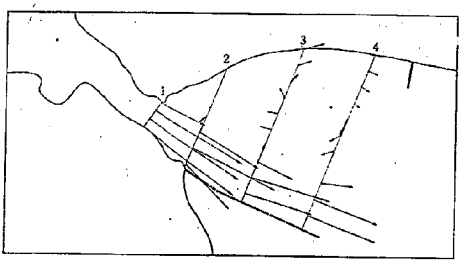
渦の形に就て比較すれば第1報及び第2報中に所載の寫眞より，防波堤第1案，第2案共に第2報の場合の方が渦がやゝ北に寄つてゐる．之は第2報にては水底の形が水平となつてゐる爲に北側の流速が大きくなり，從つて渦の中心は北に寄る傾向を生ずる爲であつて，渦の中心位置は第1報の方がむしろ正しいものと見らるべきであらう.



第19圖　第1案　底面より 5cm の深さ　防砂堤あり



第20圖　第2案　水面　防砂堤あり



第21圖　第2案　底面より 5cm の深さ防砂堤あり

V. 結　　論

第1報に述べた結論を此處に簡單に繰返へせば

（1）防波堤計畫第2案の實施に當り岩礁を取除いてこの部分の水深を 7～8 m とすれば潮流の最大流速は第1案よりも若干大きくなる.

（2）第2案の方が航路が南方に偏し，堆砂を生ずべき位置の水深が大きいから，堆砂の爲に航路を閉塞される惧れが少い.

（3）北側の渦は第2案の方が形は大きいが，その中の流速は甚しく小さいからその部分の土砂の沈澱が著しい.

（4） 狹搾部の流速は兩者共大差なし.

之等の結論を順次に本試驗の結果と對照すれば

（1） 實測による最大流速は第1案にて 57.27 cm/sec, 第2案にて 62.89c m/sec (但し之は何れも狹搾部の流速である) となり, 第 2 案の方が少し大きくなつてゐる.

（2） 之は明瞭である.

（3） 之も流向圖にて比較すれば明かである.

（4） 兩者大差はないが第 2 案の場合の方が常に少し大きくなつてゐる.

之等は何れも第 1 報の結論と憧着してゐないが, 流速の點では第 1 報にては兩者殆ど差がなかつたものが, 本試驗にては第 2 案の方が常に流速が少し大きくなつてゐる. 流量の點より見てもこの場合は第 1 案にて 19.5 l/sec, 第 2 案にて 20.5 l/sec であるから第 2 案の方がやゝ大きい. この差は A, B 間を流れる間の損失水頭によるものが大部分であるから, 少し大きすぎる樣にも思はれ從つて多少の實驗上の誤差も含まれてゐると考へられる. 故に航路の流速に關しては兩案の間に本試驗に現れた程の差を期待する事は稍〻大に失する恐れがある.

防砂堤は設けた場合と之を省略した場合の兩者に就て試驗を行つてゐるが, この程度の大きさの防砂堤では航路北側の渦の形以外には潮流に影響する事は見られない. 故に東方よりの漂砂は殆どないとの見地からすれば餘り重要性はないと思はれる.

その他, 本港口の潮流等の實狀等に關しては山本將雄氏「浦戸港口漂砂問題研究及び港口計畫論」[1] 中に詳述してある. 尙波浪等の問題に關しても同論文中に論じられてゐる.

本試驗は昭和 10 年 9 月より 11 年 2 月に亘り本試驗所赤羽分所にて行ひ, 主として所員岸田史雄氏を煩はした.

1) 土木學會誌第 22 卷 第 4 號 P. 438～444

アスファルト混合タールの鋪装材としての性質

内務技師　西　川　榮　三

目　次

[1] 試　料……(1)
[2] 比　重……(2)
[3] エングラー比粘度……(3)
[4] タール粘度……(5)
[5] 浮游試験……(6)
[6] 軟化點……(6)
[7] 針　度……(7)
[8] 引火點及燃燒點……(8)
[9] 蒸溜試驗; タール酸; ナフタリン; 遊離炭素等……(8)
[10] 規格案F及Gとアスファルトとのタールとの性質比較……(8)
[11] 鋪裝用タール規格案の考察……(11)
[12] 要　約……(12)

[1] 試　料

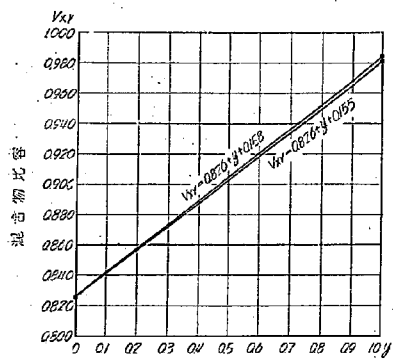
試料としてはタール (No. 2126) は略ゝ加熱路面處理に使用し得る規格案E程度のもの1種，石油アスファルトとしては針度40～50 (No. 2298) 及針度150～200 (No. 2300) の2種を選んだ．本試驗は，上記2種のアスファルトを10～90%の割合に混ずることに依りて生ずる種々の混合物の性質を研究せるものである．

試料の性質は第1表の如くである．本試驗と前報告中の混合物 (其の2) とに於ける相違は，同じくE程度のタールを使用したるも，其のタールの性質及製法が著しく異る點である．卽ち本實驗に使用したるタール (No. 2126) は比較的に低溫溜出分少く，これに比して高溫溜出分は多く，この點より見る時は本タールは，コークス爐タールの蒸溜殘留物

第1表　試料の性質

項目		タール	アスファルト	
		No. 2126	No. 2298	No. 2300
1. 比重	15°/15°C	1.211	1.020	1.016
	25°/25°C	1.207	1.016	1.012
2. 比粘度	80°C	15.2	—	—
	100°C	5.0	—	71.0
	120°C	2.6	50.9	24.3

項目			タール	アスファルト	
			No. 2126	No. 2298	No. 2300
3. タール粘度	150℃		—	—	—
	30℃		170	—	—
	35℃		67	—	—
	80℃		—	39	11
4. 浮游試驗	32℃		170	—	—
	50℃		65	1350	282
5. 軟化點	R&B	℃	16.5	51.0	38.5
6 凝固點		℃	—	—	—
7. 針度	25℃		—	43	168
8. 延性	25℃		—	>100	>100
9. 引火點	開放式	℃	130	281	246
10. 燃燒點		℃	145	—	—
11. 蒸溜試驗	0—170℃	%	0.17	—	—
	170—270℃		4.10	—	—
	270—300℃		7.71	—	—
	300℃ 殘留物		87.99	—	—
12 300℃ 殘留物軟化點		℃	38.0	—	—
13. タール酸		容積 %	0.41	0.0	0.0
14. ナフタリン		%	0.02	0.0	0.0
15. 溶解性	CS_2	%	87.58	99.95	99.93
16. 遊離炭素		%	12.38	—	—
17. 灰分		%	0.04	—	—



第 1 圖 アスファルト混合タールの比容
タール比容=0.826
アスファルト比容=0.981 or 0.984

をアントラセン油を以てカットバックし〔製造せられたものゝ如くである.

[2] 比重

前報告に於て, タール及アスファルト混合物の比重は,

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

なる式より算出し得ることを證明し得たるを以て, 今回は特に比重の測定を行はなかつた.

但し上式中, S_{XY} は混合物比重, S_T, S_A は夫々タール及アスファルトの比重, S_{T-A} は兩比重の差, γ はアスファルトの

含有率である．(1)式により本試驗に使用したるアスファルト混合タールの比重を求むれば第 2 表の如くである．

尙 (1) 式より (2) 式を得，但し V_{XY} は混合物比容

$$V_{XY}=V_T+\gamma V_{A-T}\cdots\cdots(2)$$

V_T はタールの比容，V_{A-T} はアスファルト及タールの比容の差である．この關係を圖示すれば第 1 圖の如く直線を以て混合物比容を表し得るから，之より其の逆數を取りて直ちに混合物比重が算出せられる．

卽ち $V_T=\frac{1}{S_T}=\frac{1}{1.211}=0.826$; $V_A=\frac{1}{S_A}=\frac{1}{1.020}$ or $\frac{1}{1.016}=0.981$ or 0.984

$V_{A-T}=0.155$ or 0.158 なるを以て，

$V_{XY}=0.826+0.155\gamma$ (アスファルト 40～50)

或は $V_{XY}=0.826+0.158\gamma$ (アスファルト 150～200)

第 2 表　アスファルト混合タールの比重　15°/15°C

(アスファルト No. 2298 の場合)

タール %	100	90	80	70	50	30	10	0
アスファルト %	0	10	20	30	50	70	90	100
S_T or S_A	1.211	—	—	—	—	—	—	1.020
S_T. S_A	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235
S_{T-A}	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191	0.191
γS_{T-A}	0.000	0.019	0.038	0.057	0.096	0.134	0.172	0.191
$S_A+\gamma S_{T-A}$	1.020	1.039	1.058	1.077	1.116	1.154	1.192	1.211
S_{XY}	1.211	1.189	1.167	1.146	1.106	1.070	1.036	1.020

(アスファルト No. 2300 の場合)

タール %	100	90	80	70	50	30	10	0
アスファルト %	0	10	20	30	50	70	90	100
S_T or S_A	1.211	—	—	—	—	—	—	1.016
S_T. S_A	1.231	1.231	1.231	1.231	1.231	1.231	1.231	1.231
S_{T-A}	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195
γS_{T-A}	0.000	0.020	0.039	0.059	0.100	0.136	0.175	0.195
$S_A+\gamma S_{T-A}$	1.016	1.036	1.055	1.075	1.116	1.152	1.191	1.211
S_{XY}	1.211	1.188	1.167	1.145	1.103	1.068	1.033	1.016

[3] エングラー比粘度

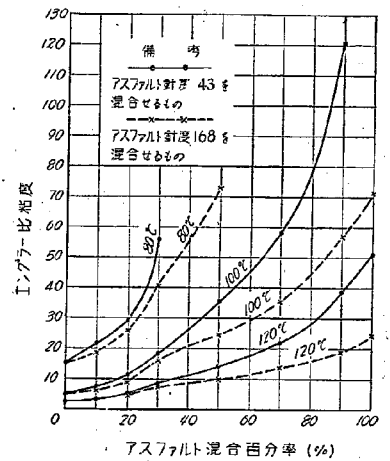
タール・アスファルト混合物につき，50°C，80°C，100°C，120°C 等の溫度に於ける，エ

ングラー比粘度は第 3 表及第 2 圖の如くである.

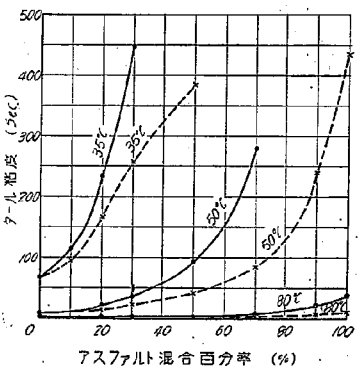
第 3 表 エングラー比粘度

アスファルト種別	測定温度	タール 100	タール 90 アスファルト 10	タール 80 同左 20	タール 70 同左 30	タール 50 同左 50	タール 30 同左 70	タール 10 同左 90	アスファルト 100
温度 43	50°C	257	—	—	—	—	—	—	—
	80°C	15.2	21.2	28.9	55.9	122	—	—	—
	100°C	5.0	7.2	10.8	18.5	35.7	58.1	120.7	—
	120°C	2.6	3.2	5.0	8.4	14.1	22.0	38.7	50.9
針度 168	50°C	257	—	—	—	—	—	—	—
	80°C	15.2	18.9	25.7	40.5	72.9	—	—	—
	100°C	5.0	6.3	8.6	16.0	24.3	35.6	57.2	71.0
	120°C	2.6	3.0	4.2	7.1	10.0	14.0	18.9	24.3

卽ちアスファルト混合量 20% 以下にては, アスファルトの針度の相違は, 混合物の比粘度にはあまり影響がない. 然しながらアスファルト混合量 30% 以上に至れば其の差は漸く顯著となる事は前回試驗結果 (報告第 32 號 p. 103) と略ゝ同樣である.



第 2 圖 タール・アスファルト混合物比粘度



第 3 圖 タール・アスファルト混合物タール粘度 (備考は第 2 圖と同じ)

規格案 F の比粘度は 100°C に於て 5.0~8.0 程度で, 之を上記のタール・アスファルト混合物中に求むれば, アスファルト量 10~20% の間に於て得られる. 又規格案 G の比

粘度は 120℃ に於て 3.0～8.0 であるが，之をタール・アスファルト混合物中に求むれば，アスファルト量 10～30% の間に於て得られる．即ち比粘度の上より言へば，アスファルト量 30% 以内に於て，規格案 F 或は G のいづれに對する混合タールをも得らるゝ事となる．

[4] タール粘度

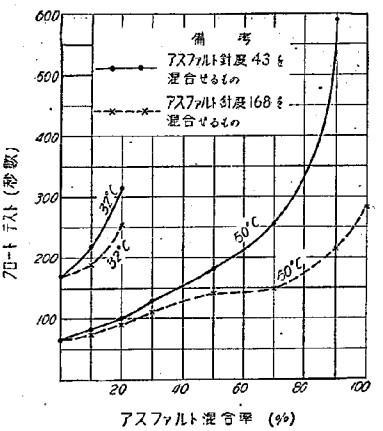
タール・アスファルト混合物につき，35℃，50℃，80℃ 等に於てタール粘度を測定した結果は第 4 表及第 3 圖に示すが如くである．

第 4 表　タール粘度

アスファルト種別	測定温度	タール 100	〃 90 アスファルト 10	〃 80 〃 20	〃 70 〃 30	〃 50 〃 50	〃 30 〃 70	〃 10 〃 90	〃 0 アスファルト 100
		sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
針度 43	35℃	67	114	233	448	960	—	—	—
	50℃	8	11	20	34	94	280	1320	—
	80℃	1	1	1.2	2	3.5	7.5	21.5	39
針度 168	35℃	67	95	168	258	385	810	—	—
	50℃	8	10	15	23	42	85	240	435
	80℃	1	1	1	1.5	2.5	4	8	11

35℃ 及 50℃ のタール粘度の測定により，アスファルトの混合が，常温附近の混合物硬度を硬質ならしむることが明かに知られる．而してアスファルト量 20% 位迄は，アスファルトの針度の相違はあまり影響しない．30% 以上に至れば針度の相違は明かに影響することを示して居る．

規格案 F のタール粘度は 35℃ 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量 10～20% に於て得られる．規格案 G 程度に於ては タール粘度を規格して居ないが，タール粘度 35℃ の實測値は 350以上，タール粘度 50℃ 實測値は 148 以下 20 位までである．この程度のものはアスファルト 20～30% の添加によりて得らる．



第 4 圖 浮 游 試 驗

[5] 浮游試驗

タール・アスファルト混合物につき 32℃ 及 50℃ に於ける浮游試驗を行ひたるに，其の成績は第 5 表及第 4 圖に示すが如くである．

第 4 圖に見る如く，アスファルト混合量 20% 位迄はアスファルトの量の增加に從つて浮游試驗數値は徐々に增加し，アスファルトの稠度の相違は其の影響が比較的少いが，20% 以上に於てはアスファルド量の增加に從つて，アスファルト稠度の影響が益〻大となる．

第 5 表　浮游試驗成績

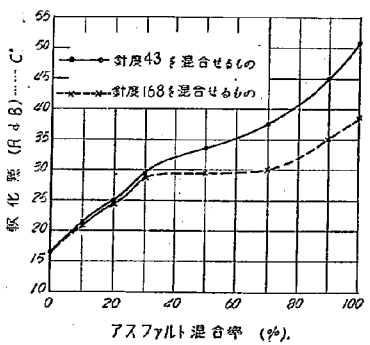
アスファルト種別	測定温度	タール 100	〃 90 アスファルト 10	〃 80 〃 20	〃 70 〃 30	〃 50 〃 50	〃 30 〃 70	〃 10 〃 90	〃 0 アスファルト 100
		sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec	sec
針度 43	32℃	170	217	315	—	—	—	—	—
	50℃	65	83	100	130	180	255	590	1350
針度 168	32℃	170	190	256	—	—	—	—	—
	50℃	65	74	90	113	139	147	215	282

[6] 軟化點 (R & B)

タール・アスファルト混合物の軟化點 (R & B) は次の如し．

第 6 表　軟化點 (R & B) ……℃

アスファルト種別	タール 100	〃 90 アスファルト 10	〃 80 〃 20	〃 70 〃 30	〃 50 〃 50	〃 30 〃 70	〃 10 〃 90	アスファルト 100
	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃	℃
針度 43	16.5	21.5	25.0	29.5	33.5	37.5	45.0	51.0
針度 168	16.5	21.0	24.5	29.0	29.5	30.0	35.0	38.5



第 5 圖 軟 化 點

混合物の軟化點はアスファルト量の增加に從つて高まるが，アスファルト量 30%位迄は，アスファルトの稠度の變化はあまり影響がない．50% 以上に至ればアスファルトの稠度は著しく混合物の軟化點の上に影響して來る．而して軟化點の上より見て規格案 F 程度のタールに相當するものを求むれば 10～20% の間のアスファルト量にて得られる．アスファルトを 30% 混じたものは，軟化點のみより見れば規格案 G タールに相當する．針度 168 の混合物では

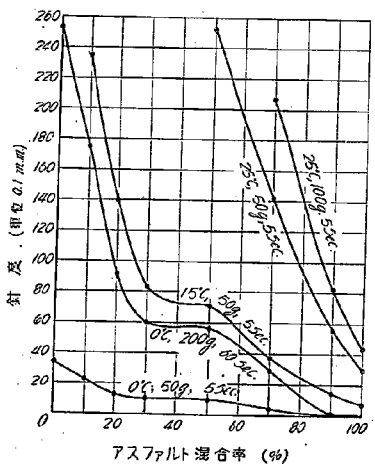
アスファルト量 30～70% の間に於て軟化點上昇率が割合に少いのは注目に價する.

[7] 針　度

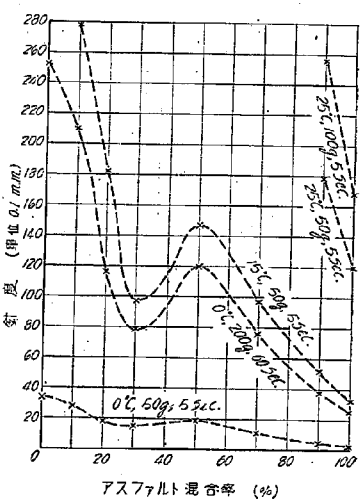
タール・アスファルト混合物につき, (0℃, 50 g, 5 sec); (0℃, 200 g, 60 sec); (15℃, 50 g, 5 sec); (25℃, 50 g, 5 sec); (25℃, 100 g, 5sec) の條件の下に針度を測定せる結果は第 7 表の如くである.

第 7 表　針　度

アスファルト種別	測定條件	タール 100	タール 90 アスファルト 10	タール 80 同左 20	タール 70 同左 30	タール 50 同左 50	タール 30 同左 70	タール 10 同左 90	アスファルト 同左 100
針度 43	0℃, 50g, 5sec	34	23	13	10	10	4	1	0
	0℃, 200g,60sec	253	173	92	60	56	29	12	7
	15℃, 50g, 5sec	—	235	140	82	71	37	13	7
	25℃, 50g, 5sec	—	—	—	310	252	142	56	30
	25℃, 100g, 5sec	—	—	—	—	—	206	82	43
針度 168	0℃, 50g, 5sec	34	28	18	15	19	11	5	3
	0℃, 200g,60sec	253	210	116	79	120	75	38	25
	15℃, 50g, 5sec	—	278	181	97	147	97	52	32
	25℃, 50g, 5sec	—	—	—	—	—	—	179	120
	25℃, 100g, 5sec	—	—	—	—	—	—	256	168



第 6 圖　針　度
(但しアスファルト針度 43 を混合せるもの)

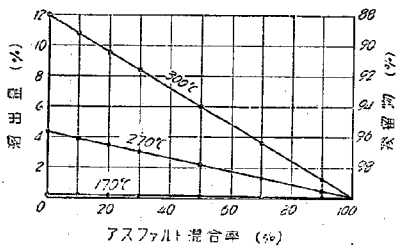


第 7 圖　針　度
(但しアスファルト針度 168 を混合したるもの)

大體に於てアスファルト量が增加すれば，硬質となる傾向あるが，10～30% の混合量に於ては，針度に著しい影響が現れて居る．然るに針度 43 のアスファルトの場合は混合量 30～50% の間は，その變化比較的少く，針度 168 のアスファルトの場合は，30～70% に於て不規則な變化を示して居る．

[8] 引火點 及 燃燒點

アスファルト混合タールの引火點及燃燒點は一般に原タールより高いが，アスファルト量 30% 程度までは，甚しい相違がないからその試驗は行はなかつた．



第 8 圖 蒸溜溜出量

[9] 蒸溜試驗; タール酸; ナフタリン; 瀝青全量; 遊離炭素等

これ等の項目に就ては，其の大略値は計算により求め得べきを以て特に試驗を行はなかつた．蒸溜試驗の計算値を圖示すれば第 8 圖の如くである．

タール酸，ナフタリン，瀝青全量，遊離炭素の計算値を示せば第 8 表の如くである．

第 8 表 タール酸; ナフタリン; 瀝青全量; 遊離炭素

	タール 100	タール 90 アスファルト 10	タール 80 アスファルト 20	タール 70 アスファルト 30	タール 50 アスファルト 50	タール 30 アスファルト 70	タール 10 アスファルト 90	アスファルト 100
タール酸 vol%	0.41	0.37	0.33	0.29	0.21	0.12	0.04	0.00
ナフタリン %	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.006	—	0.00
瀝青全量 %	87.6	88.8	90.1	91.3	93.8	96.3	98.8	99.9
遊離炭素 %	12.4	11.2	9.9	8.7	6.2	3.7	1.2	0.00

卽ちタール酸，ナフタリン，遊離炭素等は，アスファルトの混合により當然減少し，瀝青全量は增加し，夫等の關係に於てはアスファルト混合の有利なるは明かである．

[10] 規格案 F 及 G とアスファルト混合タールとの性質比較

上記の如く，規格案 E 規程のタールにアスファルトを 0～30% 添加混合すれば，其の性質は規格案 F 或は G 程度のものに變化し，且つ其の鋪裝材としての性能は諸種の點に於て改良せられる．上記のアスファルト混合タールの諸性質を之等の規格案 F 及 G と比較し，且つ報告第 32 號に既報せるアスファルト混合タールの性質と對比すれば第 9 表及第 10 表の如くになる．

カット・バック・タール No. 2126 にアスファルトを 10～15% 程度混合したるものは，す

第 9 表　規格案 F とアスファルト混合タールとの比較

項目	規格案 F	アスファルト混合カットバックタール（今回試験のもの）				アスファルト混合ガスタール（既報のもの）			
		アスファルト 10%		アスファルト 20%		アスファルト 10%		アスファルト 20%	
		a_1	b_1	a_2	b_2	A_1	B_1	A_2	B_2
1. 比重　15°/15°C	1.16～1.24	1.188	1.189	1.167	1.167	1.163	1.165	1.143	1.148
2. エングラー比粘度									
80°C	—	18.9	21.2	25.7	28.9	15.8	18.6	26.1	27.5
100°C	5.0～8.0	6.3	7.2	8.6	10.8	6.6	6.3	10.1	10.8
120°C	—	3.0	3.2	4.2	5.0	3.2	3.0	5.4	5.0
3. タール粘度									
30°C	—								
35°C	70～300	95	114	168	233	56	63	160	127
4. 浮游試験									
32°C　sec	—	190	217	256	315	240	158	—	—
50°C　sec	—	74	83	90	100	90	67	130	83
5. 軟化點 R&B　°C	—	21.0	21.5	24.5	25.0	22.5	21.5	28.5	23.5
6 引火點　°C	>110	> 130	> 130	> 130	> 130	> 105	> 105	> 105	> 105
6. 燃燒點　°C	—	> 145	> 145	> 145	> 145	> 123	> 123	> 123	> 123
8. 水分　%	< 0.5	—	—	—	—	痕跡	同左	同左	同左
9. 蒸溜試験　%									
0～170°C	0～ 1	0.15	0.15	0.14	0.14	0.4	0.4	0.35	0.35
170～270°C	3～14	3.69	3.69	3.28	3.28	13.1	13.1	11.7	11.7
270～300°C	3～ 8	6.94	6.94	6.17	6.17	6.3	6.3	5.6	5.6
300～ 殘留物	> 78.0	89.22	89.22	90.41	90.41	80.1	80.1	82.3	82.3
10. 殘留物軟化點　°C	< 65.0	—	—	—	—	—	—	—	—
11. タール酸　vol%	< 2.0	0.37	0.37	0.33	0.33	2.65	2.65	2.36	2.36
12. ナフタリン　%	< 3.0	0.02	0.02	0.02	0.02	1.50	1.50	1.34	1.34
13. 溶青 CS_2　%	> 80.0	88.8	88.8	90.1	90.1	88.8	88.8	90.1	90.1
14. 遊離炭素　%	< 20.0	11.2	11.2	9.9	9.9	11.2	11.2	9.9	9.9

備考　a_1, a_2 はアスファルト針度 168, A_1, A_2 は針度 163, b_1, b_2, は針度 43; B_1, B_2 は針度 45 を混合したものである.

べての點に於て規格案 F に合格する. 之を F 程度の純タールに比較すれば, 其の凝固點低く, 低溫の場合に衝撃抵抗性大なるのみならず, 溶青分多く, 膠着性に富み, 耐風化性大なる特徴を有し, 其の他全般的に鋪裝材としての性質は改良せられて居る. ガス・タール No. 2122 に對し同程度のアスファルトを混合せるものと之とを比較すれば, 原タールの常溫粘度が相當相違あるにより, 混合タールに於ても, 常溫粘度に幾分の相違を示して居るが, いづれも其の程度は F 相當品と考へられ, 詳細にその各性質を對比すれば, アス

ファルト混合カット・バック・タールの方が幾分成績良好なるも，大體に於て兩者とも同程度のタールとして，加熱透入或は加熱混合によるマカダム鋪裝用の良膠着材となし得る．

第 10 表 規格案 G とアスファルト混合タールとの比較

項目	規格案 G	アスファルト混合カット・バック・タール（今回試驗のもの）					アスファルト混合ガス・タール（既報のもの）				
		アスファルト 20%		アスファルト 30%		アスファルト 50%	アスファルト 20%		アスファルト 30%		アスファルト 50%
		a_2	b_2	a_3	b_3	b_5	A_2	B_2	A_3	B_3	B_5
1. 比重 15°/15°C	1.2～1.25	1.167	1.167	1.145	1.146	1.103	1.143	1.148	1.125	1.131	1.115
2. エングラー比粘度											
100°C	—	8.6	10.8	16.0	18.5	24.3	10.1	10.8	14.4	18.0	31.5
120°C	3.0～8.0	4.2	5.0	7.1	8.4	10.0	5.4	5.0	7.2	7.4	13.5
3. タール粘度											
35°C	—	168	233	258	448	385	160	127	245	225	665
50°C	—	15	20	23	34	42	12	13	21	21	60
80°C	—	1	1.2	1.5	2	2.5	1	1.5	2	2	2.5
4. 浮游試驗											
50°C sec	100～220	90	100	113	130	139	130	83	183	107	160
5. 軟化點 °C	25～35	24.5	25.0	29.0	29.5	30	28.5	23.5	34.0	27.0	31.0
6. 引火點 °C	>115	>130	>130	>130	>130	>130	>105	>105	>107	>107	>107
7. 燃焼點 °C	—	>145	>145	>145	>145	>145	>123	>123	>125	>125	>125
8. 水分 %	<0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	痕跡	同左	同左	同左	同左
9. 蒸溜試驗 %											
0～170°C	0～1	0.14	0.14	0.13	0.13	0.09	0.35	0.35	0.31	0.31	0.22
170～270°C	2～10	3.28	3.28	2.87	2.87	2.05	11.7	11.7	10.2	10.2	7.3
270～300°C	3～8	6.17	6.17	5.39	5.39	3.86	5.6	5.6	4.9	4.9	3.5
300°C 殘留物	> 81	90.41	90.41	91.61	91.61	94.00	82.3	82.3	84.5	84.5	88.9
10. 殘留物軟化點 °C	< 65	—	—	—	—	—	<53	<53	—	—	—
11. タール酸 vol%	< 2	0.33	0.33	0.28	0.28	0.21	2.36	2.36	2.06	2.06	1.47
12. ナフタリン %	< 3	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	1.34	1.34	1.17	1.17	0.84
13. 溶青 CS_2 %	> 78	90.1	90.1	91.3	91.3	93.8	90.1	90.1	91.3	91.3	93.7
14. 遊離炭素 %	< 22	9.9	9.9	8.7	8.7	6.2	9.9	9.9	8.7	8.7	6.3
15. 凝固點	—						<−23	<−23	>−23	<−23	<−20

第 10 表によれば，カット・バック・タール No. 2126 及び 20～30% のアスファルトの混合材中 b_2, a_3 は比重を除き，規格案 G に合格して居る．a_2 は僅かに軟であり，b_3 は加熱時粘度が少しく高く，アスファルト 50% を混合せる a_5 は加熱時粘度高きに失する．a_2, b_2, a_3, b_3 等をガス・タール No. 2122 に 20～30% のアスファルトを混合せるもの A_2, B_2, A_3, B_3 等と比較すれば，原タールを異にするを以て，常温粘度に幾分の相違はあるが，大體に於て兩者共同程度の稠度と考へられ，G 程度或は之に近似の性質

を示し，之を詳細に比較すれば，アスファルト混合カット・バック・タールの方が幾分良好なるも，兩者共，加熱混合マカダム或はタール・コンクリート舗装用材となし得るもので，之を同程度の純タールに比較すれば，F 相當品について述べたると同様の諸長所を有する．

[11] 舗装用タール規格案の考察

アスファルト混合量 20%以内の混成タールは，其の比重，溜出量，300℃ 殘留物の量，

第 11 表　舗装用タール規格案（但し混成タール）

項目	FA 純タール F 相當品	GA 純タール G 相當品
1. 一般性質	タールに 10～20% の石油アスファルトを混合したるものにして，其の質均等なるものたるべし．	
2. 比重 15°/15°C	1.14～1.24	1.15～1.25
3. エングラー比粘度 100°C	5.0～8.0	——
120°C	——	3.0～8.0
4. タール粘度 50cc 35°C ……sec	70～300	——
5. 浮游試験 50°C ……sec	——	100～220
6. 軟化點 R & B ……°C	——	25～35
7. 引火點 開放式 ……C	≧ 105	≧ 110
8. 水分 ……%	≦ 0.5	≦ 0.5
	110°C に於て泡起せざるべし。	110°C に於て泡起せざるべし
9. 蒸溜試験 ……重量%		
0～170°C	0.0～ 1.0	0.0～ 1.0
170～270°C	3.0～14.5	2.0～12.5
270～300°C	2.5～11.0	2.5～ 8.0
300°C 殘留物	≧ 78	≧ 79.0
10. 300°C 殘留物軟化點 R & B ……°C	≦ 65	≦ 65
11. タール酸 ……容積%	≦ 4.0	≦ 2.0
12. ナフタリン ……重量%	≦ 4.0	≦ 3.0
13. 遊離炭 CS_2 ……%	≧ 82.0	≧ 80.0
14. 遊離炭素 CS_2 ……%	≦ 18.0	≦ 20.0

備考　1. 上記規格案中の數値は，其の範圍内に於て，氣候，風土，施工時期，施工法等の差異を斟酌し，適當に變更指定するを妨げず．

2. 本規格案に對する試驗法は，本所報告舗装用タール及ピッチ標準試驗方法に從つて行ふものとす．タール粘度の試驗は，同報告中 48～49 頁の方法による．

3. タール酸，ナフタリンの量は低き程可なるも，暫く上記の如く定む．其の特に低きを要む場合は，更に嚴格に指定すべし．

其の他の點に於て，純タールとは多少相違して居るが，これに對する規格は，大體に於て純タール規格に準ずることを得るもので，單に小許の變更を行ふ程度で充分である．鋪裝用タール規格案の一部として其の變更要項を掲ぐれば第 11 表の如くである，第 11 表中，太字は變更個所を示したものである．(本所報告，第 31 號 84 頁 第 30 表及其の備考 6 參照)

第 11 表中 FA は，純タール F に相當し，GA は G に相當する鋪裝用タール (但し混成品) である．

タール FA は粘稠性にして，蒸發性成分少く，常温にて，流動極めて緩慢である．本タールは加熱混合マカダム，加熱透入マカダム等の工法及これ等の工法によるブラック・ベース用に適する．之等の工法に使用するには 110°C 前後に加熱熔融するを要し，使用後は其の冷却によりてよく膠着性を發揮し，碎石の噛み合せと相俟ちて安定なる鋪裝を與ふるものである．施工後 12 時間を經て交通に開放して差支ないが，一兩日は時々輾壓整形するを可とする．ブラック・ベースの場合は輾壓完了後直ちに上層を施工して差支ない．

タール GA は，FA より一層蒸發性成分少く，常温に於ては殆ど半固狀を呈し，加熱タール・コンクリート，加熱混合マカダム及ブラック・ベース等に使用せられる．使用時の熔融温度は 120°C 前後を可とす．使用後は冷却により半固狀態に戻り，よく膠着性を發揮し安定なる鋪裝を與へる．施工後鋪裝の內部が充分冷却すれば，直ちに交通に開放して差支ない．本タールは相當寒冷の地方にも用ゐることが出來る．

[12] 要 約

上記の實驗及報告第 32 號に掲載せる研究の結果を總括すれば次の如く推論することが出來る．

1. タールにアスファルトを混合すれば，タール及アスファルトの稠度竝に配合割合の如何により，混合物の稠度は種々に變化するもので，大體に於ては，アスファルト量多き程，硬質となる傾向を認むるも，其の量 20～80% の間に於ては，稠度上に異常變化を示す場合がある．而してこの異常變化は，針度，軟化點，浮游試驗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，豫期せざる硬質の混合物を得る場合もあるを以つて，アスファルト量は通常 20% 以下に限定する必要がある．

3. 然し，アスファルト量 30% 或は其れ以上の場合に於ても甚しき異常變化を示さざることもある．實驗の範圍ではアスファルトが純アスファルト系の製品にして，タールが高沸點油によるカット・バック・タールなる時は，上述の異常變化を認むることが少きが如

きも，この關係は尙，今後の研究を要する．實驗中多少パラフィン系性質を併有するアスファルトを混合せる場合及びタール中に低沸點油多き場合に異常變化が多く認められて居る．

4. 故にアスファルト量 20% 以上の混合物に於て，著しき異常變化を認めざる場合に限り，之を鋪裝用材に供することを得べきも，一般原則としては，2 項に言へる所に據るべきである．

5. 規格案 E 或は F 程度のタールに針度 40～200 程度のアスファルト 10～20 %を混合すれば，夫々 F 或は G 程度の常溫及加熱時稠度を有する混合タールが得られる．この混合タールを，同程度の純タールと比較すれば，其の凝固點低く，溫度に對する感受性少く，遲青量に富み，タール酸，ナフタリン等の不要成分少く，且つ膠着性に富むを以て鋪裝材として一層優良化せられてゐる．

6. 規格案 G に相當する混成タールは E 程度のタールに針度40～200のアスファルト 20～30% を混合することによりても造り得るが，之には 4 項の注意を必要とする，かくして得らるゝ混合タールも，5 に於て述べたるが如き長所を有する．

7. タールに混合すべきアスファルトは，純アスファルト系製品を可とし，同系統のアスファルトに於ては，針度大なるものを選ぶ方が，混合操作其の他の取扱ひ上便宜が多いが，混合量 20% 以内にして針度 40～200 の範圍に於てはアスファルトの針度の影響は，比較的少い．

アスファルト混合量がこれより大なる場合には，混合量の增加に從つて，針度の影響が著しくなる．

8. 混成タールを對照として鋪裝用タール規格案を考察するに，大體に於て其の規格は純タール規格に準ずることを得，小許の變更を行ふ程度で充分である．(第 11 表參照)

9. 混成タールは，5 項及 6 項の如き長所を併有するを以て，使用法容易であり，使用範圍も廣く，安定度も良好なる鋪裝を與へ，且つ乳劑原料タールとしても適當して居る．

附　記　本實驗には山下芳雄氏の勞多し附記して之を謝す．

鋪裝コンクリートの力學的性質に關する試驗

內務技師　藤井眞透

目　次

I　總　說 …… (1)
［1］緒　言 …… (1)
［2］試驗方法 …… (2)
［3］混合材の性質 …… (3)
II　基層コンクリートに關する試驗 …… (4)
［4］序　說 …… (4)
［5］基層コンクリートの引張强度及壓縮强度 …… (4)
［6］基層コンクリートのモルタル分の强度 …… (5)
［7］基層コンクリートの壓彈性係數 …… (5)
［8］基層コンクリートの張彈性係數 …… (6)
III　上層コンクリートに關する試驗 …… (8)
［9］序　說 …… (8)
［10］上層コンクリートの引張强度及壓縮强度 …… (8)
［11］上層コンクリートのモルタル分の强度 …… (8)
［12］上層コンクリートの壓彈性係數 …… (9)
［13］上層コンクリートの張彈性係數 …… (10)
IV　砂利コンクリートと碎石コンクリートとの比較試驗 …… (11)
［14］序　說 …… (11)
［15］砂利コンクリートの强度 …… (13)
［16］碎石コンクリートの强度 …… (13)
［17］砂利コンクリートと碎石コンクリートとの比較 …… (13)
［18］試驗體の破壞面に關する考察 …… (14)
V　試驗結果の要約 …… (14)

I. 總　說

［1］緒　言

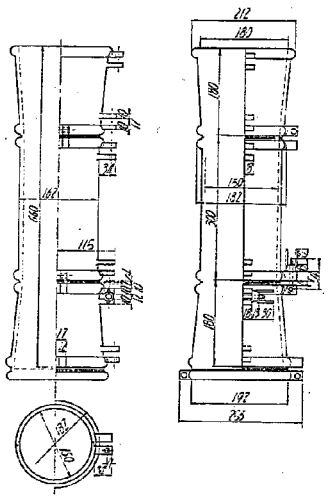
コンクリート鋪裝の氣象作用の影響に對應する設計及工法を研究するに當り，先にその設計の基本に就て論じ，版に及ぼす氣溫の影響竝に施工目地の强さに關する試驗を行ひ，更に骨材の粒子形狀の工學的性質に關する試驗を行つたが，次に骨材の粒子形狀のコンクリートに及ぼす影響に關する試驗を行ひ，進んで鋪裝コンクリートの强度及彈性係數を測定し，以てコンクリート鋪裝設計の資料を得んとして試驗を行つた．

鋪裝コンクリートの力學的性質は基層用及上層用コンクリートに就て各之を行ひ，粒子形狀の影響は碎石コンクリートと砂利コンクリートに就て試驗を行つた．

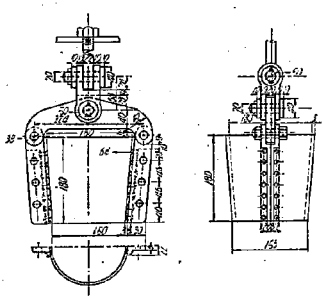
[2] 試驗方法

基層用コンクリートは配合 1:3:7 施工軟度はスランプ 1 cm を標準とし水セメント比 0.80 のものをとり，上層用コンクリートは配合 1:1.5:3 施工軟度 2 cm を標準とし水セメント比 0.41 のものに就て試驗を行つた．

試驗は引張强度と壓縮强度竝にその彈性係數を測定したが，何れも同一配合で同時に混合した試驗體に就て同一材齡の場合に之を行つた．



第 1 圖 引張試驗體型



第 2 圖 引張試驗摑金物

試驗體は各 3 箇を 1 組とし，材齡は 1, 2, 3, 5, 7, 10, 14, 21, 28, 35, 42 日のものにつき試驗を行つた．材齡 2 箇月以上のものに就ては，試驗完了の後に報告する．

彈性係數は前記引張及壓縮强度測定の際にマルテンス，ミラーエキステンソメータを用ひ標點距離 200 mm としその變形を 5000 分の 1 mm まで測定し，之より彈性係數を算定した．

壓縮試驗體はコンクリート標準試驗型を用ひた．

引張試驗は從來圓筒形又は長方形のものに就て行はれたがその例未だ少く，標準型も制定されず，獨逸オッツエン教授がハノーバー大學で行つたものは 40 cm×8 cm の斷面を有し長さ 120 cm その兩端の 2 面は頸部と平面をなし，之と直角の 2 面は摑金物を以て保持し得る樣に擴げられた形であり，米國道路局では圓筒形でその端部を圓錐狀に擴大したものを用ひた．

本試驗では第 1 圖に示すが如く，圓筒形をとり，中央部の長 30 cm の部分は徑 15 cm とし，兩端部は長 18 cm の部分を次第に徑を增大せしめて徑 18 cm に達せしめ，全延長 66 cm のものを用ひた．

引張試驗型及その摑金物は第 1 圖及 2 圖

に示すが如し.

引張試驗體の製作は本所コンクリート壓縮試驗標準方法に準じ, 約3個分宛を手練り法により混合し之を 8 層に填充し, 層毎に徑 16 mm 長 80 cm 重量 1.25 kg の鐵棒でその一端約 3 cm の間を鈍く尖らしたもので 30 回宛搗きて裝入し, 上面は鏝で均した. 製作後 3 日目に型を取外し, 之を水中で養生した.

試驗は之を水中から取出して表面の水分を拭きとりて直ちに之を行つた.

[3] 混合材の性質

(1) **砂利**　砂利は茨城縣關本村鬼怒川産で徑 38 mm 以下のものを用ひ, その粒度及性狀, 品質は第 1 表の如し.

第 1 表　砂利の粒度及性狀品質

篩 (mm) 通過	篩 (mm) 殘留	粒度 (%)	殘留 (%)	比重	比粒數 (個/kg)	性狀及品質		
38.10	31.75	23.3	23.3	2.60	14.3	見掛比重	輕裝	1.600
31.75	25.40	20.0	43.3	2.57	24.5	〃	密裝	1.706
25.40	19.05	25.3	68.6	2.56	43.2	空隙率	輕裝	0.38
19.05	12.70	22.4	91.0	2.57	112.6	〃	密裝	0.34
12.70	6.35	8.6	99.6	2.58	465.8	沈土量	%	0.55
6.35	4.76	0.4	100.0	2.58	2641.1	磨損率	%	3.22

(2) **砂**　砂も砂利と同じ鬼怒川産で, その粒度及性狀, 品質は第 2 表の如し.

第 2 表　砂の粒度及性狀品質

篩 (mm) 通過	篩 (mm) 殘留	粒度 (%)	殘留 (%)	性狀及品質		
4.76	2.38	5.33	5.33	眞比重		2.660
2.38	2.00	0.80	6.13	見掛比重	輕裝	1.450
2.00	0.85	14.97	21.10	〃	密裝	1.584
0.85	0.59	14.99	36.09	空隙率	輕裝	0.455
0.59	0.36	21.10	57.19	〃	密裝	0.405
0.36	0.297	19.58	76.77	沈土量	%	0.68
0.297	0.177	19.61	96.38			
0.177	0.149	2.40	98.78			
0.149	0.074	1.18	99.96			
0.074		0.04	100.00			

(3) **碎石**　碎石は神奈川縣根府川産安山岩の一段破碎を受けたるものでその粒度及性狀, 品質は第 3 表の如し.

第3表 碎石の粒度及性狀品質

篩 (mm) 通過	篩 (mm) 殘留	粒度 (%)	性狀及品質	
38.10	31.75	4.56	眞比重	2.580
31.75	25.40	11.56	見掛比重 輕裝	1.380
25.40	19.05	34.24	〃 密裝	1.562
19.05	12.70	70.38	空隙率 輕裝	0.465
12.70	6.35	92.60	〃 密裝	0.395
6.35	4.76	100.00	吸水率 %	1.30

(4) **ポルトランドセメント**　淺野セメントでその標準規格試驗の結果は，第4表に示すが如し.

第4表 セメント試驗

比重 3.141	材齡	引張		壓縮		摘要
粉末程度 1.6%	(日)	比重	強度 (kg/cm²)	比重	強度 (kg/cm²)	
凝結時間 於 18℃ 水 25%	3	2.35	28.6	2.30	420.0	水，セメント比
初發 2時間6分	7	2.38	35.7	2.32	521.0	引張 29.2%
終結 3時間6分	28	2.38	42.3	2.33	632.0	壓縮 30.0%

II. 基層コンクリートに關する試驗

[4] 序說

基層は鋪裝の受くる交通荷重を支持する主體をなすものであるから，コンクリートは强度の大なるものを必要とし，殊に氣象作用に對應する爲に引張强度の大なるを要する．從つてその引張强さと壓縮强さとの關係及その彈性の增大率とその係數の大さを求めた.

[5] 基層コンクリートの引張强度及壓縮强度

第5表 基層コンクリートの强度及比重

種別		材齡 1日	2日	3日	5日	7日	10日	14日	21日	28日	35日	42日
壓縮	强度 (kg/cm²)	3.02	6.55	13.11	26.98	36.69	55.27	66.21	75.45	83.61	79.42	90.07
	比重	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.39	2.38	2.38	2.37	2.39	2.41
引張	强度 (kg/cm²)	—	0.134	0.90	1.98	3.23	4.52	5.83	7.64	8.74	9.69	8.35
	比重	—	2.33	2.28	2.34	2.33	2.35	2.36	2.31	2.31	2.31	2.35
强度比		—	48.9	14.5	13.6	11.4	12.2	11.4	9.9	9.6	8.2	11.2

同一材料から製作した試驗體の引張强度と壓縮强度の試驗結果は第 5 表の如し.

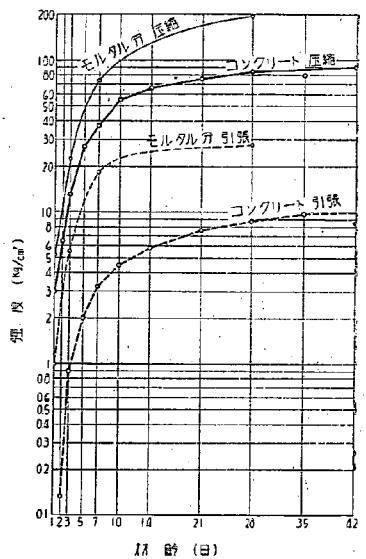
[6] 基層コンクリートのモルタル分の强度

試驗せるコンクリートのモルタル分と同一の配合及水セメント比を有するモルタルを造り之をセメント試驗の標準型に塡充して試驗體を作り引張及壓縮試驗を行ひ，之とコンクリートの强さとを比較した．第 6 表及第 3 圖に示すが如し.

第 6 表　基層コンクリート及モルタル分の强度

材齡 (日)	引張强度 (kg/cm²)			壓縮强度 (kg/cm²)		
	コンクリート	モルタル分	比	コンクリート	モルタル分	比
1	—	1.01	—	3.02	5.39	0.562
3	0.903	5.60	0.161	13.11	22.73	0.578
7	3.23	18.36	0.176	36.69	73.60	0.485
28	8.74	27.50	0.318	83.61	196.13	0.428

モルタルはコンクリートに比し試驗體の大さが引張及壓縮共に小いから，混合物を塡充する場合の搗固の作用の影響を受くる事著しく，從つて壓縮及引張强度共に遙かに大である.



第 3 圖　基層コンクリート及モルタル分の引張及壓縮强度

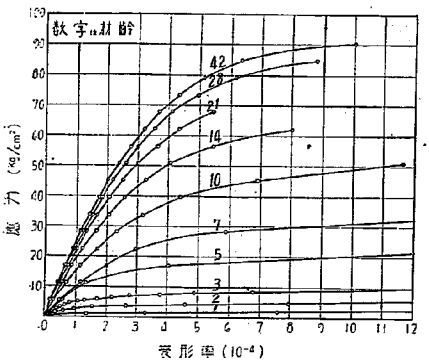
[7] 基層コンクリートの壓彈性係數

コンクリートはセメントの硬化增進したものも，完全彈性體でなく，應力度に應ずる歪度の變化は比例しないから，その彈性係數も通常初期，切線，割線係數等を考へるが何れも眞の意味の彈性係數でない.

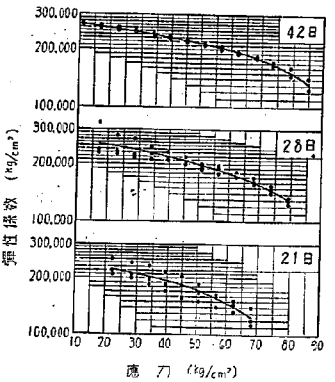
從來應力と歪度との關係は指數式，双曲線式，抛物線式を以て表はされ，そのうち指數式が最も普通に用ひられ，割線係數を以て之を表はしてゐる.

何れの場合も彈性係數は應力の增大に伴ひて漸減し，材齡の增加に伴ひ增大し，富配合のものは一般に大にして，水セメント比小なるものも同樣である.

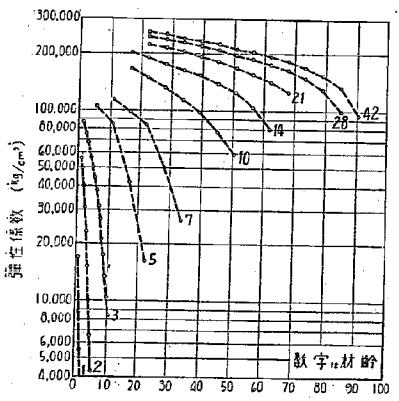
壓縮應力と變形率との關係は第 4 圖に示すが如く，材齡小なるものは全く塑性を示し應



第 4 圖　基層コンクリートの壓縮に對する變形率



第 5 圖　基層コンクリートの壓縮に對する彈性係數



第 6 圖　基層コンクリートの壓縮に對する彈性係數

力と歪みとの比は一定しないが，3 週間以上を經過すれば略ゝ一定の關係を保つに至り次第に彈性的現象を呈するに至る．

之より，最小自乘法を用ひ實驗式を導けば次の如し．

材齢 28 日　$\sigma = 6{,}450\varepsilon^{0.60}$

同　42 日　$\sigma = 11{,}500\varepsilon^{0.65}$

σ: 應力 kg/cm²

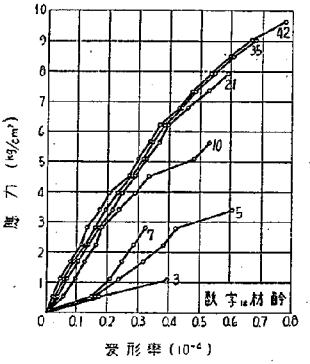
ε: 歪度

之から割線彈性係數と同樣の値を求め，之と應力との關係を求むれば第 5 及 6 圖に示すが如し．

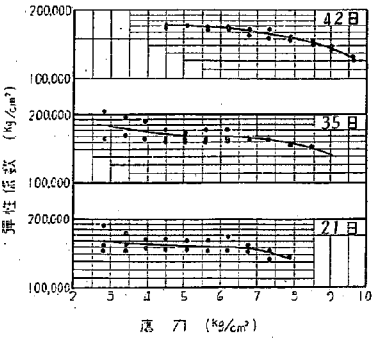
コンクリートが塑性から彈性に變化するは材齢 3 週間以上を經過してからであつて，應力の增大に伴ふ彈性係數の減少が漸く漸進的現象を呈するに至るを知る事が出來る．

［8］ 基層コンクリートの張彈性係數

壓縮の場合と同樣にコンクリートが引張を受けた場合の應力と變形率との關係を求むれば第 7 圖に示すが如く，壓縮の場合と同樣に材齢 3 週間以上を經過するものは應力と變形



第 7 圖　基層コンクリートの引張に對する變形率



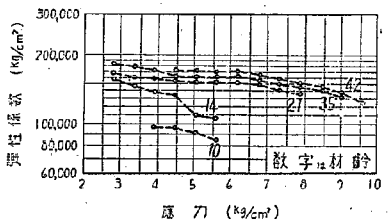
第 8 圖　基層コンクリートの引張に對する彈性係數

率との比が略、一定の關係を保つを知る事が出來る．應力と歪度との關係は次式で表はされる．

材齢 28 日　　$\sigma = 9{,}900\varepsilon^{0.71}$

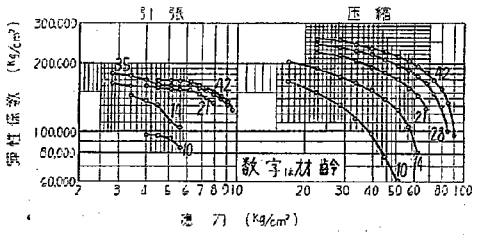
同　42 日　　$\sigma = 13{,}700\varepsilon^{0.76}$

之より割線彈性係數と性質を同じくする値を求むれば第 8 及 9 圖の如く，壓縮の場合と同樣に材齢 3 週間以上を經過せるものは割線係數も略、應力の大さに應じて漸減し，彈性的現象を呈する．



第 9 圖　基層コンクリートの引張に對する彈性係數

基層コンクリートの如き施工軟度小なるものは強度も材齢 28 日に於て壓縮の場合 84 kg/cm², 引張の場合 9 kg/cm² に達し，相當大であるから彈性係數も比較的大であり，壓縮に對するものと引張に對するものとを比較すれば前者が比較的大にして第 10 圖に示すが如し，一般に壓彈性係數は 250,000 kg/cm², 張彈性係數は 180,000 kg/cm² の



第 10 圖　基層コンクリートの引張及壓縮に對する彈性係數

程度にある.

III. 上層コンクリートに關する試驗

[9] 序 說

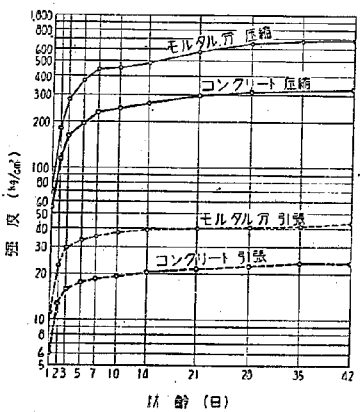
上層コンクリートは直接に交通車輛を支持するものであるから磨耗抵抗性の大なるを要し，通常コンクリートとしては富配合のものを用ひ配合 1:1.5:3, 膠石として配合 1:2 を標準とするが，今コンクリートに就てその强度及彈性係數を測定した.

[10] 上層コンクリートの引張强度及壓縮强度

同一の混合物から製作した試驗體の引張强度と壓縮强度との試驗結果は第7表の如くである.

第 7 表 上層コンクリートの强度及比重

種別		材齡 1日	2日	3日	5日	7日	10日	14日	21日	28日	35日	42日
壓縮	强度 (kg/cm²)	54.50	115.40	162.70	196.20	230.20	246.00	265.90	293.90	312.80	318.40	325.60
	比重	2.40	2.40	2.42	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.43	2.43	2.43
引張	强度 (kg/cm²)	6.10	12.70	16.00	17.40	18.60	19.20	20.60	21.70	22.60	23.60	23.60
	比重	2.40	2.37	2.37	2.37	2.37	2.38	2.38	2.39	2.39	2.39	2.40
强度比		8.9	9.1	10.2	11.3	12.4	12.8	12.9	13.6	13.8	13.5	13.8



第 11 圖 上層コンクリート及モルタル分の引張及壓縮强度

基層用コンクリートと比較すれば强度遙に大であつて，壓縮强度は基層の 84 kg/cm² に對し上層は 313 kg/cm²，引張强度も基層の 9 kg/cm² に對し上層は 23 kg/cm² に達する.

[11] 上層コンクリートのモルタル分强度

基層コンクリートの場合と同樣にコンクリートのモルタル分と同一配合のモルタル即ち配合 1:1.5 水セメント 0.41 のものに就て試驗せる結果は第 8 表の如し.

コンクリートの强度とモルタルの强度とを比較すれば第 11 圖に示すが如し，

モルタル試驗體は小型であるから基層の場合と同樣にコンクリートに比しそのラムアル

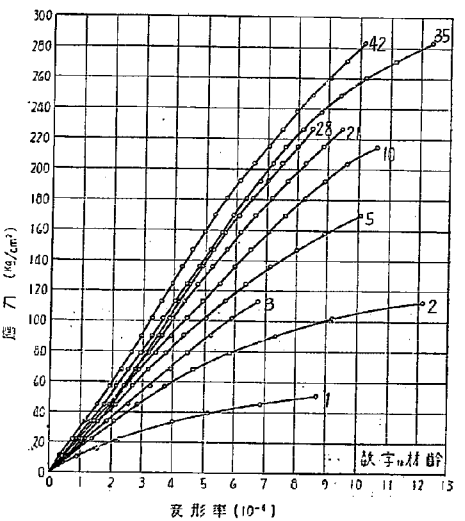
第 8 表　上層コンクリート及モルタル分の强度

材齡（日）	引張强度 (kg/cm²)			壓縮强度 (kg/cm²)			モルタル分强度比 壓縮／引張
	モルタル分	コンクリート	比	モルタル分	コンクリート	比	
1	11.10	6.13	0.555	72.0	54.5	0.76	6.5
2	22.80	12.69	0.56	181.0	115.4	0.64	7.9
3	29.54	15.97	0.54	279.0	162.7	0.59	9.4
5	32.73	17.38	0.54	376.7	196.2	0.53	11.5
7	35.23	18.58	0.53	440.0	230.2	0.52	12.4
10	37.53	19.24	0.51	447.0	245.9	0.55	11.9
14	39.20	20.57	0.52	484.7	266.0	0.55	12.4
21	39.72	21.67	0.54	577.3	293.9	0.51	14.5
28	40.17	22.64	0.56	650.3	312.8	0.48	16.2
35	41.53	23.58	0.57	678.3	318.4	0.47	16.3
42	42.95	23.59	0.55	682.3	325.6	0.47	15.9

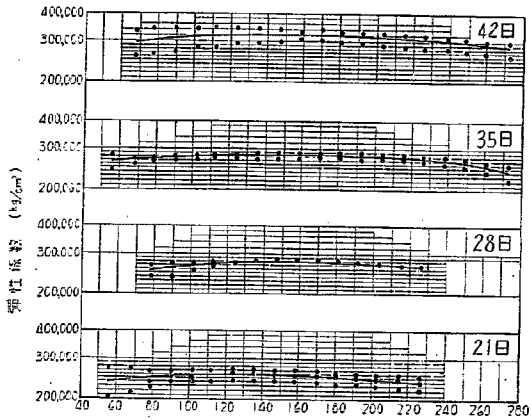
バイトの影響を受けて强度大である，而して上層コンクリートは基層のものより富配合でありモルタル分多く，後者の 38.5 %に比し 52.2 %を有し，1.36 倍に達しスランプは同一であるが，試驗型の裝入は遙かに容易である，從つて基層と上層とのモルタル試驗體のラムアルバイトが略ゝ同一なるに對し，コンクリートの裝入は上層が容易であるから，モルタルとコンクリートとの强度の比は上層が遙かに大であり，材齡 28 日に就て見れば基層は引張に對し 0.318　壓縮に對し 0.428 であるが，上層は引張に對し 0.56 壓縮に對し 0.48 である．

[12]　上層コンクリートの壓彈性係數

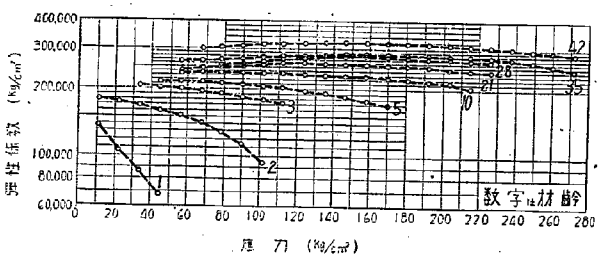
コンクリートの壓縮應力と變形率との關係は第 12 圖に示すが如く，基層コンクリートの場合と同樣に材齡小なるものは全く塑性を表はし應力と變形率と



第 12 圖　上層コンクリートの壓縮に對する變形率



第 13 圖 上層コンクリートの壓縮に對する彈性係數



第 14 圖 上層コンクリートの壓縮に對する彈性係數

の比は一定しないが，3 週間以上を經過せるものは略〻一定の關係を保ち，次第に彈性的性狀を表してゐる．

應力と歪度との關係は次式に導き得る．

材齢 28 日 $\sigma=117,500\varepsilon^{0.88}$

材齢 42 日 $\sigma=140,900\varepsilon^{0.90}$

之より割線彈性係數と同樣の値を求め，之と應力との關係を求むれば第 13 及 14 圖に示すが如し．

コンクリートは材齢 3 週間以上を經過するものは彈性係數も略〻一定である．

之を基層コンクリートの係數と比較すれば遙かに大である．

[13] 上層コンクリートの張彈性係數

壓縮の場合と同樣にコンクリートが引張を受けた場合の應力と變形率との關係を求むれば第 15 圖に示すが如し．

上記同樣に材齢 3 週間以上を經過するものは略〻彈性的性狀を呈する．

應力と歪度との關係は次式に導き得た．

材齢 28 日 $\sigma=120,500\varepsilon^{0.93}$

同 42 日 $\sigma=141,600\varepsilon^{0.96}$

之より割線彈性係數と同樣の値を求め，之と應力との關係を求むれば第16及17圖に示すが如し．

上層コンクリートの壓彈性係數と比較すれば第18圖に示すが如く，張彈性係數は幾分壓彈性係數より小なるは基層コンクリートの場合と同樣である．

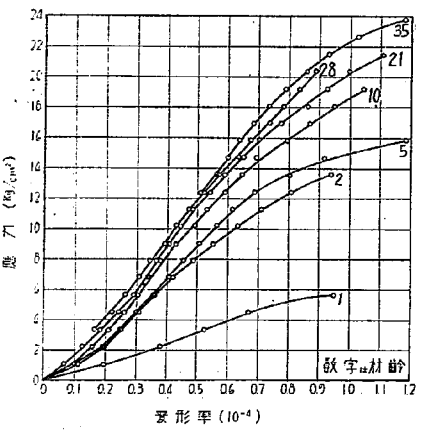
基層コンクリートの壓及張彈性係數と比較すれば第19及20圖に示すが如く，上層コンクリートは富配合で强度も大であるから，壓及張彈性係數も遙に大である．

IV. 砂利コンクリートと碎石コンクリートとの比較試驗

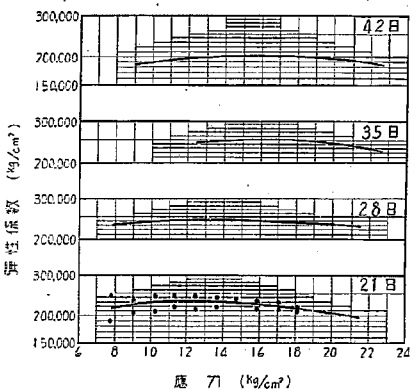
[14] 序　說

粒子の形狀を異にする骨材のコンクリートに及ぼす影響を明かにする爲に，砂利と碎石とを粗骨材とするコンクリートに就てその壓縮强度と引張强度を測定した．

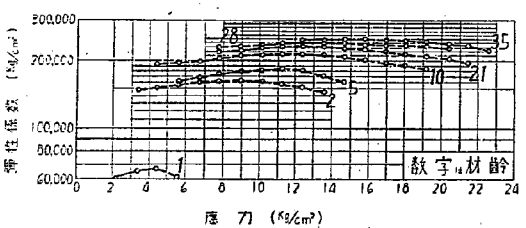
粒子形狀の影響は骨材を多量に含むコンクリート卽ち貧配合のものに對し特に著しき影響を與ふるものであるが，通常上層コンクリートの力學的性質がその骨材の選定に重要なる問題を有するを以て，配合 1:1.5:3 のコンクリー



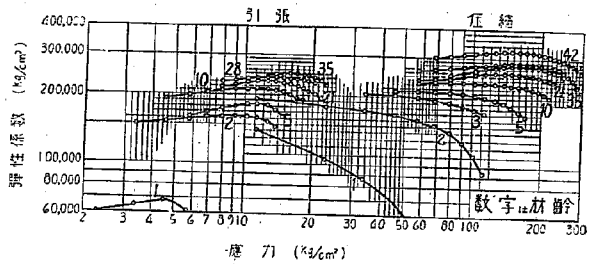
第 15 圖　上層コンクリートの引張に對する變形率



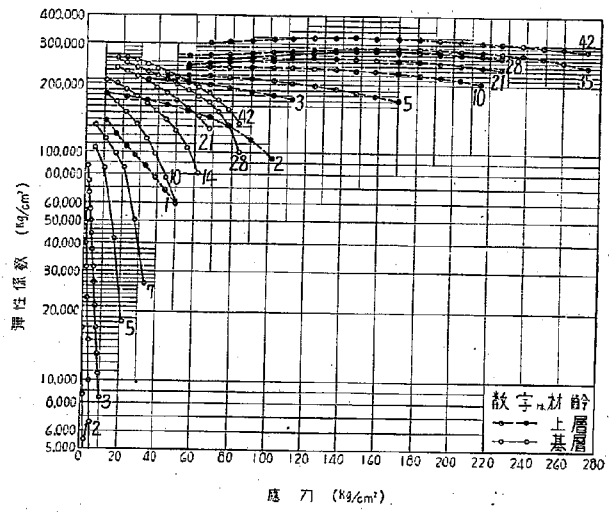
第 16 圖　上層コンクリートの引張に對する彈性係數



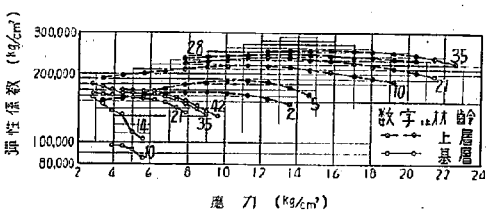
第 17 圖　上層コンクリートの引張に對する彈性係數



第 18 圖　上層コンクリートの引張及壓縮に對する彈性係數



第 19 圖　基層及上層コンクリートの壓縮に對する彈性係數



第 20 圖　基層及上層コンクリートの引張に對する彈性係數

トに就て水セメント比 0.41 施工軟度をスランプ 2cm とし骨材としての碎石と砂利との影響を求め，その比較を行ひ，骨材選定の資料を求めた．

[15] 砂利コンクリートの強度

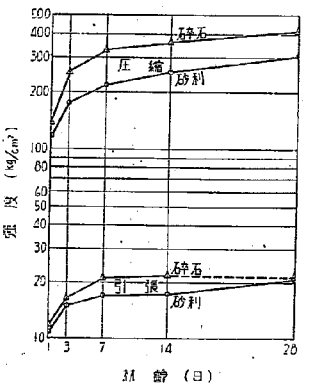
砂利コンクリートの引張強度及壓縮強度及その比は第 9 表の如し．

第 9 表　砂利及碎石コンクリートの強度

材齢（日）	砂利コンクリート強度 (kg/cm²)			碎石コンクリート強度 (kg/cm²)		
	引張	壓縮	比	引張	壓縮	比
1	10.94	117.90	10.8	11.62	139.59	12.0
3	15.05	175.43	11.6	16.55	257.68	15.6
7	17.05	216.26	12.7	20.94	332.93	15.9
14	17.21	252.39	14.7	21.56	362.17	16.8
28	21.21	304.83	14.4	20.94	419.14	20.0

[16] 碎石コンクリートの強度

碎石コンクリートの引張強度及壓縮強度は第 9 表に示すが如く，砂利コンクリートと比較すれば第 21 圖に示すが如し．



第 21 圖　砂利及碎石コンクリートの引張壓縮強度

[17] 砂利コンクリートと碎石コンクリートとの比較

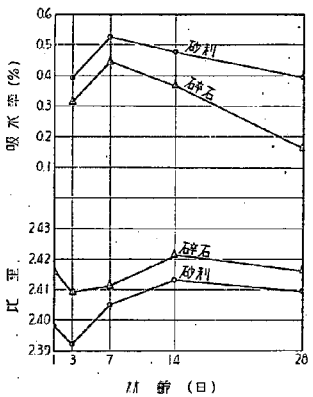
一般に碎石コンクリートが引張及壓縮強度共に大である，之はその粒子形狀の特質に基くもので不整形にして噛合作用を有すると同時に粗面を呈しモルタル分との附着強さが大であるからである．

碎石コンクリートと砂利コンクリートとの引張強度比及壓縮強度比竝に之の兩種コンクリートに於て壓縮強度に對する引張強度の割合を求め尙その割合の比を求むれば第 10 表の如し．壓縮強度の比が引張強度比より大なるは，引張試驗體製作の場合その混合物裝入に要する仕事量が比較的小であつて，砂利の如き丸味を有する粒子は取扱ひ移動容易であるが，碎石の如き不整形のものは施工裝入困難であるからである．

粒子形狀の示數として細長率，扁平率及粒子の不同率の比は 1.20, 1.224, 1.220 であるが，引張強度の比は略之と同一で材齢 7～14 日では 1.23～1.25 を示してゐる．壓縮強度の比は之より大にして．1.40～1.50 を示し，砂利の容積壓縮率 11.2 %に對し碎石は 15.2

第　10　表

材齡（日）	壓縮强度に對する引張强度の比(%)			碎石コンクリート／砂利コンクリート	
	砂利コンクリート	碎石コンクリート	比	引張强度	壓縮强度
1	9.25	8.35	1.045	1.06	1.18
3	8.60	6.40	1.35	1.10	1.47
7	7.90	6.30	1.26	1.23	1.54
14	6.82	5.95	1.15	1.25	1.40



第 22 圖　砂利及碎石コンクリートの比重及吸水率

% に達し約 1.36 倍に達し，壓縮作用に對する影響が極めて顯著なる爲と思はれる．[報告第 27 號骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て．參照]

之らの强度に對しコンクリート比重を見れば第 22圖に示すが如く，碎石コンクリートが何れも砂利コンクリートに比し比重大で密度大なる事を示し，從つて吸水率も之に應じて前者が少い結果を示してゐる．

[18]　試驗體の破壞面に關する考察

試驗體の製作は圓筒型を直立の狀態に置いて混合物の裝入を行ひ搗固めはその上部から鐵棒を以て行ふから，引張試驗體の如き單純なる應力を受くるものゝ破壞面を見れば寫眞に示すが如く，骨材の粒子は製作の際の上面に膠着して居り，粒子の下面に於てモルタルと骨材とが分離してゐる．

之は搗固の際の仕事及粒子の自重によりて，粒子の下部のモルタルは上面より餘分に壓縮を受け過剩の水分が粒子との間に被膜を造り從つて粒子の上面の部分よりも膠着力弱くまたその凝結硬化の際の收縮も大であつて分離され易く，從つてその部分の强さが弱いからである．

粒子が破壞せる面の下部に止るものを見ればその表面が極めて平滑であつて，膠着力の弱い事を示して居る．

V. 試驗結果の要約

試驗結果を要約すれば次の如し

(1)　基層コンクリートとして用ひらるゝ配合 1:3:7 のものは材齡 28 日に於て壓縮强

度 84 kg/cm², 引張 9 kg/cm² 程度のもので材齡 21 日以後は次第に彈性が昂上し，應力と歪度との關係は材齡 28 日に於ては次の實驗式を得た.

壓縮に對し　$\sigma=6{,}450\varepsilon^{0.60}$

引張に對し　$\sigma=9{,}900\varepsilon^{0.71}$

(2) 基層コンクリートの彈性係數は應力の增大に伴ひ減少し材齡の增加に伴ひ增大する．割線彈性係數の値は壓縮に對するもの 250,000 kg/cm² 引張に對するものは幾分小で 180,000 kg/cm² 程度である.

(3) 上層コンクリートとして用ひらるゝ配合 1:1.5:3 のものは材齡 28 日に於て壓縮强度 313 kg/cm², 引張强度 23 kg/cm² 程度のもので，材齡 21 日以後は次第に彈性的性狀を呈し，應力と歪度との關係は材齡 28 日に於て次の實驗式を得た.

壓縮に對し　$\sigma=117{,}500\varepsilon^{0.88}$

引張に對し　$\sigma=120{,}500\varepsilon^{0.93}$

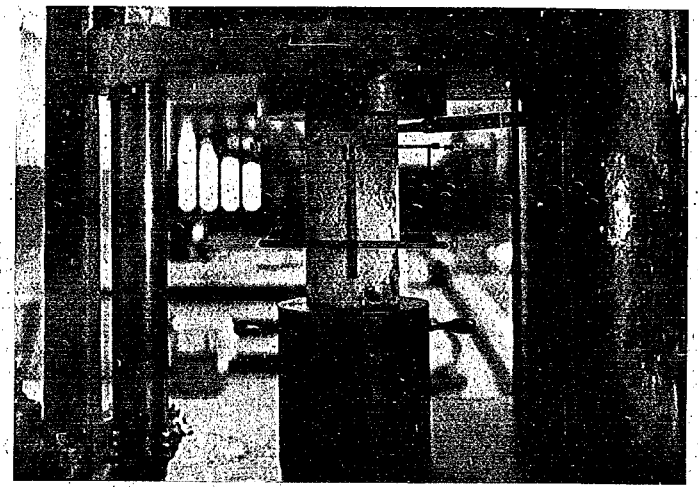
(4) 上層コンクリートの彈性係數も基層コンクリートと同樣に應力の增大に伴ひ減少し，材齡の增加に伴ひ增大す．割線彈性係數の値は壓縮に對し 280,000 kg/cm², 引張に對し 230,000 kg/cm² で基層コンクリートに比すれば强度大であるから彈性係數も亦大である.

(5) コンクリートとそのモルタル分の强度とを比較すれば後者は試驗體の大さ小であるから搗固め作用の影響强く，從つて强度大であつて基層コンクリートの强度はその 32～42%，上層コンクリートは 42～56 %である.

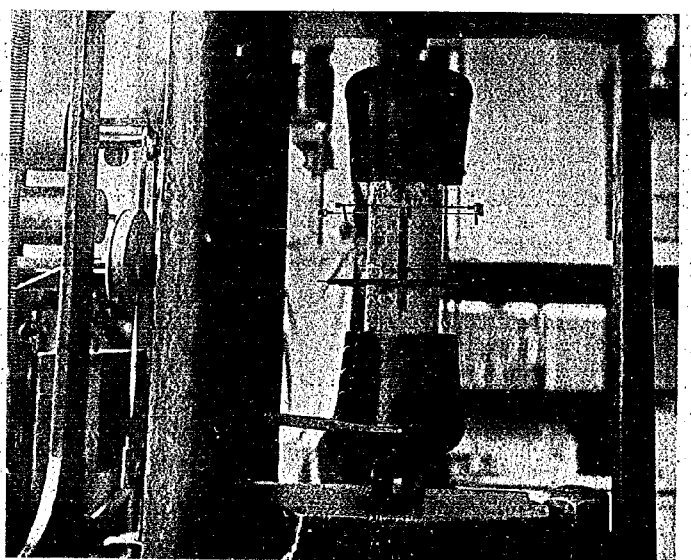
上層コンクリートは富配合でモルタル分の含有量が基層の 1.36 倍に達するからスランプは同一であつても試驗體型に裝入する事が容易なる爲にラムアルバイトの影響が左程著しく現れない.

(6) 粒子の形狀を異にするコンクリートとして砂利コンクリートと一段破碎を受けた碎石のコンクリートとを比較すれば，壓縮及引張共に碎石コンクリートが大であつて引張强度の比は 1.23～1.25 に達し，その粒子の細長率，扁平率，及粒子不同率と略ゝ同値を示し，壓縮强度の比は 1.40～1.50 に達し，骨材の容積壓縮率の比は 1.36 で壓縮作用に對する感應率と相關々係を保つと考へらる.

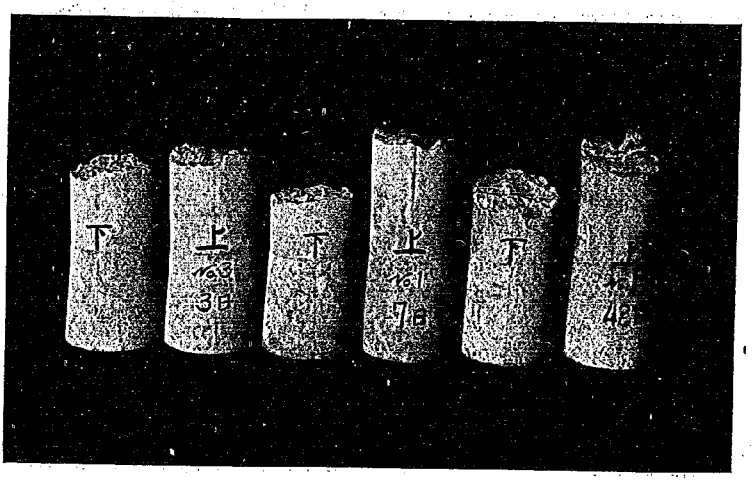
本試驗に當り本所川名和四郎君の助力を謝す.

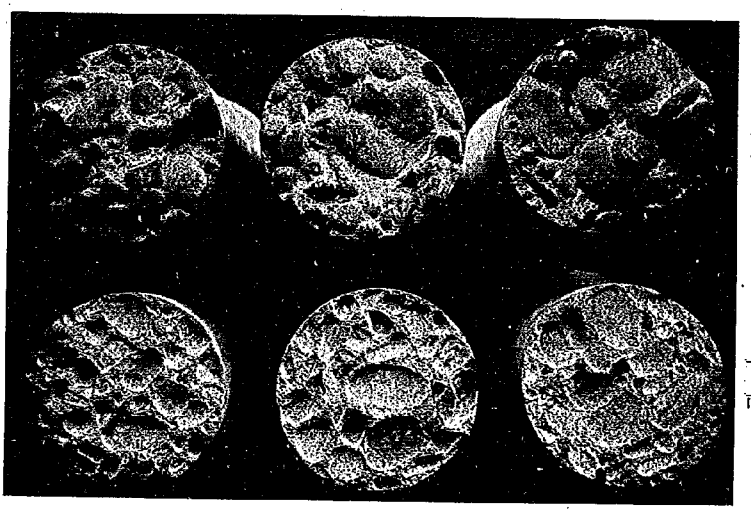


第 23 圖　コンクリートの壓縮試驗裝置



第 24 圖　コンクリートの引張試驗裝置



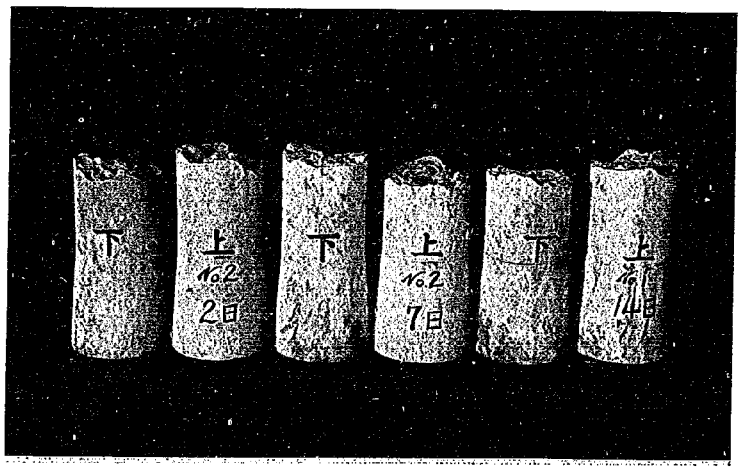


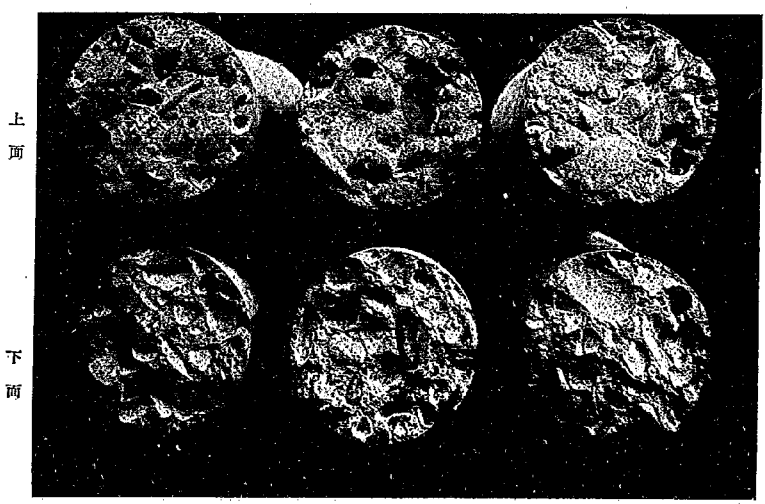
上面

下面

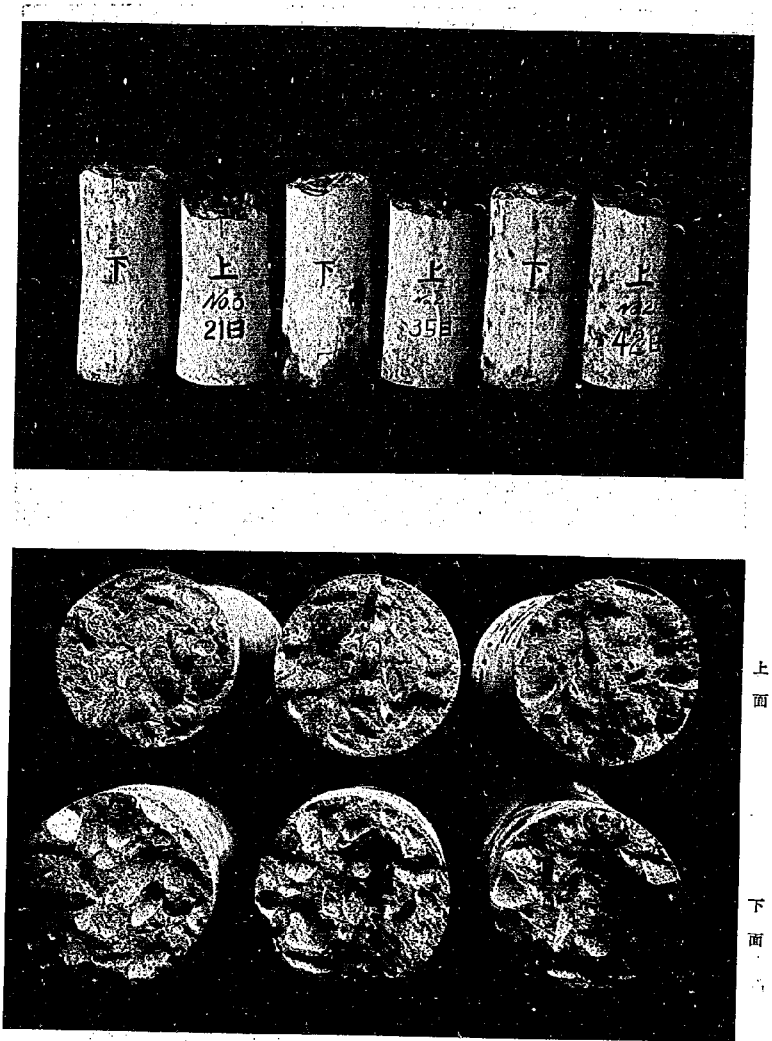
3 日　　7 日　　42 日

第.25 圖　基層コンクリートの破壞面

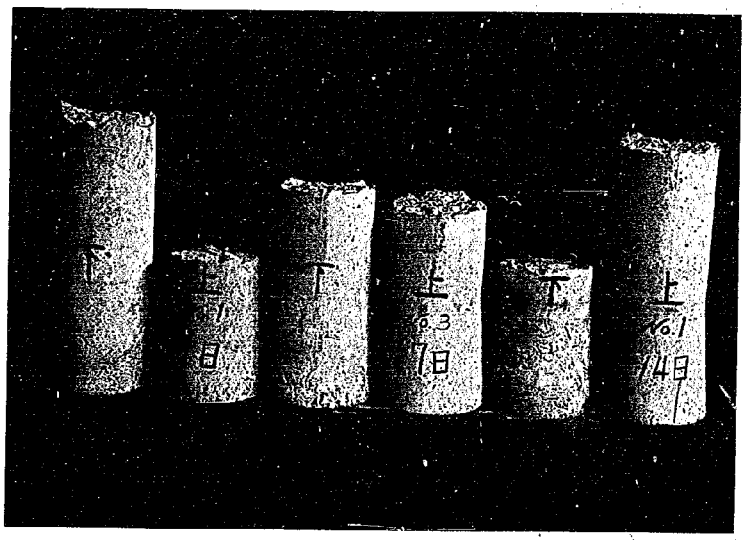




第 26 圖 上層コンクリートの破壊面



第 27 圖　上層コンクリートの破壞面



上面

下面

1 日　　7 日　　14 日

第 28 圖　上層碎石コンクリートの破壞面

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第4報）

瀝青乳劑の組織的性狀と道路鋪裝工學に於ける特性との關係に就て

第 I 部　瀝青乳劑の水素イオン濃度及び道路鋪裝用碎石のイオン吸着現象より見たる性狀

第 II 部　瀝青乳劑の電導度に關する性狀

第 III 部　瀝青乳劑の電氣泳動現象より見たる性狀

內務技師　島　田　八　郎

目　次

緒　言……（2）
I　概　說……（2）
II　試料に就て……（5）
［1］種　類……（5）
［2］試料分散度……（6）
［3］瀝青含有量及び分解値……（9）
第I部　道路鋪裝用瀝青乳劑の水素イオン濃度及び道路鋪裝用碎石のイオン吸着現象より見たる性狀……（10）
I　概　說……（10）
［1］本研究の必要性……（10）
［2］瀝青乳劑の負電荷並びにイオン雰圍氣に就て……（11）
II　測定方法並びに實驗結果に就て（其の1）水素電極法……（13）
［1］水素電極による測定法……（13）
［2］實驗結果及び瀝青乳劑の特性……（15）
［3］水素イオン濃度値による界面動的電位（ζ 電位）……（19）
III　測定方法並びに實驗結果に就て（其の2）アンチモン電極法……（22）
［1］アンチモン電極による測定法……（22）
［2］電極カリブレイション……（24）
［3］實驗結果……（27）
IV　道路鋪裝用碎石のアルカリ吸着性と瀝青乳劑水素イオン濃度（P_H）との關係に就て……（29）
［1］概　說……（29）
［2］碎石浸出水の水素イオン濃度……（30）
［3］碎石のイオン吸着性……（33）
［4］瀝青乳劑分解値と碎石吸水率及びイオン吸着率との關係……（35）

V 結　論 ……（37）
第II部 瀝青乳劑の電導度に關する性狀 ……（39）
I 概　說 ……（39）
II 瀝青乳劑電導度と分散質濃度との關係 ……（40）
［1］一般的考察 ……（40）
［2］分散系電導度數式に就て ……（42）
［3］瀝青乳劑電導度修正値 ……（44）
III 實驗結果に就て ……（46）
［1］試　料 ……（46）
［2］實驗結果及び其の結果より見たる瀝青乳劑の性狀 ……（47）
IV 結　論 ……（52）
第III部* 瀝青乳劑の電氣泳動現象より見たる性狀 ……（　）

緒　言

I. 概　說

道路鋪裝用瀝青乳劑（一般にアスファルト～水，タール～水乳劑）の工學的特性を明かにするは勿論，更に進んで內部組織的性狀を究める事は鋪裝工學發展の見地より頗る肝要な事である．殊に瀝青乳劑の特性研究は1つの不均一分散系を對照とし成果の應用範圍頗る廣汎にして材料工學理論上各種重要なる問題を含有してゐる．從つて研究に際しても各種多樣な見解より其の特性を考察するを得．著者は其の一研究として瀝青乳劑分散系に於ける瀝青粒子の分散に關する研究[1]をなし更に粘性に關する研究に於て力學的特性[2]を明かにし，上記2部門に於ける性狀を基とし瀝青乳劑の組織に關し重要な考案をなし二，三の結論を得た．斯かる力學的特性以外に瀝青乳劑に於ては分解値安定度等の如く一般に物理化學的內部構造に直接起因せる特性がある．斯かる特性は乳劑貯藏中及び道路面撒布後に於ける分解等の如き實用上主要なる諸問題と密接な關係を有す．本報告は上記物理化學的の見地より鋪裝用瀝青乳劑の本質を明かにせんとするものである．其の內容に就き二，三說明を加ふ．

瀝青乳劑は分散質たる瀝青質の外，乳化劑として各種の可溶電解質，有機物等を含有せる水溶液を主成分とせるものなれば瀝青乳劑を一種の電離質水溶液の特性より考察するは乳劑の本質を極める上に有力なる方法と思惟す，斯かる見地より乳劑の電氣的特性を研究

---

* 第 III 部は次號に發表す

1) 島田八郎；道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第1報）瀝青粒子の分布に就て．內務省土木試驗所報告 第26號，昭和9年3月（1934）

2) 島田八郎；道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第2報，3報）粘性に就て．內務省土木試驗所報告 第29-30號，昭和9年12月（1934）昭和10年4月（1935）

する事は有力な檢討の手段を與ふ，單に溶液の電氣化學的研究法を考察するに瀝青乳劑に適用し得るものとして二，三の方法を擧げ得．殊に瀝青乳劑の如き不均一系の研究に於て，分散系の物理常數と乳劑（系）を形成せる各成分の物理常數との關係を明かにする事も主要研究項目の一である．上記の如く本研究は實用，理論2方面の特性に關聯せるものにて其の2方面にわたれる方法として下記の如きものを擧げ得，即ち

1）瀝青乳劑の水素イオン濃度と濾液との相互關係

2）電場内に於ける瀝青粒子の移動能力即ち電氣泳動現象より瀝青粒子の帶電狀態及び乳劑安定度更に分散度等に關する特性の研究

3）瀝青乳劑及び類似物質の電導度，電媒恒數等に關する研究

4）瀝青質（分散質）の電媒恒數と乳化作用及び乳劑安定に關する研究

5）道路鋪裝用碎石イオン吸着性と瀝青乳劑との接觸時に於ける作用

等研究すべき問題數多あるも各項夫々1つの廣汎なる研究の對照をなすもので瀝青乳劑に就て未だ充分なる研究なく斷片的に二，三行れをるに過ぎない．其の内乳劑分解に對する安定度の問題を主眼とし研究せしものがある．小部門に於けるものなれども，其の代表的のものを擧げん，G. Keppeler, P. Blankenstein, H. Borchers[3]の碎石による瀝青乳劑分解値と碎石のアルカリ吸着の研究，H. Weber, H. Bechler[4]の碎石による瀝青乳劑分解値より碎石表面の親水性疎水性の分類，H. Walther[5]による瀝青乳劑分解値水素イオン濃度遊離アルカリ量相互の關係の研究等は瀝青乳劑の特性を溶液の見地より明かにせんと試みたもので研究の條件實際に於けるものと異るも其の範圍内に於て確實有益なる結論を得てゐる．又 C. L. Makesson[6]の $CaCl_2$ による逆反相試驗 A. W. Hexson, J. M. Fain[7]の $FeSo_4$ による瀝青乳劑破壞試驗，福島氏[8]の各種骨材による瀝青乳劑分解試驗等もイオン雰圍氣の問題に論及しをらざるも結局に於てイオン吸着及び置換竝びに之に伴ふ瀝青

3) G. Keppeler. P. Blankenstein, H. Börchers ; Die Brechbarkeit vom Bitumen-Emulsionen und ihre Beeinflüssung, Angew. Chemie, 47, 15, 223, 1934

4) H. Weber. H. Bechler ; Ueber d. Zerfall der Strassenbau-Emulsionen durch Berührung mit dem Gestein, Asphalt u. Teerstrassenbautechnik, 32, H. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 1932.

5) H. Walther ; Beiträge zur Kenntnis bituminöser Emulsionen, Asphat u. Teerstrassenbautechnik, 33, H. 33, 1932.

6) C. L. Makesson ; Test for Modern paving Emulsion, Canadian Engineering, 16, 11, 15, 1931

7) A. W. Hexson, J. M. Fain ; Stabilization of Aqueous Dispersion of Asphalt, Ind. Eng. Chem., 24, 12, 1336, 1932.

8) 福島彌六；道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第2報）骨材による瀝青乳劑の分解に就て．内務省土木試驗所報告 第29號，昭和9年12月 (1934)

粒子の界面現象を基本とせるものである．H. Weber[9] も 1933 年までの鋪裝用瀝青乳劑發達概說なる論文に於て電氣的特性に關する事項を二，三引用してゐる．

以上の諸研究を綜合するに一般に道路鋪裝用瀝青乳劑は全體として可成り强度のアルカリ性水溶液にて乳劑其のものゝ水素イオン濃度 P_H は約 10～13 の範圍にて，0.01～0.2～0.5% 程度の遊離アルカリを含有し外界の影響により乳劑內のイオン狀態に變化を來たし乳劑は遂に分解するに至ると推論されてをるも，其の作用機構に不明瞭な點が可成りある．例へば乳劑分解の際に於ける相互作用を考察するに乳劑と碎石成分との化學作用が主なるものか，碎石の親水性 (hydrophil) によるイオン吸着作用によるか，又は吸水性によるか，或は兩者が互に如何なる作用を呈するや重要な問題にして，解決されず殘されてゐる．一方斯かる總ての性狀の基本となる瀝青粒子の電荷に關する直接の研究なき現狀なるも G. Keppeler[10] 等の研究に於ける如き遊離アルカリの存在又は後章詳論する瀝青乳劑及び濾過液の水素イオン濃度相互關係等より考察するも瀝青乳劑內に於て瀝青粒子の周圍には負イオン吸着大にて負イオン密度が粒子ミセル (Micell) 以外分散媒內の平均密度より著しく大なる事が分る，斯かる實驗結果より瀝青粒子は分散媒に對し負電荷を有してゐると推定し得，著者は又瀝青乳劑の瀝青粒子分散度研究[11]に於ても旣に粒子の負電荷を有せる事を假定し從つて粒子は一定の負界面動的電位差 (ζ) を分散媒に有するものとし瀝青乳劑の確率直徑 (D_W) と上記 ζ～電位との間に $D_W=\frac{1}{\sqrt{-\gamma_{AB}+B\zeta^2}}$ (但し，γ_{AB}; 乳劑粒子と分散媒間の界面張力，B; 常數を示す) の如き關係を得，粒子の分布に關する式を論究し其の性狀を明かにした．特に技巧を加へ變調せしもの以外は (篩操作を行ひ分布を變ずる如き事を意味す) 全く上記の假定より得たる分布に從ふ事を瀝青乳劑に於て確めた．一方瀝青乳劑に於ては ζ～電位に關し定量的研究は勿論なく定性的すら直接法による研究なく單に ζ～電位を推測しをる現狀である．然れども多くの上記の事實より推定するに瀝青乳劑に於て瀝青粒子は負電荷を有し其の周圍に OH'～イオン吸着雰圍氣 (Ion Atmosphere) を伴ひ，乳劑はイオン的に見るも一種の不均一性分散系である．斯かる瀝青乳劑の特性に基き一般に乳劑としての各種の性狀を考察し一方鋪裝工學上の諸性質との關係を明かにする事は鋪裝工學，材料工學上得る所頗る多し．殊に本研究に於て試みんとする瀝青乳劑の物性常數と乳劑を形成せる各成分の物性常數との關係を明かにする事も不均一性系の問題に對し頗る重要なものである．

9) H, Weber; Entwicklung der Erkenntnisse über bituminöse Strassenbau-Emulsionen, Kolloid Zst, 64, 3, 337, 1933,
10) G. Keppeler; 前揭 3)
11) 島田八郎; 前揭 1)

上記の如く瀝青乳劑に於ては研究すべきもの數多あるも未だ此種の研究少きは瀝青乳劑の外界の影響を鋭敏に蒙り凝固し易く取扱ひ困難なるによらん．斯かる現狀なれば瀝青乳劑としてはイオン的，電氣的特性を明かにするは力學的特性の研究及び各種規格の研究に對して重要なものにて本報告は其の內二，三の問題に就き研究せるものである．記述の便宜上下記の3部に分類し其の性狀を研究す．

I 部：瀝青乳劑の水素イオン濃度及び道路鋪裝用碎石のイオン吸着現象より見たる性狀

II 部：瀝青乳劑の電導度に關する性狀

III 部：瀝青乳劑の電氣泳動現象より見たる性狀

以上の外電燭恒數竝に誘電電流等及び乳劑の鋪裝工學的特性に關する研究等重要なるものあり，其の1部に就きタール乳劑[12]の研究に於て少しく論究せしに過ぎざるも本報告に於ては斯かる問題には一切觸れず上記3部門に於て瀝青乳劑の鋪裝工學上の特性を論究す．

II. 試料に就て

[1] 種　類

本研究は重要なものなれば特に密接な關係を有すと推測されし特性に關しては詳細に調査す．以下簡單必要なものに就き述べん．

先づ試料としては各種瀝青乳劑を選擇する必要あり，本邦に於て現在鋪裝工事に使用されつゝある混合，滲透用瀝青乳劑10種に就き I 章に述べし各種の研究を行つた．後述 I 部，II 部，III 部の各部門に於て特に試料に就き記述せざる場合は總て玆に述べし試料による研究である．使用瀝青乳劑は下記の如きものである．

種　類；ピチュマルス會社製；X,H,HRM,SHX 乳劑，
エムラス會社製；混合及び滲透用乳劑，
ミクニ乳劑會社製；混合及び滲透用乳劑，
日石瀝青乳劑；小倉ウオーターアスファルト，

なれども實驗の便宜上第1表の如く分類す，

C, D, H, F 號……混合用瀝青乳劑

B, A, G, E, I, J, 號…滲透用瀝青乳劑……である．

各試料に就き特に一般的工學的特性を（エングラー比粘度貯藏安定度等）を測定せす顯微鏡寫眞を撮り瀝青粒子の大きさ，從つて分散度を測り一方瀝青含有量（%, W）及び碎

第 1 表

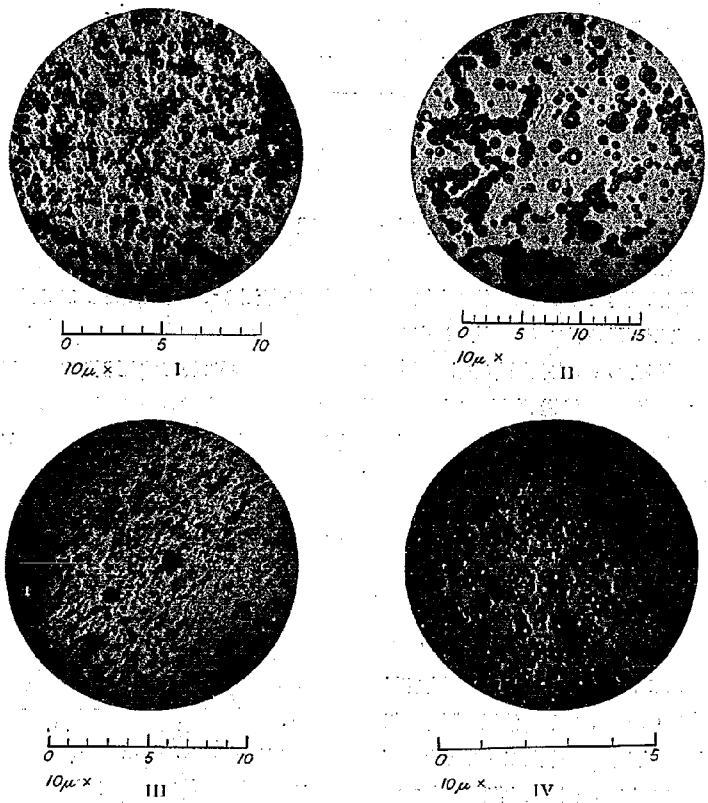
製造會社名	試料名
B 社	B,A, C,D,
E 社	G H
M 社	E F
N 社	I
O 社	J

12) 島田八郎；道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第2報）內務省土木試驗所報告 第32號，昭和10年11月 (1935)

石による分解値を實測し1章に述べし瀝青乳劑各種の内部組織的性狀との比較に供した．本試料は總て製造後同一日數を經たるものならざるも約2ヶ月以内のものである．

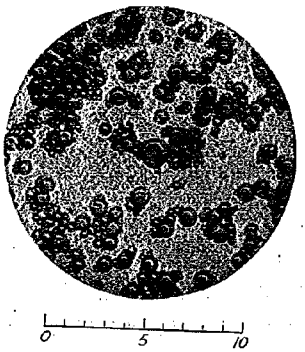
［2］ 試料分散度

第1表の 10 種の試料に就き著者が先きに行つた瀝青乳劑粒子分散度試驗[13]の方法に準じ，顯微鏡寫眞を撮つた．寫眞第 1のI, II,……X 號は各試料の顯微鏡寫眞を示すものである．粒子の大きさ分布に關する傾向は全く著者の求めた分散公式に略ゝ從ふものである．

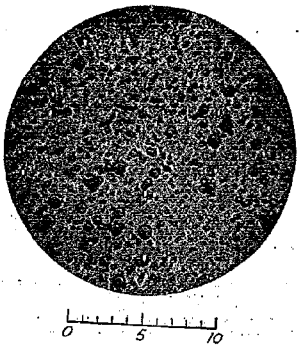


寫 眞 第 1

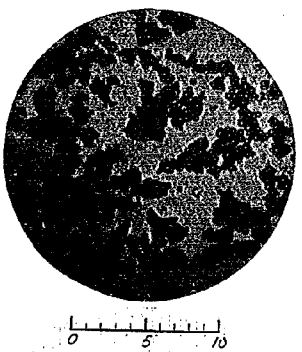
13) 島田八郎； 前揭 1)



V

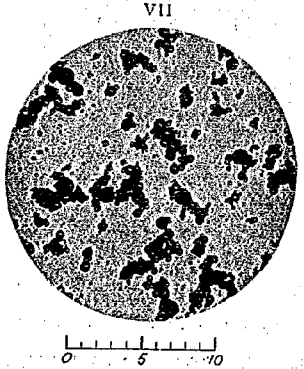


VI

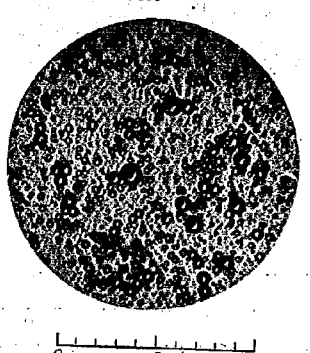


VII

VIII



IX



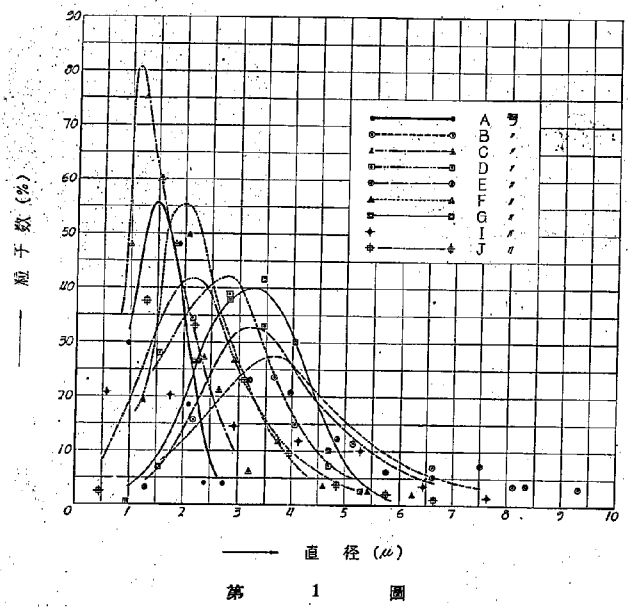
X

各顯微鏡寫眞を更に擴大し粒子の平均直徑 (D_0) 從つて第1確率直徑 ($\bar{D}_W$) をも下記の（1）式より求め得，

$$\Delta N = N\frac{4\beta^3}{\sqrt{\pi}}e^{-\beta^2 r^2}\cdot r^2\Delta r,\quad \beta=\frac{2}{\bar{D}_w}\propto\sqrt{-\gamma_{AB}+\frac{4\pi a\sigma^2}{D}}\propto\sqrt{-\gamma_{AB}+B\zeta^2}\quad\cdots\cdots(1)$$

$$D_0=1{,}127\bar{D}_w$$

但し，ΔN：單位容積中にて半徑 $r, r+\Delta r$ の範圍にある粒子數，N：單位容積中に存在せる粒子總數，a：粒子半徑，D：分散媒電媒恒數，γ_{AB}：分散媒分散質間界面張力，ζ：粒子界面動的電位差……を示す．顯微鏡寫眞より求めし濕青粒子分布を圖示すれば第1圖の如くなる．曲線の意味明かなれども，誤解され易きを以て說明を加ふ．本分布式は元來確率曲線 (Probability Curve) である，橫軸の或る點 (x) にて與へられる直徑 (x) を中心とし直徑差が Δx…… の間にあ



第　1　圖

る粒子數の單位容積中の粒子に對する百分率(%)を特に $\Delta x=1\mu$ に對し示されてゐる，從つて直徑差 Δx に對する場合は圖示の縱座標點にて與へられる%數に Δx を乘ずべきである，第1圖の實測點分布より漸度最大なる直徑卽ち第2確率直徑 D_W を求め得．第2表は平均直徑，第1第2確率直徑を表示せるものである．同表より明かなる如く製造操作，

經過日數等により理論式と可成りよく一致せるものと然らざるものとあるも全體を通じ試

第　2　表

試　料　名	平均直徑 (D_0) (μ)	第1確率直徑 ($\bar{D}_W$) (μ)	第2確率直徑 (D_W) (μ)
A	1.51	1.34	1.55
B	5.47	4.85	3.80
C	1.76	1.56	1.20
D	2.86	2.54	2.55
E	4.24	3.76	3.30
F	2.76	2.45	2.50
I	2.97	2.64	?
J	2.42	2.15	2.10
G	3.28	2.91	3.22

料中混合用滲透用の間には第2確率直徑 (D_W) により相互關係あるを知り得るも眞の D_W の意義は第 III 部に於ける電氣泳動實驗より詳論せん.

［3］ 瀝青含有量及び分解値

瀝青含有量分解値は實驗目的により適當なる方法により定めたるものをとるべきである. 本研究は乳化劑等の化學的性狀を目的とせず分解値としても道路鋪裝碎石によるものの意義を論究せんとする目的なれば最も一般に行れをる方法により此等の値を決定した. 卽ち土木試驗所にて定めたる土木工事用材料標準試驗法（昭和7年 12 月）に依り同法瀝青乳劑瀝青質殘留物含有量試驗第3法（60 頁）及び各種石材に對する分解値の測定法（97 頁; Asphalt u. Teer, 32, 3-9, 1932）により安山岩碎石を用ひ測定す. 第3表及び第4表に此等試驗結果を示す. 其の他瀝青乳劑として特性試驗は全部省略す.

第　3　表

試　料　名	瀝青質含有量%(重量)
A 號	54.0
B 號	50.5
C 號	54.5
D 號	54.8
G 號	50.3
H 號	52.3
E 號	58.0
F 號	61.0 ?
I 號	51.3
J 號	56.8

第　4　表

試　料　名	分　解　値
A 號	24.4
B 號	36.0
C 號	9.5
D 號	4.1
G 號	20.2
H 號	17.5
E 號	37.5
F 號	8.5
I 號	38.5
J 號	31.0

鄰石安山岩碎石 (DIN. K. 3, 徑 0.6～2.0mm)
試驗室溫 25～30°C. 試驗濕度 90%.

第Ⅰ部 道路鋪裝用瀝青乳劑の水素イオン濃度及び道路鋪裝用碎石のイオン吸着現象より見たる性狀

I. 概 說

[1] 本研究の必要性

鋪裝用瀝青乳劑の鋪裝工學上の特性を明かにせん爲め其の內部構造を溶液的に考察せしもの緒言[1]に述べし如く少く殊に不均一系として論究せしもの無し. H. Walther,[14] E. Vellinger 及び Flavigny[15] によるに瀝青乳劑水素イオン濃度*は 10—12, 9—13 の强アルカリ性なる事が測定されてゐる. 斯かる溶液內に瀝青粒子が安定に存在する爲めに粒子は OH' イオンを特に多く吸着し負電荷を持つ, 著者,[16] M. Louis Meunier,[17] H. Weber[18] 等の論文も明かに瀝青粒子は分散媒に對し(−)電位を有するものと推論されてゐる. 然らに其の根源に對し一層深き考察說明を試みたものがない. A. Cohen[19] の不良電導體の摩擦に對する帶電研究に於ては電媒恒數(K)の大なるもの常に(+)に帶電する. 然らに瀝青乳劑に於て分散媒, 瀝青質の電媒恒數夫々 80, 2～3 程度なれば瀝青粒子が(−)に帶電すると H. Weber[20] も記述せるも, 摩擦電位と接觸電位との異る事は W. M. Jones[21] の1實驗を見るも明かである. 後章詳論するも單に Cohen 律を適用するは不可能である, 勿論瀝青乳劑に於て瀝青及び分散媒たる水の電媒恒數は乳劑の生成に關係を有し且つ瀝青～水乳劑を成立せしむる爲め適當なる第3成分たる乳化劑を含有せるものなれば常に3者

14) H. Walther; 前揭 5)

15) E. Vellinger and Flavigny; Ann. office nat. Combustibles liquides, 7, 217, 1932, 前揭 9)

* 水素イオン濃度を便宜上簡單に說明す; 溶液の酸性, 鹽基性は遊離し存在せる水素イオン・水酸イオン濃度によるものにて夫々[H],[OH']にて示す. 最も簡單な場合は $[H^{\cdot}][OH']=[H_2O]K_w$, 但し K_w は水の電離恒數にて, 常溫の水に於ては略々次式により [H], [OH'] の關係を知り得. 卽ち $[H^{\cdot}][OH']\fallingdotseq10^{-14}$, 今 $[H^{\cdot}]=[OH']$ なれば $[H^{\cdot}]=[OH']\fallingdotseq10^{-7}$ となり斯かる場合は中性である. $[H^{\cdot}]$, 又は [OH'] を示すに Sörensen の Hydrogen Ion exponent P_H を用ふ: $P_H=\log\frac{1}{[H^{\cdot}]}$, $P_{OH}=\log\frac{1}{[OH']}$, $P_H+P_{OH}\fallingdotseq14$ にて $P_H=1\cdots\cdots7\cdots\cdots14$ (又は $P_{OH}=14\cdots\cdots7\cdots\cdots1$) により酸性…中性…鹽基性を示す.

16) 島田八郎; 前揭 1)

17) M. Louis Meunier; La physico-chimie d. Emulsions aqueuses d. Bitume pour la Route; Revue général d. Routes, 6, 577, 1931.

18) H. Weber, 等, 前揭 4)

19) A. Cohen; Ueber ein Gesetz der Electricitätserregung. Ann. d. physik, 64, 217, 1898.

20) H. Weber. 前揭 9)

21) W. M. Jones; Frictional Electricity on Insulators and Metals; phil. Mag., vol. 24, 261, 1915.

の關係を考慮に入れる必要がある．第 II 章に於て此點に關し少しく述べん．斯かる吸着現象は乳化劑の性質，濃度，溶液の水素イオン濃度に支配され特に後者の影響を蒙る事多く乳劑の安定に密接な關係を有す．C. H. M. Roberts[22] の乳化理論にても溶液の P_H の重要性を述べ，Ivan Kemp. 及び E. K. Riedeal[23] の Gliadin 粒子の電氣泳動と溶液 P_H の研究，L. Michaelis, Aristie Dombovice[24] の乳香乳劑の電氣泳動と溶液 P_H の研究等を考察するも明かに乳劑の研究に溶液の P_H の重要なる事を知る．唯瀝青乳劑に於ては分解性大に試料として取扱ひ頗る困難にして又乳化劑とし複雜なる成分を有するもの數多含有せる爲め實驗し難けれども研究を要すべき主要な問題である．殊に瀝青乳劑が鋪裝用とし使用される關係上鋪裝用碎石のイオン吸着性をも考察し吸水性親水性と瀝青乳劑 P_H との相互關係をも考慮に入れ研究すべきである．例へば瀝青乳劑が路面に撒布されたる場合，碎石と相接觸する事により乳劑分散媒のイオンに對し碎石が或種の作用を呈し其の結果乳劑の P_H に變化を來し瀝青粒子の安定が破壞され粒子の凝結を生じ乳劑全體が分解するに至る場合もある．卽ち乳劑の水素イオン濃度 P_H の變化と分解現象の間に密接な關係がある．斯く考察する時瀝青乳劑を水素イオン濃度の見地より其の特性を明かにする事は鋪裝工學上より見るも重要な事項である．本報告は其の一研究方法として瀝青乳劑の水素イオン濃度（${}_EP_H$）及び乳劑より濾過により分取せる濾液の水素イオン濃度（${}_UP_H$）の値，及び兩者の差異 ${}_EP_H \sim {}_UP_H = \Delta_E P_U \cdots\cdots$ を測定し，其の ${}_EP_H$, ${}_UP_H \cdots$ の範圍を明かにし更に瀝青粒子周圍に於て OH' イオンの密度大なる雰圍氣の存在せる事を確め進んで其の量的關係をも考察し瀝青乳劑の他の工學的特性と比較し，乳劑の組織的性狀を全くイオン的立場より闡明せるものである．

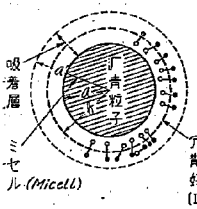
更に瀝青乳劑程度のアルカリ性溶液に對する道路鋪裝用碎石のイオン吸着性を吟味し瀝青乳劑及び碎石が相接して存在せる場合卽ち路面に撒布されし場合の相互作用を明かにしたものである．殊に本邦產瀝青乳劑に就き斯かる研究無く一資料を得る點よりするも頗る必要と思惟し，研究を開始せるものである．

［2］ 瀝青乳劑の瀝青粒子の負電荷竝にイオン雰圍氣に就て

瀝青粒子の負電荷に關しては［1］節及び緒言第I章に述べし如く諸論より推測し得るも其のイオン雰圍氣の構造及び根源に對し充分なる理論的竝びに實驗的說明がない．著者はタール乳劑製造實驗なる論文[25]に於て瀝青質が分散質となり瀝青乳劑を形成する爲めの條

22) C. H. M. Roberts; A new Theory of Emulsion; J. phys. chem., 36 II, 3087, 1932.
23) Ivan Kemp. E. K. Riedel; on the Cataphoresis of Gliadin, the effect of strong Electrolytes upon the mobility; Proc. of Royal Soc., A, vol. 147, No. 860, 1934.
24) L. Michaelis, Aristie Dombovice: Untersuchungen über die Kataphorese des Mastixsols; Kolloid Zst. 34, 322, 1924.
25) 島田八郎；前揭 12)

件を全く電氣的吸着理論を基とし考察した．一般に水の電媒恒數 $K_W=80$，瀝青物質の電媒恒數 $K_A=2\sim3$……の程度にて $K_W>K_A$…なる爲め純粹なる瀝青～水分の2成分なれば必ず水～瀝青 (water in asphalt) 乳劑をなすも，今第3成分なる乳化劑を混入すれば水～瀝青の界面に第3層を形成す，今第3層の電媒恒數を K_E とすれば通常の場合 $K_W>K_E>K_A$……なる關係が成立つ，斯かる場合に於ては瀝青～水乳劑が形成されゐ．或濃度，或濃度に於ける狀態を述ぶれば乳化劑物質の極性端 (Polar End •) 無極性端 (non-polar end ○) は第2圖に示す如く排列す．K_W-K_E の小なるほど水相と轉位層間の界面張力は減少し全體として水相よりの吸着力を極性端即ち可溶性端に及ぼし乳化劑分子は第2圖の如く周密に且つ可溶性端を水相に向け分布す．今分散せる瀝青粒子1個を1つの高分子量の僞分子 (Pseudo-molecule) と假定し或る種の鹽を乳化劑とし使用した場合下式の如くイオン的に考察し得，鹽を代表する意味にて便宜上 Na と書く．



第 2 圖

[瀝青～Na]コロイド＝Na^+＋[瀝青コロイド] ……(1)

斯かる Na^+ は外部に瀰漫せんとし此際存在せる强アルカリ溶液なる OH' イオンと平衡を保ち瀝青粒子周圍には OH' イオンの濃度大なる部分を生じ，屢〻述べし OH' イオン雰圍氣を形成するに至る．瀝青粒子に極めて近き部分は乳化劑物質個〻の吸着性により構造複雜なれども OH' イオン雰圍氣と見做し得る範圍を考慮に入れ論究せん．斯くの如き平衡狀態に於ける OH' イオン分布の狀況は乳化劑の解離度，界面の吸着性，分散媒の水素イオン濃度 (P_H) 等により影響を蒙るものなれば簡單に個〻の場合を記述し得ざるも上記の考察により略〻其構造を推定し得，第2圖は1つの說明である．分散媒中瀝青粒子の存在により OH' イオン濃度特に大と見做し得る範圍を分散媒 [II] と稱へ，他の部分を分散媒 [I] と稱ふ．勿論，I, II 部は互に明確に區別し得るものに非らざるも便宜上2部に分つ，要するに瀝青粒子周圍に [OH'] の周密層よりなるミセル (Micell) を形成するものである．著者は瀝青乳劑粘性係數研究[26] に於て膨潤比率と稱へ，此種の問題を論究した．斯くの如く瀝青乳劑を OH' イオンを含有せる水溶液として考察するに OH' 濃度は一樣でなく，OH' の濃度特に大なる部分が核の如く瀝青粒子の周圍に分布せるものである．今斯かる乳劑より濾紙其の他の方法により濾液を分離する時，分散媒 I, II 部分が如何に分離されるかは，重要な事柄である．今假りに OH' の濃度大なる部分即ちミセル部が全部取殘され第〔I〕分散媒のみ濾液となるとすれば濾液の P_H は分散媒 [I] の P_H に等しい．更に瀝青

26) 島田八郎：前揭 2)

乳劑の場合は OH'～イオン 的に考察するも不均一系なるを以て當然問題となるは水素イオン濃度及び測定方法の意義である．勿論分散媒［I］の場合に於ても，乳化劑としてゾル的特性を持つ成分を含有し全く同樣なれども試料，乳劑に比較するに一樣な濃度のものと見做す．本研究に於ては瀝青乳劑及び濾液の P_H を測定し，兩者の關係より分散媒[II]に於ける平均 OH' イオンの增大を推察し OH' イオン雰圍氣の存在による影響を明かにす．一方土壤懸濁液 (Soil Emulsoide) に於ける Christensen[27] の土壤水浸液と懸濁液の P_H の實驗を見るも膠質粒子面の H^+ 又は OH' イオンの吸着により一般に懸濁液の方水浸液より鹽基性又は酸性度が大である．瀝青乳劑に於ては上述の如く OH' イオン雰圍氣による現象なれば乳劑の P_H は濾液のものより大である．瀝青乳劑及び濾液の水素イオン濃度を夫々 ${}_EP_H$，${}_UP_H$ にて示すとすれば必ず ${}_EP_H > {}_UP_H$，${}_EP_H \geqslant 7$，${}_UP_H \geqslant 7$……である．各種乳劑に對する實測値より後章記述する如く Donnan 膜平衡理論[28]を平均水素イオン濃度 $[\overline{OH'}]_I$，$[\overline{OH'}]_{II}$ に適用しミセルと分散媒［I］との界面電位差 (ε) を推論し得．更に第 III 部瀝青粒子電氣泳動實驗より得られる粒子の帶電狀態從つて界面動的電位差 (ζ～電位) を比較對照し瀝青粒子帶電現象を明確になし瀝青乳劑の組織的性狀を明かにせん．

II. 測定法竝びに實驗結果に就て(其の1). 水素電極法.

［1］ 水素電極による測定法

溶液内の水素イオン濃度 P_H の測定とは水素瓦斯が電極部に於て飽和平衡狀態に達し溶液内の水素イオン $[H^+]$ との濃淡電位を實測する事である．試料により實驗上數多の困難を伴ひ實測不可能となる事も多い．H. Walther[29] は瀝青乳劑の P_H 研究に於て Ir にて覆ひし白金極を用ひたが詳細の發表なく不明の點が多い．著者は先づ電極を比較せん爲め Hildebrand[30] 電極，J. W. M. Bunker[31] の棒狀電極，密閉式 Michaelis[32] の梨子狀電極 (Birnförmige Wasserstoffelektrode) を用ひ測定値の確らしき (reproducible) を吟味した．白金黑に注意を拂へば II 章 [2] 節に述べる如く可成り確實に所謂瀝青乳劑の

27) Christensen, H. G. und Jensen, S.T.; Internat. Mitteil. Bodenk., 14, 1924. 1; 川村著 最近土壤膠質化學

28) F. G. Donnan; Theoxie der Membrangleichgewichte und Membranpotentiale bei vorhandsein von nicht dialysierenden Elektrolyten; Zst. f. electro-chemie,, Bd. 17, 14, 572, 1911, Die genave Thermodynamik der Membrangleichgewichte; Zst. f. phys. chem. A. 162, 346, 1932.

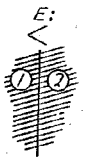
29) H. Walther; 前揭 5) H. Walther;

30) Joel H. Hildebrand; Some application of the hydrogen electrode in analysis, research, teaching; J. of Amer. chem. soc., 35, 847, 1913.

31) John. W. M. Bunker; the determination of hydrogen Concentration: J. of Biological chem., 41, 11, 1920.

32) L. Michaelis; die wasserstoffionenkonzentration, 1914, Berlin

水素イオン濃度を測定し得た．水素瓦斯により影響を蒙る成分を含む場合は勿論の事，遯青乳劑に於ては遯青粒子以外にゾル的成分を可成り多量に含有してゐる．遯青粒子の OH' イオンとしての影響は第Ⅰ章 [2] 節に述べし如く OH' イオンの濃度大なる核として現れてゐる．從つて電極部に於て濃淡電位の平衡に至る機構複雜にして時間的に見るも單純な電解質溶液の場合に比し長時間を要す．實測による電極部の平衡電位差より遯青乳劑の水素イオン濃度を換算せんに Ⅰ章 [2] 節に述べしイオン雰圍氣より判斷するも簡單に論ずることは出來ない．假りに下記 (2) 式の如く濃度を定義すれば實測電位差に應じ水素イオン的に見たる1つの狀態を求め得，先づ斯かる理想的狀態を求め然る後其の物理的意義を考察し遯青乳劑の組織に論及せん．



第 3 圖

$$E=\frac{RT}{nF}\ln\frac{P_1}{P_2}=\frac{RT}{nF}\ln\frac{\bar{c}_1}{\bar{c}_2}\quad\cdots\cdots(2)$$

但し，E：②部の①部に對する電位差．

P_1 P_2：①，②相に於ける水素イオン滲透壓．

$\bar{c}_1$，$\bar{c}_2$：①，②相に於ける假定的水素イオン濃度にて，$[\overline{H}]_1$ $[\overline{H}]_2$…とす．

n：原子價．水素瓦斯 $n=1$，R，F：常數 $R=8.31507$ (volt. coulomb, abs.) $F=96500$ (coulomb, abs.)，univ. volt＝abs. volt$\times\frac{1}{1.00042}$

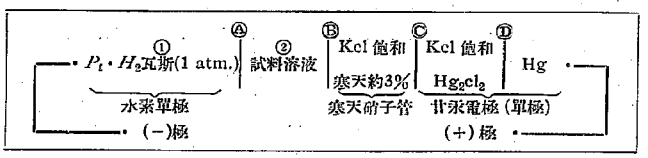
T：絕對溫等……を示す．

今有效文字4桁をとり水素イオンに對し (2) 式は (3) 式となる，但し volt は (univ. volt) とす．

$$E=0.0001983T\times\log\frac{[\overline{H}]_1}{[\overline{H}]_2}\quad\cdots\cdots(3)$$

今①相は白金黑せる白金極にて充分 H_2～瓦斯を飽和せるもので且つ壓力1氣壓とすれば (3) 式にて $[\overline{H}]_1=1$…… と置く事を得．

$$E=0.0001987T\times\log\frac{1}{[\overline{H}]_2},\quad P_H=\log\frac{1}{[\overline{H}]_2}=-\log[\overline{H}]_2\quad\cdots\cdots(3)'$$



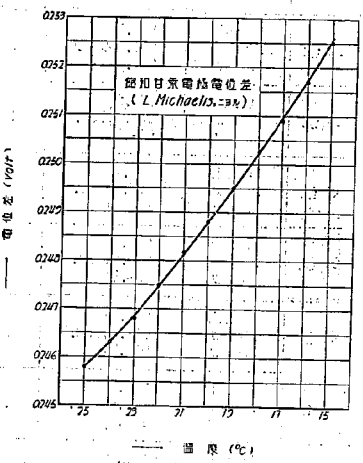
第　4　圖

實驗は通常行れをる如く第4圖の接續輪道を作り A, B, C, D 各界面電位差の代數和を測定す．本實驗に於てはⒷⒸの擴散電位差及び微少なるものは省略しⒶ，Ⓓの界面電位差のみ考慮に入れる．

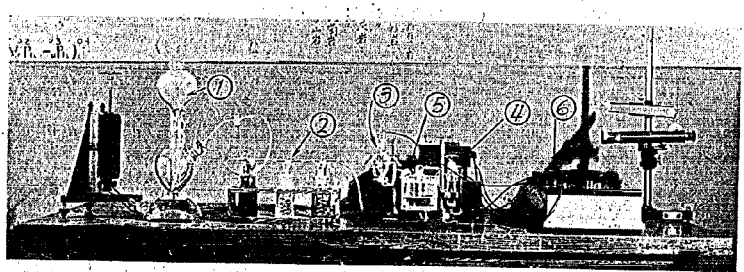
下記 (4) 式に於て㋐界面電位差は(3)′式を示すもので試料(瀝青乳劑)の P_H 即ち $[\overline{H}]_2$… を求め得．即ち

輪道起電力 − ㋑界面電位差 = ㋐界面電位差 ……(4)

㋑界面電位差は L. Michaelis の研究によれば第5圖の如く溫度により變るもので (4) 式に此の値を代入す．輪道起電力は標準カドミューム電池とポテンチヲメトリックに比較し定む．H_2～電極 に於て特に異常あり實測困難なりし場合は III 章に述ぶる如くアンチモン(Sb)～電極を使用す．H_2～瓦斯通過割合は1秒に1氣泡程度にて10分の後輪道起電力を測り更に 20 分，30 分水素瓦斯を通じ測定電位差 1 m.v. 程度に一定すれば電極部に平衡成立つものと假定し該測定値を以て所要の輪道起電力とす．(4) (3)′式より瀝青乳劑の假定平均水素イオン濃度 $[\overline{H}]_2$ を得．寫眞第2は本實驗に使用せる裝置を示すものにて說明省略するも ③は Michaelis 氏製子型容器 ④は飽和甘汞單極



第　5　圖



寫　眞　第　2

を示す．

［2］ 實驗結果及び瀝青乳劑の特性

第5表は［1］節實驗方法に從ひ，10, 20, 30 分水素瓦斯通過後に於ける瀝青乳劑及び濾液の平衡輪道電位差を m.v. にて示せるものである．試料に A', B'……の如く "′" を添附せしは結言 II 章に述べし一般試料と異るも同一會社製同名品にて製造期の異るもの

第 5 表 乳劑及び濾液の水素電極による實驗結果

試料名	濾液 水素瓦斯通過時間	濾液 電位差. 平均 m.v.	濾液 温度	乳劑 水素瓦斯通過時間	乳劑 電位差. 平均 m.v.	乳劑 温度
A 號	10 min 20 〃 30 〃	957.7 957.6 957.0 957.6	23.0℃	10 min 20 〃 30 〃	976.2 976.2 976.1 976.0	22.5℃
B 號	10 min 20 〃 30 〃	959.6 959.3 959.4 959.2	22.7℃	10 min 20 〃 30 〃	966.9 967.2 967.1 967.3	21.1℃
C 號	10 min 20 〃 30 〃	955.8 955.6 956.5 956.1	22.5℃	10 min 20 〃 30 〃	970.8 970.7 970.6 970.5	22.0℃
D 號	10 min 20 〃 30 〃	924.2 924.5 924.3 924.3	24.0℃	10 min 20 〃 30 〃	937.1 937.3 937.2 937.2	22.4℃
H 號	10 min 20 〃 30 〃	969.0 968.9 968.9 968.8	22.2℃	10 min 20 〃 30 〃	974.4 974.3 974.4 974.4	22.2℃
G 號	10 min 20 〃 30 〃	955.8 956.0 956.0 956.1	23.5℃	10 min 20 〃 30 〃	964.6 964.8 964.7 964.7	26.2℃
I 號	10 min 20 〃 30 〃	932.2 932.6 932.4 932.5	23.5℃	10 min 20 〃 30 〃	937.1 937.3 937.2 937.2	22.4℃

(製造後約 4 ヶ月以内のもの)

第 6 表 乳劑及び濾液の P_H (製造後 2 ヶ月以内)

試料名	乳劑 電位差 m.v.	乳劑 温度	乳劑 $_EP_H$	濾液 電位差 m.v.	濾液 温度	濾液 $_VP_H$	P_H の差 $_EP_H - {}_VP_H$
A 號	963.5 962.7	14.2℃ 14.5℃	12.46 12.43	958.8 958.2	17.5℃ 14.5℃	12.29 12.34	0.12
B 號	972.8 972.7	13.2℃ 15.0℃	12.67 12.61	955.6 957.2	18.0℃ 13.8℃	12.22 12.34	0.33*
C 號	969.5 966.5	16.5℃ 12.0℃	12.51 12.49	959.7 956.9	18.0℃ 15.5℃	12.29 12.31	0.20
D 號	980.2 979.3	15.2℃ 15.5℃	12.72 12.70	965.7 966.5	18.0℃ 16.0℃	12.40 12.46	0.26
E 號	947.9	17.5℃	12.10	937.7	16.8℃	11.94	0.10
F 號	949.9	16.5℃	12.16	932.2	16.0℃	11.86	0.30
G 號	962.1 962.9	17.4℃ 18.0℃	12.34 12.33	955.9 954.4	17.0℃ 17.5℃	12.25 12.21	0.13
H 號	962.8	17.0℃	12.37	953.5	17.2℃	12.18	0.20
I 號	932.2	14.5℃	11.89	912.8	14.8℃	11.55	0.34*
J 號	844.8	16.0℃	10.34	845.5	15.5℃	10.37	−0.03

を試料とせるものである．第5表によるに乳劑，濾液共に可なり確實に一定値を示してゐる，實測せし時の溫度をも記入しをく，第6表は本研究試料によるものである．第5表より判斷し H_2～瓦斯通過時間20分を標準とし實測せしものである．第 5, 第 6 表を比較するに同記號のものも全く同じ電位差を示さず一般に製造後の經過日數少き第6表の場合水素イオン濃度大なるもの〻様である．卽ち ${}_EP_H$, ${}_UP_H$ 共に舊きもの小なるも比較的 P_H の小なる滲透用のものは其の減少度が少し．兩表を見るも第Ⅰ章［1］,［2］節に推論せし如く總ての場合　${}_EP_H > {}_UP_H$　である．第 6 表 J 號のみ ${}_EP_H < {}_UP_H$ なるも其の差極めて微少にて寧ろ實驗誤差程度である．兩者の差 …${}_EP_H - {}_UP_H = \Delta_E P_U$…… に就ては後に詳論するも瀝青乳劑の性狀上重要なるものなれば第6表に同時に記入しをく．第7表は第5表瀝青乳劑濾液の ${}_EP_H, {}_UP_H$, … の値を計算せるものである．上記の第 5, 6, 7 表の實驗値より ${}_EP_H$, ${}_UP_H$ に關する重要なる結果を得．今下記の如く 4 項に分類し考察せん．

第 7 表

乳劑及び濾液の P_H（第5表より）

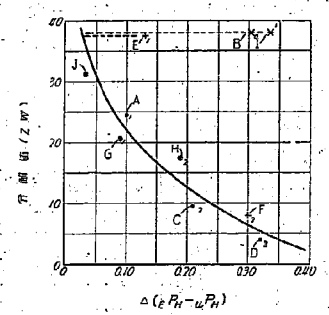
試料名	乳劑 ${}_EP_H$	濾液 ${}_UP_H$
A′號	12.45	12.13
B′號	12.34	12.15
C′號	12.38	12.11
D′號	11.79	11.53
H′號	12.43	12.34
G′號	12.18	12.08
I′ 號	11.87	11.68

1) 瀝青乳劑に於ては ${}_EP_H > {}_UP_H$ が成立つ．

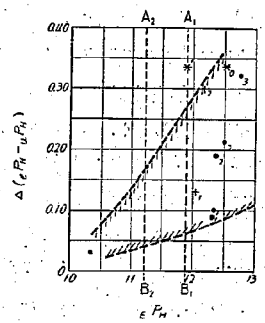
2) ${}_EP_H - {}_UP_H = \Delta_E P_H$ …… は一般に同じ會社製造の如く同一系統の乳化劑を主成分とせるものにては混合用乳劑のもの滲透用のものより大である，但し B, I 號は滲透用なれども $\Delta_E P_U$ の値大である，I 號は ${}_EP_H$, ${}_UP_H$ の値其れ自體も他のものより小である，B 號は P_H 實驗後乳劑變質せる如く電位差一定となるも H_2～瓦斯の爲め眞の ${}_EP_H$ を示さゞるか一應他の方法にて確める事を要す（後章更に Sb～電極にて實驗す）．

3) 緒言Ⅰ章，本Ⅰ章に述べし如く瀝青乳劑の分解性に對する安定度は，イオン雰圍氣の類似構造の場合に於ては，瀝青粒子の界面動的電位（ζ～電位）による影響を蒙るものにて其の性狀は重要なもの〻一である．殊に瀝青乳劑の分解値は緒言Ⅰ章，本Ⅰ章に述べし如く實驗方法により可成り異るものなれば他の特性と比較する場合細心の注意を要す．緒言 II 章［3］に述べし分解値等は鋪裝施工に於ける碎石との相互作用によるものにて後述するも，岩石碎石の吸水性，イオン吸着性，電解質溶解作用等の綜合作用によるものである．斯く考察する時玆に云ふ分解値と ζ～電位，水素イオン濃度 ${}_EP_H$ とには密接なる關係あるも第一義的關係ありと斷定し得ず，但し通常の岩石碎石殊に安山岩に於ては後章述ぶるも有害電解質溶解僅少にて，アルカリ OH' イオン吸着性及び吸水性共に大なれば斯かる碎石に於て吸着，吸水兩性質の影響が互に一定關係を保つと假定すれば，上記分解値と水素イオン濃度に關する特性との間には少くとも第一義類似の

關係あるものと推測し得．第6圖は瀝青乳劑分解値 (Z. W. 緒言 II 章 [3] 節)～$\Delta_E P_U$ の關係を示すもので第 7 圖 ${}_EP_H$, ${}_UP_H$, $\Delta_E P_U$…… 存在範圍圖を示す兩者共に下記の如き記號を用ふ．第 6 圖に示す如く混合用滲透用を通じ分解値 (Z.W.) は $\Delta_E P_U$ と可成り密接な關係ある事を示し，殊に同一會社製品に於ては，混合用，滲透用は分解値大なるもの $\Delta_E P_U$ 小なる傾向を明瞭に示すも下記の 2 種のものは $\Delta_E P_U$ 大なるに拘らず



第　6　圖



第　7　圖

第　8　表

試料名	A號	B號	C號	D號	G號	H號	E號	F號	I號	J號
記　號	●1	※0	●2	●3	⊙1	⊙2	+1	+2	※′	▣

分解値が著しく大である，即ち

B 號，I 號．　兩者共に實測の際に於ける外界等の影響によるに非らざるかを確めん爲め，第 III 章 [3] Sb～電極によるも略ゝ同じ程度の $\Delta_E P_U$ を得．上記の事實は碎石による分解なるものが如何なる意義を有するやを推論する一つの根據を與ふ．

B 號瀝青乳劑のイオン雰圍氣は可成り擴散せるものにてイオン密度的に見て大なる濃度を持つものである．從つてイオン雰圍氣の構造堅固ならざるにより $\Delta_E P_U$ ([3] 節參照) 比較的大となる．

I 號瀝青乳劑もイオン的に擴散性を有するものと考へ得るも I 號の ${}_EP_H$ が IV 章 [3] に述べる碎石イオン吸着上限に近き爲め，分解作用は吸水作用により且つ ${}_UP_H$ の値僅少にして外界の影響受け易きによる．斯く $\Delta_E P_U$ と通常の意味の分解の間に總ての乳劑に共通なる結論を導き得ず，之は [3] 節に詳論するも瀝青粒子のイオン雰圍氣の構造による

もので尊ろ當然である．

4) ［2］節の實驗結果により瀝青乳劑の P_H に關する値を明かにした，試料 10 種に就て，J 號以外は

$$_EP_H=11.8\sim12.7. \qquad _UP_H=11.55\sim12.46$$

にて…11～13…の範圍にあり，J 號のみ $_EP_H=10.34$ 程度である．然るに IV 章［3］節によるに $P_H=11\sim12$ の間に碎石の OH' イオン吸着性に對する轉位點あり．$P_H=10.34$ のもの>分解と $P_H>12$ の瀝青乳劑の分解機構には異る點がある．$_AP_H$ と $_EA_U$ の間に存在せる有機的關係を本實驗のみより一般的に求むる事は困難である，第7圖に其の分布關係を示す．同圖中縱線 A_1 B_1, A_2 B_2 間の範圍は碎石（安山岩）の OH' イオン吸着性轉位範圍を示す．

上記 (1)～(4) の如く P_H の實驗結果より二，三重要なる結論を得たるも更に $_EP_H$, $_UP_H$ の値に基き瀝青粒子界面の ζ～電位に關する特性を考察せん．第 III 部電氣泳動實驗と比較對照する場合に必要である．

［3］ **水素イオン濃度値による界面電位**

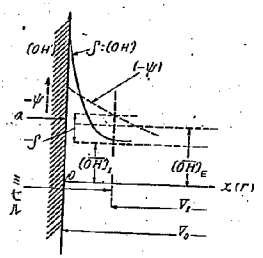
第 I 章，［2］に述べし瀝青乳劑のイオン雰圍氣の狀態を明かにするは頗る肝要なる事なれども組織的構造を直接測定開明する事不可能である．雰圍氣の構造を假定し實測し得る量を歸納し實驗値と比較し其の假定の事實に矛盾せず合理的なる事を立證する以外に方法がない．［2］節に實驗より得たる瀝青乳劑及び濕液の水素イオン濃度 $_EP_H$, $_UP_H$ は試料が一樣な OH' イオン濃度を有するものと假定し得たるものにて第 I 章［2］節に論ぜし乳劑構造より推測すればミセル內の分散媒［II］及び分散媒［I］の OH' イオン濃度による．今兩者を $[OH']_{II}$，$[OH']_I$ ……とするも共に常數ならず瀝青粒子中心よりの距離 (x) の函數である，(5) 式にて之を示す．

$$[OH']=f(x) \qquad \cdots\cdots(5)$$

但し x：運動せる粒子中心を座標原點とせる場中心よりの距離を示す．第 2 圖により $x<a$ に對して $f(x)$ は $[OH']_{II}$, $x>a$ に對し $[OH']_I$ を與ふ．［2］節の實測されし電位に相當する $_EP_H$…… は $f(x)$ の函數形により如何なる影響を蒙るや吟味する必要がある．今電極面附近のイオン狀態を考察するに靜的平衡は保たれず瀝青粒子は盛に Brown 運動をなし粒子のイオン雰圍氣の異なる部分が同一確率を持つて電極面に衝突し準平衡を保つ，從つて乳劑內より電極面に至る 1 つの回路を考へ粒子イオン雰圍氣の各部が同等に平衡に與ると見做し先づ OH' イオン濃度の容積平均を考慮に入れ (6) 式の如く平均濃度を定義す．

$$[\overline{OH'}]_I=\int^{V_I} f(x)dv/V_I=[\overline{OH'}]_U, \quad [\overline{OH'}]_E=\int^{V_0} f(x)dv/V_0 \cdots\cdots(6)$$

但し，V_1：分散媒 (1) の容積，V_0：分散媒 I, II 總和の容積……を示す瀝青乳劑濾液の場合 (6) 式を以て $[\overline{OH'}]_E$, $[\overline{OH'}]_U$ が電極部電位差に有效に作用するものとすれば第8圖の如くイオン雰圍氣を假定し $[\overline{OH'}]_E$, $[\overline{OH'}]_U$, OH' 濃度 ρ, 從つて瀝青粒子周圍の電場 ψ をも推定し得．(5) 式の $f(x)$ の $x<a$ の函數形は Gouy,[33] Debye-Hückel[34] 等により得らるも今瀝青粒子の OH' イオン吸着のみを考慮に入れ下記 (7) (8) 式の如くイオン雰圍氣を考察し得，卽ち



第 8 圖

C：濃度 mol/cm^3，ρ：イオン密度，K：分散媒電媒恒數，F：Faraday 常數，國際 Coulomb/g. Mol.

ψ：任意の點の電場の ポテンシャル，ψ'：界面に於ける吸着力によるポテンシャル，C_1, C_2：(−) (+) イオンの $x=0$ 界面に於ける濃度とし，イオン分布等全く中心對稱をなすものとすれば，下式を得．

$$\left.\begin{aligned} &\Delta\psi=\frac{d^2\psi}{dr^2}+\frac{2}{r}\frac{d\psi}{dr}=-\frac{4\pi\rho}{K}\ ,\ \rho=\Sigma FC\ ,\\ &C=C_1e^{\frac{-\psi F+\psi'}{RT}}\ ,\ a_1=\frac{4\pi FC_1}{K}\ ,\quad \alpha=\frac{F}{RT} \end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

今負イオン OH' のみ考慮に入れつゝある故上式中 $F<0$ 値を示す，一方 Freundlich[35] 等の文獻によるも一般乳劑 (Emulsion, Emulsoide) の界面動電位 ζ は 50 m.v. 以下である．然るに α は 20°C に於て略

$$\alpha=\frac{F}{RT}=\frac{96495\pm5\ \text{Coulomb/mol}}{(8.3136\pm0.001)\times10^7\ \text{erg/deg. Mol}\times(273+20)\text{deg.}}$$

にて $\alpha\fallingdotseq25.3$ m.v. ……となる．若し (7) 式の ψ が上記 ζ〜電位 の程度とすれば

$\alpha\psi>1$……なる事が多い．上式兩端より負符號を消去し ψ, F を，便宜上 (+) とすれば第8圖の如く示し得．$r\psi<\frac{1}{\alpha}$ なれば下記の如くなる，

$$\frac{1}{r}\frac{d^2(r\psi)}{dr^2}=a_1e^{-\psi\alpha+\frac{\psi'}{RT}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

(8) 式は擴散性イオンによる影響を示す，

斯く，OH' イオン濃度 ρ とイオン雰圍氣の電場 ψ の間一定の關係より第8圖の實線にて $[OH']$ 分布が與へらるれば (8) 式を滿足する樣電位 (ψ) の分布が定まる點線……

33) M. Gouy ; Sur la Constitution de la charge électrique à la surface d'un électrolyte, C. R., Tome 144, 655, 1909.

34) P. Debye-und Hückel ; Zur Theorie der Electrolyte, physikal. Zst., 24, 180, 1923.

35) H. Freundlich ; Kapillarchemie, I, II, 1930. Leipzig.

の如く緩慢となる．界面動的電位 ζ～電位とは Brown 運動又は電氣泳動の際の粒子固定部の分散媒 (I) に對する電位と見做せば例へば第 8 圖に示す ζ の如きものである．本研究水素イオン濃度の實驗は電荷分布の影響を考察せるもので今平均濃度上記 $[\overline{OH'}]_E$ $[\overline{OH'}]_U$ の二相が平衡せる場合の界面電位差を求む．

第II章，［2］，第 6 表，第 4 項 ${}_EP_H - {}_UP_H = \Delta_E P_U$ より，$\log [\overline{OH'}]_E/[\overline{OH'}]_U = \Delta_E P_U$ と置き，第II章，［3］′ 式の $[\overline{OH'}]_2$ の代りに $\propto \frac{1}{[\overline{OH'}]}$ を代入し，且つ $T'=273+20$ …… とすれば (9) 式の如く界面電位差を求め得．

$$-\bar{\varepsilon} = -58.0 \times \log \frac{[\overline{OH'}]_E}{[\overline{OH'}]_U} = -58.0 \times \Delta_E P_U (\text{m.v.}) \cdots\cdots (9)$$

第9表 $\bar{\varepsilon}$ は (9) 式より得たる界面電位差の m.v. 數値である．表示の如く瀝青乳劑の種類にて異るも略ゝ (7～20 m.v.) 程度である．然るに第I章［2］節第 2 圖及び第 8 圖より判斷するに一般に界面動的電位差 ζ を呈すべき位置のミセル部の $[OH']$ が平均 $[\overline{OH'}]_E$ より大にして p 乘とすれば …$[OH'] = [\overline{OH'}]_E^p$… にて示し得．斯かる場合分散媒［I］即ち濾液との界面 Donnan 平衡電位は (9) 式の代りに (10) 式の如くなる．

$$-\bar{\varepsilon}_D = -58.0 \times \log \frac{[\overline{OH'}]_E^p}{[\overline{OH'}]_U} = -58.0 \times \left(\Delta_E P_U (\text{m.v.}) + \log [\overline{OH'}]_E^{-1} \right) \cdots\cdots (10)$$

一般に安定なる瀝青乳劑に於ては …$p>1$… の値を有し p～値により瀝青粒子ミセルの有效直徑竝に OH' イオン分布狀態を推定し得．本研究第 III 部電氣泳動實驗に於て瀝青粒子易動度より分散媒電蒸恒數 ($K=80$)，粘性係數 ($\eta_0=0.01$ poise) と假定し求めし界面動的電位差 (ζ) は 20～40 m.v. の程度である．本節に於ては所謂 ε～電位，ζ～電位の關係に就き考察する目的に非らざるも (10) 式の如く p なるパラメータを導入し相互關係を推論し得た二，三の展開に對しては第 III 部に記述することあらん．

第 9 表

乳劑及び濾液の平均 OH' イオン濃度比 $[\overline{OH'}]_E/[\overline{OH'}]_U$ 及び Donnan 電位差 $\bar{\varepsilon}$

試料名	$\frac{[\overline{OH'}]_E}{[\overline{OH_t}]_U}$	$\bar{\varepsilon}$ m.v.
A 號	1.32	7.65
B 號	2.14	19.1
C 號	1.58	11.6
D 號	1.82	15.0
E 號	1.26	7.3
F 號	2.00	17.4
G 號	1.35	7.5
H 號	1.59	11.6
I 號	2.19	12.3
J 號	−1.08	—

斯くして瀝青乳劑に於ても粒子の OH' イオン吸着によるイオン分布を假定し Donnan 界面平衡電位差の値を求め，負の値とし第 9 表の如きものを得，粒子負電荷を明かにした．更にミセルの構造によるパラメーターとし (10) 式の p を導入した．

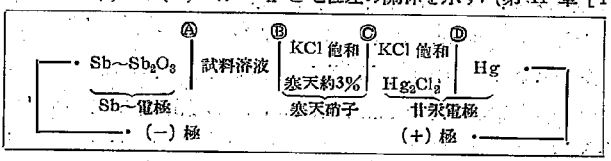
以上は H_2～電極による水素イオン濃度測定による結果にて次章にアンチモン電極による實驗結果を述べる.

III. 測定方法竝びに實驗結果に就て (其の2)
アンチモン (Sb) 電極法

[1] アンチモン (Sb) 電極による測定法

第II章[2]節實驗中試料B號の如く H_2～瓦斯を通ずる事により別個の平衡狀態に移動するや懸念の生ずる場合がある. 例へば Co_2 瓦斯等を吸收せるもの又は白金黑電極面に於て分解物を形成する場合測定された P_H は可成り原の平衡狀態のものと異る. 殊に第IV章碎石のイオン吸着性を研究せる場合の如く可成り中性溶液に近きもの, 弱酸性のもの等を取扱ふ時は特に其の影響著しく H_2～電極にては絕對に測定不可能である. 瀝青乳劑は强アルカリ溶液にて調節力大なれば一般には斯かる影響少しと見做し得るも一應 H_2～瓦斯の影響の有無を明かにする意味に於て電極を變じSbとなし水素イオン濃度を測る必要がある. 斯かる目的にてSb～電極を用ひ更に上記瀝青乳劑の P_H を研究した. 鋪裝用瀝青乳劑の P_H 研究に E. Vellinger, Flaviguy[36] が Sb～電極を使用せしも詳しく報告に接せず著者は先づSb～電極特性を研究し瀝青乳劑に對する特性を明かにす.

Sb～電極は其の信賴度 H_2～電極より劣れるものである, 先づ信賴度に就き述べん. 1923年 Uhl. Kestranek[37] により直徑 6～7 mm 長さ 10～5 cm の Sb～鑄物の棒狀 Sb 電極が使用された. エメリーペーパー 000# 程度のものにて磨けば空氣中にて表面酸化し Sb_2O_3 を生じ微少量なれども可溶性酸化物にて溶液中の水素イオン濃度 $[H^+]$ と平衡を保つ. 平衡狀態は全く H_2～電極の場合と同樣であるがSb～電極の場合は表面の僅少な影響も平衡に可成り著しき變化を與へ, H_2～電極の場合の如く常に平衡が確實 (reproducible) でない. 甘汞電極と輪道を作り起電力を測定し試料溶液～Sb 電極間の界面電位差を求め試料の P_H…を求めることは第II章[1] H_2～電極の場合と全く同樣である. 第9圖は測定輪道を, (4)′ 式 (11) 式は P_H と電位差の關係を示す. (第II章[1]節)



第 9 圖

36) E. Vellinger and Flávigny; 前揭 (15)

37) Uhl und Kestranek; Monatsh., 44, 29, 1923. ((40) による)

輪道起電力(E)－⑪界面電位差＝⑭界面電位差 ……(4)'

$$E=f(P_H)=A_1+B_1P_H \quad \cdots\cdots(11)$$

但し (11) 式の P_H は試料水素イオン濃度にて E は第9圖の如き輪道に於ける起電力である．Sb～電極による測定に於ては H_2～瓦斯による惡影響等は除き得るも Sb の表面の狀況により種々不確實性を示すもので Sb～棒の鑄方方法による結晶粒の大小によるも，測定時に於ける電極振動影響も可なり存在するもの＞如く，一應斯かる特性を吟味し置く必要がある．

L. R. Parks, H. C. Beard[38] によれば電極の振動及び電極部の電流通過により平衡は常に破壞され，S. Procopiu[39] 實驗中の振動によるも，影響を吟味し振動の防止すべき事を述べてゐる，更に實用上輪道電位差の不安定なるは P_H の大なるほど著しく，瀝青乳劑の P_H は 12 以上なれば特に此點に關して其の性狀を明かにしをく必要がある，L. R. Parks[40] は 8 本の Sb～電極を使用し試料測定 P_H 値により平均 P_H よりの各極の最大偏差を明かにした．卽ち P_H=1.30；7；10.53；11.29；11.86；12.01；に對し最大偏差～3.6；3.0；1.1；5.5；10.4；13.6；(in.v.)……にて P_H=12 程度のアルカリ溶液に至れば各測定値は可成り不確實なものとなる．Kurt. W. Frank, J. J. Williaman[41] も Sb～極使用に際しての注意として常に Sb 結晶の微少なるものを選擇し酸性～鹽基の範圍に涉る時必ず蒸溜水にて淸淨すべく且つ使用範圍 P_H は 12 以下とすべしと述べてをる．J. R. Ball, Webster, B. Schmidt[42] 等の硫化物被膜を作る事により Sb～表面の不安定を

第 11 表　Sb～極使用輪道起電力 E と P_H との關係

温　度	E_{sb}；輪　道　起　電　力 (Volt)	甘汞電極	P_H 範圍
25°C	$E_{sb}=0.050+0.054\,P_H$ (K. W. Frank, J. J. Willaman)[43]	1—N.	1—12
25°C	$=-0.007+0.05195\,P_H$ (Parks, Beard)[44]	飽　和	2—7
20°C	$=-0.020+0.05813\,P_H$ (T. R. Ball, Webster, B. Schmidt[45]	〃	2—10
14°C	$=0.0415+0.0485\,P_H$ (Kolthoff, Hartong)[46]	〃	1—9
14°C	$=0.009+0.0536\,P_H$ (〃 , 〃)	〃	>9

Kolthoff が P_H の値にて二式を區別し提出してゐる．

38) L. R. Parks, H. C. Beard; The stick antimony electrode; preparation and calibration, J. Amer. Chem, Soc. 54 I, 856, 1932.

39) Stefan Procopiu; Die elektromotorische Kraft an bewegten Elektroden und das elektrokinetische Potential der Metalle, Zst. f. Phys. chemie, A, 154, 322, 1931.

40) L. R. Parks, H. C. Beard. 前揭 (37)

41) Kurt W. Frank, J. J. Williaman; Measearment of hydrogen Ion Concentration in the control of Pulp and Paper manufacture, Ind. Eng. Chem., Vol, 20, 1, 87, 1928.

除かんと試み，精度として P_H=2～10±0.02 を得た，上記の二,三の例を見るも Sb～電極は使用に際し必ず各極に應じ一々性狀を吟味する必要ある事を示すものである．下記第 11 表に各研究者の使用せし Sb～電極による輪道起電力 (E) と試料溶液 P_H との關係を示す．同表より E～P_H の直線關係の範圍及び各値の不同の程度を知り得．

Amar Nath Puri[47] の土壤研究に於ても其の他が石鹸研究に於ても P_H=9～13 の範圍にても安定であると報告せるも從來の結果以上の如きものなれば本實驗 Sb～極に就ても詳細の研究を必要とするものである．卽ち，本實驗に於ては 1 本の極を使用せし故各極の影響は吟味し得ざりしも

(i) Sb～極使用に際しての輪道起電力の平衡に達する時間的傾向を吟味し

(ii) 溶液の P_H に對する輪道起電力を明かにする必要がある

殊に Sb～電極は碎石のイオン吸着研究に必要缺くべからざるものなれば詳細に其の性狀を調べた，以下［2］節にカリブレイションの結果を述べる．

［2］電極カリブレイション

本實驗に使用せる Sb～電極は直徑 15 mm，長さ 30 mm の Sb～鑄物にて，エメリーペーパー (000#) で磨き蒸溜水にて洗淨し試料中に浸入す．輪道起電力平衡に至るまで約 3～5 分の時間經過を要するも一度アルカリ溶液に使用せし後は單に蒸溜水にて洗淨するのみにて再び，同性溶液に使用すれば見掛上瞬時に平衡に達す．標準溶液としては下記第 12 表の如きものを使用す．

第 12 表 Sb～極カリブレイション用標準液

P_H 範圍	標準調節液
2～4	Clark. Lubs のフタール酸加里～鹽酸調節液
4～7	〃 フタール酸加里～ナトロン調節液
>7	Sörensen のグリコール～ナトロン調節液

實驗法としては第 II 章に述べし H_2～電極を使用し標準液の P_H を定め一方第 9 圖の輪道により Sb～極使用に於ける起電力を測定す．第13表は兩者の結果を表示せるものである．遊離乳劑の P_H 研究に於て特に P_H＞=12 の溶液に對する特性を吟味する必要あれば前記の溶液以外更に 0.1 N の KOH 溶液を添加し P_H=12.45～13.4 間に 5 點をと

42) J. R. Ball, Webster, B. Schmidt, Karl S. Bergstresser: New type of antimony electrode for P_H Measurement, Ind. Eng. Chem., Vol. 6, No. 1, 60, 1934.

43) 前揭 41), 44) 前揭 38), 45) 前揭 42), 46) Kolthoff, Hartong: Rec. trav. Chim., 44, 113, 1925, 前揭 41)

47) Amar Nath Puri, Balmokand Anand: An electrometric titration method of finding the P_H value and lime requirement of Soils; Soil Science, Vol. 37, No. 1, 49, 1934.

り Sb～極輸道起電力と P_H の關係を明かにした．第 10 圖は斯くして得たる E_{Sb}～P_H 關係を圖示せるものである．同圖より明かなる如く；——

P_H=2～11.5… の範圍に於ては E_{Sb}～P_H の關係は略ゝ直線をなし下記 (12) 式にて示し得．

$$E_{Sb}\,(\text{volt}) = 0.004 + 0.0529\,P_H$$

（實驗溫度16.5～18.8°C）……(12)

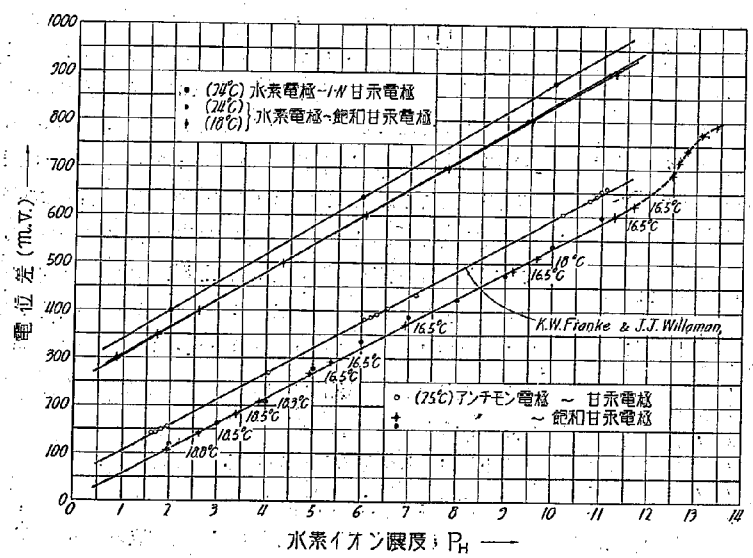
(12) 式は本章第 11 表に示せし程度の E_{Sb}～P_H… 關係を與ふ，P_H>11.5 以上に於ては可なり直線より偏差してゐる．同圖には便宜上二，三他の値をも記入した．

第 13 表

アンチモニー電極（輸道起電力）E_{Sb}

水素電極使用	アンチモニー電極使用	E_H より換算せる P_H	溫度
E_H	E_{Sb}	P_H	t
0.3627	0.1054	1.96	18.8°C
0.4031	0.1412	2.64	18.5°C
0.4480	0.1828	3.42	18.5°C
0.4744	0.2086	3.87	18.3°C
0.5353	0.2692	4.93	16.5°C
0.5596	0.2945	5.37	16.5°C
0.6503	0.3722	6.94	16.5°C
0.7791	0.4842	9.18	16.5°C
0.8098	0.5127	9.69	18.0°C
0.9004	0.6032	11.29	16.5°C
0.9208	0.6251	11.67	16.2°C

● ● (又は+)……は Sb～極－飽和甘汞極輸道による E_{Sb}～P_H，＋ 調節液，



第 10 圖

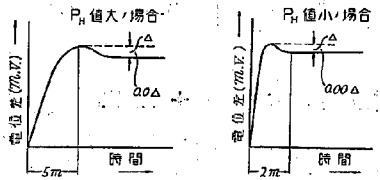
⊙ (0.1N)……は KOH と ClH 溶液の混合液による．

○ ○ (25℃)……は Sb～極－1N 甘汞極輪道による E_{Sb}～P_H, (Kranke. Williaman)

⊙ (24℃) ……は H_2～極－1N. 甘汞極輪道による E_{sb}～P_H,

● (24℃ ∮ 18℃)…は H_2～極－飽和甘汞極輪道による E_{sb}～P_H,

を示すものにて可成り確實な關係を保つてゐる．特に K. W. Frank, J. J. Williaman[48] の實驗とは，甘汞電極の濃度の差異として明瞭に同様なる關係を示してゐる．特に調節液ならずも "●" 記號も略ゝ同じ傾向を示してゐる．Sb～電極に於ては平衡に達するに時間を必要とするもので標準液使用の際も P_H の大小に應じ2樣の形式を示した．第11圖 [a] [b] は，溶液 P_H の大小2つの場合の輪道電位差 E_{Sb}～時間の關係を示すものである．兩者共に一旦最大値に達し，後或る値に漸近的に近づくものである．最大値に至る時間及び最大値と極限値の差異共に P_H の大なる場合は P_H 小なる場合に比して大である．Sb～極面の平衡を考察するに一旦基準狀態の Sb_2O_3 に達し更に溶液內の H^+ イオンの作用により侵蝕され稍ゝ低下せる別個の平衡に至るものとすれば少くとも最大値を以て其の溶液の P_H を示すものとする事が妥當である．P_H の大なる場合，約5分にて最大値に達し 10 %程度の低下あるも P_H の小なる場合は 2 分餘にて最大値に達し且つ低下は數%以下である．上記第13表其の他 E_{Sb} は總て最大値をとりしものである．澱青乳劑及び濾液の如く液中にコロイド成分を多量に含有せる場合更に輪道起電力 (E_{Sb}) の時間的移動は複雜となる事明かにして [3] 節に其の詳細を述べよう．非緩衝液 (non-buffer solution) に於ては E_{Sb}～時間關係は第 11 圖の場合より緩慢にて最大値等を測定する事極めて困難となる．第 14 表は其の一例として蒸溜水の場合實測せる結果にて約 8 分にて最大値に達す．P_H=6.70……にて弱酸性度を示す．



第 11 圖

第 14 表

水の水素イオン濃度 (P_H) Sb～電極による (17°C)

時 間	電位差 (Volt)
40″	0.3395
1′ 30″	0.3475
2′	0.3495
3′ 10″	0.3555
4′ 20″	0.3571
8′	0.3571
11′ 30″	0.3541
14′	0.3510
	P_H=6.70

以上の如く本實驗使用の Sb～電極に就き，

1) 使用上の一般的注意事項

2) Sb極～甘汞極輪道の起電力 (E_{Sb}) と溶液の P_H の關係

48) K. W. Frank, J. J. Williaman. 前揭 41)

3) 平衡起電力 (E_{Sb}) の移轉狀態…等を明かにし，其の信頼度に對する概念を樹て一般的性狀を明かにす．

[3] 實驗結果

(A) 第II章 [2] H_2～電極による實驗に於て $\Delta_E P_U$ の値を求めしに B 號，I 號共に滲透用なれども混合用程度の $\Delta_E P_U \fallingdotseq 0.33 \sim 0.30$ に達した．如何に此事實を解釋すべきやに就ても [2] 節に論じた．特に B 號は ${}_E P_H$, ${}_U P_H$ 共に 12 以上にて一般のものと同値なる爲其の說明に苦しむ．[3] 節のζ電位の算定及び Donnan 平衡電位の考察よりするも瀝青乳劑の粒子安定が單なるイオン雰圍氣のみになれば上述の事實の說明は不合理となる．第 II 章 [2] 節に述べし吸水作用等の外に瀝青乳劑として本質的にイオン吸着雰圍氣と共に保護ゾル膜の存在及び安定度を考慮に入れる事の必要性を明瞭に示すものである．I 號は ${}_E P_H$, ${}_U P_H$ 値共に小であつた．上述の論據を一層明かにせん爲め，H_2～極による此等實測値は他の影響を蒙りをらざる事を明かにしをく必要がある．今 [2] 節 Sb～ 極を用ひ，實驗的に下記 2 問題を明かにせんと試みた．

1) ${}_E P_H$, ${}_U P_H$ の値は Sb～極によるも變化なきや？

2) $\Delta_E P_U = {}_E P_H - {}_U P_H$ ……値も變化なきや？

若し (1), (2) 共に H_2～電極 Sb～電極によるも同一値を與ふとすれば瀝青乳劑の P_H 實驗法として兩者共に合理的のものであり且つ B, I 號の分解値小にして $\Delta_E P_U$ の大なるは全く粒子の周圍の保護ゾル的機械的强度の小なるに由ると解すべきである，今假りに ${}_U P_H$ は主として分散媒 [I] の $[\overline{OH'}]_I$ によるものにて，乳劑に於て測定される $[\overline{OH'}]_E$ はイオン分布により異るもので第 III 章 [3] 節をも參照し下記の如く分類し得．

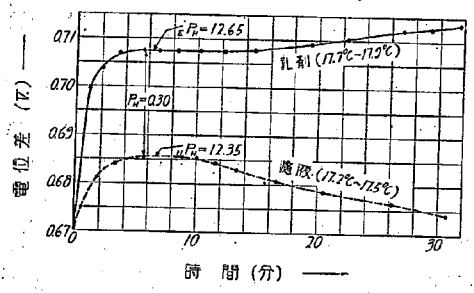
(1) $[OH']$ 瀝青粒子附近に於ける分布緩慢なれば $[OH']_E$ は比較的大きく測定される事となる．(第 II 章比電導度實驗參照)

(2) $[OH']$ 同上分布急勾配なれば膠子 (ミセル) の大さにより ζ～電位大なるも $[\overline{OH'}]_E$ は比較的小さく測定される事となる．

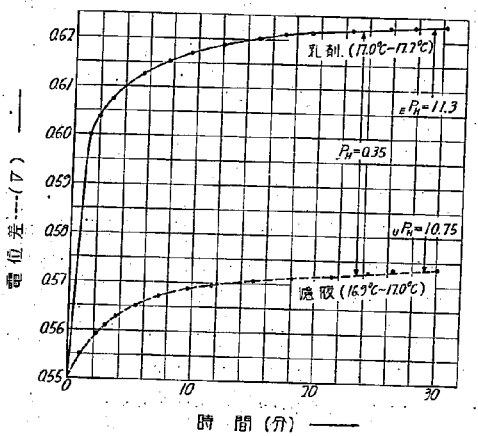
(3) (1), (2) 影響以外に保護コロイドの影響がある．

上記 (1), (2), (3) 等の見地より瀝青乳劑水素イオン (P_H) の關係を論ずるに必要且つ重要な試料を提供するものである．以上により Sb～極による P_H 測定の必要なる事が分る．

(B) 試料として B 號，I 號を用ひ 20 c.c. 入り陶器製場坩に約 $\frac{1}{2}$ 試料を入れ，[2] 節の Sb～電極を浸し 輪道の起電力 (E_{Sb}) を測定した．第 12 圖 [a] [b] は B, I 號に於ける E_{Sb}～時間を示す．第 [2] 節標準液に於ける E_{Sb}～時間傾向の特別の場合なるも時間軸非常に異り，最大値に至る傾向も稍〻異る場合がある．卽ち，I 號に於ては Sb～極浸入後 30 分に至るも未だ平衡に達せず B 號濾液のみに最大點が現れてをる．今第 12 圖の E_{Sb}～



第 12 圖 (a)



第 12 圖 (b)

時間曲線より判斷し圖示の如き E_{Sb} を以て各試料の水素イオン濃度を計算し第 15 表を作る. 第 16 表は同一試料を同時に H_2～ 電極法にて測定せるものである.

第 15, 16 表を II 章 [2] 節 6 表の結果と比較するに $_EP_H$, $_UP_H$ 共に減少せる事を示す, 殊に $_UP_H$ 減少度が著しい. 第 15, 16表の實驗は第 6 表の場合より約 4 ケ月後に行へるものなれば外界の影響により老化せる爲めである. 第 15, 16 表を比較するに H_2～電極法による場合, P_H が小である. 瀝青乳劑濾液內には吸藏せる CO_2 瓦斯等 H_2 により影響を蒙るものは存在じをらざる傾向を示す. 唯だ Sb～極法の場合 P_H の大きく測定されし理由を明かにし得ざりし事と H_2～瓦斯通過により果して, 內部の活性度 (activity) 等に影響なきかを明かにし得ざりし事を遺憾とするも, 第 II 章 [2] 節に於ける B, I 號の實驗結果は H_2～瓦斯による影響に非らざる事を確め得, 從つて II 章 [3] 節の論說に根據を與ふ.

第 15 表

Sb～極法による乳劑濾液水素イオン濃度 ($_EP_H$, $_UP_H$)

試料名	溫 度	$_EP_H$	$_UP_H$
B 號	16°C	12.65	12.35
I 號	16°C	11.30	10.75

第 16 表

H_2～電極法による水素イオン濃度 ($_EP_H$, $_UP_H$)

試料名	溫 度	電位差 (m.v.)	$_EP_H$	溫 度	電位差 (m.v.)	$_UP_H$
B 號	15.5°C 15.7°C	971.5 971.5	12.57	14.8°C 15.0°C	946.7 946.6	12.14
I 號	17.2°C 17.4°C	895.1 894.5	11.22	16.8°C 17.1°C	859.1 855.7	10.57

Sb～極法による瀝青乳劑の水素イオン濃度測定は迅速簡便なる點より其の程度を知るのみにて充分なる場合は使用可なるも P_H 値の小數以下一桁目にても確實に測定する必要ある場合は ${}_EP_H$, ${}_UP_H$ の強度のアルカリ性なる事及びコロイド成分により可なり異常な E_{Sb}～時間關係を有す．一般に H_2～電極法によるを便とす．幾分實驗上複雜な操作を必要とする．

斯くの如く Sb～電極は瀝青乳劑の水素イオン濃度實驗には信賴度精度上現在にては有効ならず單に程度を示すものである．然れども IV 章の研究には必要缺くべからざるものにて H_2～電極法は信賴度無く使用する能はず．

水素濃度の研究に於て明かにすべき重要なる特性あり，本報告は一階梯に過ぎざるも瀝青乳劑に對する新見解を與ふものである，結果要點は第 V 章に取纏め記述す．

IV. 道路鋪裝用碎石のアルカリ吸着性と瀝青乳劑水素イオン濃度 (P_H) との關係に就て

[1] 概　說

瀝青乳劑は滲透用混合用共に碎石と共に使用され兩者の間に密接な關係がある．乳劑が路面上に於て分解する場合外界の種々なる影響を蒙り簡單に記述し得ざるも II 章 [2] 節に其の一端を說明せる如き作用により瀝青粒子の凝固結合を生じ碎石上に被膜を生じ碎石相互を結合し鋪裝面を形成するものである．瀝青乳劑の分解作用は碎石との相互作用によるものにて下記の如き作用を列擧し得るも果して眞なるや吟味する必要がある．

(1) 碎石の吸水作用により瀝青乳劑の濃度を增大し瀝青質の沈降分離を生ず．

(2) II 章の研究により瀝青乳劑の ${}_EP_H > 10\cdots$ にて大部分 $P_H = 12$ 前後のアルカリ溶液にて瀝青粒子は $\Delta_E P_U$ の値等に應じ OH' イオン吸着により界面動的電位 (ζ) を有し互に凝固するを防止せるも碎石にアルカリ吸着性有する場合碎石と接觸する事により ${}_EP_H$ 減少し，從つて ζ～電位にも影響を及ぼし遂に反撥力を失ふに至る．此際保護ゾルの影響も考慮に入れる必要がある．

(3) 碎石等に酸性作用あり，瀝青乳劑との化學作用により電荷を失ひ凝固するに至る．

(4) 碎石の可溶性鹽類により瀝青粒子可溶端の陽イオンの轉化を來たし ζ～電位に影響を及ぼす．

(4) は (3) 作用と共に重要なるものなれども本研究に於ては (4) に就き考察するを省略す．以上 3 作用中何れが最も顯著なるや吟味する必要がある．吸水，イオン吸着，可溶性物質の影響等は碎石の種類により異り特に石質の親水性，疎水性 (hydrophil, hydrohob) なる

かにより著しく異るものである．緒言第Ⅰ章に述べた如く G. Keppler[49] も岩石の親水性と弱アルカリ溶液に對する吸着性の研究より論じ H. Weber[50] は獨逸産碎石，福島氏[51] は本邦産碎石を用ひ緒言 II 章［3］に述べし方法により瀝青乳劑分解値を求め安山岩，硬砂岩，石灰岩，花崗岩，セクリットに對し或る種乳劑（滲透用のもの）にて，分解値として 30.2；13；5.5；3.1；0.5……を得しも，未だ瀝青乳劑の水素イオン濃度 P_H が碎石と接する事により如何なる影響を蒙るや，從つて分解値は上記作用中何れに起因するや研究せるもの少し．本研究は斯かる點を明かにせんと試みしもので主として下記の諸項に就き考察した．

(1) 道路鋪裝用碎石の可溶物浸出液は如何なる水素イオン濃度を示すや？

(2) 同上碎石の吸水量の比較値．

(3) 同上碎石の瀝青乳劑程度のアルカリ性溶液（P_H=12.09～11.0）に於けるアルカリ性吸着量．

(4) 瀝青乳劑上記分解値と上記諸性質との關係．

斯くの如き事項に就き考察し瀝青乳劑分解に際しての碎石との相互關係を可成り明瞭に分析的に了解し得．特に道路鋪裝用瀝青乳劑の P_H≒12 の近くに碎石のイオン吸着性の轉位點のある事は注目に値する事である．

［2］ 碎石浸出水の水素イオン濃度

碎石を密閉せる容器内にて蒸溜水に浸し置き可溶物の溶解せるものが如何なる水素イオン濃度を示すや吟味せるものである．今試料とし道路鋪裝用とし最も普通に使用されつゝある碎石 10 種に就き其の特性を明かにした．種類は第 18 表に記入せる，安山岩，花崗

第 17 表 吸 水 量 試 驗 碎石（大さ 0.6～2 mm）

試料番號	試 料 名	産 地	乾燥重量 (g)	24時間浸水後重量 (g)	重量增加 (g)	吸水率 (%)	P_H*	石材としての吸水率(%)
1	輝石安山岩	群馬縣碓氷郡坂本村	17.100	17.930	0.83	4.85	7.55	4.9
2	黑雲母花崗岩	山梨縣東山梨郡神金村	13.625	13.740	0.155	1.14	7.56	0.6
3	黑雲母花崗岩	茨城縣西茨城郡羽原村	17.035	17.150	0.115	0.68	7.41	0.4
4	石 灰 岩	大 分 縣（詳 細 不 明）	25.610	25.775	0.145	0.57	7.39	0.1
5	石 灰 岩	埼 玉 縣 秩 父	11.275	11.330	0.055	0.49	7.39	0.2
6	硬 砂 岩	福岡縣門司市白野江町海岸	20.177	20.245	0.068	0.34	7.84	0.1
7	結晶石灰岩	福島縣石城郡大野村八茎	10.067	10.075	0.008	0.08	7.33	0.1

* P_H は後節參照すべし，浸出溶液の水素イオン濃度を示す

49) G. Keppler 等： 前揭 (3)
50) H. Weber： 前揭 (4)
51) 福島彌六： 前揭 (6)

岩，石灰岩，長石，にて，試料碎石の大きさは總て 0.6～2 mm 程度のものとす．第 17 表は吸水率を示すもので第 17, 18 表の試料番號は吸水率の大きさの順に排列せる番號 (1, 2,…7) である．參考の爲め石材としての吸水率をも記入しをく第 17 表中の P_H 値は碎石浸出溶解水溶液の水素イオン濃度にて後に述ぶる如く定めたものである．

第　18　表

番號	試料名	H_2～電極による A (3ヶ月) 電位差 (Volt) E	水素イオン濃度 P_H	温度(C°) t	H_2～電極による B 電位差 (Volt) E	水素イオン濃度 P_H	温度(℃) t	Sb～電極による B 電位差 (Volt) E_{sb}	水素イオン濃度 P_H	温度(℃) t
1	安山岩 (群馬)				0.7374	8.45	16.5	0.4023	7.55	17.8
2	花崗岩 (山梨)	0.7482	8.56	22.5	0.7760	9.14	16.0	0.4029	7.56	17.0
3	〃 (茨城)	0.7565	8.72	21.8	0.7602	8.87	15.5	0.3945	7.41	17.5
4	石灰岩 (大分)	0.7476	8.57	21.5	0.8103	9.75	15.0	0.3936	7.39	17.8
5	〃 (埼玉)	0.7582	8.74	21.4	0.7476	8.65	15.5	0.3941	7.39	17.8
6	砂岩 (福岡)	0.7575	8.72	23.0	0.7518	8.72	15.5	0.4167	7.84	17.0
7	石灰岩 (福島)	0.7616	8.81	21.6	0.7534	8.73	15.7	0.3960	7.43	17.8
8	〃 (栃木)	0.7560	8.71	21.4	0.7493	8.68	15.5	0.3931	7.39	17.8
9	〃 (岐阜)	0.7582	8.74	21.4	0.7396	8.51	16.2	0.3909	7.33	17.8
10	長石 (不明)				0.7588	8.84	15.8	0.3859	7.25	17.0

但し，番號 1～7 は吸水率順位を示す (第 10 表による)

實驗條件；碎石は篩により 0.6 mm～2.0 mm の程度ものとし試料とし 10 gr. をとり III 章［3］節第 14 表に述べし程度の蒸溜水 (P_H≒6.7) 200 c.c. と硬質硝子 (特にアルカリ可溶性を測らず) エーレンマイヤー，フラスコに氣密に混入し 2 ヶ月及び 3 ヶ月後浸水碎石をとり出し水溶液の水素イオン濃度を測る．混水中は常に適宜振盪を行つた．使用電極として H_2～電極を用ひし場合は水溶液中の炭酸鹽等の爲め CO_2 を多量に吸藏しをる爲め輸道平衡に達するに可成り長時間を要す．試料により時間異るも 2～4 時間も水素瓦斯を通ずるに事により平衡に達す，3 回試みしも平衡値は第 19 表に示す如く一定となる．第 18 表は斯かる碎石浸出水の P_H を示す．

第 18 表中……A は 3 ヶ月混水後の上記實驗値にして，第 19 表より平均値をとる．B ……は 2 日後の場合の値，……を示すものである．H_2～極，Sb～極使用の場合兩者測定値は可成り異つてゐる．H_2～極使用の場合 P_H は 8.5～9 程度のアルカリ性を示してゐる．平衡狀態に至る時間的關係といひ CO_2～瓦斯の影響が明瞭に現はれてゐる．無緩衝液に近きものなれば第 III 章 Sb～極法を行ふ必要あれば第 18 表 B の如く 2 日後のものに就て水素イオン濃度測定を試む，浸出水は非緩衝液なれば輸道平衡に達すに III 章 2 節標準液の場合の如く速かならず蒸溜水の場合の如く約 10 分に一旦最大値に達す．III 章

第 19 表 鋪裝用石材碎石 (Din. K3 徑—0.6~2.0 mm) 水溶液水素イオン濃度表 (H_2~電極による)

番號	試料名	A 溫度 (℃) t	A 電位差(Volt) E	A 水素イオン濃度 P_H	B 溫度 (℃) t	B 電位差(Volt) E	B 水素イオン濃度 P_H
7	石灰岩 (福島縣)	21.6	0.7615	8.81	15.7	0.7535	8.73
		〃	0.7618	〃	〃	0.7533	〃
		〃	0.7614	〃	〃	0.7534	〃
3	黑雲母花崗岩 (茨城縣)	21.8	0.7568	8.72	15.5	0.7602	8.87
		〃	0.7566	〃	〃	0.7601	〃
		〃	0.7562	〃	〃	0.7602	〃
2	黑雲母花崗岩 (山梨縣)	22.5	0.7483	8.56	16.0	0.7762	9.14
		〃	0.7484	〃	〃	0.7758	〃
		〃	0.7480	〃	〃	0.7760	〃
6	砂岩 (福岡縣)	23.0	0.7575	8.72	15.5	0.7520	8.72
		〃	0.7577	〃	〃	0.7515	〃
		〃	0.7574 0.7575	〃	〃	0.7518	〃
1	輝石安山岩 (群馬縣)				16.5	0.7375	8.45
					〃	0.7372	〃
					〃	0.7374	〃
5	石灰岩 (埼玉縣秩父)	21.4	0.7586	8.74	15.5	0.7477	8.65
		〃	0.7583	〃	〃	0.7475	〃
		〃	0.7578	〃	〃	0.7476	〃
8	石灰岩 (栃木縣葛生)	21.4	0.7562	8.71	15.5	0.7493	8.68
		〃	0.7560	〃	〃		
		〃	0.7558 0.7560	〃	〃		
9	石灰岩 (岐阜縣)	21.4	0.7581	8.74	16.2	0.7395	8.51
		〃	0.7582	〃	〃	0.7397	〃
		〃	0.7583 0.7582	〃	〃	0.7396	〃
4	石灰岩 (大分縣)	21.5	0.7475	8.57	15.0	0.8104	9.75
		〃	0.7477	〃	〃	0.8102	〃
		〃	0.7476	〃	〃	0.8103	〃
10	長石 (不明)				15.8	0.7588	8.84
					〃	0.7588	〃
					〃	0.7589	〃

の場合と同様に取扱ひ輪道起電力 E_{Sb} を測り第 10 圖 E_{Sb}～P_H 關係より浸出水の P_H を求む.

實測値は全般に P_H=7.3～7.8…… にて H_2～極によりしものと異り著しく中性に近き弱アルカリ性のものである. 勿論 Sb～電極によるものが眞の値を與ふ, 即ち道路舗裝用碎石の浸出水の P_H は略〻 7.5 の弱アルカリなれば瀝青乳劑の如き P_H=12 程度の強アルカリ溶液との接觸による分解作用を論ずる場合, 中和作用の如き影響は考慮に入れる必要がない. 浸出液には一般に Mg, Ca, Ba の如き陽イオンを含むを以て, 粒子周圍のイオンとイオン置換が行はれ, 瀝青粒子の凝固絮固力增大し分解に至るもイオン解離度等離液順位に從ふ事多し, 今比問題には直接觸れず. (1), (2) のアルカリイオンに對する碎石の吸着性及び吸水性を考慮に入れ乳劑分解との關係を考察せん爲め碎石のアルカリ吸着性を實驗的に求めた.

[3] 碎石のイオン吸着性

[1], [2] 節により碎石の [OH'] イオン吸着性を明かにするは瀝青乳劑の分解作用を了解し且つ碎石の此種性狀を明かにする上に頗る重要なるものなれば第 II 章に測定せし瀝青乳劑水素イオン濃度程度のアルカリ性水溶液に對する OH'イオン吸着性を研究した. 試料として KOH の $\frac{1.09}{100}$N, $\frac{1.09}{200}$N, $\frac{1}{200}$N の水溶液を作成した, 實驗中の溶液は强きアルカリ性にて緩衝度も大にて且つ P_H の差異を可成り微少まで精密に測定する必要あれば全部 H_2～極を使用した. 通常緩衝液の場合の程度にて平衡に達し P_H 値を測定した.

試料條件下記の如し.

使用原液 KOH 濃度	$\frac{1.09}{100}$N,	$\frac{1.09}{200}$N,	$\frac{1}{200}$N
使用原液 P_H	12.09	11.89	11.22
使用原液量	100 c.c.	200 c.c.	200 c.c.

使用碎石の種類, 量 0.6～2.0 mm 程度のもの 10 gr. 10 種類

上述第 18 表の 10 種の碎石を 3 種の原液と エーレンマイヤー, フラスコに入れ振盪し 2 日後に溶液のみとり出し水素イオン濃度を測定す. 第 20 表 I, II, III は 3 種原液に對する實驗結果を示すものにして表中原液 P_H=11.22 の場合は全部浸水液の P_H が增加してゐる.

斯かる事實は [2] 節の考察の正しき事の一根據を與ふものである, 即ち碎石を混ずる場合, P_H=11.22 程度の原液にては OH' イオン吸着作用より碎石の可溶物質により幾分か [2] 節の如く弱鹽基の增加を來たし原液の P_H は減少せず, 然るに同表 I, II の如く P_H=12 程度の强アルカリ性の場合は OH' は減少す. 之は碎石可溶物質の影響に非らざる事は同表 III により明かにて, 他の原因によるものである. 即ち碎石は吸水をなすと共に固體及

第 20 表 碎石アルカリ吸着試驗表 (H_2～電極)

I 使用水溶液 $\left\{\begin{array}{l}\frac{1.09}{100}\text{N. KOH, 使用碎石}\\ \text{徑 (0.6～2.0 mm) 10 gr.}\\ \text{100 c.c}\end{array}\right.$ P_H: 12.09

番號	試料名 ＼ 浸出液	電位差 (Volt) E	温度(℃) t	水素イオン濃度 P_H
	原液	0.6448 0.6447	18.0	12.09
6	砂岩 (福岡縣)	0.6384 0.6382	18.0	11.98
1	安山岩 (群馬縣)	0.6339 0.6337	18.5	11.90
2	花崗岩 (山梨縣)	0.6375 0.6378	18.5	11.97
3	〃 (茨城縣)	0.6422 0.6418	18.5	12.05
10	長石 (不明)	0.6431 0.6427	18.5	12.06

II 使用水溶液 $\left\{\begin{array}{l}\frac{1.09}{200}\text{N. KOH, 使用碎石}\\ \text{徑 (0.6～2.0mm) 10gr.}\\ \text{200 c.c.}\end{array}\right.$ P_H: 11.89

番號	試料名 ＼ 浸出液	電位差 (Volt) E	温度(℃) t	水素イオン濃度 P_H
	原液	0.6326 0.6328	15.0	11.89
6	砂岩 (福岡縣)	0.6300 0.6298	16.5	11.84
1	安山岩 (群馬縣)	0.6222 0.6227	16.0	11.70
2	花崗岩 (山梨縣)	0.6296 0.6293	16.5	11.81
3	〃 (茨城縣)	0.6288 0.6285	16.5	11.80
10	長石 (不明)	0.6282 0.6286	15.0	11.80

III 使用水溶液 $\left\{\begin{array}{l}\frac{N}{400}\text{ KOH, 使用碎石 徑 (0.6～2.0 mm) 10 gr.}\\ \text{200 c.c.}\end{array}\right.$ P_H: 11.22

番號	試料名 ＼ 浸出液	電位差(Volt) E	温度 (℃) t	水素イオン濃度 P_H
	原液	0.5966 0.5963	16.5	11.22
6	砂岩 (福岡縣)	0.6054 0.6058	16.5	11.37
1	安山岩 (群馬縣)	0.6010 0.6012	16.5	11.30
2	花崗岩 (山梨縣)	0.6063 0.6061	16.5	11.39
3	〃 (茨城縣)	0.6072 0.6070	16.5	11.40
10	長石 (不明)	0.6087 0.6090	16.5	11.44

び液の界面に於て溶液中の OH' イオンを吸着し原液平均 $[OH']$ を減少す，斯かる狀態より分取せる浸出液の P_H は小となる．通常使用されつゝある道路鋪裝用碎石は瀝青乳劑程度のアルカリ溶液 (P_H≒12) に於て可成り吸着現象を示し其の親水性 (hydrophil) なる事を示す．斯かる減少度より碎石の瀝青乳劑に對する親水性の程度を明かにし得．第20表より其の要點を列擧すれば下記の如くなる．

原液 P_H：12.9　碎石のイオン吸着により P_H 減少す，浸出液 P_H：11.98～12.05
〃　〃：11.89　〃　，浸出液：11.84～11.08
〃　〃：11.22　碎石のイオン吸着性現れず P_H 增加す，浸出液：11.37～11.44

第 20 表による碎石の種類により吸水性，アルカリイオン吸着性も可成り大なる範圍に及んでゐる．碎石の斯かる特性は各種の見地より重要なるものである．

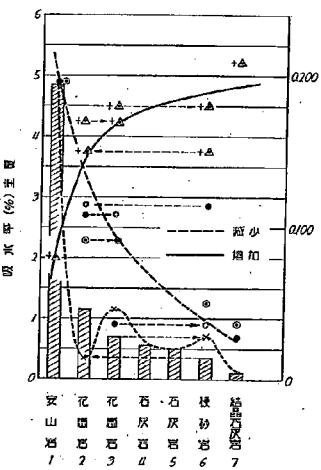
［4］瀝青乳劑分解値と碎石吸水率及びイオン吸着率との關係

［3］節により碎石の OH' イオン吸着率を明にした一方第［2］節 17 表碎石吸水率と比較し兩者の間の關係を考察せん爲め第 13 圖の如く，吸水率及び［3］節に於けるイオン吸着率を圖示す．圖中の記號及び曲線を說明せんに 目…は吸水率 (第 17 表) を示し先づ碎石の吸水率の大小の順位に排列す．［3］節イオン吸着實驗に於ける第 20 表 I, II, III より吸着による P_H 減少の場合を各碎石に應じ ●(I), ⊙(II), にて P_H 增大の場合を，△…にて示す．特に注目すべきは吸水率大なるもの必ずしもイオン吸着性大ならず，之れ碎石の吸水性と吸着性の原因の同一ならざる事を示すものにて當然の結果である．今碎石排置を變じ，イオン吸着性の大さの順位に移す．

第 20 表 (I), (II) の P_H 減少の場合を基準とす．卽ち，

●, ⊙ を ⟶ ◉, ◎ の位置に排置す，同時に III に於ける P_H の增加は △ ⟶ △の位置に，吸水率も 目 ⟶ ×の位置に移す．

斯くしてイオン吸着性による P_H の減少



使用溶液 記號	水素イオン濃度	使用量
● ○	1/100 N. KoH. P_H=12.07	100 c.c. } P_H 減少
◉ ◎	1/500 N. KoH. P_H=11.89	200 c.c.
△	N/100 KoH. P_H=11.22	200 c.c. } P_H 增大

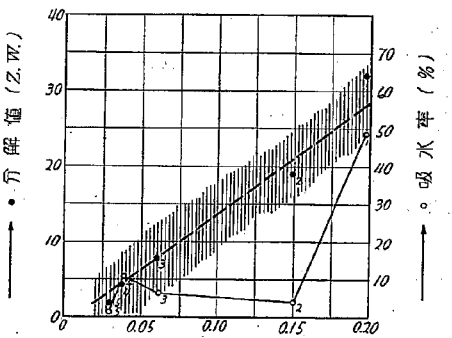
使用碎石(0.6 m/m~2 m/m) 10g.
目，× 吸水量ラボス．

第　13　圖

は ----- の如く安山岩より減少し，△による P_H の増加率は碎石可溶性物質とイオン吸着性の兩影響によるも前者の影響顯著にて —— 曲線の如く增加す．---，—— 曲線に對し吸水率を示す ×……×…… 曲線は不規則に排置してゐる．

以上の研究により安山岩，碎石は吸水性イオン吸着性共に最大にて結晶石灰岩兩者共に最小である．他のものは兩者の關係複雜にて一定でない．卽ち瀝青乳劑と共に使用するに碎石を濕潤狀態にをき吸水作用を停止する場合と然らざる場合とにて分解値は碎石の種類により傾向を異にす．第 13 圖より判斷するに硬砂岩に對しては瀝青乳劑分解は主としてイオン吸着による如く見ゆるも石灰岩に於ては吸水及びイオン吸着作用による如き傾向を示す．

兩者は瀝青乳劑分解に際し有效に作用するものなるが何れが重要なるや考察せんに實際のイオン吸着性の代りに碎石の親水性 (hydrophil) を示すものと見做し得．今瀝青乳劑の各種碎石に對する分解値の傾向を見るに乳劑の種類により分解値の絶對値は異るも略〻同じ傾向を示す．第 21 表は其の一例とし滲透用乳劑に對する分解値，吸水率，P_H=12.09 なるアルカリ溶液に對する吸着による P_H 減少度，吸水率の關係を示すものにて，順位番號は P_H 減少度，吸水率の大きさを示す．



P_H 減少度
（原液 P_H=12.09）

第　14　圖

今第 21 表より分解値～P_H 減少度關係を ●1，●2 …… ●5 と分解値～吸水率關係を ○1，○2 ……○5 の如く求め圖示すれば第 14 圖の如くなる．兩者の關係を考察するに分解値～イオン吸着 (P_H 變化) 關係の分解値～吸水率關係より一層密接なる事が分る．本節の研究により道路

第　21　表

種類	安山岩	硬砂岩	石灰岩	花崗岩	セクリット
分解値	32.1	18.8	7.2	4.7	1.5
OH' 吸着率 ΔP_H 減少 原液 P_H=12.09	0.199	0.15	0.06	0.038	0.028 (結晶，石灰岩)
イオン吸着性順位	1	2	3	4	5
吸水率 %	4.85	0.35	0.53	1.00	0.08
吸水順位	1	4	3	2	5

鋪裝用碎石の吸水率及びイオン吸着率の相互關係を明かにし且つ瀝青乳劑分解に對する作用を分析し兩者の關係を個々分離し考察するを得，鋪裝工學上瀝青乳劑に對する碎石の一特性を明かにす.

勿論安山岩の如く吸水性大に且つイオン吸着性 (親水性) 大なるものに對しては乳劑の分解値大なるも，少くとも瀝青乳劑の組織的性狀を基とし分解値を論ずる場合兩者を明瞭に區別しをく必要ある所以を明かにす.

V. 結　　論

第I部は主として瀝青乳劑の水素イオン濃度に關する研究であるが，緒言に於て先づ瀝青乳劑の研究に於て電解質溶液の立場より內部の組織的研究を行ふ事の如何に必要なるかを明かにし，本研究全般に使用せし本邦產瀝青乳劑 10 種に就き分散度，分解値等を測定した試料としては混合用滲透用にて第1確率直徑 $\bar{D}_W$=1.3～4.85 μ の範圍のものにて通常の製品を網羅してゐる．分解値 (安山岩碎石による *Z.W.*) も約 3～38 の廣範圍に及んでゐる瀝青乳劑及び濾液を水素イオン濃度の立場より觀察し一方道路鋪裝用碎石との相互關係を考察し鋪裝工學上の一資料を得んとせるものにて第 IV 章までに得し實驗結果の內主要なるものを列擧すれば略々下記の如くなる.

(1) 瀝青乳劑の水素イオン濃度に關する研究の現在に至る傾向の大要を述べ更に研究を要すべき問題を考察す.

(2) 瀝青乳劑粒子負電荷を有する理由を論究し粒子周圍のイオン雰圍氣存在を理論實驗的に明かにす.

(3) 瀝青乳劑及び濾液の水素イオン濃度 ($_EP_H$, $_UP_H$) の測定に關し考究し H_2～電極法，Sb～電極法による實驗操作竝びに實驗結果を明かにす.

(4) 特に Sb～電極法に於けるカリブレイション等詳細に考究し其の信賴度平衡に至る傾向其の他性狀を明かにす.

(5) 瀝青乳劑濾液に對する水素イオン實測値は下記の如し.

$_EP_H$, $_UP_H$ 共に强アルカリにて $_EP_H > {}_UP_H$.

$_EP_H$ の實測範圍 10.34～12.72 ; $_UP_H$ の實測範圍 10.37～12.46

なれども $_EP_H$, $_UP_H < 12$…なるは試料 10 種の中 2 種のみにて他は全部 $_EP_H$, $_UP_H > 12$ である.

(6) 實測せし $_EP_H$, $_UP_H$ 値より平均 $[\overline{OH'}]$ を瀝青乳劑濾液に於て夫々 $[\overline{OH'}]_E$, $[\overline{OH'}]_U$ とし，平均濃度に對應する Donnan 電位差 ($\bar{\varepsilon}$) を求め

$\bar{\varepsilon}$=7.03～19.1 (m.v.)……の範圍を得.

(7) 上記 $\bar{\varepsilon}$～電位を一般乳劑界面動的電位差 (ζ～電位，瀝青乳劑に就ては第 III 部に

示す如く更に大である）と比較するに可なり小なる事より瀝青粒子イオン雰圍氣の構造を考察し新に p～パラメターを誘導す.

（8）ξ～電位と分解値（z.w.）と比較對照し瀝青乳劑內部構造に關し卽ちイオン雰圍氣の構造に 2 種の顯著な特性ある事を推論した，卽ち

(A) 擴散性イオン雰圍氣 (B) 不連續性イオン雰圍氣

にて親水ゾル的成分を多量に含有し保護膜的構造を有する場合は (B) の傾向が著しい. 保護ゾルの影響を常に考慮に入れる必要あるを明かにす.

（9）更に瀝青乳劑濾液の ${}_EP_H$, ${}_UP_H$ の差 $\Delta_E P_U = {}_EP_H - {}_UP_H$ ……と分解値 (z.w.) との關係を考察し碎石による分解作用（本試驗方法による）を分析する必要性を述べ，類似イオン雰圍氣構造のものに對しては分解値は $\Delta_E P_U$ と密接な關係を有する事を明かにす. ${}_UP_H$ と $\Delta_E P_U$ の關係を明かにせんとするも全般に涉る關係を求むる事不可能であつた.

(10) 一方鋪裝工學上の碎石～瀝青乳劑の關係を明かにせんに，碎石の瀝青乳劑程度のアルカリ溶液に對する作用を明かにする必要を述べ試料として安山岩，花崗岩……等 10 種をとる.

(11) 碎石浸出水は碎石の可溶性成分を含有せるものである. 先づ其の水素イオン濃度 (P_H) を Sb～電極法により求む.

浸出水：P_H=7.33～7.84 ……の範圍である；H_2～電極法によれば CO_2～瓦斯等の影響により不正確となる. H_2～電極法：P_H=8.45～9.75

(12) 各試料吸水率 (w.) 0.08～0.34ノ4.5% である.

(13) 瀝青乳劑の ${}_EP_H$ に近き P_H KOH 水溶液 3 種 P_H=12.09：11.89：11.22 に對する碎石のイオン吸着性を原液の P_H の變化により明かにす. 但し原液 P_H=11.22 以下に至れば碎石可溶性成分の影響の方著しく現れ P_H は反對に增大す.

(14) (13) に得たるイオン吸着性による碎石の親水性と碎石吸水率との關係を明かにす.

(15) 瀝青乳劑の碎石による分解作用を (11) (12) (13) (14) より論じイオン吸着性（親水性）の重要なる事實を明かにし吸水性によるものとは研究の目的によつては區別すべきことを論究す.

(16) 更に實驗値と比較せん爲め各種碎石による瀝青乳劑の分解値と碎石のイオン吸着性 (13) 項 P_H=12.09 原液に對する P_H 減少度）及び吸水率との關係を比較し，碎石のイオン吸着性の大なるもの分解値を大きく與ふ事を明かにす. 吸水性は一般には第 2 義的である.

以上の如く道路鋪裝用としての瀝青乳劑使用の立場より碎石との相互關係，瀝青乳劑のアルカリ性に關する特性を明かにし，內部組織をも深く考究する事を得，乳劑理論上より見るも主要なる結論を得. 第 I 部の研究に追加し更に第 II 部，第 III 部の研究を行ひ深く瀝青乳劑の內部組織を吟味し應用工學上新なる視野を拓かんとす.

第II部　瀝青乳劑の電導度に關する性狀

I. 概　　說

第I部に於て道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀を全く溶液のイオン濃度の立場より考察し乳劑及び濾液の水素イオン濃度の差，$\Delta_E P_U$ を基とし瀝青粒子の帶電狀態をイオン雰圍氣の概念より說明し電解質溶液との關係を明かにした．斯く瀝青粒子の周圍には一般溶液内より濃度大なる OH' の部分あるも瀝青物質其のものは不良電導體である．若し瀝青粒子周圍の OH' イオン雰圍氣に屬するものが電導的に見る時束縛された狀態に在るとすれば瀝青乳劑は電導的にはアルカリ性大なる溶液内に不良電導體なる瀝青粒子の分散せるものである．一方熱傳導式，電導式を數學的に比較すれば定常流の場合全く類似せるものである，且つ瀝青乳劑を單に分散系の模型と見做す場合電導率と分散質濃度との關係を明かにする事は應用工學上頗る重要なる資料を提供するものである．然れども電氣傳導の立場より瀝青乳劑を考察する場合，上記の如く粒子周圍のイオン雰圍氣の影響を度外視し得るや不明である．勿論イオン雰圍氣の1つの現れは粒子の界面動的電位（ζ～電位）となり第III部に詳論する如く電氣泳動現象を呈するも，可成り大なる周波數（$f=1000\sim$）の電場に對する電導度實驗に於ては慣性の爲め影響無く近似的に度外視し得．先づ瀝青乳劑を一樣な電導度を有する分散媒に不良電導體瀝青粒子の分散せるものとし，其の性狀を明かにせんとす．分散媒電導度そのものはイオン濃度，各成分及び同物質のイオン活性量（イオン Activity）等に支配され異るも，本研究は斯かる問題には觸れず，主として瀝青物質の含有濃度，粒子の特性例へば界面動的電位，イオン雰圍氣内のイオンの束縛性，粒子分散度による瀝青乳劑及び濾液の電導度に關する關係及び溫度による影響を明かにした．

斯かる方面の研究は現今の鋪裝工學と直接關係無きが如く見ゆるも將來瀝青乳劑電氣沈降防止法又は電氣的分解促進法を試みんとする場合に必要な資料を與ふ．更に第III部に記述せんとする瀝青乳劑の主要なる特性なる粒子易動度を求めんとする場合電場の計算に電導度が必要である．

一方應用理論の一般的立場より考察するに分散系に於ける "ポテンシャル" により與へられる傳導率を算定せんに分散質容積濃度，溫度の影響を考察し相互の關係を明かにし，同時に分散質の慣性が純粹なるポテンシャルによる傳導に於て如何なる影響を呈するや吟味した．殊に瀝青乳劑の場合慣性とし2種のものを考慮に入れ得，卽ち瀝青粒子の質量に

起因するものと粒子周圍のイオン雰圍氣に關する變形及び變位電流等の影響に起因するものに分類す．然れども兩者は後述する如く電場の周期其の他により微少にて一般に度外視し得．

II. 瀝青乳劑電導度と分散質濃度との關係

[1] 一般的考察

一様な電導度を有する分散媒に不良導體の無數の小球の分散せる瀝青乳劑なる分散系を考察するに瀝青物質[52]は一定の電媒恒數を有する電媒質にて且つ粒子周圍の分散媒も一定の電媒恒數及び電導率を有する溶液である．今斯かる乳劑内に1組の電極を挿入し任意の電位差を與ふれば電流の出入は主として乳化溶液部の電導度により行れるも電媒質の特性として時間微分にて表される一種の慣性的影響による變位電流も加はる．今試料内任意の一點に於ける電流を考察するに (12) 式の如く之を表し得．

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{i} &= i + i' + i'' + \frac{\overline{K}}{4\pi}\frac{\partial \mathfrak{E}}{\partial t} + \pm\eta R\sum \pm\alpha \operatorname{grad}\alpha, \\ i &= \lambda \mathfrak{E},\quad \lambda = \eta^2 \sum a\alpha \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

但し，$\mathfrak{i}$：或る點に於ける電流の强さ，i：イオンによる電流にて電場の强さとも比例するもの，i'：粒子の電氣泳動によるもの，i''：粒子周圍のイオン雰圍氣によりイオン電導度の增加すると見做し得る場合の影響，$\pm\eta$：瓦當量イオンの電氣量，α：イオン濃度．a：イオン易動度（イオン當量電導度にて示さる），R：瓦斯常數×絶對溫度．$\mathfrak{E}$：電場の强さ (E_x, E_y, E_z)，$\frac{\overline{K}}{4\pi}$；變位電流を與ふ比例常數にて容量成分による電流を與ふ…等を示す．$\overline{K}$ は均一な物質に於ては電媒恒數 (K) に相當するものであるが乳劑の如き分散系に就き考察する場合は少しく意義を變ず，今の場合Ⅰ章の論旨により (12) 式中 i', i'', $nR\sum \pm\alpha \operatorname{grad}\alpha$ 等の影響を度外視し振動數 $(f=\omega/2\pi,\ \omega$ 回轉角速度) の交流電壓を加ふれば，$\mathfrak{E}\propto e^{i\omega t}$ ……となる，(但し，$i=\sqrt{-1}$,) (12) 式より下記 (13) 式を得．

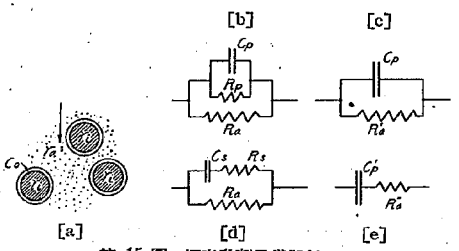
$$\mathfrak{i} = i + j = |\lambda\mathfrak{E}| + i\frac{\overline{K}\omega}{4\pi}|\lambda\mathfrak{E}| \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

(13) 式によるに，振動數從つて ω の大なる交流に於ては容量成分による電流 (j) 著しく增大す．斯かる方面の影響は生物學的乳劑の研究の應用，理論兩方面上重要なるものである．Hermann Dänzer[53] 等は ω, $\overline{K}$, K, の相互關係を j～成分の實驗値より考察してる

52) 島田八郎：前揭 32)

53) Hermann Dänzer: Ueber das Verhalten biologischen Körper im Hochfrequezfeld, Ann. d. Physik. 20, 463, 1934; 21, 784, 1934.

るが瀝青乳劑の性狀研究に於ては現在の所直接必要なきも瀝青乳劑の電導度實驗を試みんに是非其の傾向の一端を理解しをく必要がある．蓋し瀝青乳劑等の電流に對する性狀は第15圖 [a] [b] [c] [d] [e] の如く假定す．第15圖記號に就き說明せん．



第 15 圖　瀝青乳劑電導關係

γ_i, γ_a：瀝青部分散媒部の比電導度

R_a：分散部全く不良導體と假定せる場合分散媒のみによる乳劑の比抵抗（容積の極限にても無數の粒子存在し得る場合をとる，以下大文字にて示せるものは全部かゝる意味とす）．

R_i：分散質電導度による修正項に相等するものにて容量と竝行に接續せると假定する場合は R_p，直列と假定せる場合は R_s……とす．

C_p, C_s：電氣的慣性による項にて (12) (13) 式の $\frac{\overline{K}}{4\pi}$ に相等し，粒子及び周圍の電媒恒數的性質によるものである．C_p, C_s, R_p, R_s 間には數學的關係式を求め得るも簡單なれば省略するも，極限値即ち電氣的慣性なき純粹に電導的なる場合，導體として $K=\infty$, 即ち $\overline{K}=\infty$…の値を (12), (13) 式に代入する場合には第 15 圖 (e) の如き接續に歸納し電流 i, 電壓 $\mathfrak{E}$ 抵抗 Z の關係を示し下記 (14) 式に相當するものに變形するを要す．．．

$$i=\frac{|\mathfrak{E}|}{Z}=\frac{|\mathfrak{E}|}{R''_a+\frac{-i}{\omega C'_p}}=|\mathfrak{E}|\cdot\frac{R''_a}{(R''_a)^2+\frac{1}{(C'_p)\omega^3}}$$

$$+i\frac{|\mathfrak{E}|}{C'_p\omega}\cdot\frac{1}{(R''_a)^2+\frac{1}{(C'_p)^2\omega^2}} \quad \cdots\cdots(14)$$

第Ⅰ章に述べし如く本研究の目的は分散系に於ける3ポテンシャル流の傳導率の關係を主眼とせるもの故第 (13) 式の $(\lambda\mathfrak{E})$ 項從つて第 15 圖 (e) に於ける R''_a に關する性狀を主とし實驗より求めんとするものである．以上簡單な記述により本研究は瀝青乳劑電氣傳導に關する性狀中如何なる部門を研究の對照とせるかゞ分る．玆に云ふ R''_a のみの系は勿論第 15 圖 [b], [c] 等より導きしものであるが容量成分の度外視方に注意を要す．R''_a の逆數即ち比電導度を $\overline{k}$ とすれば，$\overline{k}$ は，γ_a, γ_i, 及び分散質の容積濃度 (φ) によるものである．

ϕ：ポテンシャル．x, y, z：直角座標．$\mathfrak{E}$：電場の强さ．i, j, k：x, y, z 軸の單位ベクトル……とし本實驗の如き $\frac{\partial}{\partial t}=0$ なる場合は

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial}{\partial x}\left(\bar{k}\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\bar{k}\frac{\partial\phi}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\bar{k}\frac{\partial\phi}{\partial z}\right)=0\\&\frac{\partial\phi}{\partial x}i+\frac{\partial\phi}{\partial y}j+\frac{\partial\phi}{\partial z}k=-\mathfrak{E}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(15)$$

となる，ϕ＝溫度 とすれば熱に關する特性を示す事となる．本研究は $\bar{k}$ …が如何なる條件により定まるかを明かにし一方上述せし如く瀝青乳劑の如きイオン雰圍氣を有する場合に於ける影響の有無等を實驗を基とし論究せんとす．

［2］ 分散系電導度數式に就て

乳劑の如き一種の物質に他種のもの〻分散せる系の電導率に關する性狀を明かにせんと試みた理論式は可なり多數にあるも今本節に於ては分散質の形狀球なる場合又は二次元問題に於ける圓柱の場合に對するニ，三の結果を引用し［1］節の如き理想的なる分散系としての瀝青乳劑に對する適否を考察し［3］節に於て更に瀝青乳劑に於ける特異性を論じた．

Lord Rayleigh[54] は三次元，二次元の場合とし球及び圓柱が一定の間隔にて排列せる場合を論じ下記 (16) (17) 式を得た．

但し，a：分散質球の半徑（又は圓柱半徑）．α：一分散質球（又は一圓柱）に屬する分散媒範圍半徑又は矩形邊長 (α_1, α_2)．φ：分散質容積濃度$=\frac{4\pi a^3}{3}\circ\frac{3}{4\pi\alpha^3}$ 又は $\pi a^2\frac{1}{\alpha_1\alpha_2}$ (圓柱の場合)．ν：比抵抗の比$=\frac{\gamma_a}{\gamma_i}$ …… 等を示すとすれば，

分散系比電導度 $\bar{k}$ を得，

3 次元の場合

$$\left.\begin{aligned}&\bar{k}=\left(\frac{\frac{2+\nu}{1-\nu}-2\varphi}{\frac{2+\nu}{1-\nu}+\varphi}\right)k_a;\quad \bar{k}=\left(\frac{1-\varphi}{1+\frac{1}{2}\varphi}\right)k_a,\ \nu=0,\\&\bar{k}=\frac{1+2\varphi}{1-\varphi}k_a,\ \nu=\infty\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(16)$$

2 次元の場合

$$\bar{k}=\left(1-\frac{2\varphi}{1+\varphi-0.3058\varphi^4}\right)k_a,\qquad \nu=0\quad\cdots\cdots(17)$$

(16) 式は粒子の大小によらない事を示す．一見分散度により異ると考へられるも相似形狀のものの相似の位置に排列せる場合形狀の大小によらず單に分散系の成分の電導率と容積濃度による．

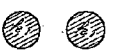
54) Lord Rayleigh: On the influence of obstacles arranged in rectangular order upon the properties of a medium, Phil. Mag., 34, 481, 1892.

C. H. Lees[55] は基盤目に分布せる分散系にて界面が常に流線をなすと假定し，分散系の比電導 $\bar{k}$ と各成分比電導度 k_1, k_2, k_3… と，容積濃度 p_1, p_2, との關係を

$$\bar{k}=k_1^{p_1}k_2^{p_2}\cdots k_1^{p_i} \quad \cdots\cdots(18)$$

の如き式を基とし論究してゐる．瀝青乳劑の如き Emulsion の電導度に關する研究は僅少である Milikan[56] が Nernst の裝置を用ひ水～ベンゾール乳劑の電導の内第［1］節に於て度外視すと述べし變位電流部のみを實測した．卽ち乳劑の電媒恒數（K；Capacity Conductance を意味す）分散媒，分散質の電媒恒數（K_2, 今の場合ベンゾール，K_1 は水にて K_2 に對し頗る大にて $K_1=\infty$ と見做す）と容積濃度 φ＝水/水＋ベンゾール，との實驗關係が下記 (19) の如き Clausius-Mosotti[57] の式に一致する事を確めた．(第 16 圖參照)．

$$\bar{k}=\frac{1+2\varphi}{1-\varphi}k_2 \quad \cdots\cdots(19)$$



第 16 圖

Beauland[58] も $\bar{k}$, k_1, k_2, φ の關係式を得たが全く Maxwell[59] の關係式 (20) と同じものである．(今の場合 K 大文字は k 小文字の示すものに全く比例するものである)．

$$\frac{\frac{\bar{k}}{k_2}-1}{\frac{\bar{k}}{k_2}+2}=\varphi\cdot\frac{\frac{k_1}{k_2}-1}{\frac{k_1}{k_2}+2} \quad \cdots\cdots(20)$$

但し，$\bar{k}$, k_1, k_2, φ, は上に屢〻述べし比電導度，容積濃度である．(20) 式は式の形式は Lord Rayleigh の (16) 式と全く同じもので，$k_1=\infty$ …と置けば (16) 式を得．Hugo Fricke[60] は (19) 式を基本とし血液の電導度と赤球の容積濃度 (φ) 及び更に形狀を楕圓とせる場合の軸比との關係を求めた．其の他二，三の主要な研究あるも直接關係少き故省略す．

要するに，略〻球狀を保てる分散質を有する瀝青乳劑の電導度 $\bar{k}$ の研究には (19) (20) 式を用ひ種々特性を考察するを便とす．(19) 式は全く理想的の場合である．I 章，II 章 [1] 節に述べし如く，瀝青乳劑に於ては，瀝青粒子イオン雰圍氣，分散度等の性狀により分散

55) C. H. Lees: on the Conductivities of certain heterogeneous Media for a steady flow having a potential, Phil. Mag., Vol. 13. No: 88, 1932.
56) R. Milikan: Eine experimentelle Prüfung der Clausius-Mosottischen Formel; Ann. d. Physik u. Chemie, 60, 376, 1897.
57) Clausius-Mosotti; P. Debye: Polare Molekeln. 1929. Leipzig.
58) M. F. Beauland: Sur les formules des Mosotti-Clausius et de Betti relatives à la polarisation des dielectriques, C. R., 129, I, 149, 1899,
59) C. Maxwell: Electricity and Magnetism, I, 1904, Oxford.
60) Hugo Fricke: A Mathematical treatment of the electric conductivity and capacity of disperse systems, Phys. Review, 26, 678, 1926.

媒の k_2 を一定とし，$k_1=0$ …とせる場合に修正を要す，斯かる修正項は瀝青乳劑の粒子の組織構造を明かにする上に頗る重要なるものである．如何に之を論究し又實測し得るかを以下各節に於て吟味せん．

［3］ 瀝青乳劑電導度修正値

乳劑の如き試料に對する實驗研究は［2］節に引用せし Hugo Fricke,[61] の外，H. Fricke, Sterne Morse[62] のクリームの實驗がある，クリームは液體に脂肪粒子の分散せるもので分散質容積濃度 $\varphi=0-9.0\%$ の範圍に於て研究し，Martin Fischer[63] はフェノール～水乳劑に於ける電解質の影響を明かにせんと電導度～φ の關係を研究した．然るに本研究範圍の如き分散媒が大なる電解質樣のものを含有し且つ，瀝青粒子も可成り大なる負の ζ～電位を有する系の研究殆ど無し．先づ瀝青乳劑電導度 (k) は (19) 式の如く… $k_1=0$, $k_2=$一定…… の場合に比し如何なる修正を爲すべきやを I 章，II 章［2］節より下記の如く列擧し得．

(1) 瀝青粒子 ζ～電位に基く粒子泳動による影響．

(2) 〃 〃 〃 粒子表面電導の影響にて分散度と關係を有す．

(3) 瀝青粒子イオン雰圍氣内のイオンの自由度による影響．

(4) 瀝青粒子は Brown 運動をなし且つ粒子の大きさは一定でなく定れる法則[64]に從ひ分布してゐる．

以上の内，(4) は實驗に於て時間的位置的平均値を考慮に入れつゝあるを以て度外視し得．(1) は質量慣性によるものにて單位容積中の瀝青粒子數 ζ～電位，粒子半徑，粘性係數等によるも II 章［1］節に述べし如く電場週期小なる場合特に影響少く，瀝青乳劑の研究により可なり大なる影響を有すると推測されるは (2), (3) 項である．(2) 項類似の現象は所謂表面電導度 (Surface Conductance) によるもので界面電位 (ζ) を有する壁より成る毛細管内の流れに對する M. V. Smoluchowski,[65] H. Bull, R. A. Gortner[66] の式

61) Hugo Fricke; The electucal conductivity and capacity of disperse systems, Physics, Vol. 1, 106, 1931.

62) Hugo Fricke, Sterne Morse: An experimental Study of the electrical Conductivity of disperse systems, I, Cream, Phys. Review, 25, 361, 1925.

63) Martin Fischer: Ueber den elektrischen Widerstand von Phenol Wasser System und ihre biologischen Anwendungen, Kolloid Zst., 33, 131, 1923.

64) 島田八郎：前揭 1)

65) M. V. Smoluchowski: Zur Theorie der elektrischen Kataphorese und der Oberflächenleitung, Physikal Zst., 6, 529, 1905.

66) H. B. Bull, Ross Aiken Gortner: Electrical Phenomena at interfaces, J. of Phys. chem., 35, I, 309, 1931.

より推論するに更に (3) 項の影響をも導入し (21) 式の如く示す.

$$\frac{k_s-k}{k}=\frac{1}{k\cdot\eta_0}\cdot f_1\left(\frac{s}{Ad}\right)\cdot\left(\frac{K_0\zeta}{4\pi}\right)^2\cdot f_2(\varphi,D_W)+f_3\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

但し, k_s：毛細部の如き微小空隙を通ずる場合の見掛上の比電導度. k：溶液比電導度に相等するもの. η_0：溶液粘性係數. K_0：溶液電媒恒數. s, A：毛細管周及び斷面積に相當するもの. φ：分散質容積濃度. D_W：確率直徑……等を示し, f_1, f_2, は此等による係數を示す函數である. 純粋な毛細管なれば $f_1=\frac{s}{Ad}$, $f_2=1$ となる (分散質が毛細管壁をなす). f_3 は (3) 項による影響にて粒子界面のイオン雰圍氣の狀態によるものにて瀝青乳劑に於ては後述するも重要なものである. 一般に (20) 式は ……$k_s-k>0$…… にて $k_s=(1+\delta_1+\delta_2)k$…… と置く事を得. δ_1 係數は粒子の ζ～電位の影響とし所謂 electroendoosmostic 影響の現る場合にて一見乳劑の電導度の增加する如き現象を呈するものを示す, 然も δ_1 係數は ζ～電位の外瀝青粒子間隙により著しき影響をうける卽ち $D_W\varphi$ の値により見掛上の電導度が變る, 一方 δ_2 係數は瀝青粒子イオン雰圍氣を形成するイオンの電導的影響によるもので δ_1 係數の場合の如く直接電氣的2重層の形成により發生するものでない. I 部 II 章 [3] 節に述べし如くイオン雰圍氣の構造は ζ～電位と $\tilde{\zeta}$～電位の比較に於て p パラメーターを導入せし如く複雜せるもので斯くイオン雰圍氣の範圍の異る上に電導的影響も異る. 兎に角瀝青乳劑電導度は見掛上 $(1+\delta_1+\delta_2)k$ の如く增大し得るやは吟味を要する問題である. 思ふに δ_1 係數によるものは ζ の大なる場合も瀝青粒子が相接觸せざる如き分布にある場合は僅少にて實驗上度外視し得るならん. ζ～電位の小なる場合も δ_2～係數によるものはイオン雰圍氣の狀態により影響がある筈である. 卽ち瀝青乳劑にて若し見掛上電導度增大し假りに表面電導と稱ふるも Smoluchowski 等による表面電導と全く其の機構を異にするものである. 且つ一般に瀝青乳劑に於ては ζ～電位大なるもの D_W 小なれば δ_1 係數に兩者の影響がある, 以下 δ_1, δ_2 係數が如何に測定されるかを考慮に入れつゝ論究せんに瀝青乳劑に於ては δ_1 の影響は度外し得,

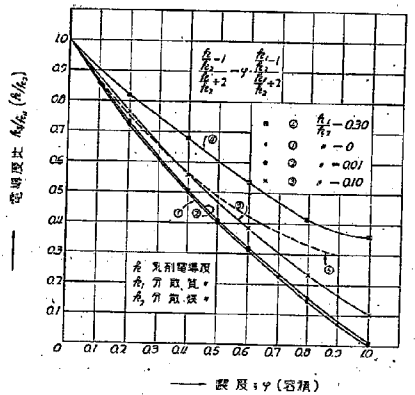
"ζ の大小に不拘らず $\delta_2\geqq 0$" ……となる.

後述實驗結果により上記の論の正しきを示す.

[2] 節 (19) 式は瀝青粒子の電導度 $k_1=0$ ……と假定せるものであるが上記の δ_2 等の影響により表面電導を生ず, 今其の影響により k_1 が k_d なる値をとると假定す卽ち $k_1\fallingdotseq 0$ ……となり (20) 式により $k\sim\varphi$ 關係が示される. 然るに k_d は δ_2 係數によるものなれば常數に非ず, 濃度 φ により變り得. 卽ち (以下 $\overline{k}$ を k にて示す)

$\varphi=0$ に對し $k_1=k_d=0$ なるも φ の增加に伴ひ一時增大するも更に減少すべきものであるが通常の瀝青乳劑の濃度に於ては斯かる減少傾向は現れない.

要するに瀝青乳劑に於て瀝青材料は $k_1=0$ なれども必ず數式的に $k_1 \neq 0$ の傾向が存在し得．今 (20) 式の $\frac{k_1}{k_2}$ の値により $k\sim\varphi$ 關係が如何に變ずるかを圖示し置けば試料容積濃度 (φ) を變數とせる場合の實驗に於ける k の變化より k_d の變化を推測し得．



第 17 圖

第 17 圖は (20) 式より k_1/k_2 に種種なる値を代入し求めし $k\sim\varphi$ 曲線である．同圖に就き明說せんに，

①曲線-● …は $\frac{k_1}{k_2}=0$

②曲線-⊙ …は $\frac{k_1}{k_2}=0.01$

③曲線-× …は $\frac{k_1}{k_2}=0.10$

④曲線-⊡ …は $\frac{k_1}{k_2}=0.30$

に對するものである．①②は略〻$\varphi=1.0$ に對し $k=0$ …なれども③④は可成り偏つてをる．實際の瀝青乳劑に於ては點線⑤の如く①②③④曲線と交るものである．市販乳劑の實驗は $\varphi=0.5\sim0.6$ …程度に對するものまでゞある通常 $\varphi<0.5$ 以內の實測より外挿法により $\varphi=1.0$ に於ける k の零よりの偏差を推定し $k\neq0$, $k_1=k_d$ の傾向を明かにせんとする．先づ實驗結果を述べ瀝青乳劑に於ける斯かる特性を論究せん．

III. 實驗結果に就て

[1] 試料

試料としては國產鋪裝用瀝青乳劑 10 種に就き其の平均直徑 $1\mu-4\mu$ 程度のものを選び使用した．試料記號，分散度，分解値，瀝青含有量は第 I 部 II 章 [1][2][3] 節に述べし故省略するも本研究に於ては瀝青含有量 (φ) に對する關係を主要とする故瀝青含有量%のみ特に必要なれば下の如く記入す．

試料名	A	B	C	D	G	H	E	F	I	J
瀝青含有量%	54	50.5	54.5	54.8	50.3	52.3	58	61	51.3	56.8

更に分散媒とし濾液の比電導度を測定する必要あれば I 部 II 章 [2] と全く同樣にし濾液を作成す．原乳劑を稀釋するには原乳劑と濾液を振盪混和し所要の瀝青濃度の試料を作る．

［2］實驗結果及び其結果より見たる瀝青乳劑の性狀

II 章［1］節に述べし如く瀝青乳劑の如き分散系の電導は必ず電氣容量成分を有するものにて交流を用ひ Kohlrausch ブリッヂの平衡條件の平衡に於て第 15 圖の容量部と抵抗部夫々の平衡を求めねばならない．本研究の目的は第 I 章，II 章に明記せし如く抵抗部の性狀を明かにせん爲めなるを以て單に無誘導無容量抵抗のみを使用し平衡を求む．使用交流週波數 $f=1000\sim$．容器は硬質硝子 U 字管にて直徑約 1.5 cm 長さ約 23 cm のものを使用し，白金黑せる電極を兩端より挿入した．試料比電導度 k_x，試料部全電氣抵抗 R_x との間には下記 (22) 式が成立つ，C…は容器常數を示す．

$$R_x \cdot k_x = C \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (22)$$

先づ常數 C を決定せん爲め ClK の標準水溶液濃度 0.02 N; 0.1 N; 1.N ; 程度の 3 種を用ひ ±0.05℃ の精度を有する恒溫水槽内にて 20℃ に於ける R_x を實測し標準 ClK 溶液の k_x 値を代入し (22) 式より C を定む．第 22 表は實測結果を示すものである．C の値として平均値 $C_m=10.65$ を用ふ．

但し第 22 表 C 値は平衡實驗としては數回行へるも濃度に可成り誤差あり全體として精度低下してゐる．

瀝青乳劑に於ては常に各試料に就き 5 回實驗を行ひ其の平均値を求む．

第 22 表　$(R_x k_x = C)$

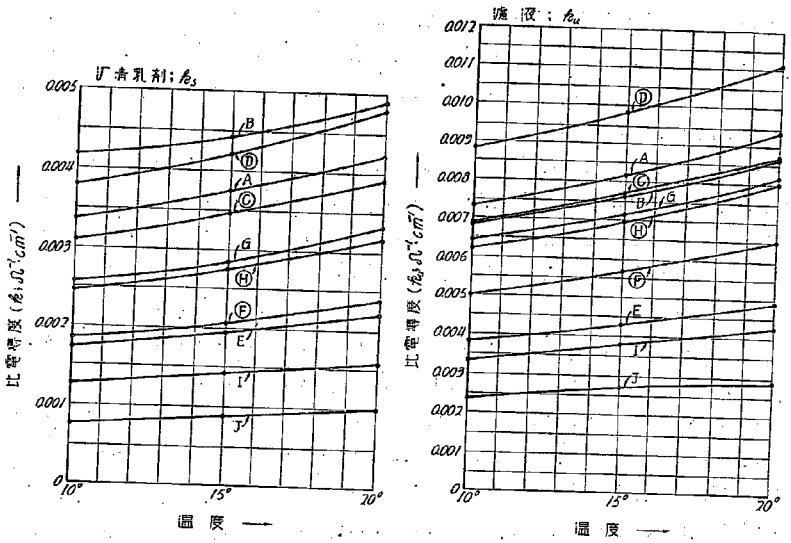
ClK 濃度	C 實測値
0.02 N	10.66±0.005
0.1 N	10.61±0.005
1. N	10.68±0.015

實驗溫度：—10℃，15℃，20℃ …3 種とす，第 23 表は斯くして得たる原乳劑及び濾液の比電導度 …k_s, k_u の値を示すものである．

第 23 表　比　電　導　度　$(\Omega^{-1}\ \mathrm{cm}^{-1})$

試料名 ＼ 溫度	原　液 (k_s)			濾　液 (k_u)		
	10℃	15℃	20℃	10℃	15℃	20℃
C	0.003031	0.003386	0.003814	0.006709	0.007497	0.008478
D	0.003711	0.004122	0.004698	0.008606	0.009548	0.001078
B	0.004092	0.004329	0.004807	0.006668	0.007432	0.008436
A	0.003283	0.003671	0.004128	0.007139	0.007966	0.009101
H	0.002399	0.002692	0.003090	0.006064	0.006778	0.007802
G	0.002510	0.002788	0.003252	0.006291	0.006984	0.007962
F	0.001802	0.002014	0.002338	0.004900	0.005545	0.006354
E	0.001687	0.001902	0.002166	0.003729	0.004193	0.004795
I	0.001230	0.001402	0.001551	0.003249	0.003695	0.004179
J	0.0007581	0.0008699	0.0009929	0.002286	0.002626	0.002797

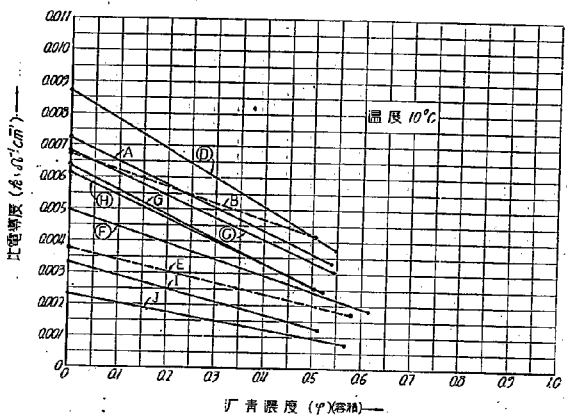
第 II 章に於ける k_1, k_2, に相當するものである．同表によるに原乳劑及び濾液の比電導度共に溫度の上昇に從ひ增加せるも一般電解質溶液の場合の如く下方に凸形である．第 18 圖 [a] [b] は第 23 表を圖示せるものにて，第 18 圖 [a]…瀝青乳劑の電導度 k_s,… [b] は



第 18 圖

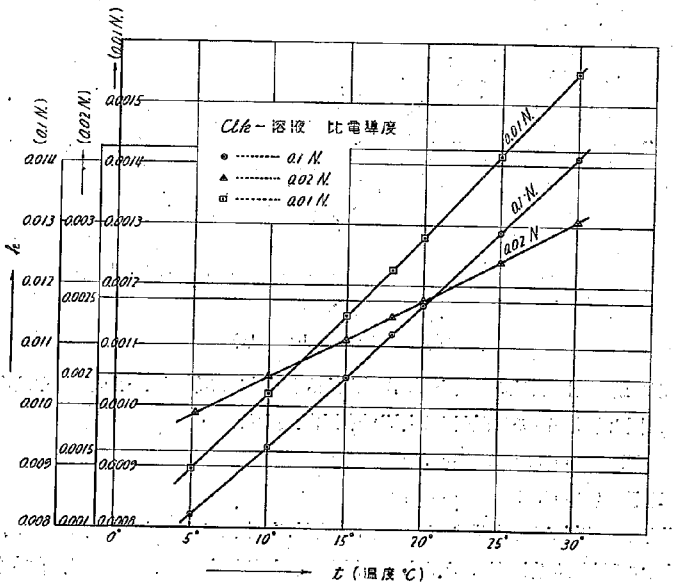
濾液の電導度 k_u… を示すもので溫度により比電導の如何に變化するかを明かに知り得. 斯く懸青乳劑の比電導度 k_s は豫期せし如く濾液より著しく少なれども溫度に對する傾向は全く同樣である. 且つ比電導度の値は ClK ～溶液の値*と比較するに可成りの濃度の電解質の含有せるものである. (*次頁圖面參照).

次ぎに II 章 [2] [3] 節に述べし重要なる關係を明かにせん爲め k_s～懸青含有量の關係に就き考察せん. 今比電導度 k_s～容積濃度 φ の關係を求めんに懸青乳劑は 1 つの球狀分散質を有する實驗用不均一系模型である. 唯だ ζ～電位を有する事と特異なイオン雰圍氣の狀況は斯かる研究に於ける缺點である. k_s～φ 曲線を求めん爲め, 第 23 圖より溫度 10℃, 15℃, 20℃ に於ける, k_s, k_m …を圖示す. 第 19 圖 [a] [b] [c] は之を示す, 各溫度に於ける傾向は全く同じものである, 今 $k_u(\varphi=0)$ 點と横軸上 $\varphi=1$ 點を結ぶ直線を考ふるに乳劑の實測點 k_s の大多數は上記直線の下部に來る, 卽ち II 章 [1] [3] 節の $\frac{k_1}{k_2}=0$ …の場合の如く變化せるもの多し, 唯だ二, 三の場合 k_s が上記直線の上方に來り $\frac{k_1}{k_2}\neq 0$ … の場合に相當する傾向を明瞭に示してゐる. 同圖より明かなる如く實驗値は k_s～φ 曲線に屬する 2 點のみである, 斯かる結果より $\varphi=1$ に對する k_s の位置は勿論 k_1/k_2 に對する特性を詳論する事不可能なるも更に第 20 圖の如く總ての k_s/k_u の比と φ～の關係を

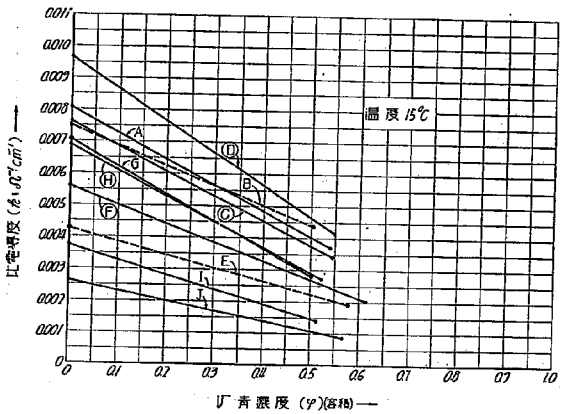


第　19　圖　[a]

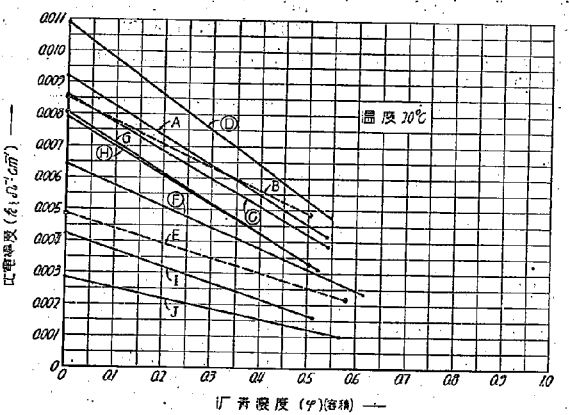
* ClK～水溶液の電導度は標準として多く記載されあるも瀝青乳劑電導度に關する實驗値との比較の便宜上乳劑及び濾液の比電導と同程度の電導度を與ふ．ClK～溶液の比電導度を添附した．別圖は ClK 濃度 0.1 N；0.02 N；0.01 N 水溶液に對する比電導度～溫度の關係にて直ちに k_s, k_u の値と比較し得べし．



別　圖



第 19 圖 [b]



第 19 圖 [c]

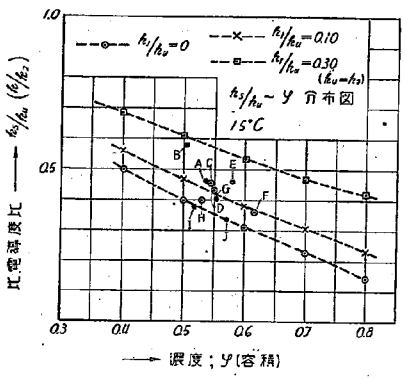
求むれば瀝青乳劑に於ける見掛上の電導度增加が如何如なる範圍なるかを明かにし得. 先づ第 19 圖より考察するに試料とし平均直徑比較的大なる…

B 號 ($D_0=5.4\,\mu$ $D_W=3.8\,\mu$)

E 號 ($D_0=4.24\,\mu$ $D_W=3.3\,\mu$)

…の場合のみ乳劑 k_s の値が點 (k_s, 0) (0,1) を結ぶ直線の上部に來る. 卽ち ζ～電位の最も微少なる種類の乳劑に於て $k_1/k_2 \neq 0$ の傾向の著き事を示すものにて II 章 [3] 節に述べし如く全體として表面電導度係數中 d_1 係數の影響は實驗的にも殆ど無いと見做し得.

此關係は第 20 圖 $\frac{k_s}{k_u}$～φ の分布圖により一層明かになる，第 20 圖には $\frac{k_1}{k_u}=0.3$，$\frac{k_1}{k_u}=0$ に對する $\frac{k_s}{k_u}$～φ 曲線を，－－□－－□－－，－－◎－－◎－の如く示す，實驗試料 10 種に就き考察せんに總て，$\frac{k_1}{k_u}<0.3\cdots$ の如きも B 號のみ特に $\frac{k_1}{k_u}=0.3\cdots$ に近き値を有す，他の種類のものは略〻 $\frac{k_1}{k_u}=0.1$ の値を有す．元來表面電導度と ζ～電位との關係は複雜せるものにて David R. Bridgg[67] の細管中のセルローズに對する實驗をみるも 第 II 章［3］節の d_1 係數の傾向とは全く一致せず．

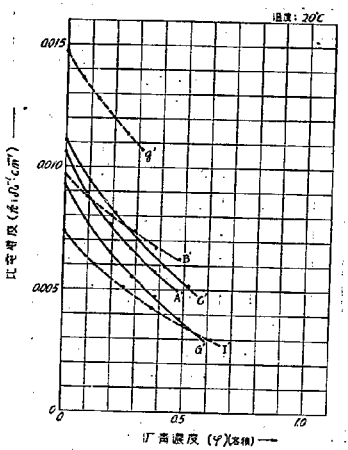


第　20　圖

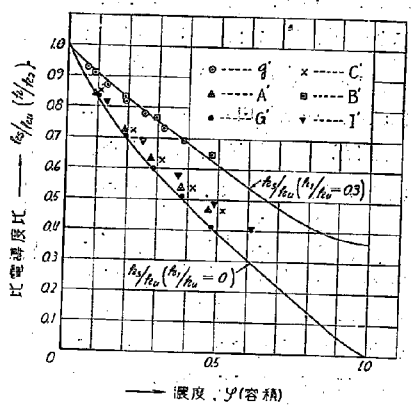
第 20 圖の示す瀝青乳劑の $\frac{k_s}{k_u}$～φ の結果は重要な事實を示すものである，即ち瀝青乳劑の電導度に表面電導とし測定されるものは瀝青粒子イオン雰圍内に於けるイオンの狀態による事頗る多く擴散性にて且つイオン電導的に考察し束縛力をうける事小なるに從ひ $\frac{k_1}{k_u}\left(\text{即ち}\frac{k_1}{k_2}\right)$ の影響著しく現れるものと推測し得．然るに第 I 部 II 章［3］節 9 表に水素イオン濃度 ${}_EP_H$，${}_UP_H$ より換算せる平均濃度比 $[\overline{OH'}]_E/[\overline{OH'}]_U$，從つて ζ～電位を見るに B 號は他の種類に比し著しく大である．然るに分解値著しく大である，即ち B 號のミセルは比較的擴散性のイオン雰圍氣を有するもイオンの瀝青粒子に對する束縛力薄弱にして保護ゾルの影響等比較的少し．以上の如く比電導の實驗による結果と第 I 部 II 章による結果とは全く同じ論據を瀝青粒子イオン雰圍氣の構造に對し與ふるものである．斯かる事實は全く注目に値するものである．イオン雰圍氣の構造に關する性狀は瀝青乳劑の結氷分解性及び僞轉位相 (Pseudo Inversion of Emulsion) とも密接な關係を有する事を附記し置く．著者は既に本試料と異るも同一會社製の各種混合滲透用瀝青乳劑の比電導度と瀝青濃度を詳細に原液を濾液にて稀釋しつゝ測定した事がある．今其の結果をも參考の爲め記述す．記號としては先きに述べし試料と同一會社製同一商品名のものには同一のものを用ひ區別の爲め "′" を附す，但し g′ 號のみは特別の分散を有する混合用瀝青乳劑にて分散度の研究報告[68]に於て G 號と稱へしものである．

第 21 圖は k_s～φ の關係を示すもので，第 22 圖は同圖より得し k_s/k_u～φ 關係である．

67) David R. Briggs: Surface conductance, Colloid symposium Monograph, vol. VI.
68) 島田八郎：前揭 (1), (63)



第　21　圖



第　22　圖

實驗結果は II 章 [2][3] 節の一般式 (19) (20) 式の如く變化せる事が分る．第 22 圖によるも瀝青乳劑の比電導實驗に於ける表面電導度の增加を示す k_1/k_u は先きに述べし試料の場合と全く同じ程度の範圍 $k_1/k_u \leqq 0.3$ …に變つてゐる．B′ 號は平均直徑 $D_0=4.84\,\mu$ のものにて全く本試料 B 號の場合と同樣に論じ得るも，g′ 號に於ける見掛上の增加は瀝青粒子の ζ～電位の影響によるが乳化劑溶液中に含有せるコロイド成分の微細粒子の ζ～電位の影響によるか明かでない．

以上代表的國產瀝青乳劑 10 種の比電導度と瀝青含有量との關係を明かにせんと試みしに全體の傾向は (19) (20) 式の如くなるも瀝青乳劑に於ては特異なる表面電導の現象を呈す．其の結果數式上瀝青物質の比電導度 k_1 は $\neq 0$ として取扱ふべきを明かにす．一方瀝青乳劑の分解値 (安山岩)，水素イオン濃度の研究と比較し，$k_1 \neq 0$ なるは主として瀝青粒子周圍のイオン雰圍氣の狀態中主として其の擴張性，自由度によるものにて所謂 ζ～電位として知られてゐる界面動的電位差の大なる値，從つて平均直徑 D_0 の小なる値に起因する事の少きを明かにす．一方第 III 部電氣泳動實驗に必要な乳劑及び濾液の比電導度を得．

IV. 結　　論

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀の 1 として電導度に關する特性を明かにせんとした．其の研究の目的は數多あるも第 I 章に述べし如く實際施工上に於ける將來の應用可能性と一般分散系に於けるポテンシャルによる傳導關係を瀝青乳劑に應用せるもので電氣傳導度たると熱

傳導たるとを問はず其の應用價値頗る多し，殊に瀝青乳劑電導度(k_s)～濃度(φ)關係より乳劑中に於ける瀝青粒子イオン雰圍氣の狀態を種々推論し水素イオン濃度による瀝青乳劑組織の研究との關係を明かにした．更に第III部に述べんとする瀝青乳劑電氣泳動に於ける必要缺くべからざる材料を提供するものである．本研究を要約すれば下記の如き諸點より成る．

（1） 瀝青乳劑の如く2種の主成分よりなり且つ1成分が微粒子とし分散せる系に於ける熱傳導度電氣傳導等に關する一般的考察を行ふ．

（2） 乳劑の比電導度(k_s)と分散質，分散媒比電導度(k_1, $k_2=k_u$)と分散質容積濃度(φ)の關係を考察し瀝青乳劑の如き界面動的電位差(ζ)を有する場合の修正値を考察し更に

（3） 瀝青乳劑比電導の見掛上の增加即ち表面電導なる現象を明かにし上記 ζ～電位によるものとイオン雰圍氣の擴散性，等によるもの＞2種に分け兩者の影響を論究し實驗より其の性狀を確めた．

（4） 週波數 1000～ の交流を用ひ瀝青乳劑及び濾液の 10℃, 15℃, 20℃ に於ける比電導度(k_s, k_u)を測定し溫度による差異を明かにす．

（5） 國產瀝青乳劑 10 種に於ける k_u, k_s の範圍下記の如し．

濾液： $k_u=0.01\sim0.0025\ \Omega^{-1}\,\mathrm{cm}^{-1}$ (15℃)

乳劑： $k_s=0.0045\sim0.0009\ \Omega^{-1}\,\mathrm{cm}^{-1}$ (15℃)

（6） 實驗より得たる瀝青乳劑比電導度(k_s)と瀝青含有量濃度(φ, 容積)との關係を Maxwell, Lord Rayleigh の式と比較し瀝青乳劑の場合の特異な表面電導現象を明かにす．（上述理論式に關する論究は別の機會に述ぶ）

（7） 瀝青乳劑の表面電導による影響とし分散質，分散媒比電導度(k_1, $k_2=k_u$)の比，$k_1/k_2 \neq 0$ となり，實驗せしものに就ては $k_1/k_2 < 0.3$ …であつた．且つ，ζ の値小なるも瀝青粒子イオン雰圍氣の擴散性大にしてイオン電導的に自由度大なる場合 k_1/k_2 の大なる事を確む．

（8） k_1/k_2 の値より見たるイオン雰圍氣の構造はI部水素イオン濃度實驗結果より見たるものと全く一致せるを明かにす．

以上の如く分散系電導實驗研究としては電場週波數による影響等(容量成分が利く)を始め研究を要する餘地多數あるも瀝青乳劑及び濾液の電導度が如何なる程度のものにて，溫度による上昇率及び瀝青含有量との影響を實驗的に明かにし，一方理論的考察と比較し瀝青乳劑電導度に於ける特異な性狀を明かにし，將來此種研究の向ふべき視野を明かにす．殊に瀝青乳劑中の分散瀝青粒子のイオン雰圍氣組織性狀等に關する特性をも論究するを得．更に第 III 部の研究により瀝青乳劑內部組織を明かにせんとす．

土木試驗所出版圖書

報告

第一號	路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告 瀝青質材料竝瀝青質混合物に關する研究第一報	大正十四年	三月發行
第二號	瀝青質材料斜度に就て	大正十五年	一月發行
第三號	「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定．瀝青混合物に關する研究．「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て	同	二月發行
*第四號	急硬セメントに關する試驗報告	同	五月發行
*第五號	簡易鋪裝に關する試驗報告	昭和二年	三月發行
*第六號	混凝土及鐵筋混凝土抗扭力試驗報告	同	五月發行
*第七號	八幡製鐵所副産部製品，瀝青質材料，瀝青質鋪裝，「セメント」類及揮發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績	同	七月發行
*第八號	瀝青質材料標準試驗方法．石材類標準試驗方法	同	十月發行
*第九號	急硬性「セメント」に關する試驗．「ソリデテット」の耐壓强度に關する試驗．「ブロック」に關する試驗．高知縣黒瀧川産砂に關する試驗．多摩川産砂利及砂に關する調査．石材類試驗成績	同	十一月發行
*第十號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第一） 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．常願寺川産砂に關する試驗	同	七月發行
*第十二號	アスファルト・ブロック試驗成績．各種アスファルト・ブロック比較試驗成績．石油アスファルトとコール・タール・ピッチとの混合物に關する試驗．瓦斯燈及骸炭燈タール及ピッチに關する試驗成績．コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て．大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化．石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす火山灰及石粉の影響	昭和四年	一月發行
第十三號	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗．橋梁用敷板强度試驗．鐵筋混凝土橋鐵材の腐蝕に關する調査．鋪裝用鋪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．土木用石材試驗成績	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關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．混凝土鋪裝の縱目に關する試驗．河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響．瀝青乳劑試驗成績	同　十二月發行
第二十二號	地震時土壓の實驗的研究．混凝土鋪裝繼目用エラスタイト試驗．高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗．基礎の沈下量算定法(第二)．新土壓計算圖表．	昭和七年五月發行
第二十三號	簡易鋪裝に關する實地比較試驗．鋼矢板試驗．大和川筋並ノ瀨地區に關する調査（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．粗柱に關する試驗．乳劑の粘度に就て．府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案．碎石の磨損率に關する一試驗．三陸津浪調査報告．本邦產鋪裝用石材（附錄）．	昭和八年六月發行
*第二十五號	本邦鋪裝用タールの性質に就て　橫溢流堯流量試驗．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．鎔着鋼引張試驗用小型試片，國產瀝青乳劑試驗成績．骨材及び類似材料の靱性に關する研究．鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計(1)	同　十月發行
第二十九號	矢板擁壁の控板に作用する力に關する試驗．瀝青繼目材試驗成績．南洋村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）阪神地方治岸風水害調査報告．	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）．鏡口狀河口に於ける水流に就て．下關海峽の潮流に關する模型試驗．基礎版の基本的研究(第1報)．溢流堤下游洗掘防止に關する一試驗．國道鋲結鈑桁橋標準設計案	昭和十年四月發行
第三十一號	土砂の安定强度試驗．本邦鋪裝用タールの性質（其の II）．道路鋪裝用タール乳劑に關する研究（第1報）．擁壁裏込の土壓輕減の効果に關する試驗．浦戸港々口の潮流に關する試驗（第1報）．	同　八月發行

第三十二號	本邦道路橋の重量．道路鋪裝用タール乳劑に關する研究(第2報)．河川彎曲部に於ける水流に就て．タールとアスファルトとの混合物の鋪裝材としての性質．タール鋪裝と水稻の發育との關係．ポートランドセメントの凝結後に於ける溶解物の *PH* に就て．王泊堰堤の湯水の温度及水素イオン濃度．	昭和十年十一月發行
第三十三號	砂利路面工の配合比に關する試驗．鋼橋鋲接合壓縮試驗．基礎版の基本的研究(第2報)基礎桁．道路鋪裝用アスファルトの力學的特性に就て(其の1)．停止波に就て．	昭和十一年三月發行
第三十四號	瓦斯切斷による削殘が鋲接の强度に及ぼす影響．防波堤の安定に關する一試驗．二,三の土木材料の比熱測定結果に就て．二,三の外國製鋪裝用瀝靑乳劑の性狀に就て．土砂の安定强度に及ぼす加壓回數の影響．土木工事用金屬材料分析試驗．種々の土木工事用材料に關する試驗．施工方法による砂利路面工の耐力の比較試驗．鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的並に耐震的設計(2)．	昭和十一年六月發行

其他

本邦道路橋輯覽	大正十四年十二月發行
本邦道路橋輯覽(增補)	昭和三年三月發行
*第六回國際道路會議に關する報告書	昭和七年四月發行
土木工事用材料標準試驗方法	昭和七年十二月發行
本邦道路橋輯覽第三輯	昭和十年十一月發行

(*印は殘部なし)

昭和十一年八月二十日 印刷
昭和十一年八月二十五日 發行

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