土木試驗所報告

第二十六號

昭和九年三月

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撃に關する研究（其の一）

3554

第3554號
昭和14年3月13日
S

5105
3554

内務省土木試驗所

土
41

土木試驗所報告

第二十六號

序　言

本報告は，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，瀝青鋪裝切取試驗材の性質に關する試驗，道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究(第1報)，自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究(其の一)等を輯錄せるものである。

地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法は地震動水壓を考慮する場合の安定斷面決定法を簡單化し，如何なる外力及び周圍條件に對しても容易に所要斷面を決定し得る方法を研究したものである。

田中村調節池溢流堤に關する水理試驗は同所に築造される横溢流堤が果して所期の機能を有するや否やを模型試驗によつて確めたものである。

瀝青鋪裝切取試驗材の性質に關する試驗は，諸方面の依頼によるシート・アスファルト及びアスファルト・コンクリート鋪裝の切取試驗を行ひ，各性質を明かにし特に鋪裝及び其の中の非瀝青材料の空隙率併に材料の比重及び配合量等との關係を示し，緻密なる鋪裝表層を得る爲の手段につき實例を基として考察せるものである。

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第1報）は，瀝青乳劑の實用上重要なる諸性質を支配する瀝青物質粒子の乳劑に於ける分散に就き理論的の考察を行ひ分散度に關する理論式を誘導し，更に實驗的の研究を行ひ兩方面より瀝青物質の分散度の意義を明にしたものである。

自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究（其の一）は，走行自動車が障碍物上を通過する場合の路面衝撃を理論的に研究し，任意の自動車及び障碍物に對し衝撃の程度を計算し得る一般式を求めたものである。

昭和九年三月

內務省土木試驗所長　內務技師　物　部　長　穗

目　次

頁

1. 地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法……1

内務技師　物部長穂

2. 田中村調節池溢流堤に關する水理試驗……33

本間仁

3. 瀝青鋪裝切取試驗體の性質……45

内務技師　西川榮三

内務技手　松本榮

4. 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第1報）……83

内務技師　島田八郎

福鳴彌六

5. 自動車の路面に及ぼす衝撃に關する研究（其の一）……141

内務技師　松村孫治

土木試驗所報告

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

內務技師　物部長穗

內容梗概

本研究は地震に因る動水壓を考慮して、重力堰堤の合理的斷面形を決定する一般的方法を示したるものであるが、溢流深大なる可動部を有する場合は、溢流頂の形狀に對して適當なる修正を要するものである。

目次

頁

緒　言……（1）

第一節　地震に因る動水壓……（2）

第二節　波浪餘裕と動水壓との比較……（4）

第三節　記號及び作用外力……（6）

第四節　滿水時に於て必要なる下流面傾斜m……（12）

第五節　空虛時に於て必要なる上流面傾斜n……（15）

第六節　滿水時滑動に對する安定……（16）

第七節　下流面傾斜m及び堤底のmの計算竝に圖表……（17）

第八節　下流面傾斜mの補正法……（19）

第九節　基本斷面形の修正……（22）

第十節　非溢流堰堤(Bulkhead dam)に於ける頂部及び上流面の形狀…（23）

第十一節　堤體の內部應力……（27）

附　錄……（29）

緒　言

從來耐震堰堤の設計に於ては、堰堤各部の質量に作用する地震力（Inertia force）と、池水の震動及風に依て誘發さるゝ波動の影響とを考慮したりしが、最近各國に於ける理論竝に實驗的研究に依て、地盤及び堤體に作用する上流向加速度に依り、堰堤上流面に於て

靜水壓以外に稍著しき動水壓（Dynamic water pressure）の作用する事が確實となり、深くして廣き大貯水池に於ては、上部を除き波動の壓力に匹敵し又は一層大なる動水壓が堰堤上流面に作用し、之に因る堰堤斷面の增大、卽ち下流面所要傾斜の增大は意想以上に大なるを以て、保安上重大なる堰堤に於ては、今後動水壓を考慮して所要の斷面形を決定する必要がある。尙、地震波動と動水壓とを同時に考慮したるは、風浪が相當大なる場合地震動水壓が共同作用しても危險に頻せず、且、淺き兩岸部に於ては地震波浪の影響が動水壓より著しく大なるを以て夫等に因る危險を防止する爲めである。

第一節　地震に因る動水壓

廣き矩形谷に堰堤を設けたる場合の動水壓は、米國 Westergaard 敎授[1] 竝に筆者及び本所松村技師[2] 等の理論的研究竝に米國 Jacobsen 敎授[3] の實驗等に依て適確に決定され、更に淺き貯水池に於ける地震波浪に關しては、筆者及び本所松村、本間兩氏[4] の實驗に依て、波高がその振動回數に比例して增大する事が確かめられた。

先づ堤體の振動に依て、その上流面に作用する動水壓は Westergaard の動水學的研究に依り常時滿水面以下に於ける水深と强度との關係が決定され常時滿水面を軸の原點に取れば近似的に次式を以て表はされる。

$$p_d=\frac{7}{8}w_0K_1\sqrt{Hx}\quad\cdots\cdots\text{ m-ton 單位}\quad\cdots\cdots(1)$$

茲に，

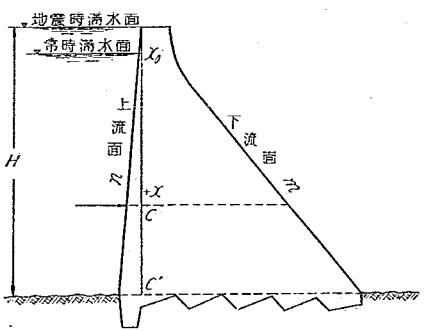
p_d，滿水面より下方 x なる上流面に作用する動水壓强度

w_0，池水 1 m³ の重量、1 ton/m³

K_1，滿水時に考慮すべき水平震度

H，地震波浪に對する餘裕を加へたる全水深

但し、動水壓のみを表はすには常時滿水面に x の原點を置くを利とし、靜水壓及斷面形の算定には、地震時滿水面卽ち堰堤頂點を x の原點に採るを便とする。



第　1　圖

(1), (2), (3), (4), 附錄參照

先づ動水壓の性質及びその重要さを明かにする爲めに、常時滿水面を原點としたる場合堰堤單位長…1m…に對し、x 斷面以上の總動水壓…$P_{d,x}$…卽ち x 水平斷面の總剪力を求むるに、

$$P_{d,x}=\int_0^x p_d\,dx=\frac{7}{12}w_0K_1H^{\frac{1}{2}}x^{\frac{3}{2}} \quad\cdots\cdots(2)$$

若し頂點を x の原點に採れば

$$P_{d,x}=\frac{7}{12}w_0K_1(H-x_0)^{\frac{1}{2}}(x-x_0)^{\frac{3}{2}} \quad\cdots\cdots(3)$$

卽ち、堤頂を x の原點に採る場合は、常時滿水面を原點に採る場合の式に於て x の代りに $(x-x_0)$, H の代りに $(H-x_0)$ を代用すれば足りる。從て、以下には常時滿水面を x の原點に採りし場合の式を揭ける。

次に常時滿水面を x の原點に採りし場合の、x 斷面の動水壓に因るモーメントを求むるに、先づ $x=0$ より x 迄の動水壓の原點 O の廻りのモーメントを求むるに、

$$M_{d,x}=\int_0^x p_d\cdot x\,dx=\frac{7}{20}w_0K_1H^{\frac{1}{2}}x^{\frac{5}{2}} \quad\cdots\cdots(4)$$

從て頂點 O より x 迄の動水壓合力 $P_{d,x}$ の作用點迄の鉛直距離 x' は、

$$x'=\frac{M_{d,x}}{P_{d,x}}=\frac{6}{10}x \quad\cdots\cdots(5)$$

依て x 軸上 $+x$ なる點の廻りの動水壓モーメント卽ち堤體の x 水平斷面に作用する曲モーメントは、

$$M_{d,x}=P_{d,x}(x-x')=P_{d,x}\frac{4}{10}\cdot x=\frac{7}{30}w_0K_1H^{\frac{1}{2}}x^{\frac{5}{2}} \quad\cdots\cdots(6)$$

堤底岩盤面に於ては $x=H$

$$\therefore\quad M_{d,H}=\frac{7}{30}w_0K_1H^{\frac{1}{2}}H^{\frac{5}{2}}=\frac{7}{30}w_0K_1H^3 \quad\cdots\cdots(7)$$

然るに波浪餘裕は x_0 に等しく、

$$x_0=\lambda K_1^2H,\qquad \lambda=2\sim3 \quad\cdots\cdots(8)$$

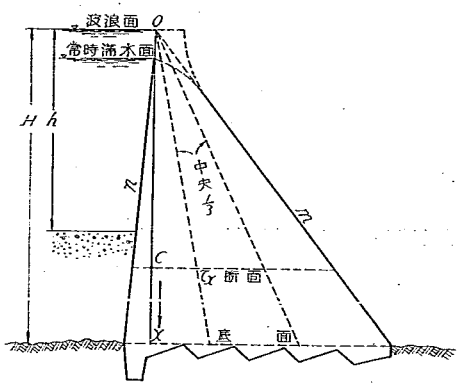
但し λ は堤高大なる程大に採る。

故に頂點以下 x 又は H 迄の靜水壓の C 點の廻りの曲モーメントは、

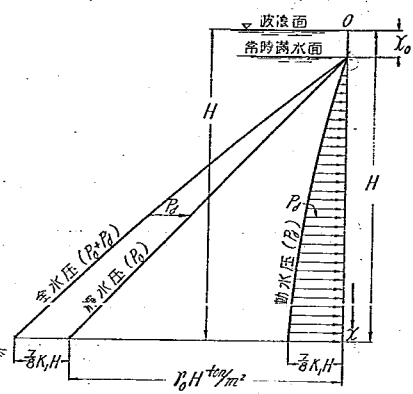
$$M_x=w_0\cdot\frac{x^2}{2}\cdot\frac{x}{3}=\frac{1}{6}w_0x^3 \quad\cdots\cdots(9)$$

堤底に於ては、　$M_x=\frac{1}{6}w_0H^3$ $\cdots\cdots(9')$

$$\therefore \frac{M_{d,x}}{M_x}=\frac{7}{5}K_1\left(\frac{H}{x}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \cdots\cdots(10)$$



第　2　圖



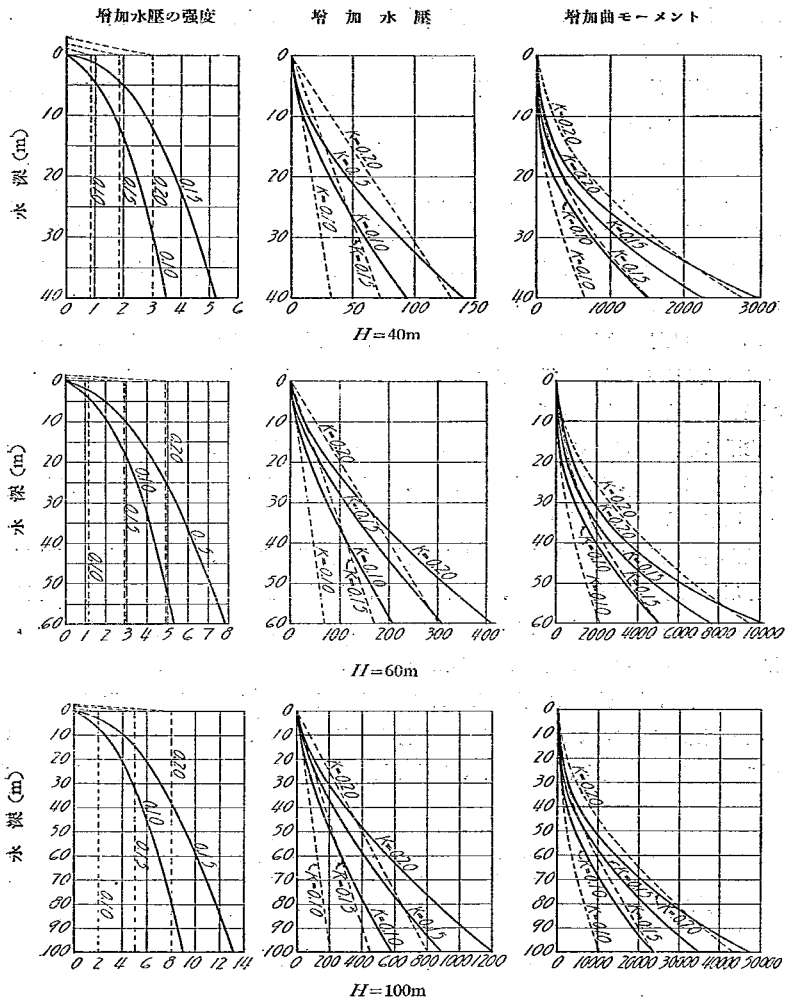
第　3　圖

第二節　波浪餘裕と動水壓との比較

著者が大正十四年土木學會誌上に發表した「貯水用重力堰堤の特性竝に其合理的設計方法[5]」及び萬國工業大會[6]に於て發表した "Earthquake-Proof Construction of Masonry Dams" に於ては、何れも地震時の水壓增大を、地震時重力の方向に計りたる水深の增大を以て代表させ、更に地震動の繰返し作用に因る波動の生長を考慮し、一回の加速度に因て生ずる波高 $K_1{}^3H$ の λ 倍だけ水面が上昇するものと假定し、$\lambda=2\sim3$ を用ふるを適當としたが、池水波動の週期は地震動のそれに比し著しく大なる爲め、波浪に因る水面上昇と、直接地震に因る動水壓とが重複して作用する機會も在り得るを以て、後節述ぶる所の安定斷面決定法に於ては、波浪餘裕を加へたる高、卽ち地震時滿水面以下全深に靜水壓作用し、常時滿水面以下に於ては更に動水壓が加はるものとして、理論上の不正確に因る危險を避ける事とした。

然し米國地震地方の耐震堰堤の設計には、高堰堤の築造に適する硬地盤に對し、0.1 の震度を考慮せるに對し、本邦に於ては從來 0.15 を採用し居りしを以て若し λ を 3 以上に採れば米國に於て動水壓を考慮して設計されたる重力堰堤に比し耐震力に於ては殆んど

(5)　土木學會誌第十一卷第五號　　(6)　昭和四年十月於東京



單位　m, ton

第　4　圖

匹敵し得るものであるが、動水壓の本質が既に明確となりし今日に於ては、斷面設計も亦之に應じて合理的ならしむる必要がある。

次に參考の爲め $\lambda=3$ の水面上昇のみを考ふる場合と動水壓のみを考ふる場合との、外力としての大小を比較する爲め

$H=40$, 60 及 100 m

に於て $K_1=0.1$, 0.15 の地震に於て、地震時增加水壓を比較する。但し第 4 圖中 δp, δP 及 δM は夫々 $\lambda=3$ の場合の水面上昇に因る增加水壓の强度，增加水壓及增加曲モーメントにして Δp, ΔP 及 ΔM は夫々地震加速度に因る增加水壓の强度，增加水壓及增加曲モーメントである。

卽ち水面上昇と動水壓との影響を比較するに、同震度ならば後者は常に大なるも、震度 0.15 を採用せし從來の本邦耐震堰堤は、最近 0.1 の動水壓を考慮して設計されたる耐震堰堤と略匹敵する耐震力を有する。

尙附錄(1)に示したる如く Westergaard 教授の理論に據れば、常時滿水面に於ける動水壓は不定なるも、松村氏の計算によれば、滿水面以上にも小量ながら動水壓の作用する事が明確に示されて居る。

重力堰堤に於ては小龜裂又は施工目地の微小なる隙間に依ても、水深に相當する揚壓力の作用する危險あるのみならず、表面部の風壞，缺落等に依ても直ちに安定を損する惧れあるを以て、(3) 式に示す如く靜水壓は頂點より以下全體に、動水壓は常時滿水面以下に作用するものとして充分の安定を期したものものである。

從來は岸壁，擁壁等の如き構造物に於ても反力を底面の中央 $\frac{1}{3}$ の部分內に作用せしむる事を必要條件とせしも、之等は最初より全浮力を考慮するか、又は反力が中央 $\frac{1}{3}$ の外に出づるも地盤の荷重變形が微小ならば、何等の危險なく、堰堤の場合の如く加速度的に安定を失する惧はない。

第三節 記號及び作用外力

(1) 記號

本編に於ては次に示す如き記號を用ふる。(第 5 圖參照)

但し、單位は總て meter, ton とす。

x … 堰堤上流側頂點より下方に計りたる鉛直距離

y … 上流側頂點より右方に計りたる水平距離

H … 堰堤の頂點より上流側岩盤面迄の鉛直距離

h … 頂點より堆泥面迄の鉛直距離

K_1 … 滿水時震度、加速度は下流向とす

K_2 … 空虛時震度、加速度は上流向とし、普通の場合 $K_2 \geqq \frac{1}{2}K_1$

w_0 … 單位體積の池水の重量、普通 1 ton/m³ とす

w … 單位體積の堤體の重量

w_1 … 單位體積の堆泥の重量

γ_0 … 池水の比重、普通 1 とす

γ … 堤體の比重 $=\frac{w}{w_0}$

γ_1 … 堆泥の比重 $=\frac{w_1}{w_0}$

μ … 揚壓力係數、水平斷面上流端に於ける最大水壓强度に μ を乘じたるものが上流端に作用する揚壓力强度を表はし、下流端に於ては $\mu=0$ とす

C_e … 土壓係數、堰堤上流面上の單位斷面積の堆泥柱の重量に C_e を乘じて水平土壓强度を得る

α_1 … 下流面の x 軸に對する傾斜角

α_2 … 上流面の x 軸に對する傾斜角

$\mathrm{m} = \tan\alpha_1$

$\mathrm{n} = \tan\alpha_2$

但、何れも ＋ とする

l_1 … x 軸の下流側の幅 $=mx$

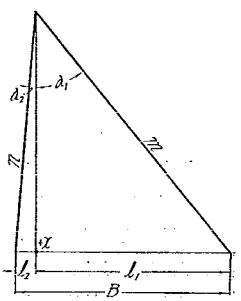
l_2 … 〃　上流側の幅 $=nx$

B … x 水平斷面の全幅 $=l_1+l_2=(m+n)x$

S … 滑動係數 (Sliding factor)

$=x$ 斷面以上の部分に作用する總水平力卽ち剪力と總鉛直力との比

f … 岩盤と堤底との間又は横施工目地に於ける摩擦係數



第　5　圖

（2）　設計外力に關する注意

（i）堆泥深さ，比重及土壓係數

堆泥深さ、$H-h$，比重 γ_1 及土壓係數 C_e 等は、堆泥の重量及び水平壓力として堰堤に作用する外力の一部を成すものなるが、高堰堤の上流面附近に堆積する土砂は、稍長き湛水區域を極めて小なる流速に依て流送されて堰堤上流側に沈澱したるものなるを以て、所謂沈泥（Silt）にして遠き將來は別とし、適當なる排砂門に依て、之を排除する事はさし

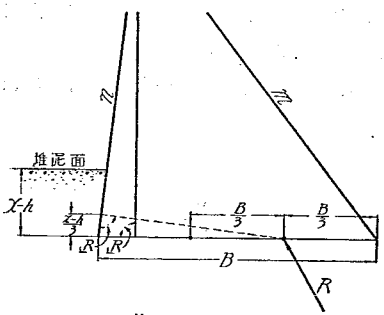
て困難でないが、長年月を閲するに及び池床は漸次上昇し、水深は小に、底勾配は急となれば次第に砂礫を流下し、先立て沈積せる泥土の上に沈積し、其一部は泥土中に浸入して堆泥の比重を增すが、摩擦角は殆んど變らぬものと看做さねばならぬ。從て初期の堆泥は水と共に $\gamma_1=1.6$ 位の比重を有するが、將來多少增大する傾向を有するのみならず、液狀堆泥の動水壓は純水より大なるを以て多少安全側に考へ、普通の場合下記の範圍内に於て適當に定める。

$$\gamma_1=1.6\sim1.8,\quad C_e=1.0\sim0.5 \qquad \cdots\cdots(11)$$

堆泥の深さ $H-h$ は水深の狀態と排砂門の能力等より推定さるべきであるが、如何なる場合に於ても全水深の 30～40% の堆泥深を考慮する必要がある。一般に下部上流面の n が稍大なる場合、泥壓は上流面に略垂直に作用するを以て、堆泥深が $H-h$ なる場合、基本三角形斷面に於て、泥壓の合力は底より $\frac{H-h}{3}$ の高さに作用するを以て

$$H-h=3\times\frac{2}{3}(m+n)H\sin\alpha_2 \qquad \cdots\cdots(12)$$

ならば、泥壓の合力は正しく底幅の中央 $\frac{2}{3}$ の下流端に作用するを以て泥壓は斷面形に殆んど影響せず、若し堆砂深が (12) 式の右邊の價より小なる時は、却て m を過小ならしむる危險を生ずるを以て、如何なる場合に於ても



第　6　圖

$$H-h>2(m+n)H\sin\alpha_2 \qquad \cdots\cdots(13)$$

なる堆泥深を考慮する必要があり、我國に於ても排砂設備を有せざる堰堤が、築造後二三十年にして堆砂が堤頂迄達した例が實在する。

後記の斷面計算法に於ては γ_1, C_e, h が、如何なる値を有する場合にても適用し得るを以て擔當者が地況，使用目的其他の事情を考慮して合理的に定めて差支ない。

（ii） 地震力

高重力堰堤の位置としては、强度に於ても、遮水性に於ても、亦風化に對する耐久性に於ても、出來得るだけ最良の地盤を撰定する事が必須の問題にして、此爲めに堤長を多少增大するも、將來の爲め却て有利なる場合が多い。從て大重力堰堤の地盤は震度比較的小に、米國に於ては最大 0.10 を採用して居るが、本邦の大地震は米國加州のそれに比して、震度の大なる場合多きを以て、假令良好の地盤上に築造さるゝ場合と雖も、

$$\left.\begin{aligned}&\text{滿水時}\quad K_1=0.12\sim0.13\\&\text{空虛時}\quad K_2\geqq\frac{1}{2}K_1\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(14)$$

程度の地震力を考慮する必要あり、古來、上記以上の大地震絶無にして、地質，地震帶等の關係上、將來と雖もその少なき場合は上記震度の下限値を用ひて耐震上充分なりと信ずるが、中空堰堤にありては重量著しく小なると、揚壓力の作用面積極めて小なると堤高餘り大ならざる等の關係上、中位の岩盤上に築造さるゝ場合多きを以て、作用地震力は前者より多少大なるものと考へられ、普通

$$K_1=0.13\sim0.15 \quad \cdots\cdots(15)$$

程度にとれば差支ないと考へらるゝが、土堰堤にありては堆積地盤上に築造さる場合多く震度も著しく大なるのみならず、飽水狀態の細粒堤土は地震力に依る堤體の彈性撓み極めて大にして、上部は堤底地盤の地震動に比し數倍の振動を爲すのみならず、剛性小なるを以て地震動と共鳴するの危險がある。從て設計震度は地盤のそれの數倍を必要とし

$$\left.\begin{array}{ll}\text{底部} & K_1=0.15\sim \\ \text{頂部} & K_1=0.2\sim0.3\sim\end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(16)$$

且、高さの大なるほど、頂部震度を大にとる必要がある。土堰堤の振動に關しては、本所松村技師が理論的計算を完成し、現に模型土堰堤に依り理論の適應性を實驗しつゝあるを以て、遠からず合理的なる計算法を發表し得る事と信ずる。空虛時安定に關しては、上流面は滿水時より急に減水する場合に最も辷り易いが、地震及それに因る波浪作用と共同する場合に最も危險なるも、水位下降は堤全體の安定を助くるを以て、上流面の安定計算には滿水の場合に比し多少震度を低下しても、一時に全體が壞滅する如き惧れはないものと信ずる。

(iii) 堤體の比重

重力堰堤の混凝土は比重の大なる程有利であり、從て骨材の形狀，材質，粒度，配合，水，セメント比等に依て異なり、揚壓力の作用する如き狀態に於ては、混凝土實體には相當多量の水分を保持し、從て熱氣乾燥の重量を用ふる必要がない、且堰堤混凝土は大粒の粗骨材を用ひ得るのみならず、過剩水分の少なき硬練りを採用し得るを以て、比重 γ は 2.4 或はそれ以上を目標として材料の撰擇竝に施工法を定むべきもので、適當なる骨材を經濟的に使用し得ざる場合に於て、止むを得ず低き γ の混凝土を用ひ、堤幅卽ち m を大にして安定を保たしむる。從來の實例によれば γ は 2.3 乃至 2.55 に及び平均は 2.4 位であるが、現在は堰堤に關する研究が著しく進歩し γ の大なる混凝土が、安定，强度，耐久力等總ての點に於て有利なる事が充分に理解さるゝに至つた爲め、各國共、密度の大なる混凝土を用ふる事に努力せる結果、從來の堰堤混凝土の平均に比し密度は漸次增大し、伊太利 Salarno 堰堤の設計には 2.55、米國の Hoover 堰堤に於ては試料實測 156 lbs/cu. ft. ($\gamma=2.5$)、Pine Canyon 堰堤、實測 155.5 lbs/cu. ft ($\gamma=2.48$)、設計 $\gamma=2.4$

等である。(第1表參照)

第 1 表

番號	堰堤名稱	所在地	高さ	比重 設計	比重 測定	竣工
1	Pardee	米國	109m	2.40		1930
2	Pine Canyon	〃	97	2.40	2.48	築造中
3	Piano del Barbellino	伊太利	70	2.35		1931
4	小牧	富山縣	68	2.32	2.40	1929
5	祖山	〃	65	2.24	2.36	1929
6	Bull Run	米國	61	2.37	2.46	1931
7	Cigana	佛國	50	2.35		1928
8	Salarno	伊太利	35	2.55	2.35	1928
9	Hoover	米國	210	2.50	2.50	築造中

番號	堰堤名稱	所在地	高さ	揚壓力係數 設計	揚壓力係數 測定	竣工
1	Owyhee	米國	118m	1.0~0.5		1933
2	Schräh(Wäggital)	瑞西	110	0.81		1926
3	Pardee	米國	109	0.25		1930
4	Pine Canyon	〃	97	1.00		築造中
5	Ariel(1)	〃	95	—	0.24	1931
6	Barberine	瑞西	85	0.85		1924
7	Piano del Barbellino	伊太利	70	0.80		1931
8	小牧	富山縣	68	0.40		1929
9	Schwarzenbach	獨逸	67	0.74		1925
10	祖山	富山縣	65	0.66		1929
11	Bull Run	米國	61	1.00	0.20	1931
12	Gibson(1)	〃	58	0.50	0.49	1929
13	Cancano di Fraele	伊太利	57	—	0.25	1930
14	Marathon	希臘	54	0.66		1931
15	Mediana	米國	50		0.58	1913
16	Zerbino	伊太利	47		0.2~0.4	1925
17	Mollaro	〃	41		0.44	1929
18	Oester(2)	獨逸	40		1.00	1907
19	Salarno	伊太利	35	0.33		1928
20	Pit River No.3	米國	34		0.38	1925
21	Neye	獨逸	30		0 70	1908

(1) 拱堰堤　(2) 堰底に排水孔を設けず

（iv） 揚壓力係數

揚壓力係數μは堤體内に有効なる排水設備を設け、主として堤體上流半部の壓力水…毛管吸上げ水にあらざる…を排除する事に依て揚壓力を著しく低下し得る。若し施工目地に於て上下の混凝土が實體的に密着すれば其接面には揚壓力作用せず、從て揚壓力の有効なる强さは、實際の揚壓力强度に空隙斷面積/全斷面積を乘じたるものにして結局堤體の空隙率に水壓强度を乘じたるものにて足るとの說も有力にして、最近は米國の一部及獨逸に於て此說に據り$\mu=0.2\sim0.4$に規定し、佛國に於ては一層輕視して居る狀況である。著者個人の意見は緻密なる混凝土を用ひ、遮水，止水を充分に行ふてμを小にする方、安全且つ有利と信じ、$\mu=0.3\sim0.4$位が適度と考ふるが、岩盤の狀態，工事方法等に依ても、少なからぬ差異があるものと思はれ、大ならざる堰堤にして内部排水設備を省略する時は、適當の止水工事を施しても、0.4以上の揚壓力係數を考慮すべきであるが、之等に關しては、工事責任者が充分の調査研究を遂げ、堰堤地質の專門家の意見を尊重し、内外の實例をも參考としてμを適當に定むる。佛國に於ては往年 Lévy 氏の意見により一時$\mu=1.0$に取つたが、爾來、種々の研究の結果、材料工法に依てμを低下する方、有效なりとし、現在に於ては夫等を重要視しμの値は現場の狀況に精通せる主任技術者の認定に委して居る。

（v） 基礎岩盤上の摩擦係數

摩擦係數fは底面に於て滑動の危險を防ぐ爲めには、滑動係數Sが、底面の摩擦係數より小なる事を必要とするが、純粹の摩擦係數は滑動係數より小なる場合多きを以て、基礎盤面に凹凸を附し、堤體混凝土と岩盤との抗剪力に依て水平力に對抗せねばならず、從て岩盤及び混凝土は壓力のみならず、剪力に對しても充分の强度を要し、堤體に於ては水平施工目地を避け、目地附近の混凝土の强度及び密度に對して充分の注意を要する。

岩盤面若しくは施工目地が下流に向て上り又は下り勾配を有する場合の計算に關しては第六節に述べる。

（vi） 結氷壓力

結氷は大地震に際會せば破碎されて浮動し、水面部に衝突し、堤頂部に動水壓を作用せしむるが、

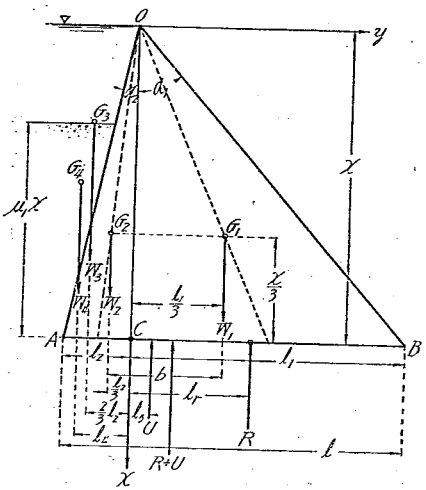
$$\Delta H=\lambda K^2 H$$

のλを、2～3に取り、且、頂部に適當の厚さ(7)を與ふれば、高堰堤に於ては充分安定を保ち得るが、低き取水堰に於ては堰脚と水門との關係著しく異なるを以て、氷厚は兩岸に於ける摩擦及び堰脚に依て大部分が負擔さるゝ事となる。

(7) 第10節（1）參照

第四節　滿水時に於て必要なる下流面傾斜 m.

(1) x 水平斷面以上の部分に作用する外力及びそのアーム (第7圖參照)



第　7　圖

堰堤の單位長… 1 m… に對し、

W_1 … $\triangle OCB$ の堤體重量

W_2 … $\triangle OCA$ の堤體重量

W_3 … 上流面直上の池水の重量

W_4 … 上流面直上の堆泥の重量

P_0 … 總靜水壓

P_d … 總動水壓

P_1 … 總泥壓の水平分力

U … x 斷面に作用する總揚壓力

F_1 … $\triangle OCB$ に作用する水平下流向地震力

F_2 … $\triangle OCA$ に作用する水平下流向地震力

R_v … x 斷面の鉛直反力、但し x 斷面の中央 $\frac{1}{3}$ の下流端に作用する。

R_h … x 斷面の水平反力

G_1, G_2, G_3, G_4 は夫々 W_1 及 F_1, W_2 及 F_2, 竝に W_3, W_4 の重心

依て x 軸上 $+x$ なる C 點の廻りの諸外力の力率を次に表示する。但、力は下流向を +、アームは x 斷面の上方及び x 軸の右側を +, 左側を −、力率は右廻りを + とする。

記號	外　　力	アーム	力率の向き +↷
W_1	$+\frac{1}{2}wmx^2$,	$+\frac{1}{3}mx$,	+
W_2	$+\frac{1}{2}wnx^2$,	$-\frac{1}{3}nx$,	−
W_3	$+\frac{1}{2}w_0nx^2$,	$-\frac{2}{3}nx$,	−
W_4	$+\frac{1}{2}(w_1-w_0)n\left(1-\frac{h}{x}\right)^2x^2$,	$-\frac{1}{3}n\left(2+\frac{h}{x}\right)x$,	−

P_0	$+\frac{1}{2}w_0x^2$,	$+\frac{1}{3}x$,	$+$
P_d	$+\frac{7}{12}w_0K_1(H-x_0)^{\frac{1}{2}}(x-x_0)^{\frac{3}{2}}$,	$+\frac{4}{10}(x-x_0)$,	$+$
P_1	$+\frac{1}{2}(w_1-w_0)\underline{C_e}\left(1-\frac{h}{x}\right)^2x^2$,	$+\frac{1}{3}\left(1-\frac{h}{x}\right)x$,	$+$
U	$-\frac{1}{2}w_0(m+n)\mu x^2$,	$+\frac{1}{3}(m-2n)x$,	$-$
F_1	$+\frac{1}{2}wmK_1x^2$,	$+\frac{1}{3}x$,	$+$
F_2	$+\frac{1}{2}wnK_1x^2$,	$+\frac{1}{3}x$,	$+$
R_v	$-(W_1+W_2+W_3+W_4-U)$	$+\frac{1}{3}(2m-n)x$,	$-$
R_h	$P_0+P_d+P_1+F_1+F_2$	0	

但、$x<h$ なる斷面に於ては、堆泥なきを以て $W_4=0$, $P_1=0$ である。

(2) 下流面傾斜 m を求むる式

基本三角形斷面に於て、上流面應張力が丁度零なる爲めには、鉛直反力 R_v の作用線が x 斷面の中央$\frac{1}{3}$の下流端を通過する必要あるを以て、鉛直力のアームは x 斷面に於て、上流面より $\frac{2}{3}(m+n)x$ だけ下流側に位し、x 軸よりの距離即、R_v のアームは$+\frac{2}{3}(m+n)x-nx=\frac{1}{3}(2m-n)x$ となる。而て斷面が丁度安定を保ち、應張力の作用せざる爲めには上記の諸力率の總和は零なるを要する。

依て夫等の總代數和を零と置き、總ての項を$\frac{1}{6}w_0x^3$ を以て除せば、次の如き m に關する二次方程式を得る。

$$+\gamma m^2-\gamma n^2-2n^2-\underline{\left(\gamma_1-1\right)n^2\left(1-\frac{h}{x}\right)^2\left(2+\frac{h}{x}\right)}$$
$$+1+1.4K_1\left(\frac{H-x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1-\frac{x_0}{x}\right)^{\frac{3}{2}}+\underline{C_e\left(\gamma_1-1\right)\left(1-\frac{h}{x}\right)^3}$$
$$-\mu(m+n)(m-2n)+\gamma K_1(m+n)$$
$$-\left\{\gamma(m+n)+n+\underline{(\gamma_1-1)n\left(1-\frac{h}{x}\right)^2}-\mu(m+n)\right\}(2m-n)=0 \quad \cdots\cdots(17)$$

上式を更に m の計算に便利なる形に直せば、

$$+(\gamma-\mu)m^2-\left\{n\left[2\mu-\gamma-2-\underline{2(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^2}\right]+\gamma K_1\right\}m$$

$$-n^2\left[\mu+\gamma\frac{K_1}{n}-1-(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^3\left(1+\frac{h}{x}\right)\right]$$

$$-\left[1+1.4K_1\left(\frac{H-x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1-\frac{x_0}{x}\right)^{\frac{5}{2}}+(\gamma_1-1)C_e\left(1-\frac{h}{x}\right)^3\right]=0 \quad \cdots\cdots(18)$$

兩式に於て底線を施せる項は堆泥に因るものにして $x \geqq h$ 卽堆泥面以上に於ては存在せぬものである。

若し安全の爲め頂點より動水壓が作用するものと考ふる場合は $x_0=0$ と置く。

安定上必要なる m の値を求むるには、個々の場合に對して適當なる γ, γ_1, μ, K_1, C_e, h 等を定め、後に述ぶる空虛時安定の計算に依り n は空虛時の所要震度に等しきを以て

$$n=K_2 \geqq \frac{1}{2}K_1 \quad \cdots\cdots(19)$$

として (18) 式に代入し、二次方程式を解けば、x 斷面に於て必要なる m を求め得る。

然るに從來の設計法の如く、動水壓を考慮せざる時は、總ての外力の强さは x 又は $x-h$ に比例し、外力は略 x^2, 力率は x^3 に比例するを以て、丁度安定條件を滿足する爲めの m は堆砂面以上の部分と底面以上の全體とに對し、各一種の m の値を以て、所要斷面形を實地上充分なる正確さに於て決定し得るも、動水壓を考慮する場合は、斷面の位置 x に依るのみならず、全水深 H に依ても異なり、其强度は $p_d \propto K_1\sqrt{Hx}$ 卽ち拋物線的に增大するを以て、嚴密に言へば m の値は x に從て變じ下部ほど小となるが、第 8 節の計算例に示せる如く頂部を除きては其差極めて微小にして、充分の波浪餘裕を取りて定めたる堤頂より、堤底の m を下流面傾斜とする三角形を用ひ、且第九節に示す如き頂部下流側の質量附加に依て、滿水, 空虛の兩場合共安定を保ち得、而も滿水時に於ては多くの場合相當の餘裕を有する事となる。

堆泥面以上に對し堆泥面卽ち $x=h$ に於て必要なる下流面傾斜 m を用ふれば、多少斷面積を節約し得るも、頂部幅員を多少大に採らねば安定餘裕小となり、特に頂部を拋物線狀に切取て溢流堰堤に用ふる場合、頂部補强に對して、より多くの工費を要する事となるのみならず、途中に於て m を變ずる事は施工上にも多少の不利を生ずるを以て、著者の意見としては上述の如く堤底に於て必要なる m を下流面に用ふる事を希望する。

尙、溢流部に於ては、水壓の大部分は堰脚に負擔さるゝのみならず、厚さは溢流頂一徑間の $\frac{1}{3}$ 以下にすぎぬを以て、脚自身は非溢流の場合より著しく大なる幅を用ひ、且、補强鐵筋は餘程下方迄達せしむる必要がある。

（3） 堤底に於て必要なる m の計算例

$$H=61\text{m}=x,\quad \gamma=2.3,\quad \gamma_1=1.8,\quad \mu=\frac{1}{3},\quad \mu_1=\frac{1}{3},\quad C_e=1,\quad K_1=0.12$$

$$K_2=\frac{K_1}{2}=n=0.06,\quad x_0=0$$

$$h=\left(x-\frac{x}{3}\right)=40.7,\quad \frac{h}{x}=\frac{40.7}{61}=0.667,\quad \left(1-\frac{h}{x}\right)^2=0.111,\quad \left(1-\frac{h}{x}\right)^3=0.037$$

$$(\gamma-\mu)m^2-m\left\{n\left[2\mu-\gamma-2-2(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^2\right]+\gamma K_1\right\}$$

$$-n^2\left\{\mu+\frac{\gamma K_1}{n}-1-(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^2\left(1+\frac{h}{x}\right)\right\}-1$$

$$-\frac{7}{5}K_1\left(\frac{H-x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1-\frac{x_0}{x}\right)^{\frac{3}{2}}-(\gamma_1-1)C_e\left(1-\frac{h}{x}\right)^3=0$$

此式に上記の資料を入れて

$$(2.3-0.333)m^2-m\{0.06[0.667-2.3-2-2\times0.8\times0.111]+2.3\times0.12\}$$
$$-0.0036\{0.333+4.6-1-0.8\times0.111\times1.667\}-1$$
$$-1.4\times0.12\times1\times1-0.8\times0.037=0$$

$$\therefore\quad m^2-0.024\text{m}-0.616=0$$

$$\therefore\quad m=\frac{1}{2}\left\{0.024+\sqrt{(0.024)^2+4\times0.616}\right\}=\frac{1}{2}\{0.024+\sqrt{2.4646}\}$$

$$=\frac{1}{2}\{0.024+1.57\}=0.797$$

第五節　空虛時に於て必要なる上流面傾斜 n

此場合、水及堆泥に關する外力は存在せず、地震力は上流向に作用し、鉛直反力の作用線が x 斷面の中央$\frac{1}{3}$の上流端を通過すれば下流面に應張力を發生せず、丁度安定を保ち得る。

尙、空虛の場合、下流面に龜裂を生ずるも一見、堰堤の安定に關係なき如く考へらるゝも、溢流水の侵蝕及び風化作用等の爲め、龜裂附近より頽化し易く、堰堤の有効幅を局部的に減少せしむる危險がある。

空虛の場合に考慮すべき外力、そのアーム及び力率の向き等を表示すれば

記號	外　力	アーム	力率の向き
W_1	$+\frac{1}{2}\omega mx^2$,	$+\frac{1}{3}mx$,	+

W_2	$+\frac{1}{2}wnx^2$,	$-\frac{1}{3}nx$,	
F_1	$-K_2W_1$,	$+\frac{1}{3}x$,	−
F_2	$-K_2W_2$,	$+\frac{1}{3}x$,	−
R_v	$-(W_1+W_2)$,	$+\frac{1}{3}(m+n)x-nx$,	−

之等の外力及び反力の力率の總和を零と置き、全項を $\frac{1}{6}w_0x^3$ を以て除せば、$w_0=1$ なるを以て

$$\gamma m^2-\gamma(m+n)(m-2n)-K_2\gamma(m+n)-\gamma n^2=0$$

$$\therefore\quad n=K_2 \qquad \cdots\cdots(20)$$

第六節 滿水時滑動に對する安定

水平なる目地に於てはその目地以上の堤體に作用する總水平力（R_h）が下流向に働き、上體を滑動せしめんとし、之に抵抗する力は接面に働く總鉛直力（R_v）に因る摩擦力である。

今 x 斷面に働く總水平力と總鉛直力との比を S とすれば、S は接面に於て上體の滑り易さを表はすを以て之を滑動係數と名づけ、式を以て表はせば、

$$S=\frac{P_0+P_d+P_1+F_1+F_2}{W_1+W_2+W_3+W_4-U}$$

$$=\frac{1+\frac{7}{6}K_1\left(1-\frac{x_0}{x}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{H-x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}}+(\gamma_1-1)C_e\left(1-\frac{h}{x}\right)^2+\gamma K_1(m+n)}{(\gamma-\mu)(m+n)+n+(\gamma_1-1)n\left(1-\frac{h}{x}\right)^2} \qquad \cdots\cdots(21)$$

但、堆砂以上の部分に對しては、土壓に關する項を除外し

$$S=\frac{P_0+P_d+F_1+F_2}{W_1+W_2+W_4-U}$$

$$=\frac{1+\frac{7}{6}K_1\left(1-\frac{x_0}{x}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{H-x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}}+\gamma K_1(m+n)}{(\gamma-\mu)(m+n)+n} \qquad \cdots\cdots(22)$$

滑動に對して安定なる爲めには、總鉛直力に因る接面摩擦力が、その上部に作用する總水平力より大なるを要し、換言すれば、

$R_h < fR_v$　　茲に f は摩擦係數

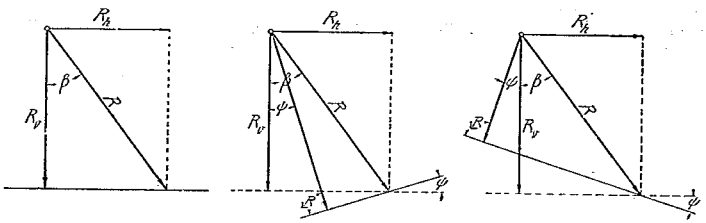
然るに $\frac{R_h}{R_v}=S$ なるを以て、滑動に對して安定なる爲には次の條件を要する。

$$S < f \qquad \cdots\cdots(23)$$

上式は基本三角形斷面に關するものにして、頂部に質量を附加すれば S は多少減じ滑動安定を助け得る。

若し接面に於ける混凝土又は岩盤の抗剪力が充分大なる場合は接面に凹凸を附し、其抗剪力を利用して滑動安定を著しく增進し得る。

施工目地，底面等の接面が傾斜を有する場合、上り勾配の傾斜角を $+\psi$，下り勾配のそれを $-\psi$，鉛直に對する總合力の傾斜角を β とすれば、



i　水平接面 $\psi=0$　　ii　上り勾配 $+\psi$　　iii　下り勾配 $-\psi$

第　8　圖

滑動安定の條件は各場合に對し、

$$\left.\begin{array}{ll} \text{i} & S=\tan\beta<f \\ \text{ii} & S=\tan(\beta-\psi)<f \\ \text{iii} & S=\tan(\beta+\psi)<f \end{array}\right\} \qquad \cdots\cdots(24)$$

傾斜接面に於て凹凸を附すれば、安定を增進し得る。

堰堤に於ては普通 $f=0.75$ 位に取りしも、地震力を考慮する場合は往々之れを突破するを以て、接面の混凝土を特に注意し、且、面に凹凸を附して岩石及び混凝土の抗剪力を利用するが得策である。

第七節　下流面傾斜 m 及び堤底の m の計算竝に圖表

堤底及び種々の x の値に對する m の變化を示す爲に、例として次の數値を用ふる。

岩盤上常時滿水面迄の高さ　$H=144$m，$\gamma=2.32$，$\gamma_1=1.8$，$C_e=1.0$，$\mu=\frac{1}{3}$

$\mu_1=0.4,\ K_1=0.12,\ n=\frac{1}{2}K_1=0.06$

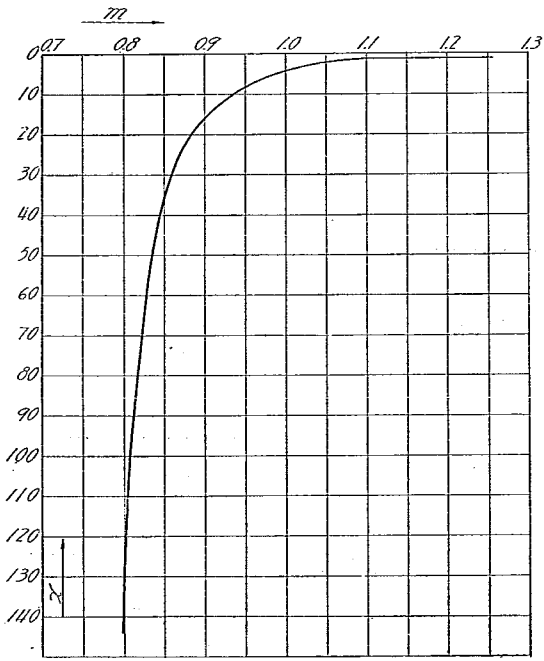
之等の數値を（18）式に代入すれば次式を得る。

$$m^2-0.022m-\left\{0.5359+0.0845\left(\frac{H}{x}\right)^{\frac{1}{2}}\right\}=0$$

上式より x 斷面に於て必要なる下流面傾斜 m を計算すれば、第二表の如し。

第　2　表

$x=$	1	4	9	16	25	36
$m=$	1.256	1.033	0.946	0.900	0.871	0.851
$x=$	49	64	81	100	121	144(m)
$m=$	0.836	0.825	0.816	0.809	0.804	0.799



第　9　圖

上記の m の値は、常時滿水面を x の原點に取り、それ以下に靜水壓及び動水壓が作用するものとしての計算なるも、靜水壓が堤頂以下全深に、動水壓が常時滿水面以下全體に作用する場合に於ても、堤底の m の値は殆んど變らぬ。

上記の例は、單に動水壓に因り、各高さに於ける所要 m が著しく變る事を示す目的に過ぎず、之を圖示すれば第9圖の如し。

(18) 式により堤底の所要 m を計算するには、相當の手數を要するのみならず誤算を生じ易きを以て、次の資料 (Data) を假定して各場合の堤底 m を求め圖表 (附圖) を以て示し、異る資料を用ふる場合に對しては m を補正する方法を述べる。但、圖表の m は少許の餘裕を含ませた値である。

假定資料は次の如し。

揚壓力係數　$\mu=0,\ 0.2,\ 0.4,\ 0.6,\ 0.8,\ 1.0,$　　滿水時震度　$K_1=0.0\sim0.2$

$\gamma=2.4,\quad \gamma_1=1.8,\quad \mu_1=0.4,\quad C_e=1,\quad K_2=\dfrac{K_1}{2}$

附圖の圖表を利用し、上記の假定資料と異る數値を用ふる場合は、其差に於て生ずる堤底 m の變化を計算する方法を第八節に詳述する。例へば、圖表に於ては堤體單位重量を 2.4 と假定せるに試驗の結果實際の單位重量が $2.4\pm\Delta\gamma$ なる時 m の增加量 Δm を求むる公式を第八節 (1) に示せるを以て圖表の m より容易に所要の m の値を求め得る。

第八節　下流面傾斜 m の補正法

(1) γ の變化に因る m の値の變化

附圖に種々の假定資料に對する m の値を示したが、その假定比重は $\gamma=2.4$ にして、實測の比重が $\gamma-\Delta\gamma$ なる場合は、安定上 m は $m+\Delta m$ に增さねばならぬ。今その Δm を求むるに、一般的に考へ、(18) 式に於て m の代りに $m+\Delta m$, γ の代りに $\gamma+\Delta\gamma$ を代入しても、(18) 式が成立すれば安定條件を滿足する，卽ち

$$(\gamma+\Delta\gamma-\mu)(m+\Delta m)^2$$
$$-\left\{(\gamma+\Delta\gamma)K_1-n\left[(\gamma+\Delta\gamma)+2+2(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^2\right]\right\}(m+\Delta m)$$
$$-n^2\left\{\mu+\frac{K_1}{n}(\gamma+\Delta\gamma)-1-(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^2\left(1+\frac{h}{x}\right)\right\}$$
$$-\left\{1+1.4K_1\left(\frac{H-x_0}{x}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1-\frac{x_0}{x}\right)^{\frac{5}{2}}+(\gamma_1-1)C_e\left(1-\frac{h}{x}\right)^3\right\}=0$$

然るに上式に於て (18) 式と共通する項の總和は零にして、且、Δm 及 $\Delta\gamma$ の二乘以上の項及び n, K_1 等の小量の二乘以上の項を無視し、丁度安定を保つ爲に必要なる Δm と $\Delta\gamma$ との比を求むれば、

$$\frac{\Delta m}{\Delta\gamma}=-\frac{m^2+nm-K_1m}{2m(\gamma-\mu)+n\left[\gamma+2+2(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^3-2\mu\right]-K_1\gamma} \quad \cdots\cdots(25)$$

上式の右邊は負値なるを以て、γ が $\Delta\gamma$ だけ減ずれば、m は Δm だけ増し、γ が $\Delta\gamma$ だけ増せば、m は Δm だけ減ずる。

今、一例として

$$\gamma=2.3,\ m=0.800,\ K_1=0.12,\ n=K_2=\frac{K_1}{2}=0.06,\ \mu=\frac{1}{3},\ \gamma_1=1.8$$

$\frac{h}{x}=\frac{2}{3}$, $\Delta\gamma=+\frac{1}{20}\gamma$ と置けば、

$$\frac{\Delta m}{\Delta\gamma}=-\frac{1}{5} \qquad \therefore\ \Delta m=-\frac{1}{5}\times\frac{2.3}{20}=-0.023$$

$\therefore$ 所要の m は $m+\Delta m=0.800-0.023\fallingdotseq0.798$

(2) 堆泥深の差異に因る m の變化

附圖に示せる m は、堆泥深が全高の 40% の場合であるが、場合に依ては 0～100% にも及ぶを以て、その變化に因る m の變化 Δm を求むる必要がある。

今 x 斷面に於て $1-\frac{h}{x}=\mu_1=0.4$ 卽、x 斷面以上の堆泥深が、x の 40% なる場合、卽、附圖に示せる場合の下流面傾斜を m_1 とすれば (17) 式の m の代りに m_1 を代入し以下の計算に便なる樣に書き直せば、

$$\begin{aligned}&\gamma m_1^2-(\gamma+2)n^2-0.416(\gamma_1-1)n^2+(P_3+P_d)+0.064C_e(\gamma_1-1)\\&+\gamma K_1(m_1+n)-\mu(m_1+n)(m_1-2n)-\gamma(m_1+n)(2m_1-n)-n(2m_1-n)\\&-0.16(\gamma_1-1)n(2m_1-n)+\mu(m_1+n)(2m_1-n)=0\end{aligned} \quad \cdots\cdots(\mathrm{i})$$

次に任意の μ_1 を取る場合の x 斷面の下流面傾斜を $m=m_1+\Delta m$ として (17) 式に代入して書き直せば、

$$\begin{aligned}&\gamma m_1^2-(\gamma+2)n^2-\mu_1^3(3-\mu_1)(\gamma_1-1)n^3+P_3+P_d+\mu_1^3C_e(\gamma_1-1)\\&+\gamma K_1(m_1+n)-\mu(m_1+n)(m_1-2n)-\gamma(m_1+n)(2m_1-n)-n(2m_1-n)\\&-(\gamma_1-1)n\mu_1^2(2m_1-n)+\mu(m_1+n)(2m_1-n)+2\gamma m_1\Delta m\\&+\gamma K_1\Delta m-\mu\Delta m(2m_1-n)-2n\Delta m-2n(\gamma_1-1)\mu_1^2\Delta m\\&+\mu\Delta m(2m_1+2n+2m_1-n)-\gamma(2m_1+2n+2m_1-n)\Delta m=0\end{aligned} \quad \cdots\cdots(\mathrm{ii})$$

(ii)−(i) は矢張零となるを以て、

$$\{-\mu_1^2(3-\mu_1)+0.416\}(\gamma_1-1)n^3+C_e(\gamma_1-1)(\mu_1^3-0.064)$$
$$+(-\mu_1^2+0.16)(\gamma_1-1)n(2m_1-n)+\Delta m\{2\gamma m_1+\gamma K_1-\mu(2m_1-n)$$
$$-2n-2n(\gamma_1-1)\mu_1^2+\mu(4m_1+n)-\gamma(4m_1+n)\}=0$$

上式より Δm を求むれば

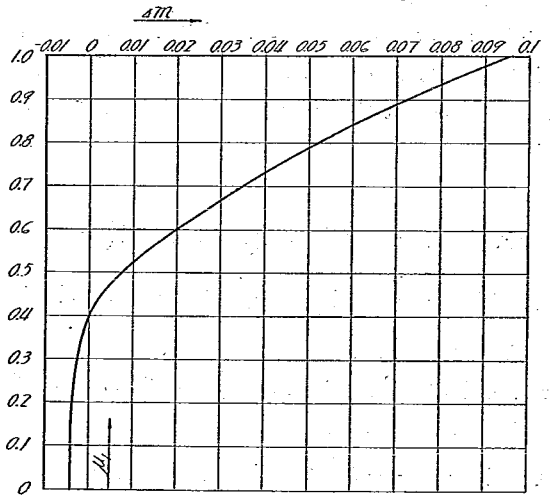
$$\Delta m=\frac{C_e(\gamma_1-1)(\mu_1^3-0.064)-\{\mu_1^2(3-\mu_1)-0.416\}(\gamma_1-1)n^2-(\mu_1^2-0.16)(2m_1-n)(\gamma_1-1)}{\gamma(2m_1+n)-\mu(2m_1+2n)-\gamma K_1+2n+2n(\gamma_1-1)\mu_1^2} \quad \cdots\cdots(26)$$

計算例　$\gamma_1=1.8$, $\mu_1=1$, $C_e=0.5$, $\gamma=2.4$, $K_1=0.12$, $K_2=\frac{1}{2}K_1=0.06$,

$m_1=0.800$, $\mu=0.4$

$\Delta m=0.095$

故に $\mu_1=1$ 即ち堤頂迄堆泥する時は $\Delta m=0.095$ となる。



第　10　圖

即ち $\mu_1=0.4$ なる場合に比し、m は 0.095 だけ大となり、Δm の値は三次抛物線にて表はされ、

$\mu_1=$	1.0	0.75	0.4	0.0
$\Delta m=$	+0.095	+0.028	0	−0.004

にして之を圖示すれば大體第 10 圖の如し。

第九節　基本斷面形の修正

下流面傾斜 m と上流面傾斜 n との關係

極めて高き重力堰堤に於ては、下流面下部の壓縮應力が著しく大となり、而も動水壓を考慮する場合は下流面傾斜 m が大となり、壓縮應力度は

$$\sigma=\gamma x(1+m^2) \quad \cdots\cdots(27)$$

にして、同じ高さにても m の大なるに從て σ は急に增大する。而し σ が大なれば、混凝土の配合，施工其他に於て不利を來すを以て、傾斜の大なる下流面に於て幅員を節減して、上流に於て適當の增幅を爲して安定を保たしむると同時に混凝土の最大應力度を下ぐる方、有利なる場合がある。

今、m を $m+\Delta m$, n を $n+\Delta n$ に變じて、丁度安定を保たしむる爲に、必要なる Δm と Δn との關係を求むるに、(18) 式に於て m の代りに $m+\Delta m$, n の代りに $n+\Delta n$ を入れても方程式は成立する。但、此場合 Δn は Δm と同程度の量にして、從て n とも同級の量であるとする。

(18) 式より

$$(\gamma-\mu)(m+\Delta m)^2-\left\{\gamma K_1-(n+\Delta n)\left[\gamma+2+2(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^2-2\mu\right]\right\}(m+\Delta m)$$

$$-(n+\Delta n)^2\left\{\mu-1-(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^2\left(1+\frac{h}{x}\right)\right\}-(n+\Delta n)\gamma K_1+C=0$$

但、C は m 及 n の變化に無關係なる項の總和である。

然るに、上式中 (18) 式と共通なる項の總和は零にして且、n^2, Δn^2, Δm^2, $n\Delta n$, $\Delta n\cdot\Delta m$ 等は他項に比して著しく小なるを以て近似的に

$$(\gamma-\mu)2m\cdot\Delta m-\left\{-\Delta n\left[\gamma+2+2(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^2-2\mu\right]\right\}m$$

$$-\gamma K_1\Delta m-\gamma K_1\Delta n=0$$

$$\therefore\quad \frac{\Delta m}{\Delta n}=-\frac{m\left[\gamma+2+2(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h}{x}\right)^2-2\mu\right]-\gamma K_1}{2m(\gamma-\mu)-\gamma K_1} \quad \cdots\cdots(28)$$

卽ち Δm と Δn との比が、(28) 式の右邊と等しき場合は、m を Δm だけ減又は增し、n を Δn だけ增又は減じても、丁度安定を保ち得る。

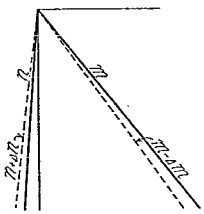
今、一例として、

$$m=0.80,\quad \gamma=2.4,\quad \gamma_1=1.8,\quad \frac{h}{x}=\frac{2}{3},\quad \mu=0.4,\quad K_1=0.12$$

と取れば

$$\frac{\Delta m}{\Delta n}=-0.94$$

卽ち n を $\Delta n=0.1$ だけ增せば、m を $\Delta m=0.094$ だけ減じ得、逆に m を $\Delta m=0.1$ だけ增せば、n を $\frac{0.1}{0.94}=0.106$ だけ減じても滿水時の安定を保有し得るも、空虛時に於て安定を失する。



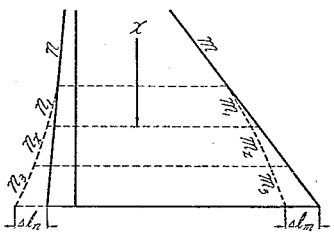
第 11 圖

若し應力度の過大なる下部のみに於て傾斜を減ずる場合は、x 斷面に於て下流側より Δl_m だけ減じ、上流側に $\Delta l_n \leqq \frac{\Delta l_m}{0.94}$ だけ增幅すれば安定を保ち得る。此場合の應力度は、許容應力度（σ_a）より小なるを要し、

下流側　$\sigma=\gamma x(1+m_x^2)\leqq\sigma_a$

上流側　$\sigma=\gamma x(1+n_x^3)\leqq\sigma_a$

但、變更せる表面の形は滑かなる二次曲線に近似せしむる。



第　12　圖

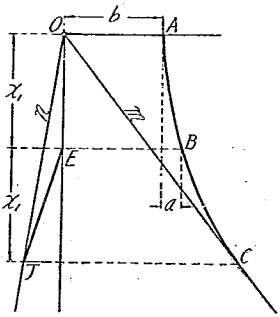
第十節　非溢流堰堤（Bulkhead Dam）に於ける頂部及び上流面の形狀

（1）　堤頂部の修正

交通監視等の必要上、天端に適當なる幅員 b を與ふる爲めに、下流側に增幅するが、その下流面を、水平軸のパラボラ又は之に近き曲線を用ふる方、有利である。仍て $x=\frac{b}{m}=x_1$ に於て下流側に a なる增幅を爲し $x=2x_1$ に於て基本斷面の下流面…傾斜 m…に切せしめ、ABC 面を A に頂點を有し oy を軸とする拋物線とし、a を次式に依て定むれば滿水時に於ても充分安全である。

$$a=b\frac{3K_1-m+\frac{1}{m\gamma}}{\frac{10}{3}m-\frac{1}{2}K_1}\qquad\cdots\cdots(29)$$

然るに上記の下流面修正に因り、頂部上流側は空虛の場合過大の安定を有するを以て、



第　13　圖

OEJ なる三角形部分を削除して差支ない。

（2）　上流面の修正

$x=2x_1$ 以下の上流面に於ては、頂部附加質量が堤體の上流側に片寄る關係上、空虛時の安定を保つ爲めに上流側に適當の增加（Δl）を與ふる必要を生ずる。

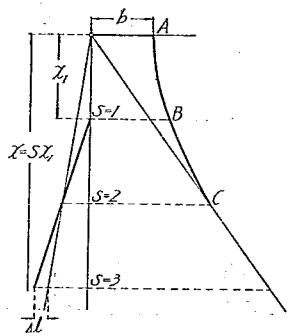
今、$\frac{n}{m}=\frac{K_2}{m}=k$,　$x'=sx_1$,　$x_1=\frac{b}{m}$

と置き sx_1 に於て、丁度安定を保つ爲めに必要なる Δl を近似的に求むれば、

$$\Delta l=x_1\frac{s\left\{\frac{2}{3}-k\left(\frac{1}{3}+k\right)\right\}-k+k^2-1.6}{2\left(\frac{2}{3}-k\right)+s\left(1+\frac{s}{2}\right)(1+k)}\quad\cdots\cdots(30)$$

而て、Δl の値は $s=3$ より下方に連續的に變ずる。

今、$K_2=0.06$,　$m=0.800$,　$b=6$m とすれば



第　14　圖

$$k=\frac{K_2}{m}=0.075,\quad x_1=\frac{b}{m}=\frac{6}{0.8}=7.5\text{m}$$

$s=3$ に於て、$\Delta l=7.5\times\frac{0.24}{9.25}=0.195$m

$s=10$, 卽ち $x=sx_1=75$m に於ては

$\Delta l=7.5\times\frac{4.683}{65.68}\fallingdotseq0.535$m

（3）　溢流頂の形狀

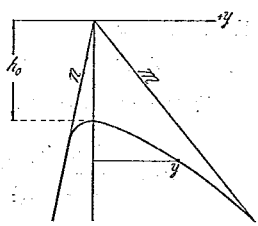
溢流水面が頂點に達する溢流時に於て、溢流頂より頂點 O 迄の水深を h_0 とすれば、x 軸の下流側に於て安定上必要なる頂面の形は次式を以て表はし得る。

$$y^2=m^2(x^2-h_0^2)+\frac{2}{3}m^2h_0^3\log_e\frac{x}{h_0}\quad\cdots\cdots(31)$$

x 軸の上流側に對しては水平軸の楕圓弧を用ふる。

溢流頂面と水脈下面との間に於て低壓を生ぜざる爲の y は

$$y^2\geqq4\mu h_0(x-h_0)\fallingdotseq1.54h_0(x-h_0)\quad\cdots\cdots(32)$$



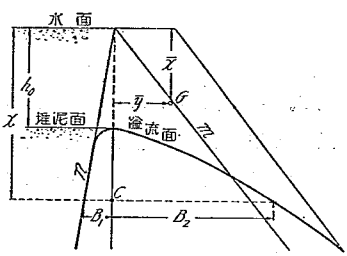
第　15　圖

次に水門閉塞の場合、安定上必要なる溢流頂の形狀は基本三角形に頂部の重量を大部分切り去るを以て、安定を保つ爲には著しく大なる幅員を要し、x の大なる程、漸次安定に近寄る。今、最も不利なる場合を考へ、堆泥が溢流頂に達し單に堤前後の落差を利用するに過ぎざる狀態となりし場合、溢流頂部の x 斷面に於て自力を以て安定を保つ爲めに必要なる幅員を求める。

x 軸の上流側の幅は、$B_1=2n(x-h_0)$ とし、安定上必要なる幅は下流側即ち B_2 の增大に依て與ふるものとし、B_2 を B_1 の λ 倍とする。

$$B_1=2n(x-h_0);\quad B_2=\lambda B_1$$

$$\therefore\quad B_1+B_2=2n(1+\lambda)(x-h_0)$$



第　16　圖

次に重量及び外力に因る C 點の廻りのモーメントを擧ぐれば、

但、右廻りを ＋ とする、

x 軸上流側の自重モーメント		$M_1=-\gamma n^2(x-h_0)^3$
〃　下流側	〃	$M_2=+\gamma n^2\lambda(x-h_0)^3$
靜　水　壓モーメント		$\frac{1}{6}x^3$
動　水　壓	〃	$+\frac{7}{30}K_1H^{\frac{1}{2}}x^{\frac{5}{2}}$
自重地震	〃	$+\frac{8}{15}K_1\gamma n(1+\lambda)(x-h_0)^3$
堆　砂　壓	〃	$+\frac{1}{6}(\gamma_1-1)C_e\left(1-\frac{h_0}{x}\right)^3x^3$
揚　壓　力	〃	$-\mu 2n^2(1+\lambda)x(x-h_0)^2\left(\frac{\lambda}{3}-\frac{2}{3}\right)$
鉛直反力	〃	$-\frac{8}{9}\gamma n^2(1+\lambda)(2\lambda-1)(x-h_0)^3$
堆砂重量	〃	$-n^2x^3\left(1-\frac{h_0}{x}\right)^3$
池水重量	〃	$-\frac{1}{3}x^3n^2$
堆砂摩擦力	〃	$-\frac{n}{4}(\gamma_1-1)C_e\left(1-\frac{h_0}{x}\right)^3$

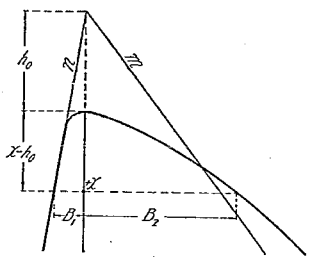
堆砂摩擦力は堆砂壓の上流面に沿ふて働く摩擦力である。

其他，堰柱，水門，橋梁其他の質量に依るモーメントを M_0 とし，作用力と反力とのモーメントの總和を零と置き，全項を $\frac{x^3}{6}$ にて除せば，次の安定條件式を得る。

$$6\gamma n^2(\lambda^2-1)\left(1-\frac{h_0}{x}\right)^3+3.2K_1\gamma n(1+\lambda)\left(1-\frac{h_0}{x}\right)^3+1+1.4K_1\sqrt{\frac{H}{x}}$$
$$-12\mu n^2(1+\lambda)\left(\frac{\lambda}{3}-\frac{2}{3}\right)\left(1-\frac{h_0}{x}\right)^2+(\gamma_1-1)\left(1-\frac{h_0}{x}\right)^2\left\{C_e\left[\left(1-\frac{h_0}{x}\right)\right.\right.$$
$$\left.\left.-\frac{n}{4}-n^2\left(2+\frac{h_0}{x}\right)\right]\right\}-\frac{16}{3}\gamma n^2(1+\lambda)(2\lambda-1)\left(1-\frac{h_0}{x}\right)^3+\frac{6}{x^3}M_0=0 \quad \cdots(33)$$

依て，$\gamma=2.4$, $n=0.1$, $h_0=10$m, $K_1=0.12$, $\mu=0.4$, $\gamma_1=1.8$, $C_e=0.4$, $H=81$m

溢流面以上に位する堰柱，水門其他の總重量を堰堤溢流部の長 1m に就き 100ton. 夫等の重心 G の位置を $\bar{x}=6$m, $\bar{y}=4$m とすれば，



第　17　圖

$$M_0=400[1+0.03(x-6)]$$
$$\therefore \quad \frac{M_0}{\frac{x^3}{6}}=\frac{2400}{x^3}\{1+0.03(x-6)\}$$

(33) 式より $x=15$m, 20m, 25m, 30m に於ける λ を求むれば

x(m)	λ
15	25.5
20	20.0
25	14.3
30	10.5

卽ち $x=15$m 卽ち溢流頂點より 5m 下方の斷面に於て安定を保たしむるには

$$\lambda=25.5 \qquad \therefore \quad B_1+B_2=nx(1+\lambda)=1.5(1+25.5)=39.75\text{m}$$

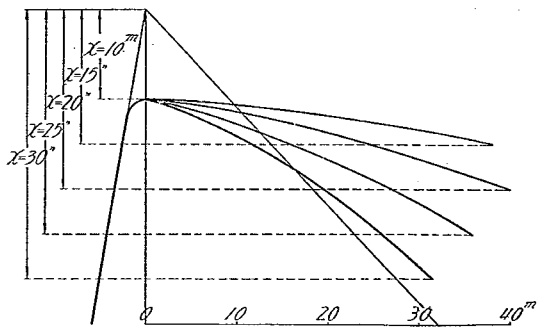
を要する。同樣にして x の種々の場合に對する所要幅員を求むれば第三表の如し。

第　3　表

$x=$	15	20	25	30 m
$B_1=nx=$	1.5	2.0	2.5	3.0 m
$B_2=\lambda nx=$	38.25	40.0	35.75	31.5 m
$B_1+B_2=$	39.75	42.0	38.25	34.5 m

上記の計算は頗る粗雜なるも，大體に於て溢流堰堤の溢流部は一般重力堰堤の安定條件を滿足する爲めには，極めて大なる幅員を有し，實際に適當せざるを以て，混凝土の質と

施工とを充分ならしめ、少し許り應張力及び水平剪力に對して安全に抵抗せしめ、且、下部の安定に相當の餘裕を置き、鐵筋又は鐵骨を用ひて上下一體の作用を爲す如き工法を用ふの外ない。



第　18　圖

第十一節　堤體の內部應力

高重力堰堤に於て、內部應力は下方程大に、主應力度の最大なるは、滿水時の下流面にして、空虛時の上流面之に次ぐも、堰堤の安定，揚壓力の低下，耐久性，遮水性竝に施工等に對して最も有利なる混凝土を使用せざるべからざるを以て、必ずしも應力度のみに對して、混凝土の配合を決定すべきにあらざるは勿論であり、且、拋物線的に增大する動水壓を考慮して、各種の等應力度線を求むるには、相當の手數を要し、且、高堰堤の下部に於ては剪力の方が却て危險となるを以て實地上應力に對する安全率を均等にする事は不可能であるから、下記の如き簡便法を提案する。

基本三角形斷面に於て、x 斷面に作用する合力が丁度 x 斷面の中央 $\frac{1}{3}$ の下流端に作用し、空虛の場合は、その上流端に作用する如く設計されたものとすれば、m なる傾斜を有する下流面に於て、$+x$ の點の應壓力度 σ_m は

$$\sigma_m=p_m\sqrt{1+m^2}=\gamma x\sqrt{1+m^2}\cdots\cdots(34)$$

茲に p_m は下流面鉛直壓力度$=\gamma x$

次に空虛の場合に於ては $+x$ なる上流面に於ける應壓力度 σ_n は、

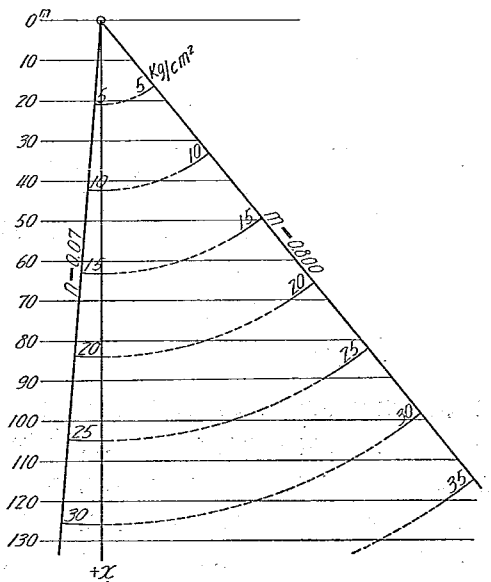
$$\sigma_n=p_n\sqrt{1+n^2}=\gamma x\sqrt{1+n^2}\cdots\cdots(35)$$

但、合力が中央 $\frac{1}{3}$ の内側に入る程安全になる。

卽ち、下流面に於ては σ_m は頂點よりの下流面の長さ $x\sqrt{1+m^2}$ に比例し、上流面の σ_n も、斜面に沿ふての長 $x\sqrt{1+n^2}$ に比例するが、普通 n は 0.1 以下なるを以て、近似的には x に比例する。

依て兩表面に於て應力度が等しき點 x_m と x_n の比を求むれば

$$\frac{x_n}{x_m}=\frac{\gamma x\sqrt{1+m^2}}{\gamma x\sqrt{1+n^2}}=\sqrt{\frac{1+m^2}{1+n^2}}\fallingdotseq\sqrt{1+m^2} \qquad \cdots\cdots(36)$$



第　19　圖

今 $\gamma=2.4$, $m=0.80$, $n=0.1\sim0$ とすれば

$$\sigma_m\fallingdotseq3.072x \qquad \therefore\ x_m\fallingdotseq0.326\sigma_m$$

$$\sigma_n\fallingdotseq2.4x \qquad \therefore\ x_n=0.417\sigma_m$$

依て、各應力度が作用すべき下流及上流面の x 卽ち x_m 及 x_n を求むれば第四表の如し。

第　4　表

σ kg/cm²	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
x_m, (m)	16.3	32.6	48.9	65.2	81.5	97.8	114.1	130.4	146.7	163.0	179.3	195.6
x_n, (m)	20.9	41.7	62.6	83.4	104.3	125.1	146.0	166.8	187.7	208.5	229.4	250.2

$x\sqrt{1+m^2}$ を半徑とする圓弧を標準として數種に區別する程度で充分であり、計算は極めて簡單となり、施工の際に目地に適當なる凹凸を付け、上下流表面には透水と類化とを防ぐ爲め、特に緻密な良配合の混凝土を用ふる。

附　　　録

（1） Westergaard 教授（米國）及本所松村技師の地震動水壓に關する理論解法

兩氏の研究は、いづれも地盤と同一の震動をなす堤體上流面が、池水に及ぼす加速度に因り生ずる動水壓の强さの分布を理論的に研究したものであるが、最初に此問題を合理的に研究した Westergaard 教授は、滿水面に於ける限界條件、卽 $x=0, y=0$ に於て動水壓の强さ $\sigma=0$ と置き、加速度に依て誘發さるゝ波動を無視したるものであるが、松村氏は波動を考慮し、表面限界條件として、

$$\left[\frac{\partial^2\phi}{dt^2}-g\frac{\partial\phi}{\partial y}\right]=0 \cdots\cdots\cdots\cdots (\text{i})$$

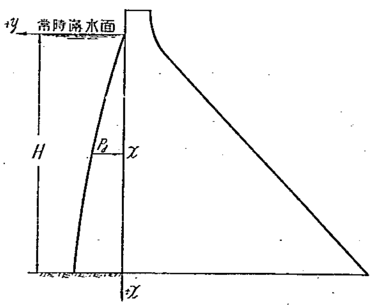
茲に $\phi=$ 速度ポテンシヤル

を取つて、一層精確なる解を得たものである。

x に於ける動水壓 p_d は

Westergaard 教授の解は

$$\left.\begin{aligned} p_d&=\frac{8K_1w_0H}{\pi^2}\sum_{1,3,5\cdots}^{n}\frac{1}{n^2C_n}\sin\frac{n\pi x}{2H} \\ \text{茲に}\ C_n&=\sqrt{1-\frac{16w_0H^2}{n^2gE_0T^2}} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (\text{ii})$$



第　20　圖

但 上式の n は單なる奇數, E_0 は池水の體積彈性係數, T は水平運動の週期 sec. である。

（2） 松村氏の解は、（ii）式の解の水面部に於ける不合理を修正したもので、h_0 を波動に因る水面の高まり、動水壓の强さを p_d とすれば、x が小なる範圍に於て

$$h_0=-2\delta\sum_{r=1}^{\infty}\frac{1}{n_r\sqrt{1-\frac{w_0q^2H^2}{gn_r^2E_0}}}\times\frac{1}{1-\frac{g}{q^2H}+\left(\frac{g}{q^2H}n_r\right)}$$
$$\times e^{-\frac{n_r}{H}\sqrt{1-\frac{w_0q^2H}{gn_r^2E_0}}x}\cdot\cos qt \cdots\cdots\cdots\cdots (37)$$

$$p_a=\frac{w_0}{g}q^2\sum_{r=1}^{\infty}\left(\frac{gn_r}{q^2H}\cos\frac{n_r}{H}x-\sin\frac{n_r}{H}x\right)\frac{2\delta}{n_r^2}\times\frac{H}{1-\frac{g}{q^2H}+\left(\frac{g}{q^2H}n_r\right)^2}$$

$$\times\frac{\cos ql}{\sqrt{1-\frac{w_0q^2H^2}{gn_r^2E_0}}}\qquad\cdots\cdots(38)$$

茲に $q=\frac{2\pi}{T}$，δ＝震動の半振幅，n_r は $\frac{g}{q^2H}n_r\sin n_r+\cos n_r=0$ の根である。而して波動の影響は H が小なるほど大となる。

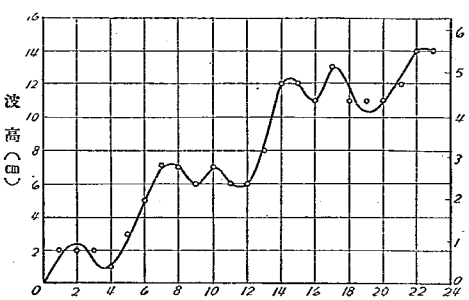
（3） S. Moris, "Earthquake Forces on Dams" Bulletin of Seismological Society of America, September, 1931

（4） 地震に因る波浪が地震の繼續に依て漸次生長する危險あるを以て、波浪餘裕として

$$\Delta H=nK_1^2H$$　　茲に　n…振動回數

を取つたが、回數 n に比例するや否やを確かむる爲めに、長 545cm, 幅及深さ各 182cm の鋼鈑製タンクに、週期 0.86 sec 及 1.68 sec の單弦運動を與へて、波浪の生長を實驗した。何れの場合に於ても第 22 圖に示す如き定常波（Stationary waves）が生じ、そのタンク内の波數はタンクに與へた外力の週期に最も近き振動週期を有する振動性の波と同一の波數が現はれた。卽ち外力の週期 1.68 秒に對し波數 1.5, 0.86 秒に對し 4.5 にして、タンク内の水の固有振動週期を理論的に計算すれば、水深 88cm 及 138cm の兩場合に於て、波數 1.5 の時の週期は夫々 1.59 秒及 1.53 秒にして、波數 4.5 の場合に於ては、水深には殆んど無關係に 0.87 秒の週期を得た。

而て外力の振動回數（n）と波の高さとの間は複雜にして、必ずしも回數に比例せず、ある機會に於ては振動の途中より波高の低下する場合もあるが、一般には回數と共に波高增大し、其一例を示せば第 22 圖の如し。



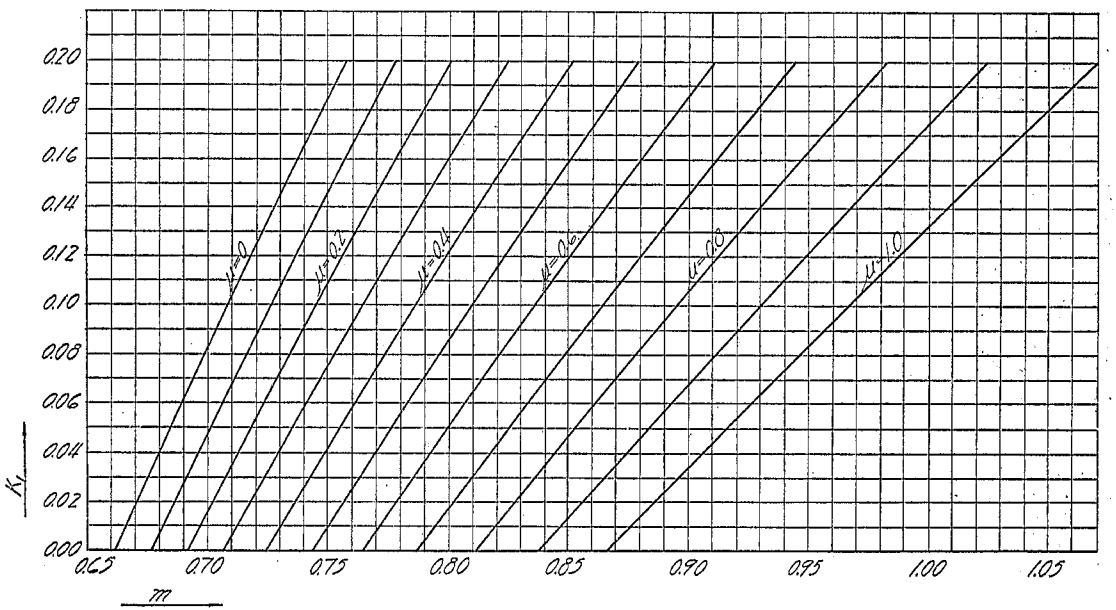
第　21　圖

而て堰堤の安定を確保する爲めには最も危險なる場合を考ふべきが故に、地震波高は振動回數に比例して增大するものと考ふる方適當と信ずる。然し大地震主要動に於て同一の週期を有する振動は數

囘に過ぎず、且、貯水池の水深が大なる程、地震と波浪との週期の差大となり、共鳴する惧れはないが、堤上流面が波頂に位する時に地震加速度に依て動水壓が作用する機會はあり得るを以て第一節に記した如く、水面は堤頂に達するものとし、動水壓を常時滿水面以下に作用するものとすれば、大體中庸を得たるものと信ずる。（完）

m の 圖 表

資 料　　$\gamma=2.4$,　$\gamma_1=1.8$,　$\mu_1=0.4$,　$C_0=1$,　$K_2=\frac{K_1}{2}$



田中村調節池溢流堤に關する水理試驗

本　間　　仁

内　容　梗　概

田中村調節池計畫に附隨して施工される横溢流堤の機能を實驗的に確めんとして行はれた試驗の報告である。

目　　次

〔1〕概　　論……（1）
〔2〕水理的相似律その他の水理關係……（2）
〔3〕試驗設備……（4）
〔4〕水面の縱斷曲線……（6）
〔5〕横溢流堤に關する試驗及びその結果……（8）

〔1〕概　　論

鬼怒川改修工事の進捗に伴ひその高水量を調節すべき田中村調節池も漸くその施工を見るに至つたが、之に附隨する横溢流堤は從來その例を見出し難いものである爲に之の機能及び之が洪水の狀態に及ぼす影響に關しては全然危惧の念なしとはしなかつた。從つて當試驗所に於ても之が水理關係に就ては既に若干の試驗を行ふ所があつた。卽ち横溢流堤の流量に關しては既に昭和6年中に各種の試驗が行はれてその結果は報告第 25 號に發表され、又溢流堤下の洗堀防止構造物としての阻柱に關する試驗の結果は報告第 24 號に發表されてゐる。然し之等は何れも河川構造物としての最も一般的な性質を見出さんとして行はれたものであつて、現在施工せんとする特殊の地形に築造してもなほよくその機能を發揮するものなるや否やに就て更に一應の檢討を爲す事が希望されたので、昭和8年 10 月より 11 月に亘り當所岩澗分室に於て横溢流堤前後の河川の模型に依つて試驗が行はれた。本報告はその試驗の結果であるが前以て之に關する二三の注意事項を擧げれば、

1) 〔2〕節に述べる樣にこの問題の水理的相似律は簡單でない。模型の大さに於て相似律を保てば流量 Q_1 と溢流量 Q_2（第 2 頁參照）の間に相似を保ち得ない。從つて此處には流量の間の相似を保つ樣にして溢流堤の高さに就ては相似を破ることゝした。

2) 試驗設備の關係上流れは全然定流と見做し得るものであるから、溢流堤の存在の爲に洪水波の波頂に如何なる變形を生ずるかに就ては試驗するに到らなかつた。從つて試驗の結果より考へられる溢流堤の副作用は定流としての作用であるが洪水波の波頂附近に於ては大過なきものであると思ふ。

試驗の方法及び結果は以下に述べる通りであるが大體に於て溢流堤の効果は豫期に反しないものである事を確める事が出來た。

〔2〕 水理的相似律その他の水理關係

横溢流堤の水理的相似律は模型を設計する場合の考へ方の相異によつて大に趣を異にするものである。今實際の尺度と模型の尺度との比を水平にて m, 鉛直にて n とする。その時の實物と模型の各々に於ける諸量の關係は前述の様な方針で設計された模型に於ては次の様になる。

	水深	堤長	溢流水深	河床勾配	河幅	平均流速
實物	H	L	H_1	i_0	B	v
模型	nH	mL	nH_1	$\frac{n}{m}i_0$	mB	$\frac{C'}{C}\frac{n}{\sqrt{m}}v$

茲に C 及び C' は實物及び模型の水流に對する平均流速係數である。斯かる縮尺の模型に依つて試驗を行ふ場合に本川の流量 Q_0 及び溢流堤上の溢流量 Q_2 は如何なる相似律に從ふかを見るに、上表の如き平均流速公式を用ふるものとすれば、矩形斷面と假定することにより Q_0 は次の形になる。

$$Q_0 = CBH^{\frac{3}{2}} I^{\frac{1}{2}}$$

溢流量 Q_2 は廣頂堰の溢流量公式に從ふものとすれば

$$Q_2 = LC_1\sqrt{2g}\, H_1^{\frac{3}{2}}$$

この各々に對應する模型試驗の場合の量は

$$\frac{C'}{C}\sqrt{m}\cdot n\ Q_0 \text{ 及び } \frac{C_1'}{C_1}mn^{\frac{3}{2}}\ Q_2$$

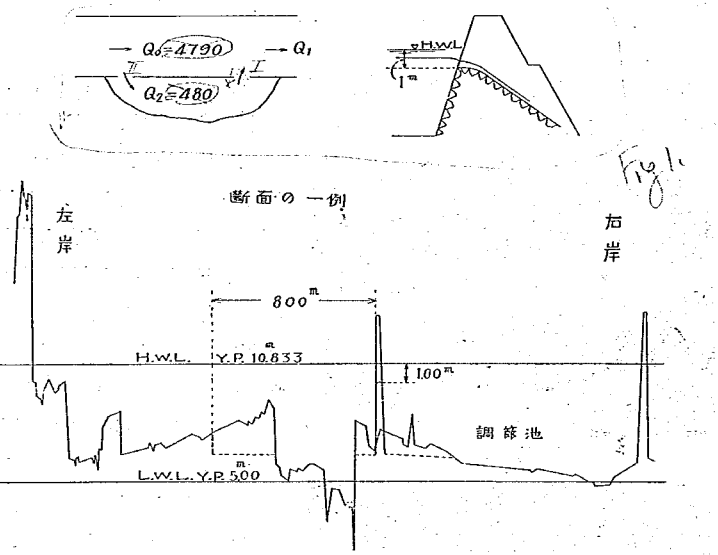
であつてこの二つの量は各々異る相似律に從ふものであることが知られる。但し C_1 及び C_1' は實物及び模型に對する廣頂堤の溢流係數である。實際の設計に於ては Q_2/Q_0 を 0.1 と定めてゐるが模型に於ける溢流量と本川流量の比は

$$\frac{C_1'}{C_1}\frac{C}{C'}\sqrt{mn}\,\frac{Q_2}{Q_0}$$

であり

$$C_1' \fallingdotseq C_1,\ C' \fallingdotseq C$$

としても尙この比は Q_2/Q_0 の $\sqrt{mn}$ 倍になる。本試驗に於ては計畫高水時に於ける流れの狀況を見る事が主なる目的であるから、流線形の狀態，溢流堤附近の水面の低下等の現象を實際に近からしめる目的の爲に特に Q_2/Q_0 の比を模型に於ても實際と同じく 0.1 に近からしめる樣にした。その爲には溢流堤の溢流水深を nH_1 とせずに Q_2/Q_0 の比が 0.1 となる樣に撰んだのである。



第　1　圖

實際の計畫に於ける諸量は計畫流量　4790 m³/sec，計畫勾配　1/10000　及び計畫水路幅 800m である。溢流堤の大さに就ては幅を 400m，堤頂の高さを計畫高水位以下 1m と假定した。

模型の大さは上述の如く溢流堤の高さ以外は水平 1/1000，鉛直 1/50 の比に從つて縮少し、平均水深 15 cm，有効水路幅 80cm，平均勾配 1/500 とした。その構造の詳細は第〔3〕節に示す。溢流堤模型の大さは計算中の餘裕を考慮して長さを少し小さくして 37cm に造り、堤長の高さは次の如くして定めた。

$$\frac{Q_2}{Q_0}=\frac{LC_1\sqrt{2g}\,H_1^{\frac{3}{2}}}{CBH\sqrt{HI}}=0.1$$

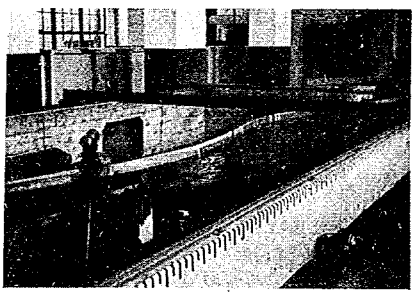
但し $L=40$cm, $C_1\sqrt{2g}=2.3$（後に記す様にその形が廣頂堰でない爲に C_1 をやゝ大きく取つた), $C=60$（m 單位), $B=80$cm, $H=15$cm, $I=1/500$ とする。

$$H_1=\left(\frac{0.1\times60\times0.8\times0.15}{0.4\times2.3\times\sqrt{500}}\right)^{\frac{2}{3}}=0.059$$

卽ち堰の高さは約 91mm である。

〔3〕試驗設備

本試驗は當所岩澗分室内の工法水路内に第2圖に示す如き木製の模型を作り、この中に定流としての水流を送つて行つたものである。河道は圖に示す様に流心に沿つて幅 80cm を殘して他の部分は高さ 5cm に砂利を敷き、之によつて流水の方向を大體に於て實際に近からしめ、有効水路幅を約 80cm に保ち同時に水路幅の變化の影響を相當に維持せんとした。

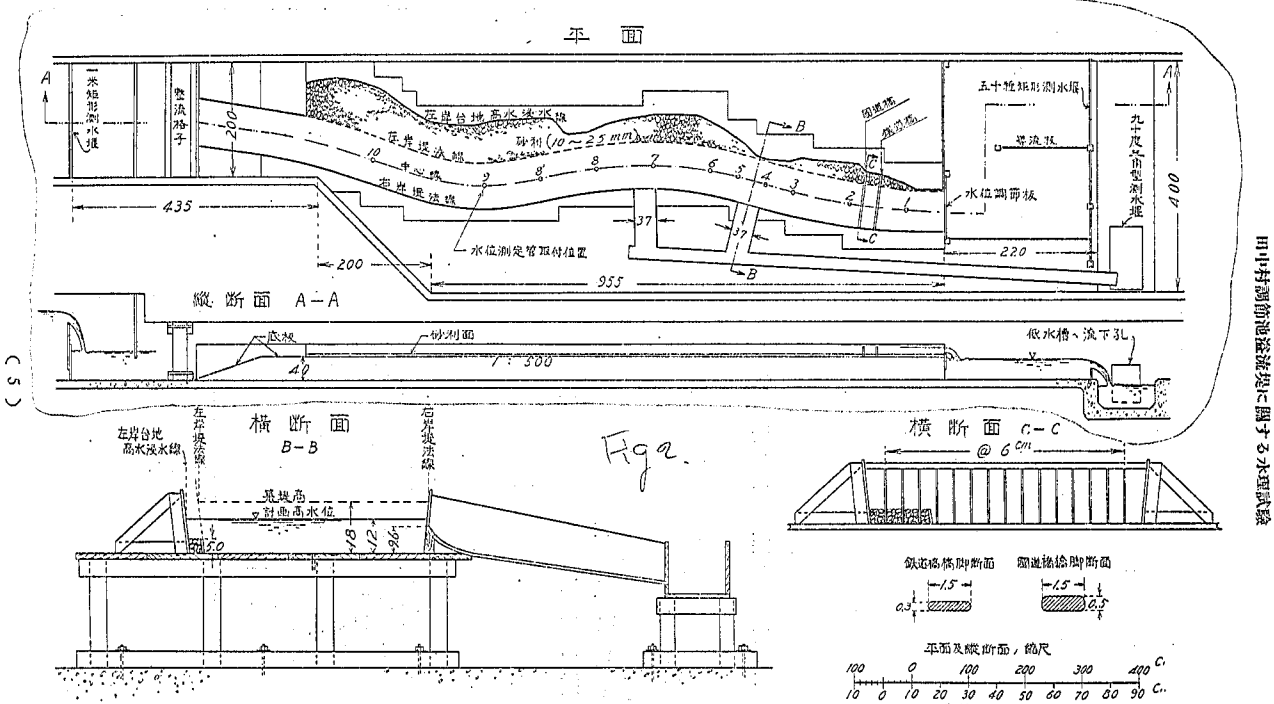


寫眞第1

寫眞第2

測定には Q_0 及び Q_1 に對しては矩形測定堰を、Q_2 には三角測定堰を使用した。水面縱斷形の測定には第2圖に見る様に測點2自至9に至る8點の水底をゴム管にて差壓計に連結し、ある靜水壓との比較によつて測定を行つたが、この方法に對しては豫め水面測定器を以て讀んだ値との比較を行ひその誤差の充分小さいものである事を確めた。溢流堤附近の水面形の精測は眞鍮水面測定器を用ひた。

水面勾配を與へられたる値にする爲には差壓計にて觀測しつゝ下流端の堰板の上下によつて調節した。

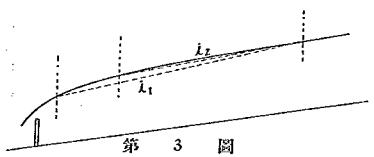


第 2 圖　　横圖縮尺、縦五十分の一、横千分の一

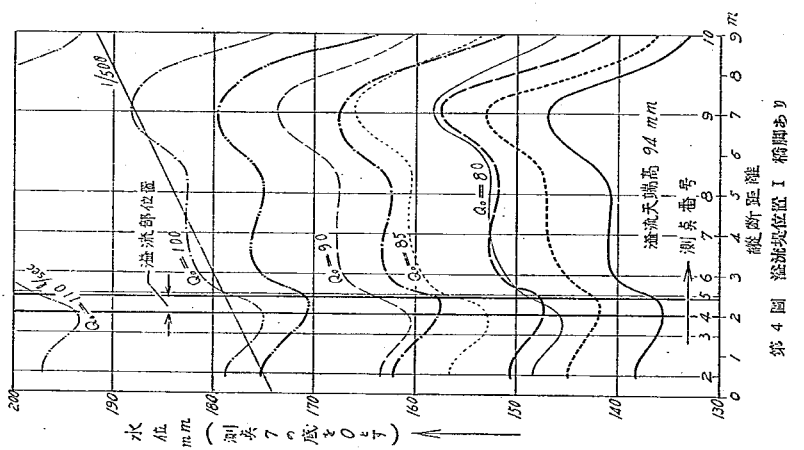
〔4〕水面の縦斷曲線

模型に於て有効水路幅を 80cm とせるにも拘らず、尙水路幅の變化及び河道屈曲は水面の縦斷曲線に大なる影響を及ほし、試驗の結果は殊に前者の影響の大なる事を示してゐる。從つて試驗の前に溢流堤のなき場合の水位曲線の性質を明かにして置く必要がある。この水位曲線は各觀測毎に豫め測定され、その結果は第4圖自至第7圖の中に細線を以て夫々に記入されてゐる。圖に記入されてゐる水位は總て測點7の床を基準としてゐる。之等は流量の大小に從つて平均水深には差があるがその性質は大體一樣のものであることは各圖を見れば明かである。各測點の位置は有効水路の中心線に沿ひ下流から 50cm 又は 1m の間隔を以て定められたもので、その數字番號は下流より數へる。

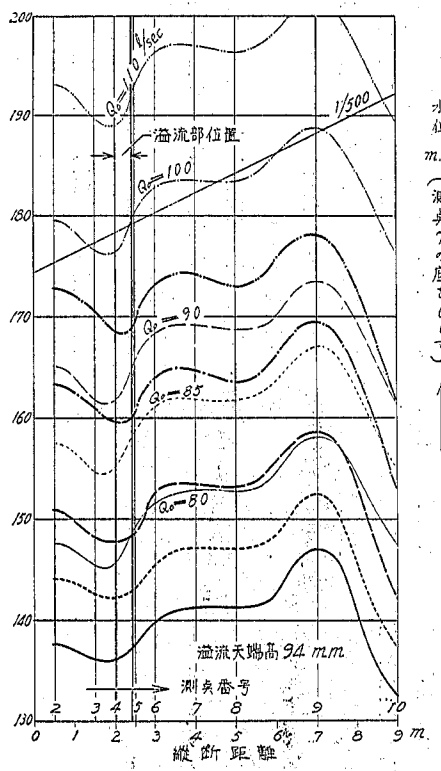
この水面縦斷曲線は大體地形的條件のみから生じたものと見られるものであるが、只模型の上流端及び下流端に近き部分は模型構造の爲に生じた特殊の流況を呈してゐる。卽ち上流端に於ては測點 10 附近の水面は著しく低下して居るが、之は第2圖に示す如く模型上游部より模型部に移る處にて、可成り急激に水深が減少する事の影響が現れてゐるものであつて、この測點の讀みは測定値から除いて考へる必要がある。下流端に於ける水位調節板の爲に低下背水を生じてゐる筈であるが之はあまり著しくない。卽ちこの水



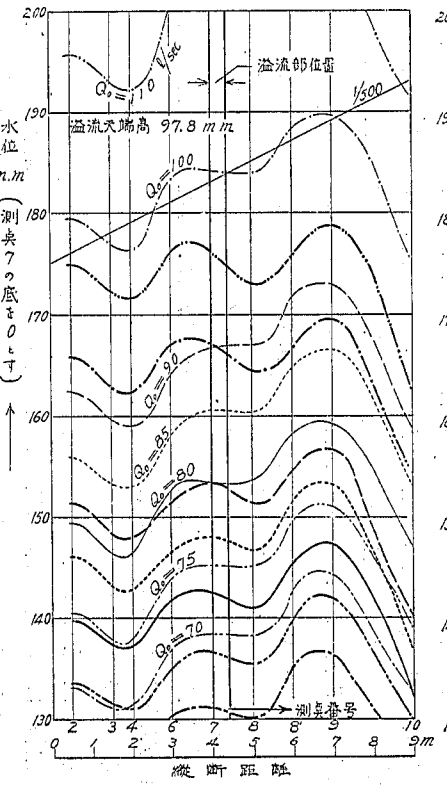
第　3　圖



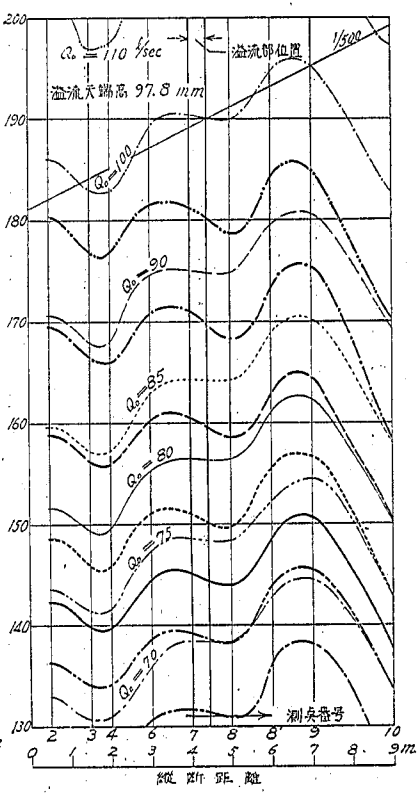
第 4 圖　溢流堤位置 I 橋脚あり



第 5 圖　溢流堤位置　橋脚なし



第 6 圖　溢流堤位置 II　橋脚あり



第 7 圖　溢流堤位置橋脚なし

位調節板は勾配を調節する爲に用ひられたので第3圖の i_1 の如く調節板の近くの測點を含めれば水面形に多少の誤差を生ずるが、かゝる點を除いて模型の中央部のみの測點を採用してその平均勾配が求める値となる様に調節板を動かせば、この低下背水による誤差は極めて僅小である。試驗に際しては測點3及び8の間の平均勾配が1/500となる様に調節したが比較的穩當な値を得てゐると思ふ。

上述の様に測點2自至9の間の水面測定値は大體に於て地形の變化、卽ち水路幅の變化及び河道の屈曲等によつて生じた水面形、又は之に橋梁の存在による橋脚背水の影響の加はつたものを表はしてゐる。その中測點3, 4及び8に於ける水面の低下は河道の狹搾によるもので、測點9に於ける水位の高い事は河幅の急增と河道の屈曲とによるものと見て差支へないと思ふ。橋脚背水の影響は橋梁のある模型及びなき模型に就ての試驗の結果を比較すればその大要を知り得る筈であるが、二種の試驗に流量の完全なる一致が得難き爲に數量的の比較は確實性乏しい。大體の模樣は〔5〕節の最後に述べる。

〔5〕 横溢流堤に關する試驗及びその結果

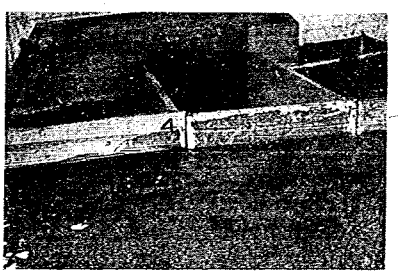
試驗を行へる事項は

1) 計畫水位及び計畫勾配に該當する水位及び水面勾配を以て模型中に水を放流せる場合に溢流堤が豫期せる水量を流し得るや。

2) 溢流堤の適當なる位置。

3) 溢流堤の存在が水面形に及ぼす影響。

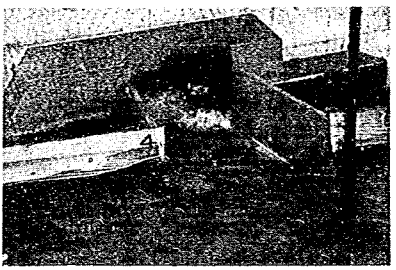
前揭の第4圖自至第7圖中に太線を以て示した曲線は夫々に對應する同種類の細線を以て示した形態の水面形に於て溢流堤を開放した後の水面形を表はすものであるから、之を見れば溢流堤の存在による水面低下の程度を見る事が出來る。溢流堤の位置は二種あるが便宜上測點4と5の間にある場合をI（寫眞第三及び第四參照）測點7と8の間にある場合をIIとする。



寫眞第3

1) 及び2) の目的に對する試驗としては水面勾配を計畫勾配に保ちつゝ水位を計畫高水位附近にて變化せしめ、I又はIIの溢流堤の一つの開放して流量 Q_1 及び溢流量 Q_2 を測定した。尙模型の下流端にある

橋脚による背水の影響を見る爲に夫々に之のある場合及び取り除ける場合を取り合計四組の觀測を行つた。第4圖自至第7圖に示した水面形はその都度に差壓計によつて觀測せるものである。この測定の結果から溢流堤の効果が如何なる程度のものであるかを見る爲に次の四つの表を作る。水深は測點7に於けるものを以て代表せしめたが之は平均水深よりも數粍程度だけ大であると考へられる。流量の單位は l/sec、水深の單位は mm とした。



寫眞第4

第1表　溢流堤位置 I　橋脚あり

Q_0	Q_1	Q_2	Q_2/Q_0	測點7に於ける水深
80	73.7	5.6	0.070	152.6
85	77.5	6.77	0.0796	160.4
90	81.3	8.0	0.0888	167.7
100	88.3	10.3	0.103	182.6
110	96.3	13.1	0.119	201.5

第2表　溢流堤位置 I　橋脚なし

Q_0	Q_1	Q_2	Q_2/Q_1	測點7に於ける水深
80	74.0	5.85	0.0791	152.6
85	77.7	7.1	0.0835	161.8
90	81.8	8.2	0.0911	169.0
100	88.7	10.5	0.105	183.5
110	97.3	12.8	0.116	197.0

第3表　溢流堤位置 II　橋脚あり

Q_0	Q_1	Q_2	Q_2/Q_0	測點7に於ける水深
70	66.5	3.7	0.0529	138.2
75	69.7	4.53	0.0604	145.3
80	73.7	5.6	0.0700	153.6
85	78.0	6.9	0.0306	160.6
90	82.4	7.8	0.0861	166.8
100	89.7	10.6	0.106	184.3
110	97.7	12.9	0.117	200.9

第4表　溢流堤位置 II　橋脚なし

Q_0	Q_1	Q_2	Q_2/Q_0	測點7に於ける水深
70	67.2	3.8	0.0551	138.4
75	70.2	5.3	0.0707	148.5
80	73.2	6.4	0.0800	156.3
85	77.5	7.5	0.0886	164.2
90	81.0	8.9	0.0989	175.2
100	89.5	11.1	0.111	190.1
110	96.5	13.6	0.124	205.2

前述の様に模型に於ては試驗中に起る不測の危險側の誤差を覆ふ意味を含めて溢流堤が計算値よりもやゝ小さく卽ち有効でなく作られたが、この觀測の結果より見ればこの種の誤差には著しいもののない事が知られる。卽ち計畫高水位に該當する 150 自至 160mm の水深に於ては Q_2/Q_1 の比は常に1に達せず、0.7 自至 0.85 の程度である。之は上記の

理由の他になほ溢流係數の小さい事が考へられる。溢流量を

$$Q_2=\frac{2}{3}\mu\sqrt{2g}\,LH_1^{\frac{3}{2}}$$

にて表はした時に μ は 0.55 附近の値を取る事は既に報告第 25 號中に述べた。[1] 然し乍ら今回の模型の様に小形のものにあつては流線形の歪みは特に著しく從つて流量にも相當の影響がある様に思はれた。この流量係數を 0.5 前後のものと推定すれば溢流堤の大さ卽ち長さ 400m、堤頂の高さ計畫高水位以下 1m は大體に於て當を得たものであると思ふ。

次に溢流堤の位置に就て考ふるに、I の位置は河道の狹搾部に當つて水面の低下する處であり II の位置は之に反して河道の擴がる部分に當つて水面は平均よりも相當高くなる場所である。この中にて I を撰ぶことの利益は

1) 狹搾部にある爲に河幅の急激な減少を緩和し水面の低下を少からしめる。

2) 水位の低い部分にある爲に溢流を初める事が遲く、中小洪水が溢流する事がない。

II を撰ぶことの利益としては

1) 附近の水位が高い爲に I に設けた場合よりも溢流量がやゝ多い。又河道屈曲部の外側に位する事も流量に好影響がある。

2) 早くから溢流を初める事も考へ方によれば利益である。

3) 水面の高い部分を低下せしめて水位を平均する。

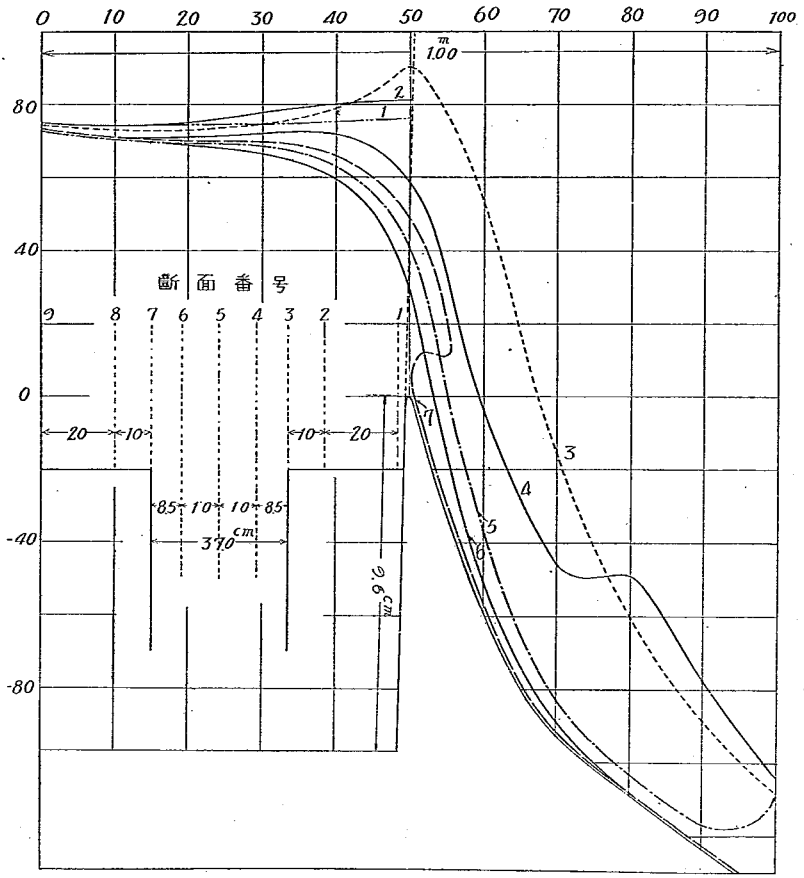
この中で位置に伴ふ溢流量の差に關しては前揭の表から明かなる如く著しい差は認められず又之は堰の高さによつて調卽することが比較的容易と思はれるが河道屈曲による利益も含めて II の方が僅かに勝れてゐる。從つて位置の撰擇は水理的條件以外の地質その他の關係から定める方が適當である。

橋脚背水の影響は D'Aubuisson の公式に依つて計算すれば二組の橋脚に對して夫々に 1cm 前後の堰上げを生ずることになるが實際には第 4 圖以下の各圖から見てもあまり著しい背水は現はれてゐない。之には水面勾配の調節を行つた結果も含まれてはゐるが、實際には模型に於て橋脚をある縮尺にて縮小すれば堰上背水の量は同じ比にて縮小されず之より大きく現はれるのであるから、橋脚模型のある場合となき場合の中間に實際に近い狀態が存在するものと思ふ。然し橋脚背水公式には信賴すべきものが乏しいから正確なる狀態を作り出す事は困難である。

最後に流れの狀態に及ぼす溢流堤の作用を見る目的で行はれた堰附近の水面形精測の結

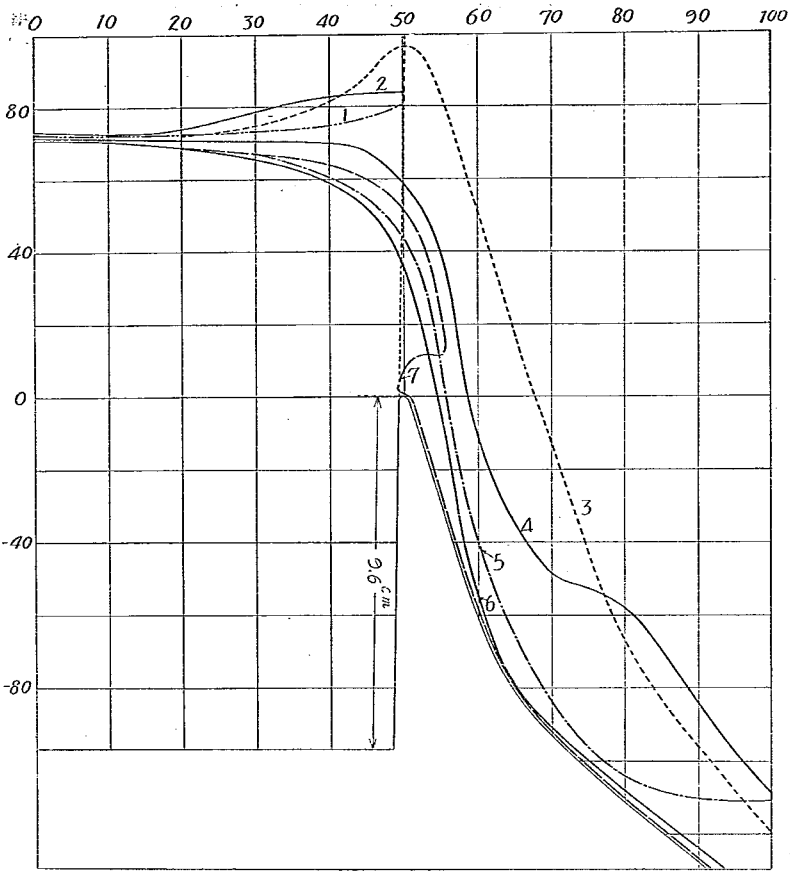
1) 土木試驗所報告第二十五號、橫溢流堤流量試驗

果を第8圖及び第9圖に示す。本川の流速が比較的大なる爲に流線は特異の形を現はし堰の溢流が相當に妨げられてゐる事が見られる。本川の水面低下は第4圖自至第7圖に見る



第　8　圖

如く溢流堤位置の上下流相當の範圍に亘つて現れ、勿論水位の高い程低下する量も大きく、この水面低下に伴つて上流側の水面勾配を增し流量が一時的にでも計畫以上に增大する事ありやと言ふ問題に關しては試驗的に確かめるには至らなかつたが、たとへ小量の增加は



第 9 圖

あつても水位としては却つて若干の低下を來してゐるのであるから意とする必要はないと思ふ。

附 記

本試驗の實施に當つてはこの問題に關して既に行はれた諸試驗に引き續いて内務技手八木龜助氏を煩はした。

瀝青鋪裝切取試驗材の性質

内務技師　西　川　榮　三
内務技手　松　本　　榮

目　　次

第一章　シート・アスファルト鋪裝切取試驗材の性質……（ 1 ）
I　シート・アスファルト鋪裝切取試驗材の試驗成績一覽表……（ 1 ）
II　試驗成績の說明……（ 10 ）
III　表層の空隙率及其の他の性質……（ 13 ）
IV　中間層の空隙率及其の他の性質……（ 19 ）
V　要　　約……（ 20 ）
第二章　アスファルト・コンクリート鋪裝切取試驗材の性質……（ 21 ）
I　アスファルト・コンクリート鋪裝切取試驗材の試驗成績一覽表……（ 22 ）
II　試驗成績の說明……（ 22 ）
III　空隙率及其の他の性質……（ 31 ）
IV　要　　約……（ 36 ）

第一章　シート・アスファルト鋪裝切取試驗材の性質

瀝青質混合物は諸種の形式に於て、鋪裝の材料として用ゐられて居るが、本所に於て試驗せる種々の瀝青質混合物中、シート・アスファルト鋪裝切取試驗材 27 種について、其の試驗成績を一括表示し、簡單なる說明を添へたものである。

I　シート・アスファルト鋪裝切取試驗材の試驗成績一覽表

東京府、埼玉縣、熊本市等よりの依賴により試驗したる既設シート・アスファルト鋪裝の成分其の他の性質は第1表(1)～(8)の如くである。この中には試料少量に過ぎ充分なる試驗を行ひ難かしりものも多いので、本成績より完全なる結論を得ることは望み難いが、シート・アスファルト鋪裝の性質の一斑を例示するものとしてこゝに掲げたものである。

第1表 シート•アスファルト切取試驗材成績表 (1)

試驗番號	1374	1374	1375	1375	1376	1376
試料名	シート•アスファルト表層	同左 中間層	シート•アスファルト表層	同左 中間層	シート•アスファルト表層	同左 中間層
施工場所	埼玉縣戸田橋附近	埼玉縣戸田橋附近	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	7.12.21	7.12.21	7.12.21	7.12.21	7.12.21	7.12.21
施工年月日	7.12.16	7.12.16	7.12.18	7.12.18	7.12.19	7.12.19
試驗年月日	S. 1.16	S. 1.16	S. 1.16	S. 1.16	S. 1.16	S 1.16
1. 厚 cm	3.28	3.72	3.50	3.78	2.37	3.34
2. 比重(見掛) 25°/25°C	2.00	.....	2.02	.....	2.00	.....
3. 吸水率 1週間 %	1.85	.....	1.38	.....	1.60	.....
4. 瀝青 CCl_4 %	11.6	3.7	11.6	3.7	12.4	4.2
5. 瀝青 CS_2 %	.....	.....	.....	.....	.....	.....
6. 非瀝青質物質 %	88.4	96.3	88.4	96.3	87.6	95.8
7. 同上篩分 %						
25～20mm (1～¾″)	.....	26.8	.....	24.9	.....	14.9
20～15mm (¾～½″)	.....	21.0	.....	27.1	.....	27.5
15～10mm (½～¼″)	.....	18.0	.....	18.2	.....	18.1
10～ 5mm	.....	11.2	.....	7.2	.....	13.6
5～2.4mm(¼″～2.0mm)	0.7	2.7	0.4	2.9	0.3	4.5
2.4 ～0.4mm	23.9	7.5	23.9	7.3	26.2	8.2
2.4 ～0.3 mm	.....	.....	.....	.....	.....	.....
0.4 ～0.18mm	23.6	5.0	25.4	5.0	20.4	4.2
0.3 ～0.15 mm	.....	.....	.....	.....	.....	.....
0.18～0.075mm	29.8	3.2	28.6	2.8	28.2	2.6
0.15～0.075mm	.....	.....	.....	.....	.....	.....
0.075mm 通過	10.4	0.9	10.1	0.9	12.5	2.2
計	88.4	96.3	88.4	96.3	87.6	95.8
8. 靱性 ペーヂ 25°C	5.8	.....	5.5	.....	* ...	.....
9. 硬度 ドリー	16.2	.....	16.1	.....	16.7	.....
10. 磨耗量 ドリー mm	11.9	.....	11.4	.....	10.3	.....
11. 軟化點 °C	33	.....	38	.....	36	.....
12. 非瀝青質物質比重	2.69	.....	2.69	.....	2.69	.....
13. 空隙率 %	11.7	.....	10.9	.....	10.7	.....
14. 眞比重	2.27	.....	2.27	.....	2.25	.....
15. 骨材空隙率(輾壓後)%	34.2	.....	33.6	.....	34.9	.....
16. 碎石	.....	.....	.....	.....	.....	.....
備考					* 厚少くして試驗するを得ず。	

第 1 表　シート・アスファルト切取試驗材成績表 (2)

試驗番號	958	958	1105	1104	1103	1102
試料名	シート・アスファルト表層	同左 中間層	シート・アスファルト表層	同左	同左	同左
施工場所	東京府	同左	熊本市	同左	同左	同左
試料受入年月日	6. 7.25	6. 7.25	6.10.30	同左	同左	同左
施工年月日	……	……	……	……	……	……
試驗年月日	6. 8.25	6. 8.25	6.12.26	6.12.26	6.12.26	6.12.26
1. 厚 cm	……	……	1.5～2.4	2.4～2.9	2.5～3.9	2.4～3.0
2. 比重(見掛) 25°/25°C	1.89	……	2.18	2.20	2.08	2.08
3. 吸水率 1週間 %	……	……	0.43	0.66	0.89	1.17
4. 瀝青 CCl_4 %	……	……	……	……	……	……
5. 瀝青 CS_2 %	11.95	6.27	12.89	11.45	13.03	12.34
6. 非瀝青質物質 %	88.05	93.73	87.11	88.55	86.97	87.66
7. 同上篩分 %		(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
25～20mm (1～¾″)	……	12.64	……	……	……	……
20～15mm (¾～½″)	……	10.17	……	……	……	……
15～10mm (½～¼″)	……	26.96	2.06	……	……	0.64
10～ 5mm	……	……	……	……	……	……
5～ 2.4mm(¼″～2.0mm)	1.12	25.92	1.19	1.46	0.60	1.12
2.4 ～0.4mm	11.35	5.23	10.02	25.60	17.45	21.60
2.4 ～0.3 mm	……	……	……	……	……	……
0.4 ～0.18 mm	32.25	5.71	39.44	35.72	43.86	37.07
0.3 ～0.15 mm	……	……	……	……	……	……
0.18～0.075mm	38.59	5.05	21.14	13.76	15.43	15.38
0.15～0.075mm	……	……	……	……	……	……
0.075mm 通過	4.74	2.05	13.26	12.01	9.63	11.85
計	88.05	93.73	87.11	88.55	86.97	87.66
8. 親性ページ 25°C	……	……	……	……	……	……
9. 硬度 ドリー	……	……	……	……	……	……
10. 磨耗量 ドリー mm	……	……	……	……	……	……
11. 軟化點 °C	……	……	42	40	41	45
12. 非瀝青質物質比重	2.69	……	2.78	2.79	2.79	2.77
13. 空隙率 %	16.2	……	4.8	5.9	9.1	9.8
14. 眞比重	2.26	……	2.29	2.34	2.29	2.31
15. 骨材空隙率(輾壓後)%	38.0	……	31.8	30.0	35.1	34.6
16. 碎石	……	……	……	……	……	……
備考						

第1表 シート・アスファルト切取試験材成績表 (3)

試験番號	1101	1100	1099	1098	1097
試料名	シート・アスファルト表層	同左	同左	同左	同左
施工場所	熊本市	同左	同左	同左	同左
試料受入年月日	6.10.30	同左	同左	同左	同左
施工年月日	……	……	……	……	……
試験年月日	6.12.26	同左	同左	同左	同左
1. 厚 cm	1.7～3.0	2.4～2.8	2.4～3.1	2.3～2.5	1.7～2.1
2. 比重(見掛) 25°/25°C	2.19	2.11	2.22	2.24	2.21
3. 吸水率 1週間 %	0.61	1.03	0.50	0.23	0.38
4. 瀝青 CCl_4 %	……	……	……	……	……
5. 瀝青 CS_2 %	12.47	12.07	12.56	12.28	12.76
6. 非瀝青質物質 %	87.53	87.93	87.44	87.72	87.24
7. 同上篩分 %	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
25～20mm (1～¾″)	……	……	……	……	……
20～15mm (¾～½″)	……	……	……	……	……
15～10mm (½～¼″)	……	……	0.51	1.53	1.38
10～ 5mm	……	……	……	……	……
5～ 2.4mm(¼″～2.0mm)	1.27	1.12	1.02	2.48	2.76
2.4 ～0.4mm	23.39	24.70	20.69	29.00	17.59
2.4 ～0.3 mm	……	……	……	……	……
0.4 ～0.18mm	38.99	37.97	39.06	31.70	31.97
0.3 ～0.15 mm	……	……	……	……	……
0.18～0.075mm	13.84	12.88	13.99	9.57	20.13
0.15～0.075mm	……	……	……	……	……
0.075mm 通過	10.04	11.26	12.17	13.44	13.41
計	87.53	87.93	87.44	87.72	87.24
8 靱性 ペーヂ 25°C	……	……	……	……	……
9. 硬度 ドリー	……	……	……	……	……
10. 磨耗量 ドリー mm	……	……	……	……	……
11. 軟化點 °C	40	43	44	40	42
12. 非瀝青質物質比重	2.80	2.79	2.77	2.77	2.80
13. 空隙率 %	5.2	8.9	3.9	3.0	0.0
14. 眞比重	2.31	2.32	2.29	2.31	2.19
15. 骨材空隙率(壓縮後)%	31.5	33.5	30.8	29.4	27.2
16 碎石	……	……	……	……	……
備考					

第 1 表　シート・アスファルト切取試驗材成績表 (4)

試驗番號	S72	S72	S70	S70	725	725
試料名	シート・アスファルト表層	同左 中間層	シート・アスファルト表層	同左 中間層	シート・アスファルト表層	同左 中間層
施工場所	東京府四號國道	同左	東京府六號國道	同左	東京府四號國道、千住大橋附近	同左
試料受入年月日	6. 2.19	6. 2.19	6. 2. 9	6. 2. 9	5. 3.10	同左
施工年月日	不明	不明	不明	不明	大正14年	同左
試驗年月日	6. 2.26	同左	6. 2.20	同左	5. 4.20	5. 4.20
1. 厚 cm	3.22	3.42	4.11	3.51	1.59～2.12	3.43～3.71
2. 比重(見掛) 25°/25°C	1.94	2.31	1.99	2.36	2.23	2.42
3. 吸水率 1週間 %	……	……	……	……	……	……
4. 瀝青 CCl_4 %	……	……	……	……	……	……
5. 瀝青 CS_2 %	11.20	4.63	10.37	4.21	12.81	8.02
6. 非瀝青質物質 %	88.80	95.37	89.63	95.79	87.19	91.98
7. 同上篩分 %	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
25～20mm (1～¾″)	……	……	……	10.75	……	……
20～15mm (¾～½″)	……	4.34	……	13.18	……	7.6
15～10mm (½～¼″)	……	37.11	……	23.31	……	29.4
10～ 5mm	……	……	……	……	……	……
5～ 2.4mm(¼″～2.0mm)	0.49	26.82	0.29	28.34	1.7	15.6
2.4 ～0.4mm	16.04	11.02	21.30	9.26	18.6	11.2
2.4～0.3 mm	……	……	……	……	……	……
0.4 ～0.18mm	39.17	9.87	38.82	7.11	22.8	11.5
0.3 ～0.15 mm	……	……	……	……	……	……
0.18～0.075mm	20.01	3.44	19.57	2.26	26.8	10.8
0.15～0.075	……	……	……	……	……	……
0.075mm 通過	13.09	2.77	9.65	1.58	17.3	5.9
計	88.80	95.37	89.63	95.79	87.2	92.0
8. 靱性 ペーヂ 25°C	……	……	……	……	……	……
9. 硬度 ドリー	……	……	……	……	……	……
10. 磨耗量 ドリー mm	……	……	……	……	……	……
11. 軟化點 °C	……	……	……	……	……	……
12. 非瀝青質物質比重	(2.65)	……	(2.65)	……	2.65	2.73
13. 空隙率 %	13.4	……	14.6	……	0.0	0.0
14. 眞比重	2.24	……	2.33	……	2.22	2.42
15. 骨材空隙率(鎭壓後)%	34.4	……	34.5	……	27.4	18.4
16. 碎石	……	……	……	……	……	硬砂岩、珪岩、安山岩
備考						

第1表 シート・アスファルト切取試験材成績表 (5)

試験番號	724	724	723	723	722	722
試料名	シート・アスファルト表層	同左 中間層	同左 表層	同左 中間層	同左 表層	同左 中間層
施工場所	東京府千住中組858番地	同左	同左 尾久驛前	同左	同左 市電御代塚電停前	同左
試料受入年月日	5. 3.10	同左	同左	同左	同左	同左
施工年月日	大正14年	同左	4. 9.x	同左	4. 9.x	同左
試験年月日	5. 4.20	5. 4.20	同左	同左	同左	同左
1. 厚 cm	1.76～2.21	3.41～4.05	1.90～2.25	4.03～4.17	2.91～3.32	2.67以上
2. 比重(見掛) 25°/25°C	2.19	2.36	2.26	2.36	2.19	2.38
3. 吸水率 1週間 %	……	……	……	……	……	……
4. 瀝青 CCl_4 %	……	……	……	……	……	……
5. 瀝青 CS_2 %	13.60	9.28	10.13	6.58	11.49	5.59
6. 非瀝青質物質 %	86.40	90.72	89.87	93.42	88.51	94.41
7. 同上篩分	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
25～20mm (1～¾″)	……	……	……	……	……	……
20～15mm (¾～½″)	……	19.4	……	……	……	3.4
15～10mm (½～¼″)	……	28.2	……	20.6	……	32.4
10～ 5mm	……	……	……	……	……	……
5～ 2.4mm(¼″～2.0mm)	0.6	7.8	0.5	19.3	0.4	25.0
2.4 ～0.4mm	16.1	9.2	12.0	14.7	20.1	11.9
2.4～0.3 mm	……	……	……	……	……	……
0.4 ～0.18 mm	25.7	11.5	44.1	25.6	34.0	10.0
0.3 ～0.15 mm	……	……	……	……	……	……
0.18～0.075 mm	26.3	9.2	12.1	7.0	19.2	5.7
0.15～0.075 mm	……	……	……	……	……	……
0.075 mm 通過	17.7	5.4	21.1	6.2	14.8	6.0
計	86.4	90.7	89.8	93.4	88.5	94.4
8. 靱性 ペーヂ 25°C	……	……	……	……	……	……
9. 硬度 ドリー	……	……	……	……	……	……
10. 磨耗量 ドリー mm	……	……	……	……	……	……
11. 軟化點 °C	……	……	……	……	……	……
12. 非瀝青質物質比重	2.64	2.72	2.65	2.59	2.63	2.68
13. 空隙率 %	0.0	0.0	2.2	0.0	2.2	3.0
14. 眞比重	2.18	2.36	2.31	2.36	2.24	2.46
15. 骨材空隙率(輾壓後)%	28.7	21.2	24.1	14.9	26.5	16.3
16. 碎石	……	硬砂岩、安山岩、珪岩	……	石灰岩	……	安山岩
備考						

第 1 表　シート・アスファルト切取試験材成績表 (6)

試験番號	721	721	720	720	719	719
試料名	シート・アスファルト表層	同左 中間層	同左 表層	同左 中間層	同左 表層	同左 中間層
施工場所	東京府西ヶ原1174番地	同左	同左 濁野川98番地	同左	同左 濁野川867番地	同左
試料受入年月日	5. 3.10	同左	同左	同左	同左	同左
施工年月日	5. 1.x	同左	4. 1.31	同左	4. 1.31	同左
試験年月日	5. 4.20	同左	同左	同左	同左	同左
1. 厚 cm	2.87～3.31	不明	2.80～2.91	不明	2.33～2.49	2.92～3.10
2. 比重(見掛) 25°/25°C	2.09	2.38	2.13	2.25	2.07	2.16
3. 吸水率 1週間 %	……	……	……	……	……	……
4. 瀝青 CCl_4 %	……	……	……	……	……	……
5. 瀝青 CS_2 %	11.14	4.38	9.91	5.42	11.86	7.10
6. 非瀝青質物質 %	88.86	95.62	90.09	94.58	88.14	92.90
7. 同上篩分	(1)	(1)		(1)		(1)
25～20mm (1～¾″)	……	……	……	……	……	……
20～15mm (¾～½″)	……	24.6	……	7.7	……	……
15～10mm (½～¼″)	……	17.4	……	13.8	……	25.1
10～ 5mm	……	……	……	……	……	……
5～ 2.4mm(¼″～2.0mm)	5.4	21.8	……	25.7	……	12.3
2.4 ～0.4mm	23.1	8.9	16.6	19.6	2.1	19.2
2.4 ～0.3 mm	……	……	……	……	……	……
0.4 ～0.18mm	26.9	9.4	46.8	21.8	49.0	23.8
0.3 ～0.15 mm	……	……	……	……	……	……
0.18～0.075mm	21.3	10.2	8.7	4.0	15.8	5.3
0.15～0.075mm	……	……	……	……	……	……
0.075mm 通過	12.2	3.3	18.0	2.0	21.2	7.2
計	88.9	95.6	90.1	94.6	88.1	92.9
8. 靱性 ペーヂ 25°C	……	……	……	……	……	……
9. 硬度 ドリー	……	……	……	……	……	……
10. 磨耗量 ドリー mm	……	……	……	……	……	……
11. 軟化點 °C	……	……	……	……	……	……
12. 非瀝青質物質比重	2.66	2.70	2.69	2.70	2.67	2.72
13. 空隙率 %	7.9	5.4	8.7	9.3	7.9	11.4
14. 眞比重	2.27	2.52	2.33	2.49	2.25	2.44
15. 骨材空隙率(轢壓後)%	30.2	15.7	29.0	21.0	31.5	26.2
16. 碎石	……	硬砂岩、珪岩、安山岩、凝灰質砂岩(玉石碎石)	……	石灰岩	……	石灰岩
備考						

第1表 シート・アスファルト切取試験材成績表 (7)

試験番號	717	717	716	716	715	715
試料名	シート・アスファルト表層	同左 中間層	同左 表層	同左 中間層	同左 表層	同左 中間層
施工場所	東京府西巣鴨町向原351	同左	東京府西巣鴨町宮仲5,824	同左	東京府戸塚警察署附近	同左
試料受入年月日	5. 3.10	同左	同左	同左	同左	同左
施工年月日	3. 5.15	同左	3. 3.15	同左	4. 〃 〃	同左
試験年月日	5. 4.20	同左	同左	同左	同左	同左
1. 厚 cm	2.60～3.00	2.70～3.12	1.26～1.35	3.19～3.20	3.40～3.54	2.60以上
2. 比重(見掛) 25°/25°C	1.96	2.42	2.16	2.43	2.18	2.33
3. 吸水率 1週間 %	……	……	……	……	……	……
4. 瀝青 CCl_4 %	……	……	……	……	……	……
5. 瀝青 CS_2 %	10.84	5.55	13.58	6.90	10.54	4.90
6. 非瀝青質物質 %	89.16	94.45	86.42	93.10	89.46	95.10
7. 同上篩分 %	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
25～20mm (1～¾″)	……	……	……	……	……	13.2
20～15mm (¾～½″)	……	8.0	……	……	……	23.3
15～10mm (½～¼″)	……	32.5	……	19.2	3.3	20.7
10～ 5mm	……	……	……	……	……	……
5～ 2.4mm (¼″～2.0mm)	0.2	35.5	0.1	39.2	3.8	12.9
2.4 ～0.4mm	12.1	7.7	2.4	13.3	29.1	3.4
2.4～0.3 mm	……	……	……	……	……	……
0.4 ～0.18mm	32.6	4.1	35.6	9.3	21.5	7.6
0.3 ～0.15 mm	……	……	……	……	……	……
0.18～0.075mm	29.9	3.2	26.5	5.7	17.6	10.0
0.15～0.075mm	……	……	……	……	……	……
0.075mm 通過	14.4	3.4	21.8	6.4	14.2	4.0
計	89.2	94.4	86.4	93.1	89.5	95.1
8. 貫性 ペーヂ 25°C	……	……	……	……	……	……
9. 硬度 ドリー	……	……	……	……	……	……
10. 磨耗量 ドリー mm	……	……	……	……	……	……
11. 軟化點 °C	……	……	……	……	……	……
12. 非瀝青質物質比重	2.63	2.69	2.66	2.66	2.62	2.63
13. 空隙率 %	13.2	2.2	2.2	0.0	3.5	5.2
14. 眞比重	2.26	2.48	2.21	2.40	2.26	2.44
15. 骨材空隙率(壓壓後)%	33.6	15.1	30.5	15.9	25.5	15.7
16. 碎石	……	硬砂岩、珪岩、安山岩、石英閃緑岩(玉石碎石)	……	石灰岩	……	安山岩
備考						

第 1 表　シート・アスファルト切取試驗材成績表 (8)

試驗番號	714	714	711	711
試料名	シート・アスファルト表層	同左　中間層	同左　表層	同左　中間層
施工場所	東京府　戸塚第一小學校前	同　左	同　左　八ッ山橋附近	同　左
試料受入年月日	5. 3.10	同　左	同　左	同　左
施工年月日	4. ×. ×	同　左	3. 5.27	3. 5.27
試驗年月日	5. 4.20	同　左	同　左	同　左
1. 厚　cm	2.72～3.50	不　明	1.80～2.14	1.90～2.28
1. 比重(見掛) 25°/25°C	2.15	2.43	2.28	2.36
1. 吸水率 1週間　%	……	……	……	……
1. 瀝青 CCl_4　%	……	……	……	……
1. 瀝青 CS_2　%	10.93	4.98	10.23	7.04
1. 非瀝青質物質　%	89.07	95.02	89.77	92.96
7. 同上篩分　%	(1)	(1)	(1)	(1)
25～10mm (1～¾″)	……	33.2	……	……
20～15mm (¾～½″)	……	12.5	……	12.4
15～10mm (½～¼″)	……	9.4	1.2	22.9
10～ 5mm	……	……	……	……
5～2.4 mm(¾″～2.0mm)	2.8	12.1	8.8	17.3
2.4 ～0.4mm	11.8	9.3	30.1	17.7
2.4 ～0.3 mm	……	……	……	……
0.4 ～0.18mm	36.6	8.9	22.9	10.8
0.3 ～0.15 mm	……	……	……	……
0.18～0.075mm	22.9	4.7	12.4	6.0
0.15～0.075mm	……	……	……	……
0.075mm 通過	15.0	4.9	14.4	5.8
計	89.1	95.1	89.8	92.9
8. 軟性ペーチ 25°C	……	……	……	……
9. 硬度 ドリー	……	……	……	……
10. 磨耗量 ドリー mm	……	……	……	……
11. 軟化點 °C	……	……	……	……
12. 非瀝青質物質比重	2.63	2.65	2.66	2.64
13. 空隙率　%	4.5	1.3	0.0	0.8
14. 眞比重	2.25	2.46	2.27	2.38
15. 骨材空隙率(壓縮後)%	27.1	13.0	23.5	16.8
16. 碎石	……	硬砂岩、珪岩、安山岩、石英閃緑岩（玉石碎石）	……	石英輝石安山岩

註 1. 篩分試驗の成績の中 (1) と記せるものは、2.4mm 以上の粗粒成分については、括弧内の數字の示す篩により試驗せるものである。

1″～¾″	25.4～19.0mm
¾″～½″	19.0～12.7mm
½″～¼″	12.7～ 6.3mm
¼″～2.0mm	6.3～ 2.0mm

2. 非瀝青質物質比重の中括弧内の數値は推定に依るものである。

II 試驗成績の說明

第1表 (1)~(8) のシート・アスファルト中には、充分なる基礎の上に施工せるもの、亦然らざるもの、更に中間層を有するもの、然らざるもの等を含む。

1. 厚 さ

表層アスファルト・モルタルの厚さは 1.5~3.9cm 位の間にあり、中間層を有するものにありては、中間層の厚さは 2.4~3.8cm 位の間に於て種々の變化がある。

2. 表層の見掛の比重

表層の見掛の比重は材料の比重、粒度及配合量、壓縮の程度等によつて變化すべきものであるが、本試驗の範圍では 1.89~2.28 平均 2.12 である。空隙率其の他との關係については後述する。(13 頁參照)

3. 表層の吸水率

表層の吸水率 (一週間浸漬) は大體に於て少く、0.23~1.85% の間にある。吸水率は 1 週間の測定に於ては、シート・アスファルト中の空隙の一部に滲透吸收せられたる水の分量を示すに過ぎずして、これよりシート・アスファルトの空隙率を算出する材料とはならぬが、表層物質の緻密の程度を窺ふに足る。(18 頁第 5 圖參照)

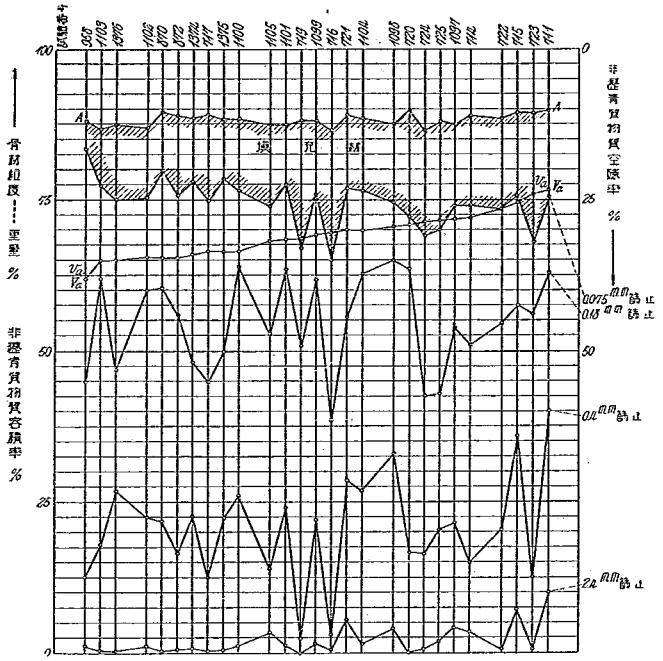
4. 瀝 靑 量

表層の含有瀝靑量は 9.9~13.6% 平均 11.75% を示し、この中にはアスファルトの過少に失すると思はるゝもの、稍過多の感あるもの等も認められる。中間層の瀝靑量は 3.7~9.28% 平均 5.7% にして、其の量に甚しき差がある。表層の瀝靑量と空隙率其の他との關係は後述する。(13 頁及 15 頁第 2 表參照)

5. 表層骨材 (塡充材を含む) の粒度

表層骨材の粒度を圖示すれば、第 1 圖及第 2 圖 (11 頁及 12 頁) の如く、本圖は骨材空隙率 (輾壓後) の順位に試驗材を配列したるものなるも、輾壓後の骨材空隙率と、其粒度的配合割合との間には一定の關係を見出し得ない。但し大體に於て骨材空隙率の少なるものは、概して塡充材の量多きものに見受けられる。

表層の骨材空隙率の少きものは、概して表層の空隙率少きことは第 4 圖 (17 頁) に示さるゝ如くであるから、結局表層空隙率小なるものは、大體に於て塡充材の量多きものと見受けられ、表層空隙率 5% 以內のものにありては、塡充材の量は 12% 以上である。



第　1　圖

シート・アスファルト表層の骨材空隙率と粒度との關係

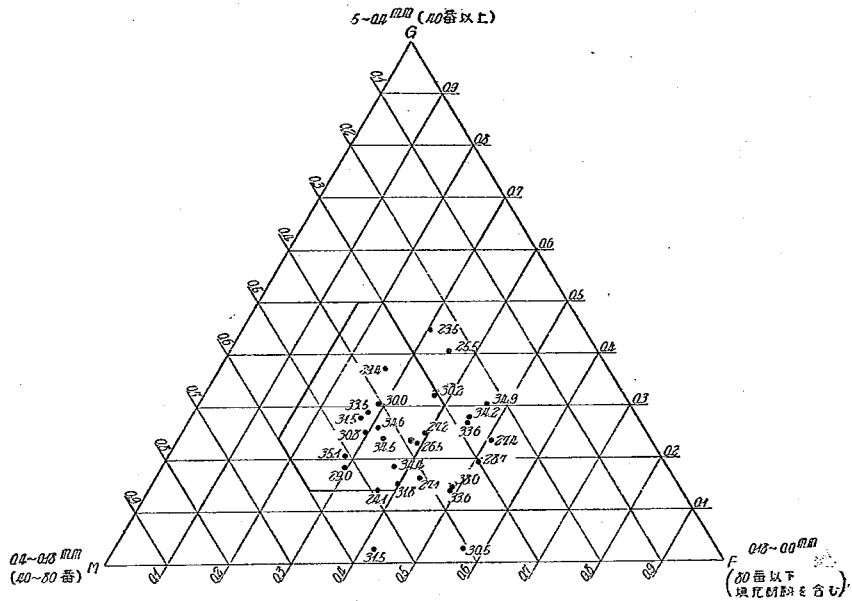
註　A_1A_1……骨材重量百分率
V_aV_a……骨材容積率
v_av_a……骨材空隙率

6. 靭性、硬度、磨耗量、軟化點

靭性（ページ試驗機）、硬度（ドリー試驗機）、磨耗量の試驗は、試料薄きに過ぎて規定の試驗を行ひ難きもの多く、軟化點は最小 33°C 最大 44°C にして多くは 40°C 前後である。

第 2 圖

シート・アスファルト表層の骨材空隙率と粒度との關係



註 1. 圖中、三角形内部の數値は表層骨材（填充材を含む）の空隙率（%）を示すものである。

2. ⊙印は 27 種の表層骨材（填充材を含む）に對する粒度配合の平均値を示すものにして、これに對する骨材空隙率の平均値は 30.8 % である。

3. 三角形内の六邊形はシート・アスファルト用砂（填充材を除く）に對する米國アスファルト學會（American Asphalt Institute）の適當と認めたる粒度配合の範圍を示せるものである。この場合にはFは 80~200 番篩を表すものとして考へねばならぬ。
本圖に於ては、Fは 80 番篩以下填充材を含むものを表すを以て、各黒點の中には當然この六邊形の範圍内に入らないものが多いが、填充材を除いて考へれば各黒點はこれと F とを結ぶ直線に沿ひて邊 GM の方向に近づくを以て大凡六邊形の範圍内或はその附近に落ちる事となるであらう。卽ち本試驗の成績の示せる各粒度配合は大體に於て米國アスファルト學會の示せる粒度配合の範圍内或はこれに近いものである。

III　表層の空隙率及其の他の性質

S＝表層見掛比重、　　A＝非瀝青質物質の重量 %

S_a＝非瀝青質物質比重　　B＝瀝　青　の重量 %

S_b＝瀝青比重 ≒ 1.04　　但し $A+B=100$

とすれば、S, S_a, A, B 等は試験成績中より知られる。空隙率其の他の計算に於ては、S_b＝1.03～1.045 を 1.04 と假定するも、小數點以下第二位に於て 1～3 程度の誤差を生ずるに過ぎない。

上記の如く假定すれば、

表層空隙率＝v ……容積%

表層眞比重＝S_t

非瀝青質物質容積率＝V_a……容積%

瀝青容積率＝V_b ……容積%

非瀝青質物質輾壓後空隙率 ＝v_a ……容積%

但し $v+V_a+V_b=100$, $v_a=100-V_a=v+V_b$

等を計算によりて求むることを得。

1. 表層混合物の眞比重 (S_t)

$$S_t=\frac{100}{\frac{A}{S_a}+\frac{B}{S_b}}=\frac{100}{\frac{A}{S_a}+\frac{B}{1.04}}$$ 但し本試験に於ては $S_a>2.60$

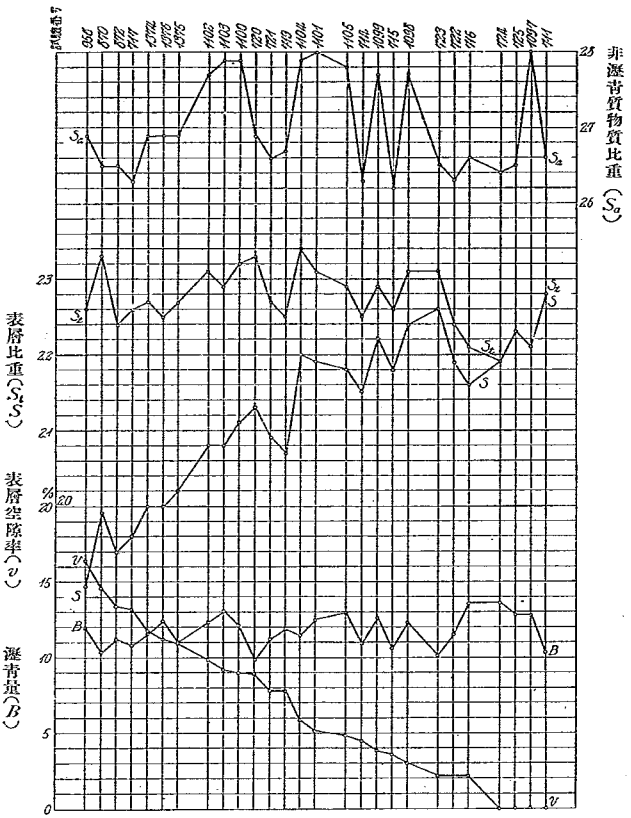
に依りて算出せる表層混合物の眞比重は第 2 表（15 頁）中 6 行目に列記せる如く、最小 2.18 最大 2.34 平均 2.27 である。之を見掛の比重 1.89～2.28 に比すれば、兩者の差の大なるものより殆んど 0 に近きものまで種々ありて表層中には一般に幾分の空隙を存することを想像せしめる。

2. 表層の空隙率 (v)

$$v=100\left(1-\frac{S}{S_t}\right)$$

$$=100-S\left\{\frac{100-B}{S_a}+\frac{B}{1.04}\right\}$$ 但し $S_a>2.60$

なるを以つて、表層の空隙率は、見掛比重大にして瀝青量多く、非瀝青質物質の比重小なる程少い譯である。上式によりて算出せる表層空隙率は、第 2 表 5 行目に列記せる如く



第 3 圖

シート・アスファルト表層の空隙率と其の見掛比重、眞比重、瀝青量(重量)、非瀝青質物質空隙率との關係

0～16.3%平均 6.7% である。之を見掛比重、瀝青量、非瀝青質物質比重等と共に圖示すれば第3圖の如く、大體に於ては空隙率と見掛比重とは關係あるが、見掛比重のみからは表層空隙率の大小の判斷を下し得ない事が分る。

空隙率の同じ程度のものを比較すれば、非瀝青質物質の比重大なるものは、瀝青量が多い。第3圖に於て非瀝青質物質比重の曲線（$S_a S_a$）と瀝青量の曲線（BB）とは略相伴ふて變化するを見る。

第 2 表　シート・アスファルト表層空隙率其の他の性質

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
試驗番號	見掛比重 S	瀝青含有量 B	非瀝青質物質比重 S_a	表層空隙率 v	表層眞比重 $\frac{100S_aS_b}{AS_b+BS_a}$	瀝青容積率 $\frac{SB}{1.04}$	骨材容積率 $\frac{SA}{S_a}$	骨材空隙率(壓縮後) $100-\frac{SA}{S_a}$	備考
		%		%		%	%	%	
958	1.89	11.95	2.69	16.3	2.26	21.7	62.0	38.0	1) 瀝青の比重はすべて $S_b=1.04$ と假定す。 2) A は非瀝青質物質% $A+B=100\%$ 3) 眞比重 $S_t=\frac{100S_aS_b}{AS_b+BS_a}$ 4) 表層空隙率 % $v=100\left(1-\frac{S}{S_t}\right)$ 本表は上記の如くにして算出したるものである。 括弧内の數字は推定による。 本表は表層空隙率の順位に配列したものである。 (5行目)
870	1.99	10.37	(2.65)	14.6	2.33	19.9	65.5	34.5	
872	1.94	11.20	(2.65)	13.4	2.24	21.0	65.6	34.4	
717	1.96	10.84	2.63	13.2	2.26	20.4	66.4	33.6	
1374	2.00	11.6	2.69	11.8	2.27	22.4	65.8	34.2	
1376	2.00	12.4	2.69	11.1	2.25	23.8	65.1	34.9	
1375	2.02	11.0	2.69	11.0	2.27	22.6	66.4	33.6	
1102	2.08	12.34	2.77	9.8	2.31	24.8	65.4	34.6	
1103	2.08	13.03	2.79	9.1	2.29	26.0	64.9	35.1	
1100	2.11	12.07	2.79	9.0	2.32	24.5	66.5	33.5	
720	2.13	9.91	2.69	8.7	2.33	20.3	71.0	29.0	
721	2.09	11.14	2.66	7.9	2.27	22.3	69.8	30.2	
719	2.07	11.86	2.67	7.9	2.25	23.6	68.5	31.5	
1104	2.20	11.45	2.79	5.8	2.34	24.2	70.0	30.0	
1101	2.19	12.47	2.80	5.2	2.31	26.3	68.5	31.5	
1105	2.18	12.89	2.78	4.8	2.29	27.0	68.2	31.8	
714	2.15	10.93	2.63	4.5	2.25	22.6	72.9	27.1	
1099	2.22	12.56	2.77	3.9	2.29	26.9	69.2	30.8	
715	2.18	10.54	2.62	3.5	2.26	22.0	74.5	25.5	
1098	2.24	12.28	2.77	3.0	2.31	26.4	70.6	29.4	
723	2.26	10.13	2.65	2.2	2.31	21.9	75.9	24.1	
722	2.19	11.49	2.63	2.2	2.24	24.3	73.5	26.5	
716	2.16	13.58	2.66	2.2	2.21	28.3	69.5	30.5	
724	2.19	13.60	2.64	0.0	2.18	28.7	71.3	28.7	
725	2.23	12.81	2.65	0.0	2.22	27.4	72.6	27.4	
1097	2.21	12.76	2.80	0.0	2.19	27.2	72.8	27.2	
711	2.28	10.23	2.66	0.0	2.27	23.5	76.5	23.5	
最小	1.89	9.91	2.62	0.0	2.18	19.9	62.0	23.5	
最大	2.28	13.60	2.80	16.3	2.34	28.7	76.5	38.0	
其の差	0.39	3.69	0.18	16.3	0.16	8.8	14.5	14.5	
平均	2.12	11.75	2.70	6.7	2.27	24.08	69.22	30.78	

3. 非瀝青質物質空隙率(輾壓後) 非瀝青質物質の容積率(同) 瀝青容積率(同)

$$V_a=\frac{SA}{S_a};\quad V_b=\frac{SB}{1.04}$$

$$v_a=100-\frac{SA}{S_a}=v+V_b$$

により、非瀝青質物質の容積率 V_a、瀝青の容積率 V_b、非瀝青質物質の輾壓後に於ける空隙率 v_a を求むれば第 2 表（15 頁）中 8 行目、7 行目、9 行目に列記せる如くで、之を圖示すれば第 4 圖（17 頁）の如くである。

第 4 圖中 vv は表層空隙率 v を示し、v_av_a (V_aV_a) は、非瀝青質物質の輾壓後の空隙率 v_a 又は容積率 V_a を示して居る。この二線間の距離は瀝青の容積率 V_b を示す。又 V_bV_b は瀝青容積率 V_b を示したもので、v_av_a 及 V_bV_b 二線間の距離は表層の空隙率 v を示して居る。

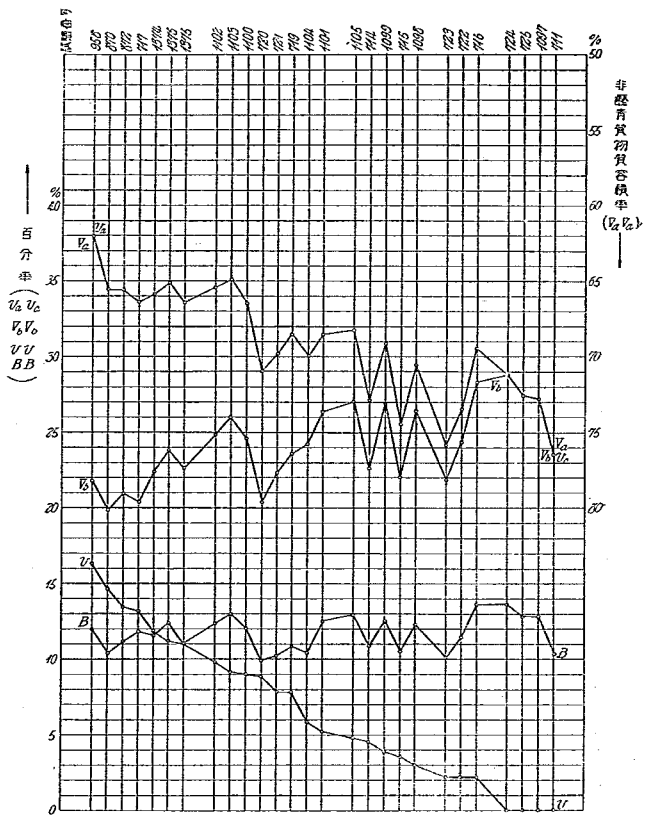
之に依りて見れば、非瀝青質物質輾壓後の空隙率は平均 30.8%、最小 23.5%、最大 38.0% にして其の間に 14.5% の差を有する。而して非瀝青質物質の空隙率 v_a は、表層の空隙率 v と大體に於て平行して居る。從つて空隙少き表層を得んとするには、先づ非瀝青質物質の空隙率少きことを要し、更に之が爲には輾壓を充分ならしむると共に非瀝青物質自身の粒度的配合に注意してその空隙を少なからしむる必要あることを示して居る。輾壓後に於ける非瀝青質物質の空隙率は、輾壓不充分なりと思はるゝものを除きては大略 30% 前後或は其以下である。其の極端に少きものは 23.5; 24.1; 25.5% 等のものあれども、斯くの如きは、稀に得らるゝ優良なる場合に屬するものと考へられる。又表層の空隙率に於て、0 乃至 3% の程度のものは、材料、配合量、輾壓等の極めて順當に行はれたる良好なる場合に屬する。今斯くの如き特殊の場合をのぞき通常達し得べき良好なる場合として、非瀝青質物質空隙率 30%、表層空隙率 5% を取りて考ふるに、之に要する瀝青の量は容積に於て 25%、重量に於ては次の如くなる。

$$\frac{SA}{S_a}=70;\quad \frac{SB}{1.04}=25;\quad A+B=100$$

より B を求むれば

$$B=\frac{100}{1+\frac{70S_a}{1.04\times 25}}$$

にして $S_a=2.60\sim2.80$ の場合には $B=11.7\sim12.5\%$ となり、シート・アスファルト表層の空隙率を 5% 程度に止めんとするには、通常の非瀝青質物質を用ゐる場合瀝青の量は



第　4　図

シート・アスファルト表層空隙率と非瀝青質物質及瀝青の容積率との關係

12.0% 前後を要するものと考へらる。

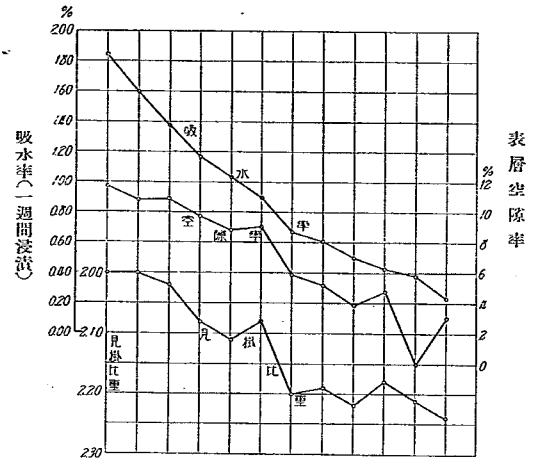
この場合に於ける表層の眞比重、見掛比重は次の如くである。

眞比重	2.21～2.31
見掛比重	2.08～2.22

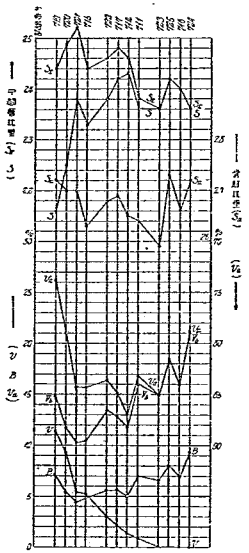
從て輾壓の程度は、見掛比重 2.10 或は 2.20 程度迄行はなければならない。

4. 表層の空隙率と吸水率（1 週間浸漬）

表層吸水率（1 週間浸漬）と空隙率との關係を圖示すれば、第 5 圖の如く、吸水率の大なるものは、空隙率大なることを示し、大體に於て吸水率は空隙の大小を推測せしむるものである。



第　5　圖
シート・アスファルト表層の吸水率と空隙率との關係



第　6　圖

シート・アスファルト中間層の空隙率と其の見掛比重、眞比重、骨材比重、瀝青量（重量及容積率）、骨材空隙率との關係

註　vv……中間層空隙率（容積%）
$v_a v_a$……骨材空隙率（輾壓後）（容積%）
BB……瀝青重量百分率
$V_b V_b$……瀝青容積率（輾壓後）

IV　中間層の空隙率及其の他の性質

中間層についても、表層の場合と同様にして、眞比重、中間層空隙率、非瀝青質物質空隙率、非瀝青質物質容積率、瀝青容積率を算出すれば第3表の中 724～719 に示す如くである。中間層は表層の如く、其の水密性を嚴格に考ふる必要なきものなるを以つて、概して、瀝青量少くして可なるものであるが、試驗の成績は瀝青量 4.4～9.3% の廣き範圍にあり、其の空隙率は比較的少く、0～11.4% 平均、3.1% であり、又骨材輾壓後の空隙率は表層の場合よりも少にして、13.0～26.2% 平均 17.3% を示して居る。(18頁第6圖參照)

第3表　シート・アスファルト中間層空隙率及其の他の性質

試驗番號	見掛比重 S	瀝青量 B	非瀝青質物質比重 S_a	中間層空隙率 v	眞比重 $\frac{100 S_a S_b}{A S_b + B S_a}$	瀝青容積率 $\frac{SB}{1.04}$	骨材容積率 $\frac{SA}{S_a}$	骨材空隙率 $100-\frac{SA}{S_a}$	骨材粒度 25～5 mm	骨材粒度 5通過 mm	骨材粒度 計
		%		%		%	%	%	%	%	%
724	2.36	9.28	2.72	0.0	2.36	21.2	78.8	21.2	47.6	43.1	90.7
716	2.40	6.90	2.66	0.0	2.40	15.9	84.1	15.9	19.2	73.9	93.1
725	2.42	8.02	2.73	0.0	2.42	18.5	81.6	18.4	36.9	55.0	92.0
723	2.36	6.58	2.59	0.0	2.36	14.9	85.1	14.9	20.6	72.8	93.4
722	2.38	5.59	2.68	3.0	2.46	13.3	83.7	16.3	35.9	58.5	94.4
711	2.36	7.04	2.64	0.8	2.38	16.0	83.2	16.8	35.3	57.6	93.0
714	2.43	4.98	2.65	1.3	2.46	11.7	87.0	13.0	55.1	39.9	95.0
717	2.42	5.55	2.69	2.2	2.48	12.9	84.9	15.1	40.5	53.8	94.4
715	2.33	4.90	2.63	5.2	2.44	10.5	84.3	15.7	57.1	38.0	95.1
721	2.38	4.38	2.70	5.4	2.52	10.3	84.3	15.7	42.0	53.6	95.6
720	2.25	5.42	2.70	9.3	2.49	11.7	79.0	21.0	21.5	73.2	94.6
719	2.16	7.10	2.72	11.4	2.44	14.8	73.8	26.2	25.3	67.6	92.9
870	2.36	4.21	……	……	……	……	……	……	47.2	48.6	95.8
872	2.31	4.63	……	……	……	……	……	……	41.5	53.9	95.4
958	……	6.27	……	……	……	……	……	……	49.7	44.0	93.7
1374	……	3.7	……	……	……	……	……	……	77.0	19.3	96.3
1375	……	3.7	……	……	……	……	……	……	77.4	18.9	96.3
1376	……	4.2	……	……	……	……	……	……	74.1	21.7	95.8
724より719迄の平均	2.36	6.32	2.68	3.1	2.44	14.2	82.8	17.3	36.4	57.3	93.7
最小	2.16	4.38	2.63	0	2.36	10.3	73.8	13.0	19.2	38.0	90.7
最大	2.43	9.28	2.73	11.4	2.54	21.2	87.0	26.2	57.1	73.9	95.6

V 要 約

1. 上記試驗の範圍内に於ては表層の見掛の比重は 1.89～2.28 の範圍内にありて差異が大である。眞比重は 2.18～2.34 の範圍内にありて見掛比重に比すれば變化少く、從つて見掛の比重はある程度迄其の空隙率の變化を示すものなるも、空隙率は非瀝青質物質の比重、瀝青量によりても異る。
2. 大體に於て輾壓後の非瀝青質物質の空隙率の小なるものは表層の空隙率低く、從つて實際に於ては其の粒度的配合と輾壓の程度とは、表層の空隙率を支配すること最も大なりと認められる。
3. 表層用非瀝青質物質の輾壓後の空隙率は通常 30% 前後或は其れ以下に止め得べきを以つて、表層の空隙率を 5% 以内に止めんとするには、非瀝青質物質の比重 2.60～2.80 の範圍内に於ては表層用アスファルトの量は 11.7～12.5 % 程度或は其れ以上を要する。
4. 本試驗の範圍内にありては表層の空隙率少きものは大體に於て塡充材の量の多きものにして、空隙率 5.0% 以内のものにありては其の量は通常の場合 12.0% 以上である。
5. 上記の事實を要約すれば、表層空隙率少き鋪裝を得んがためには、非瀝青質物質比重 2.60～2.80 の範圍内にありては、非瀝青質物質の粒度的配合に注意し非瀝青質物質空隙率を低下すること、アスファルト量を 11.7～12.5% 程度とすること、輾壓の効果を充分ならしめ見掛の比重 2.10～2.20 以上に達せしむることが必要である。

   （以上は表層空隙率 5% 以下、輾壓後非瀝青質物質空隙率 30% 以下を目標とせるものである。表層の安定度の上より言へば、アスファルト量の過多なることは、有害なるを以つて、表層の空隙率低下のみを目的として、過多のアスファルトを使用することを避くべきは勿論である。）
6. 實際の工事にありては表層空隙率 10% を越ゆるものは、空隙多きに過ぐるものと見做して可なるべく其の 10% 以内のものは差支なしと思はる。この場合上記の非瀝青質物質に對しては表層見掛比重は約 2.05 乃至 2.15 或は夫れ以上なることを要する。
7. 上記試驗の範圍内に於ては、中間層はアスファルトの量、骨材の粒度等は極めて區々にして一定せず、又中間層は表層程空隙率を低下する必要なきにも拘らず、概して空隙少き成績を示して居る。
8. 上記試驗成績の最大、最小、平均値を示したるものは第 4 表である。

第 4 表　シート・アスファルト試驗成績の最大、最小値及平均値

試驗項目	表層		中間層	
	最小　最大	平均値	最小　最大	平均値×
1. 厚　cm	1.5～3.9	……	2.4～3.8	……
2. 比重（見掛）25°/25°C	1.89～2.28	2.12	2.16～2.43	2.36
3. 吸水率 1 週間　%	0.23～1.85	……	……	……
4. 瀝青 CCl_4 或は CS_2 %	9.9～13.6	11.75	3.7～9.28	6.32
5. 非瀝青質物質　%	86.4～90.1	88.25	90.72～96.3	93.7
6. 同上篩分　%				
25～20 mm　(1～¾″)	……	……		
20～15 mm　(¾～½″)	……	……	19.2～77.4	36.4
15～10 mm　(½～¼″)	……	……		
10～ 5 mm	……	……		
5～ 2.4 mm(¼″～2.0mm)	0～10.0	1.89		
2.4 ～0.4 mm	2.13～30.1	18.78		
0.4 ～0.18 mm	20.4～49.0	33.85	19.3～73.9	57.3
0.18～0.075 mm	8.7～38.6	20.02		
0.075 mm 通過	4.7～21.7	13.71		
計	86.4～90.1	88.25	90.7～96.3	93.7
7. 靱性 ペーヂ　25°C	5.5～5.8	……	……	……
8. 硬度 ドリー	16.1～16.7	……	……	……
9. 磨耗量 ドリー　mm	10.3～11.9	……	……	……
10 軟化點　°C	33～45	40.3	……	……
11. 非瀝青質物質比重	2.62～2.80	2.70	2.63～2.73	2.68
12. 眞比重	2.18～2.34	2.27	2.36～2.52	2.44
13. 空隙率　%	0～16.3	6.7	0～11.4	3.1
14. 非瀝青物質空隙率(壓縮後)%	23.5～38.0	30.8	13.0～26.2	17.3
15. 非瀝青質物質容積率(全)%	62.0～76.5	69.22	73.8～87.0	82.8
16. 瀝青容積率　(全)%	19.9～28.7	24.08	10.3～21.6	14.2

× '12 種平均値。

第二章　アスファルト・コンクリート鋪裝切取試驗材の性質

本報告は、アスファルト・コンクリート鋪裝切取試驗材 33 種について其の試驗成績を一括表示し、之に簡單なる說明を添へたものである。

I アスファルト・コンクリート鋪裝切取試驗材の試驗成績一覽表

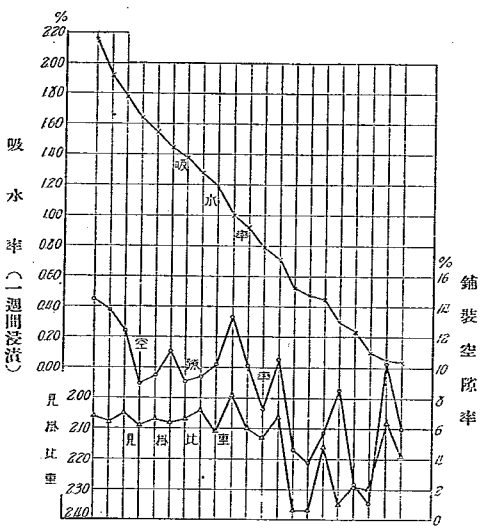
東京府、神奈川縣、埼玉縣、千葉縣等の地方に於て、國道鋪裝に用ゐられたるアスファルト・コンクリートの切取試驗材について、府縣或は土木出張所の依頼により試驗したる成分及其他の諸性質は第5表 (1)~(5) の如くである。この中には試料少量に過ぎ、充分なる試驗を行ひ難かりしものも多いので、本成績より完全なる結論を得ることは望み難いがアスファルト・コンクリート鋪裝の性質の一斑を例示するものとしてこゝに掲げたものである。

II 試驗成績の說明

1. 厚　　さ 試驗材の厚さは 4.2~8.3cm にして、5~6cm 位のものが多い。

2. 見掛の比重

アスファルト・コンクリートの見掛の比重は材料の比重、粒度及配合量、壓縮の程度等により變化すべきことは勿論であるが、本試驗の範圍では 1.99~2.37; 平均 2.17 である。本試驗中4種は粒粗アスファルト・コンクリートにして、其の見掛比重は 2.27~2.37平均2.34 である。其の他は細粒アスファルト・コンクリートにして、其の見掛の比重は 1.99 ~2.32;平均 2.14 である。之をシート・アスファルト鋪裝表層の見掛比重に比すれば、細粒アスファルト・コンクリートの方幾分大であり、粗粒アスファルト・コンクリートは尙大である。



第 7 圖

アスファルト・コンクリートの吸水率と空隙率との關係

第 5 表　アスファルト・コンクリート鋪裝切取試驗材成績一覽表 (1)

試驗番號	1183	1121	1120	1112	1467	1466	1465
試料名	粗粒アスファルト・コンクリート	粗粒アスファルト・コンクリート	同左	同左	細粗アスファルト・コンクリート	同左	同左
施工場所	東京府	東京府	千葉縣	千葉縣	神奈川縣戸塚國道	同左	同左
試料受入年月日	7. 5. 9	6.12.22	6.12.22	6.12. 7	8. 3.31	8. 3.31	8. 3.31
施工年月日	5. 1.21	6.12.11	6.12.11	……	8. 3.17	3. 3.15	8. 3.14
試驗年月日	7. 5.13	6.12.24	6.12.24	6.12.24	8. 4. 7	8. 4. 7	8. 4. 7
1. 厚 cm	……	5.9	7.2	8.3	5.2	5.9	5.0
2. 見掛比重 25°/25°C	2.27	2.37	2.35	2.37	2.04	2.07	2.07
3. 吸水率 1 週間 %	……	0.48	0.30	0.52	1.27	1.38	1.55
4. 瀝青 CCl_4 %	……	6.26	7.68	5.21	11.2	10.3	9.4
5. 瀝青 CS_2 %	8.14	……	……	……	……	……	……
6. 非瀝青質物質 %	91.86	93.74	92.32	94.79	88.8	89.7	90.6
7. 同上篩分 %							
25mm 止り	(1)	1.86	5.78	6.76	……	……	……
25～20mm	6.96	8.30	6.06	12.84	……	……	……
20～15mm	9.25	13.65	12.45	13.66	……	……	……
15～10mm	19.36	10.50	11.35	13.64	5.0	10.1	3.3
10～ 5mm		15.69	11.76	11.41	19.7	19.3	14.9
5～ 2.4mm	9.61	6.22	3.45	3.62	5.1	5.6	6.4
2.4 ～0.4mm	8.91	6.34	7.03	5.73	7.3	15.5	22.7
2.4 ～0.3 mm					12.8	23.5	30.6
0.4 ～0.18mm	17.26	20.51	23.20	18.27	29.9	25.0	25.5
0.3 ～0.15mm					34.0	21.8	23.6
0.18～0.075mm	15.76	6.19	6.15	3.65	17.5	9.3	11.1
0.15～0.075mm					7.9	4.5	5.1
0.075mm 通過	4.75	4.48	5.09	5.20	4.3	4.9	6.7
計	91.86	93.74	92.32	94 78	88.8	89.7	90.6
8. 靱性 ペーヂ 25°C	……	……	……	……	……	……	……
9. 硬度 ドリー	……	……	……	……	……	……	……
10. 磨耗量 ドリー mm	……	……	……	……	……	……	……
11. 軟化點 °C	……	……	……	……	32	33	30
12. 非瀝青質物質比重	(2.71)	2.71	2.74	2.69	2.64	2.64	2.64
13. 空隙率 %	(5.3)	3.7	3.5	4.7	9.4	9.1	10.2
14. 眞比重	(2.40)	2.46	2.43	2.49	2.25	2.28	2.31
15. 非瀝青質物質空隙率% (載歷後)	(23.1)	18.0	20.8	16.6	31.4	29.6	29.0
備考							

第5表 アスファルト・コンクリート舖裝切取試驗材成績一覽表 (2)

試驗番號	1464	1419	1417	1416	1415	1321	1309
試料名	細粒アスファルト・コンクリート	アスサイト見本	細粒アスファルト・コンクリート	同左	同左	同左	同左
施工場所	神奈川縣戸塚國道	……	神奈川縣保土ケ谷國道	同左	同左	四號國道東京府足立區	東京府志村
試料受入年月日	S. 3.31	S. 2. 9	S. 2. 3	S. 2. 3	S. 2. 9	7.11. 7	7.10.ｱ
施工年月日	S. 3.10	……	S. 2. 1	S. 1.31	S. 2. 2	7.10. 5	……
試驗年月日	S. 4. 7	S. 4.11	S. 2.21	S. 2.21	S. 2.21	7.11.11	7.10.11
1. 厚 cm	5.7	……	5.2	5.6	5.7	5.2	5.2
2. 見掛比重 25°/25°C	2.09	2.30	2.13	2.16	1.99	2.29	2.08
3. 吸水率 1週間 %	1.64	0.10	0.79	0.45	1.00	0.24	0.05
4. 瀝青 CCl_4 %	9.5	8.1	10.0	……	……	……	……
5. 瀝青 CS_2 %	……	……	……	10.0	9.9	8.6	9.4
6. 非瀝青質物質 %	90.5	91.9	90.0	90.0	90.1	91.4	90.6
7. 同上篩分 %							
25mm 止り	……	……	……	……	……	……	……
25～20mm	……	……	……	……	……	……	……
20～15mm	……	7.9	……	……	……	(1)1.8	……
15～10mm	7.4	19.0	7.3	8.5	5.0	15.6	(1)11.5
10～ 5mm	20.1	18.6	21.0	19.0	15.3		
1～ 2.4mm	6.4	2.9	5.4	3.2	6.2	10.3	5.2
2.4 ～0.4mm	20.1	26.4	9.0	7.1	13.6	13.3	7.1
2.4 ～0.4mm	30.2	31.5	14.0	12.8			
0.4 ～0.18mm	26.2	9.4	22.6	30.3	30.7	20.4	23.6
0.3 ～0.15mm	18.7	5.0	26.2	35.9			
0.18～0.075mm	5.2	2.6	16.9	16.6	12.6	21.0	31.5
0.15～0.075mm	2.6	1.9	8.3	5.3			
0.075mm 通過	5.1	5.1	7.8	5.3	6.7	9.0	11.7
計	90.5	91.9	90.0	90.0	90.1	91.4	90.6
8. 靱性 ペーヂ 25°C	……	……	……	……	……	……	……
6. 硬度 ドリー	……	……	……	……	……	……	……
10. 磨耗量 ドリー mm	……	アニス 2.7	……	……	……	……	……
11. 軟化點 °C	31	73	35	32	36	32	32
12. 非瀝青質物質比重	2.63	2.61	2.66	2.65	2.65	2.66	(2.66)
13. 空隙率 %	9.0	1.1	7.3	5.8	13.3	2.3	(10.3)
14. 眞比重	2.30	2.33	2.29	2.30	2.30	2.34	(2.32)
15. 非瀝青質物質空隙率% (輾壓後)	28.1	19.0	27.7	25.8	32.3	21.2	(29.1)
備考		耐壓 25°C 122kg/cm² 抗曲 25°C 15kg/cm²					

第5表　アスファルト・コンクリート鋪裝切取試驗材成績一覽表 (3)

試驗番號	1306	1299	1285	1265	1176	1175	1174
試料名	細粒アスファルト・コンクリート	同左	同左	同左	同左	同左	同左
施工場所	東京府志村	東京府志村	東京府志村	埼玉縣梅島町	東京府志村	東京府志村	東京府志村
試料受入年月日	7.10.x	7. 9.x	7. 9. 3	7. 8.20	7. 3.30	7. 3.30	7. 3.30
施工年月日	7. 9.24	……	7. 8.29	……	……	……	……
試驗年月日	7.10.11	7. 9.20	7. 9. 6	7. 8.31	7. 4.14	7. 4.14	7. 4.14
1. 厚 cm	4.5	……	……	……	6.3	5.6	5.9
2. 見掛比重 25°/25°C	2.19	2.08	2.05	2.13	2.11	2.10	2.05
3. 吸水率 1週間 %	0.04	……	……	……	1.19	0.92	1.78
4. 瀝青 CCl_4 %	……	……	……	……	……	……	……
5. 瀝青 CS_2 %	9.1	8.6	9.1	8.7	8.91	9.47	9.05
6. 非瀝青質物質 %	90.9	91.4	90.9	91.3	91.09	90.53	90.95
7. 同上篩分 %							
25～mm 止リ	……	……	……	……	……	……	……
25～20mm	……	……	……	……	……	……	……
20～15mm	(1)1.1	(1)1.6	(1)1.7	……	……	……	……
15～10mm	12.2	13.3	18.5	(1)15.8	(1)15.94	(1)17.77	(1)17.74
10～ 5mm							
5～ 2.4mm	7.0	4.7	5.7	10.7	13.38	16.37	15.01
2.4 ～0.4mm	13.3	16.8	12.4	16.3	25.00	14.84	11.32
2.4 ～0.3mm							
0.4 ～0.18mm	30.1	25.9	33.2	7.2	10.70	17.60	23.86
0.3 ～0.15mm							
0.18～0.075mm	17.5	20.8	15.9	33.4	18.39	15.29	13.92
0.15～0.075mm							
0.075mm 通過	9.7	8.3	3.5	7.9	7.68	8.66	9.10
計	90.9	91.4	90.9	91.3	91.09	90.53	90.95
8. 靱性 ペーヂ 25°C	……	……	……	……	3.8	4.0	3.5
9. 硬度 ドリー	……	……	……	……	16.1	15.7	15.1
10. 磨耗量 ドリー mm	……	……	……	……	12.8	12.9	15.6
11. 軟化點 °C	35	38	36	39	28	35	35
12. 非瀝青質物質比重	(2.66)	2.66	2.66	2.65	(2.68)	(2.68)	(2.68)
13. 空隙率 %	(6.0)	11.2	12.0	9.0	(10.2)	(10.1)	(12.5)
14. 眞比重	(2.33)	2.34	2.33	2.34	(2.35)	(2.33)	(2.35)
15. 非瀝青質物質空隙率%（轢壓後）	(25.0)	28.4	30.0	26.8	(28.2)	(29.0)	(30.4)
備考						小學校內鋪裝	

第5表 アスファルト・コンクリート鋪裝切取試驗材成績一覽表 (4)

試驗番號	1173	1125	888	887	884	883	880
試料名	細粒アスファルト・コンクリート	同左	同左	同左	同左	同左	同左
施工場所	東京府志村	千葉縣市川	東京府板橋町	東京府澁谷川町	東京府南千住	東京府品川	東京府巢鴨町
試料受入年月日	7. 3.30	7. 1.13	6. 4. 6	6. 4. 6	6. 4. 6	6. 4. 6	6. 2.27
施工年月日	……	6.12.15	6. 3.31	6. 3.30	6. 3.23	6. 3.21	6. 2 26
試驗年月日	7 4.14	7. 1.26	6. 4.18	6. 4.18	6. 4.18	6. 4.18	6. 3.23
1. 厚 cm	5.6	4.2	6.45	6.33	6.94	5.11	5.42
2. 見掛比重 25°/25°C	2.06	2.06	2.16	2.21	2.17	2.31	2.30
3. 吸水率 1週間 %	0.71	2.16	……	……	……	……	……
4. 瀝青 CCl_4 %	……	……	……	……	……	……	……
5. 瀝青 CS_2 %	10.46	7.78	8.91	10.27	8.40	8.68	9.86
6. 非瀝青質物質 %	89.54	92.22	91.09	89.73	91.60	91.32	90.14
7. 同上篩分 %							
25mm 止リ	……	……	……	……	……	……	……
25～20mm	……	……	……	……	……	……	……
20～15mm	……	……	……	……	……	……	……
15～10mm	(1)15.68	3.32	(1)11.10	(1) 7.65	(1) 9.28	(1) 9.92	(1) 3.97
10～ 5mm		10.70					
5～ 2.4mm	16.56	7.06	17.33	18.48	17.60	22.52	15.78
2.4 ～0.4mm	14.42	11.35	15.34	16.73	18.63	14.13	17.69
2.4 ～0.3mm							
0.4 ～0.18mm	15.36	34.30	27.18	25.81	26.83	17.82	17.49
0.3 ～0.15mm							
0.18～0.075mm	17.96	15.77	11.96	11.97	9.51	9.12	18.11
0.15～0.075mm							
0.075mm 通過	9.56	9.72	8.18	9.09	9.75	17.81	17.10
計	89.54	92.22	91.09	89.73	91.60	91.32	90.14
8. 靱性 ペーヂ 25°C	3.0	……	6.3	5.8	6.3	6.3	6.3
9. 硬度 ドリー	15.9	……	16.7	16.9	16.1	17.0	16.9
10. 磨耗量 ドリー mm	15.1	……	9.4	9.2	10.9	8.4	8.4
11. 軟化點 °C	27	36	27	27	29	32	33
12. 非瀝青質物質比重	(2.68)	2.72	(2.67)	(2.67)	(2.67)	(2.67)	(2.67)
13. 空隙率 %	(10.5)	14.5	(7.9)	(4.0)	(8.1)	(2.0)	(0.6)
14. 眞比重	(2.30)	2.42	(2.34)	(2.30)	(2.36)	(2.36)	(2.32)
15. 非瀝青質物質空隙率% (輾壓後)	(31.2)	30.2	(26.4)	(25.8)	(25.6)	(21.2)	(22.4)
備考							

第5表　アスファルト・コンクリート鋪裝切取試驗材成績一覽表　(5)

試驗番號	879	844	829	713	712
試料名	細粒アスファルト・コンクリート	同左	同左	同左	同左
施工場所	巢鴨町	四號國道	四號國道	東京府	東京府
試料受入年月日	6. 2.27	6. 1.23	6. 1. 8	5. 3.10	5. 3.10
施工年月日	6. 2.25	6. 1.19	5.12.16	3.10.x	3.11.10
試驗年月日	6. 3.23	6. 1.29	6. 1.22	5. 4.20	5. 4.20
1. 厚 cm	5.56	5.16	5.45	5.81～5.37	4.29～4.41
2. 見掛比重 25°/25°C	2.26	2.08	2.08	2.32	2.25
3. 吸水率1週間 %	……	1.44	1.92	……	……
4. 瀝青 CCl_4 %	……	……	……	……	……
5. 瀝青 CS_2 %	9.16	9.46	8.37	10.04	11.12
6. 非瀝青質物質 %	90.84	90.54	91.63	89.96	88.88
7. 同上篩分 %					
25mm 止り	……	……	……	……	……
25～20mm	……	……	……	……	……
20～15mm	……	……	……	……	……
15～10mm	(1) 4.68	(1)10.12	(1) 9.89	(1) 9.5	(1) 4.9
10～ 5mm					
5～ 2.4mm	11.26	16.99	13.68	19.3	17.3
2.4 ～0.4mm	19.95	13.20	14.91	11.7	15.4
2.4 ～0.3mm					
0.4 ～0.18mm	19.89	32.37	23.82	33.8	27.2
0.3 ～0.15mm					
0.18～0.075mm	18.44	13.39	22.02	6.1	14.7
0.15～0.075mm					
0.075mm 通過	16.62	4.47	7.31	9.6	9.4
計	90.84	90.54	91.63	90.0	88.9
8. 靱性 ベーヂ 25°C	5.8	4.3	4.0	……	……
9. 硬度 ドリー	15.8	13.9	10.7	……	……
10. 磨耗量 ドリー mm	11.7	17.7	28.6	……	……
11. 軟化點 %	41	37	41	……	……
12. 非瀝青質物質比重	(2.67)	2.69	2.70	2.70	2.63
13. 空隙率 %	(3.3)	11.1	12.7	0.5	0.0
14. 眞比重	(2.34)	2.34	2.38	2.33	2.25
15. 非瀝青質物質空隙率 % (壓縮後)	(23.2)	29.9	29.5	22.8	24.3
備考				碎石は石灰岩	碎石は輝石安山岩にしてやゝ風化せるものの如し。

註　1. 篩分試驗の成績中(1)と記せるものは、2.4mm 以上の粗粒成分については、次記の數字の示す篩により試驗せるものである。

1″～¾″	25.4～19.0mm	¾″～½″	19.0～12.7mm
½″～¼″	12.7～ 6.3mm	¼″～2.0mm	6.3～ 2.0mm

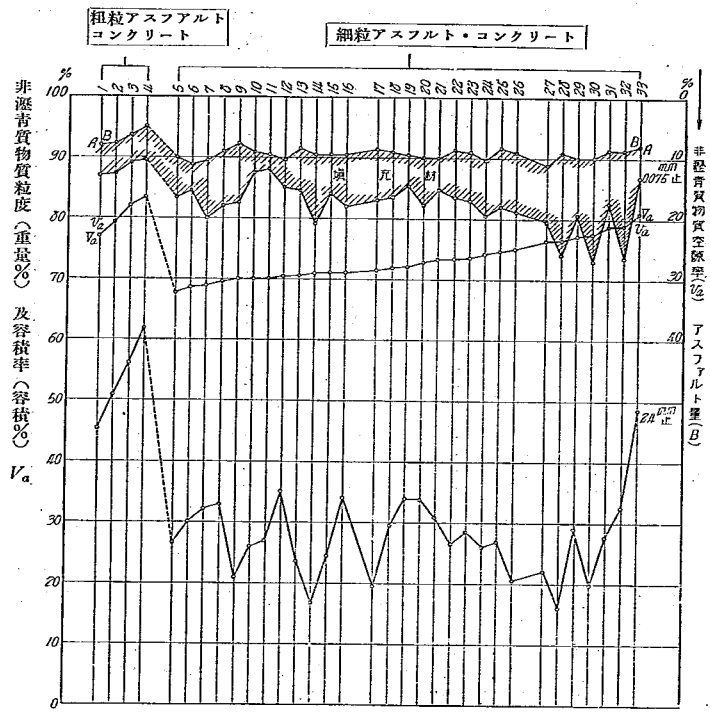
2. 非瀝青質物質比重の中括弧内の數値は推定に依るものである。
空隙率、眞比重、骨材空隙率中括弧内の數値は上記の推定非瀝青質物質比重の數値を用ゐて算出せるものである。

3. 吸水率

アスファルト・コンクリート鋪裝切取試驗材の吸水率（1 週間浸漬）は 0.04～2.16% であるが、1 週間の測定に於てはアスファルト・コンクリート中の空隙竝に碎石の空隙の一部に滲透吸收せられたる水の分量を示すに過ぎずして、これよりアスファルト・コンクリートの空隙率を算出するは困難である。アスファルト・コンクリートはシート・アスファルトと異り其の中に碎石を含有し、碎石は吸水性を有するを以つて、吸水率は必ずしも鋪裝の緻密の程度を窺ふ尺度とすることは出來ない。（22 頁第 7 圖參照）

4. 瀝青量

瀝青量は 5.21～11.2% 平均 8.79%; この中粗粒アスファルト・コンクリートの瀝青量は 5.21～8.14% 平均 6.82%; 細粒アスファルト・コンクリートの瀝青量は 7.78～11.2%



第 8 圖 非瀝青質物質の粒度

平均 9.04% にして、シート・アスファルトよりも少い。尙細粒アスファルト・コンクリートについて其の碎石の部分（2.4 mm 篩止り）を除いてアスファルト・モルタルの部分のみを取れば其の瀝青量は 9.9～16.0% 平均 13.0% にして、シート・アスファルトに比して瀝青量は概して多い。

5. 骨材（填充材を含む）の粒度

骨材の粒度及其の轢壓後に於ける空隙率を圖示せるものは第 8 圖（28 頁）にして、粒度と骨材空隙率との關係は本圖より見れば簡單に定めがたきも、概して填充材多きものは、非瀝青質物質の空隙率少である。又粗粒アスファルト・コンクリートは概して細粒アスファルト・コンクリートよりも非瀝青質物質の空隙率は少である。

6. 靱性、硬度、磨耗量

粗粒アスファルト・コンクリート中には 20 mm 以上の碎石を含むを以つて、靱性（ベーチ試驗機）；硬度（ドリー試驗機）試驗を行ひ難し。細粒アスファルト・コンクリート 10 餘種について之等の性質を見るに第 6 表の如く、大體に於て靱性、硬度、磨耗量等の良好なる成績を示すものは空隙率比較的少く、見掛比重大なるものに多い。之を瀝青量と比較

第 6 表　アスファルト・コンクリートの靱性、硬度、磨耗量

番號	試驗番號	瀝青量 鋪装に對する %	瀝青量 アスファルト・モルタルに對する %	見掛比重	空隙率 %	靱性 ベーヂ 25°C	硬度 ドリー	磨耗量 ドリー
1	883	8.9	14.3	2.31	2.0	6.3	17.0	8.4
2	880	9.9	12.3	2.30	0.6	6.3	16.9	8.4
3	888	8.9	12.4	2.16	7.9	6.3	16.7	9.4
4	884	8.4	11.5	2.17	8.1	6.3	16.1	10.9
5	887	10.3	13.9	2.21	4.0	5.8	16.9	9.2
6	879	9.2	10.9	2.26	3.3	5.8	15.8	11.7
7	1175	9.5	14.4	2.10	10.1	4.0	15.7	12.9
8	1176	8.9	12.6	2.11	10.2	3.8	16.1	12.8
9	1174	9.1	13.5	2.05	12.5	3.5	15.1	15.6
10	1173	10.5	15.5	2.06	10.5	3.0	15.9	15.1
11	844	9.5	13.0	2.08	11.1	4.3	13.9	17.7
12	829	8.4	10.9	2.08	12.7	4.0	10.7	28.6
最小		8.4	10.9	2.05	0.6	3.0	10.7	8.4
最大		10.5	15.5	2.31	12.7	6.3	17.0	28.6
平均値		9.3	12.9	2.16	7.7	5.0	15.6	13.4

するに、一定の關係を見出し難く、又碎石を除くモルタルに對する瀝青百分率と比較するも、其の間に關係を見出し得ない。之に依つて見れば、之等の性質は輾壓の良否に最も多く支配せらるゝものに非ずやと考へらるゝも、本試驗の範圍内にては、其の原因を適確に示し難い。又之等の性質が碎石の種類、性質によりて變化せしめらるゝことも亦當然考へらるゝも、其の關係は本試驗にては全然不明である。

第7表　アスファルト・コンクリートの軟化點と瀝青量

番號	試驗番號	瀝青量		軟化點 °C
		鋪裝に對する%	アスファルト・モルタルに對する%	
1	1419	8.1	15.7	73
2	879	9.2	10.9	41
3	829	8.4	10.9	41
4	1265	8.7	11.8	39
5	1299	8.6	10.7	38
6	844	9.5	13.0	37
7	1125	7.8	9.9	36
8	1285	9.1	12.3	36
9	1415	9.9	13.4	36
10	1306	9.1	11.4	35
11	1417	10.0	14.9	35
12	1174	9.1	13.9	35
13	1175	9.5	14.4	35
14	1466	10.3	15.9	33
15	880	9.9	12.3	33
16	1309	9.4	11.3	32
17	1321	8.6	11.9	32
18	1416	10.0	14.3	32
19	1467	11.2	16.0	32
20	883	8.7	14.3	32
21	1464	9.5	14.4	31
22	1465	9.4	12.5	30
23	884	8.4	11.5	29
24	1176	8.9	12.6	28
25	1173	10.5	15.5	27
26	887	10.3	13.9	27
27	888	8.9	12.4	27
最小		7.8	9.9	27
最大		11.2	16.0	41
平均値		9.3	13.0	33

第6表（29 頁）によれば、アスファルト・コンクリートの靱性（ページ試驗機 25°C）は 3.0～6.3 の間にあり、硬度（ドリー試驗機）は 10.7～17.0; 磨耗量（ドリー試驗機）は 8.4～28.6mm の間にある。

7. 軟 化 點

アスファルト・コンクリートの軟化點は 27～41°C; 平均 33°C を示し、之をシート・アスファルトの軟化點と比較するにやゝ低し。之れはアスファルト・コンクリート中より碎石を除きたるアスファルト・モルタルについて考ふるに、其の瀝青量はシート・アスファルト中の瀝青量よりも多き（瀝青量はアスファルト・モルタルに對し 9.9～16.0% 平均13.0% に當る）に依るものの如し。（第7表參照）

III 空隙率及其の他の性質

アスファルト・コンクリートの空隙率（v）、見掛比重（S）、非瀝青質物質の重量百分率（A）、其の比重（S_a）、瀝青重量百分率（B）、其の比重（S_b）、アスファルト・コンクリート眞比重（S_t）、非瀝青質物質容積率（V_a）、瀝青容積率（V_b）、非瀝青質物質輾壓後空隙率（v_a）等に關しては、シート・アスファルト表層の場合と同樣にして、上記第5表（1）～（5）の試驗成績より、其の相互の關係を知ることが出來る。

1. アスファルト・コンクリートの眞比重（S_t）

$B=1.04$ なる假定の下に、上記 33 種のアスファルト・コンクリートの眞比重を求むれば、第8表（32頁）5行目に列記せるごとく、最小 2.25 最大 2.49 平均 2.344 を示して居る。而してこの中粗粒アスファルト・コンクリートの眞比重は 2.40～2.49 にして、細粒アスファルト・コンクリートの眞比重は 2.25～2.42 平均 2.325 である。之をシート・アスファルトの眞比重に比較すればいづれも大である。更に見掛の比重 1.99～2.37 に比すれば、兩者の差の大なるものより0に近きもの迄種々ありて、一般に幾分の空隙を存することが想像せられる。

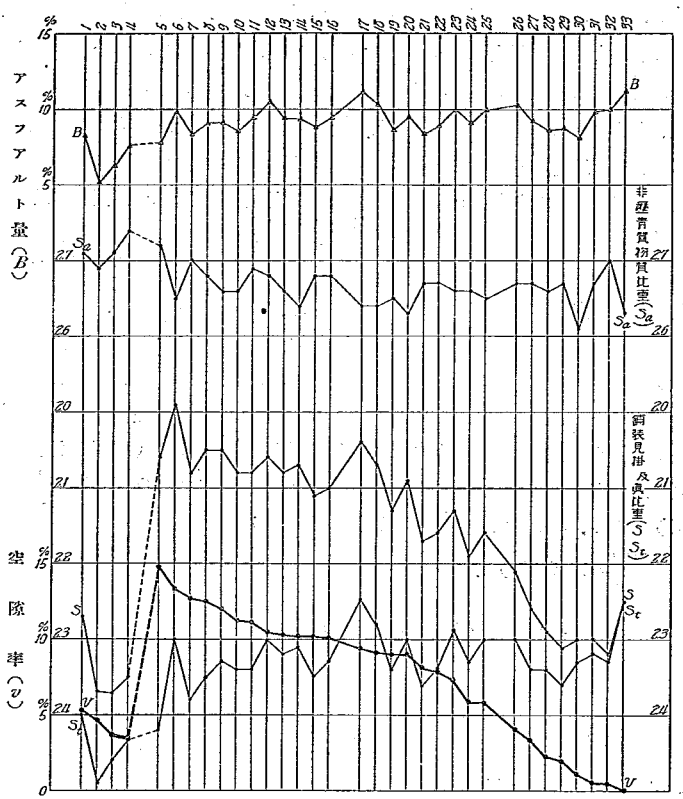
2. 空 隙 率（v）

アスファルト・コンクリートの空隙率（v）は、見掛比重大にして、瀝青量多く、非瀝青質物質の比重小なる程少いことは、シート・アスファルト表層の場合と同樣である。試驗の結果より算出せる空隙率は第8表4行目に列記するごとく、0.0～14.8% 平均 7.3% にして、この中粗粒アスファルト・コンクリートに於ては空隙率は 3.5～5.3% を示し、細粒アスファルト・コンクリートに於ては 0.0～14.8% 平均 7.7% を示して居る。空隙率の順位に從ひ之を見掛比重、瀝青量、非瀝青質物質比重等と共に圖示すれば、第9圖の如く

第8表 アスファルト・コンクリートの空隙率及其の他の性質

	1	2	3	4	5	7	8	9	6
	見掛比重	瀝青含有量	非瀝青質物質比重	鋪装の空隙率	眞比重	瀝青容積率	非瀝青質物質容積率	非瀝青質物質空隙率	備考
	S	B	S_a	$v=100\left(1-\frac{S}{S_t}\right)$	$S_t=\frac{100S_aS_b}{AS_b+BS_a}$	$V_b=\frac{SB}{S_b}$	$V_a=\frac{SA}{S_a}$	$v_a=100-V_a$	
		%		%		%	%	%	
1	2.27	8.14	(2.71)	5.3	2.40	17.8	76.9	23.1	粗粒アスファルト・コンクリート
2	2.37	5.21	2.69	4.7	2.49	11.9	83.4	16.6	
3	2.37	6.26	2.71	3.7	2.46	14.3	82.0	18.0	
4	2.35	7.68	2.74	3.5	2.43	17.3	79.2	20.8	
1	2.06	7.78	2.72	14.8	2.42	15.4	69.8	30.2	細粒アスファルト・コンクリート
2	1.99	9.9	2.65	13.3	2.30	19.0	67.7	32.3	
3	2.08	8.37	2.70	12.7	2.38	16.8	70.5	29.5	
4	2.05	9.05	(2.68)	12.5	2.35	17.9	69.6	30.4	
5	2.05	9.1	2.66	12.0	2.33	18.0	70.0	30.0	
6	2.08	8.6	2.66	11.2	2.34	17.2	71.6	28.4	
7	2.08	9.46	2.69	11.1	2.34	18.8	70.1	29.9	
8	2.06	10.46	(2.68)	10.5	2.30	20.7	68.8	31.2	
9	2.08	9.4	(2.66)	10.3	2.32	18.8	70.9	29.1	
10	2.07	9.4	2.64	10.2	2.31	18.8	71.0	29.0	
11	2.11	8.91	(2.68)	10.2	2.35	18.0	71.8	28.2	
12	2.10	9.47	(2.68)	10.1	2.33	18.9	71.0	29.0	
13	2.04	11.2	2.64	9.4	2.25	22.0	68.6	21.4	
14	2.07	10.3	2.64	9.1	2.28	20.5	70.4	29.6	
15	2.13	8.7	2.65	9.0	2.34	17.8	73.2	26.8	
16	2.09	9.5	2.63	9.0	2.30	19.1	71.9	28.1	
17	2.17	8.40	(2.67)	8.1	2.36	17.5	74.4	25.6	
18	2.16	8.91	(2.67)	7.9	2.34	18.5	73.6	26.4	
19	2.13	10.0	2.66	7.3	2.29	20.4	72.3	27.7	
20	2.19	9.1	(2.66)	5.8	2.33	19.2	75.0	25.0	
21	2.16	10.0	2.65	5.8	2.30	21.0	73.2	26.8	
22	2.21	10.27	(2.67)	4.0	2.30	21.8	74.2	25.8	
23	2.26	9.16	(2.67)	3.3	2.34	19.9	76.8	23.2	
24	2.29	8.6	2.66	2.3	2.34	18.9	78.8	21.2	
25	2.31	8.63	(2.67)	2.0	2.36	19.2	78.8	21.2	
26	2.30	8.1	2.61	1.1	2.33	17.9	81.0	19.0	
27	2.30	9.86	(2.67)	0.6	2.32	21.8	77.6	22.4	
28	2.32	10.04	2.70	0.5	2.33	22.3	77.2	22.8	
29	2.25	11.12	2.63	0.0	2.25	23.3	76.7	23.3	
最大値	2.37	11.2	2.72	14.8	2.49	23.3	83.4	32.3	
最小値	1.99	5.21	2.61	0.0	2.25	11.9	67.7	16.6	
平均値	2.17	8.79	2.67	7.3	2.344	18.8	73.9	26.1	
細粒アスファルトコンクリート平均値	2.14	9.04	2.66	7.7	2.325	19.3	73.0	27.0	

大體に於て、空隙率大なる程見掛の比重は少であるが、見掛比重のみから空隙率の大小を判斷し得ない事が認められる



第9圖　アスファルト・コンクリートの空隙率と、見掛比重、眞比重、瀝青量、非瀝青質物質空隙率との關係

3. 非瀝青質物質の空隙率及容積率竝に瀝青容積率（輾壓後）

輾壓後に於ける非瀝青質物質の容積率（V_a）瀝青の容積率（V_b）非瀝青質物質の空隙率（v_a）を求むれば、第8表（32頁）中7行目、6行目及8行目に列記せる如くで、之を圖示すれば第10圖の如くである。第10圖中 vv は鋪裝の空隙率 v を示し、v_a v_a（V_a V_a）は非瀝青質物質の輾壓後の空隙率 v_a（又は其の容積率 V_a）を示して居る。この二線間の

距離は瀝青の容積率 V_b を示す。又 V_b V_b は瀝青の容積率 V_b を示したもので、v_a v_a 及 V_b V_b の二線間の距離は鋪裝の空隙率 v を示して居る。

第10圖より見れば、アスファルト・コンクリート中の非瀝青質物質輾壓後の空隙率(v_a)は最小 16.6% 最大 32.3% 平均 26.1% にして、この中粗粒アスファルト・コンクリートの非瀝青質物質空隙率は 16.6～23.1% にして概して少く、細粒アスファルト・コンクリートの非瀝青質物質空隙率は 19.0～32.3% 平均 27.0% にして、之より大であるが、シート・アスファルト鋪裝表層の非瀝青質物質空隙率に比すればいづれも少き傾向にある。

而して非瀝青質物質の空隙率 v_a は、大體に於て、鋪裝の空隙率 v と平行して居る。從つて空隙少きアスファルト・コンクリート鋪裝を得んとするには、先づ非瀝青質物質の空隙率少きものを要し、之が爲には輾壓の効果を充分ならしむると共に非瀝青質材料自身の粒度的配合に注意して其の空隙を少からしむる必要がある。輾壓後に於けるアスファルト・コンクリートの非瀝青質物質の空隙率は輾壓不充分なりと思はるゝものを除きては、大畧細粒アスファルト・コンクリートにありては 27.0% 前後或は其以下、粗粒アスファルト・コンクリートにありては 23.0% 前後或は其以下である。今通常達し得べき良好なる場合として、非瀝青質物質の空隙率、27.0% (細粒)、或は 23.0% (粗粒)、鋪裝空隙率 5 %とを取りて考ふるに、之に要する瀝青の量は、容積に於て 23.0% (細粒) 或は 18.0 % (粗粒) にして、重量に於ては次の如くである。

$$\left.\begin{aligned} \frac{SA}{S_a} &= 73 \text{ (細粒) 或は } 77 \text{ (粗粒)} \\ \frac{SB}{1.04} &= 22.0 \text{ (細粒) 或は } 18.0 \text{ (粗粒)} \end{aligned}\right\} A+B=100$$

より B を求むれば

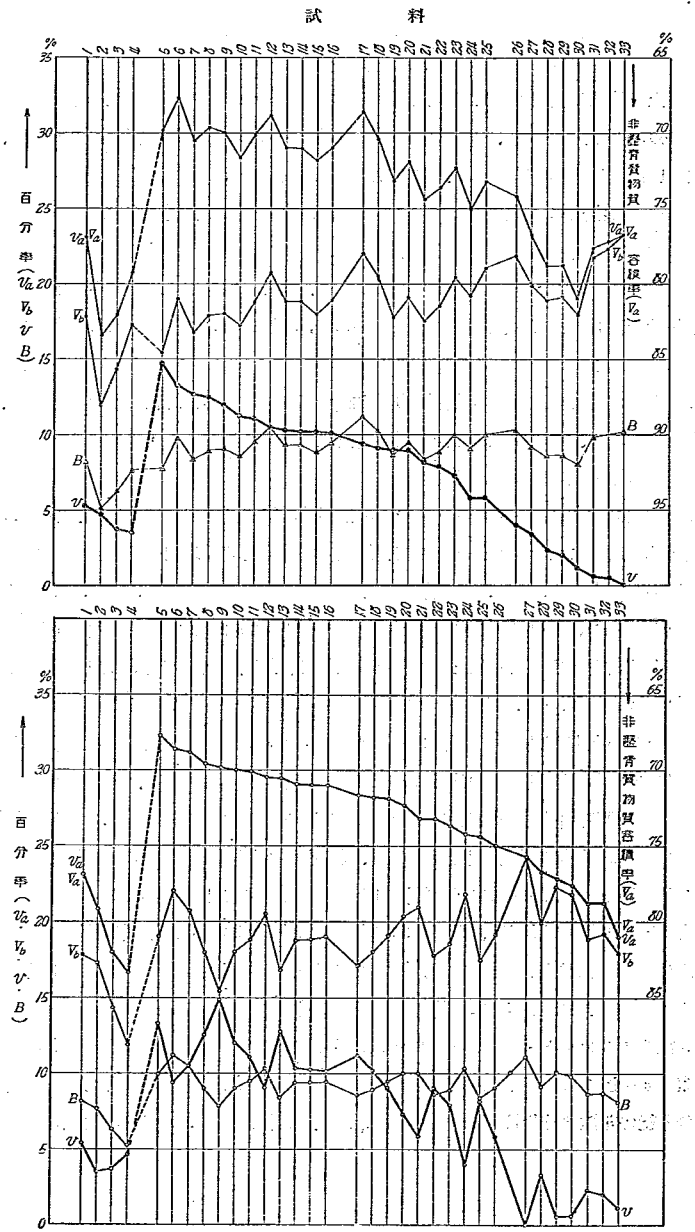
$$B=\frac{100}{1+\frac{73S_a}{1.04\times 22}}\text{(細粒)或は}\frac{100}{1+\frac{77S_a}{1.04\times 18}}\text{(粗粒)}$$

にして、$S_a=2.60$～2.80 の場合には、$B=10.1$～10.8 (細粒) 或は $B=8.0$～8.6% (粗粒) となり、アスファルト・コンクリートの空隙を 5% 前後に止めんとするには通常の非瀝青質材料を用ゐたる場合アスファルトの量は 10.5% 前後 (細粒)、或は8.5% 前後(粗粒)を要し、之をシート・アスファルト表層の 12.0% 前後を要するに比し約 1.5% 乃至 3.5%少い。

この場合に於ける鋪裝の眞比重及見掛の比重は次の如くである。

	細粒	粗粒
眞比重	2.24～2.39	2.31～2.46
見掛比重	2.13～2.27	2.19～2.34

從つて輾壓の程度は見掛比重 2.13～2.27（細粒）若しくは 2.19～2.34（粗粒）の程度迄行はなければならない。



第10圖　アスファルト・コンクリート空隙率と非瀝青質物質及瀝青の容積率との關係

IV 要 約

1. 上記試驗の範圍内に於ては、細粒アスファルト・コンクリートの見掛の比重は 1.99～2.32 の範圍内にありて、差異大である。眞比重は 2.25～2.42 の範圍内にありて、見掛の比重に比すれば其の差異少く、從つて見掛の比重は或る程度まで細粗アスファルト・コンクリートの空隙率の變化を示すものなるも、空隙率は非瀝青質物質の比重及アスファルト量に依りても異る。

粗粒アスファルト・コンクリートに關しては、試料の數少きを以つて多く言ふを得ざるも本試驗の範圍内にては、見掛比重 2.27～2.37, 眞比重 2.40～2.49 にして其の空隙率は 3～5% 程度に止る。

2. 大體に於て輾壓後の非瀝青質物質の空隙率小なるものは鋪裝の空隙率も少く、從つて實際に於ては、其の粒度的配合と輾壓の程度とはアスファルト・コンクリートの空隙率を支配すること最も大なりと認められる。

3. 細粒アスファルト・コンクリートの輾壓後非瀝青質物質の空隙率は、通常 27% 前後或は其れ以下に止め得べきを以つて、鋪裝の空隙率を 5% 以内に止めんとするには、非瀝青質物質の比重 2.60～2.80 の範圍に於ては、アスファルト量 10.1～10.8% 程度或は其れ以上を要する。粗粒アスファルト・コンクリートの場合は非瀝青質物質の輾壓後空隙率は 23% 前後或は其れ以下に止め得べきを以つて、鋪裝の空隙率を 5% 以内に止むるにはアスファルト量 8.0～8.6% を要する。

4. 上記の事實を要約すれば、アスファルト・コンクリートに於て空隙率少き鋪裝を得んが爲には、非瀝青質物質の比重 2.60～2.80 の範圍内にありては、其の粒度的配合に注意して、非瀝青質物質の空隙率を低下すること、アスファルト量は 10.1～10.8% (細粒) 或は 8.0～8.6% (粗粒) 程度とすること、輾壓の効果を充分ならしめ見掛の比重 2.12～2.27 (細粒) 或は 2.19～2.34 (粗粒) 以上に達せしむることが必要である。

(以上は空隙率 5% 以下、輾壓後非瀝青質物質空隙率 27% 以下 (細粒)、或は 23% 以下 (粗粒) を目標とせるもので、鋪裝安定度の上より言へば、アスファルト量を過多に使用することの避くべきは勿論のことである。)

5. 細粒アスファルト・コンクリート工事の實際に當りては、空隙率 10% を超ゆるものは空隙多きに過ぐるものと見做して可なるべく、10% 以内のものは差支なしと思はる。この場合上記の非瀝青質物質に對しては、鋪裝の見掛比重 2.08～2.22 以上なることを要

する。

6. アスファルト・コンクリートの吸水率は必ずしも其の空隙率即鋪裝の緻密の程度を窺ふ尺度とすることは出來ない。

7. アスファルト・コンクリートの軟化點は概してシート・アスファルトの軟化點より低く、40°C 以下にして平均 33°C 前後である。

8. 上記試驗成績の最大、最小、平均値を示せば第9表の如くである。

第9表　アスファルト・コンクリート切取試驗材試驗成績の最大、最小及平均値

試驗項目	粗粒アスファルト・コンクリート			細粒アスファルト・コンクリート		
	最小	最大	平均値	最小	最大	平均値
1. 厚 cm	5.9	8.3	7.1	4.2	6.9	5.5
2. 見掛比重 25°/25°C	2.27	2.37	2.34	1.99	2.32	2.14
3. 吸水率1週間 %	0.30	0.52	0.43	0.04	2.16	0.93
4. 瀝青 CCl_4 或は CS_2 %	5.21	8.14	6.82	7.78	11.20	9.04
5. 非瀝青質物質 %	91.86	94.79	93.18	88.80	92.22	90.94
6. 同上篩分 %						
25mm 止り	1.86	6.76	4.80	……	……	……
25～20mm (1～¾″)	6.06	12.84	8.54	……	……	……
25～15mm (¾～½″)	9.25	13.66	12.25	1.1	1.8	0.2
15～10mm (½～¼″)	9.36	26.19	23.43	4.68	29.4	15.17
10～ 5mm						
5～ 2.4 (¼″～2.4mm)	3.45	9.61	4.47	3.2	22.52	11.45
2.4 ～0.4mm	5.73	8.91	7.00	7.1	25.0	14.61
0.4 ～0.18mm	17.26	23.20	19.81	7.2	34.3	24.5
0.18～0.075mm	3.65	15.76	7.94	5.2	33.4	15.9
0.075mm 通過	4.48	5.20	4.86	3.5	17.81	8.8
計	91.86	94.78	93.18	88.8	92.22	90.9
7. 靱性ペーヂ 25°C	……	……	……	3.0	6.3	5.0
8. 硬度ドリー	……	……	……	10.7	17.0	15.6
9. 磨耗量ドリー mm	……	……	……	8.4	28.6	13.4
10. 軟化點 °C	……	……	……	27	41	33
11. 非瀝青質物質比重	2.69	2.74	2.71	2.61	2.72	2.66
12. 眞比重	2.43	2.49	2.45	2.25	4.42	2.325
13. 空隙率 %	3.5	5.3	4.3	0.0	14.8	7.7
14. 非瀝青質物質空隙率 %	76.9	83.4	80.4	67.7	81.0	73.0
15. 非瀝青質物質容積率 %	16.6	23.1	19.6	32.3	19.0	27.0
16. 瀝青容積率 %	11.9	17.8	15.3	11.9	23.3	19.3

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

內務技師　島田八郎
福島彌六

(本報告中緒言第一章第二章第三章第四章第五章を記述せるは主に著者の一人島田、第六章は福島の記述せるものである。)

目　次

緒言 ……(1)
第一章　一般的に見たる分散系に於ける分散質分布に就て ……(2)
第二章　鋪裝用瀝青乳劑に於ける瀝青粒子の分布法則理論式の誘導竝に物理的意義に就て ……(9)
第三章　鋪裝用瀝青乳劑の粒子分布の實驗的研究 ……(23)
第四章　分散系に於ける粒子分散度(粒子平均直徑)と分散系諸物性との相互關係に就て ……(30)
第五章　瀝青粒子分布に關する以上の結論 ……(35)
第六章　實驗試料とし使用せし道路鋪裝用瀝青乳劑の一般性狀に就て ……(36)
引用文獻 ……(40)
顯微鏡寫眞　第1, 第2, 第3 ……(44)
附圖　第1及至第11 ……(47)
別表　第1及至第12 ……(53)

緒　言

道路鋪裝用として近來使用せられてゐる瀝青乳劑は外觀上褐色又は黑色を有する瀝青物質の微粒子の懸濁液又は乳濁液であることは疑ふ餘地のない事實である。斯の如き分散系

には之を實際使用する點より種々の特性が必要とされてゐる。この一般試驗法は土木試驗所報告工事用材料標準試料方法[1]に詳しく記載されてあるも今其の中より二三重要なるものに就き考ふるに粘性、瀝青質含有量及び外界の影響に對する對應的性質として、分解速度、分解値、貯藏、低溫に對する安定度等がある、此等のものは乳劑の二成分卽ち分散質(Disperse Phase), 分散媒 (Dispersionsmittel) 及び其等相互の關係により支配されるものである。今此等の個々の物質及に相互的特性が如何に乳劑としこの全系の特性に影響を持つかといふ事は純理論的立場より見るも重要なる諸問題を包含してゐるが、一方實用上の立場より考ふるに乳劑を各種の目的に使用する場合は勿論のこと，新らしく或る目的を有するものを作らんと試みる場合にも或る指針を與ふるに與つて力がある。斯の如き見地より乳劑として此等特性と成分相互の間に理論的考察を爲さんとする。先づ第一に乳劑中に於ける分散質の物理的狀態が諸性質に及ほす影響を求める必要がある。此處に云ふ物理的狀態とは分散質分散媒の平衡狀態を指すものである。換言すれば分散質の分散狀態が分散系に及す物性上の影響に關する事に歸着する。然るに分散とは如何なる媒介變數にて之を示し得るか、又系の分散なるものは一義的に明白に之を他の物理的性質の組合にて示し得るか、卽ち媒介變數は一元的なるか多元的なるかといふ根本的法則に就き研究して確かめをく必要がある。上の趣旨に由り本報告は主として道路鋪裝用瀝青乳劑に就き之が吟味を試みたものであるが、同時に比較對照として他の自然現象中に於ける之等分散系の分散實例にも二三論及した。本報告に於ては一般市販の各種瀝青乳劑に就き顯微鏡寫眞法を用ひ各種に於て平均 1000 個以上の分散質の微粒子に就き分布を調べ統計力學的方法を用ひ力學的平衡問題に歸し分散度の意義竝びに其の存在性を吟味し實驗結果と之を比較し一つの明瞭なる概念に到達することが出來た。

第一章 一般的に見たる分散系に於ける分散質分布に就いて

一般に自然界を見る際、今土木工事用材料の如きものに視野を限るも岩石の塊、河底に存する砂利石等より小は粘土の如き 1μ 附近の微粒子の集合體に至る種々なる粒子の集團が存在してゐる。斯く吾人の視野を如何る程度に制限するかにより各種多樣の組合せが存在する。今此等のものに就き特定された視野內に於て單位體の無限數に近き數を取扱ひ其

の形狀、大きさが如何なる法則により支配されてゐるかを洞察する事は人文學的意義を有する自然力の作用の一端を窺ひ知る事が出來又原子分子大に近き微粒子に働く微妙なる現象の機構をも洞察する事が出來る、然るに兩者は共に一つの自然現象であり唯無限數の現象をとる事により眞相の觀察せらるものなることに着眼すれば共に一つの確率的變動(Schwankung)の問題を與へ議論の對照は我等の取扱ふ世界卽ち巨視的(Makroskopisch)と稱する範圍を如何なる程度に制限し實測し實驗と對照するかに由り種々の場合を生ず。著者等が實際實測値と理論とを比較する場合所謂普通の意味に於ける微視的 (Mikroskopisch) の範圍が比較的容易に視野に入るものなれば考察實測を行ふ際斯る系を取扱ふ事は種々便宜の點が多い。單位體個々の通常の意味に於ける有限大のもの、無限小に近き細微のものの兩者に於て確率的變動(Schwankung)としては同じ傾向に立つが、兩者に於ける分布の平衡狀態を支配する要素には種々輕重あり時には符號の逆になる事すらあり得る。斯の如く各種要素による組合せ結果として我等の觀察する分布は複雜な結果を與へ時には一見各結果には全く何等相通ずる事なきかの如き感すら呈する事がある。本報告次章に於て詳細に論及せんとする瀝青乳劑に於ける分散質分散の問題に比較對照し分布法則を歸納する助けにせん爲めに,1－10μ の程度の大きさを有する微粒子を含む分散系に就き分散に關する研究を調べん。研究對照にとりし種々多樣の材料には種々異る狀態を呈してゐるものあり、且つ此の程度のものは觀察にも比較的簡單な方法で所要の目的を達する事が出來る、微粒子系に於ける其の分散質に働く作用は系内の分散媒との界面に働く力に基くものに主として支配されることは單位質量に對する表面積の過大する事より之を知る事が出來る。此處に云ふ分散系とは必ずしも二要素共に液體なる事を意味してゐない。一方が氣體又は空氣にて他方が固體狀のものをも含む場合もあり得る。前記の例により明かなるも分散質が接面應力に抵抗し得るものなるか然らざるものかにより區別し觀測さるべきものであるが、兎に角分散質の系内に於ける狀態は界面を通じて行はれ，二ツ又はそれ以上の要素間の作用により平衡を保てゐるものである。微視的 (Mikroskopisch) の觀察による偏差を度外視すれば或る時間の内の平均値は一定の平衡に達するもので、熱力學分子運動的に之を觀察するもブラウン運動の平衡狀態に達するものにて Smoluchowski氏[2], Einstein氏[3]の理論の外に實驗的にもガンボージユ乳濁液の J. Perrin氏[4], ゴム水溶液、リイシン油、アラビヤゴム乳濁液の M. Rene氏[5], B. Iljin氏[6] の研究によるもかゝる見地に立つ事の正しき事が分る。道路鋪裝用乳劑にても顯微鏡寫眞第三試料 N 號に見る如く粒子は相當活潑に動いてゐる、N號撮影の時間は$\frac{1}{4}$秒である。この問題に就いては更に詳しく第二第三章に更

に論及する積りである。上述の諸研究は主として一様なる粒子の存在を先天的(à prior)に假定したものである。微粒子の界面現象に關しては Raffo氏[7] が 1908 年分散度（一様性ならざる事）の重要性を强調せし以來二三の人々により注意が喚起せられるに至つたものである。粒子の分布狀態を觀察するに分散度に從ひ二大別し得るものにて定性的に見て分散度の大のものと然らざるものとに別け夫々を均一性 (gleichkörnig ; isopsegmatisch) と不均一性 (ungleichköring ; aniopsegmatisch) と稱す。但し psegma は粒子 (Partikel) を意味す。分散度を定めるには基本的な顯微鏡によるものが最終の判定を下すものであるが相當信賴度のものを得るには少くとも統計的に考へて合理的な粒子數をとらねばならない。少數をとるなら無意義であるから實測に多くの時と手數を要し、時には試料作成中に變質を來すものあるを以て古くより遠心分離法により分布の研究をする他光學的濁濁液と濃度分布の關係より又は沈澱量と時間曲線より圖式法により分布を求むる等適當なる方法を試料に應じ試み分布を研究を行つたものである。瀝青乳劑類似の大きさのこれ等分散質の諸實驗の分布結果を通觀し其の機構を見る爲め先づ分散質の性質により分類を試みん。粒子と分散媒の界面特性が一様なるものと或る種の極性 (Polarität) を持つ場合に分けて見よう。

(i) 接面應力抵抗性の有無によらず粒子が邊周に於て一樣な特性を持つ場合(粒子の形狀球形をとり得る如きもの)

Svedberg, K. Estrup氏[8]が水銀、ゴム、乳濁液の粒子分布を Stokes の方法及びブラウン運動の位置移動により分布を研究し其の最大濃度を示す直徑として水銀ゾルにて 0,5 μ, ゴムゾルにて 2,5 μ を得てをり分散度の定義として下の如き結論を得た。

分散度 ∞ 1/平均直徑 ……(1)

更に Jvar Nordlund氏[9] は「カールバウム」純水銀より機械的、分散法熱的其の他交道流電氣的分散法により水銀の分散系を得、それ等に就き粒子分布曲線を Stokes の原理に基く方法により求めた。合成法により如何に分布の有樣が異るかを實驗的に調べたもので分布を支配する法則に關しては少しも觸れてゐない。Freundlich氏[10]等は微粒子分布は一般確率問題に屢々用ひられる如きガウス誤差函數、マツクスウエル速度分布 (Gauss': Fehlerfunktion ; Maxwell : Geschwindigkeit Verteilung) の法則に從つて分布する傾向があると述べてゐる。實驗的にかゝる形の分布を得てゐるものに E. O. Kraemer 氏, A. J. Stamm氏[11] の「ベンジン」油－水乳濁液に於て Stokes 法を利用せる液柱側面壓の測定法により之れを求めた。同時に均整法(Homogenization)の効果をも調べた。分布曲線を見るに最大濃度百分率の大のものは確率半徑が小で然も最大點に對し左右對照でないこと

が分る。原著者等はこの非對照形に觸れてゐないのであるが後章本報告理論の他の一例である。これに類似のものに E. K. Fischer, W. D. Harkins氏[12]が「フィノール」「スタノラツクス」油 (Finol, stanolax oil) の乳濁液を作り約 1000 個以上の粒子に付き顯微鏡的法を用ひ分布曲線を求めた。O. Sibree氏[13]もパラフィン油の石鹸乳濁液にて顯微鏡的方法により顯微鏡寫眞に於て二つの標準同心圓を作り之を用ひて粒子の大きさを定め分布曲線を求めた。光學的に取扱ひ得るものに就いては A. J. stamm, T. Svedberg氏[14]の方法及び改良自記式に依るものは顯微鏡法に依る結果と相一致せる結果を與へてゐる。最近のものに光電管增幅器を應用し N. N. Andrejew氏[15]、松井元太郎博士及び野田、神田、小山田諸氏[16]共同の Al_2O_3, CaO, $Mg(OH)_2$ 陶土, Magnesia, FeO, 粒子に付き分布曲線を求めたものがあるが、試料として粒子は各試料に就き 50 個をとり顯微鏡的方法で判定を下したことを附記してゐる。分散度そのものに就いては論及されてゐない樣であり、且つ測定結果より見るに分散に對する意義は (1) 式の定義範圍を出ない樣である。

(ii) 粒子の邊周の各點が特異な極性 (polarität) をとり得る場合。

斯る分散系の一例として寫眞化學の方面に於て粒子の粗密度卽ち銀臭化物粒子の分散狀態が感光度、陰畫の精度に重要な關係を有するもので E.P. Wightman, A.P.H. Trivelli, S.E. Sheppard氏[17]等の研究がある。此等に依れば粒子分布は先天的 (à prior) に單純に考へた Maxwell の速度分布の式には從はず Loveland の實驗式

$$y=Ae^{-k'(\ln x-a')^2} \quad \cdots\cdots(2)$$

但し x は；1 粒子の表面積を示す

の如きものに一致すると述べてゐる。Zernick氏[18]は粒子の生長がその或る瞬時の粒子の大きさに逆比例するとの假定で (2) の如き形式の分散式を理論的に得た。Wightman 氏の研究の對照物なる銀臭化物は瀝青乳劑の如く球形でなく變形して凹凸面を持つてゐる。粒子發生の際の機構を考ふるに成生成長の現象が伴つてゐるから Maxwell, Gauss の確率を礎とせる或る意味に於て單調な分布を生ずる場合とは趣を異にせるは當然である。(2) 式は表面積に對する分布であるが, $x=\frac{\pi}{4}Z^2$ と置く事により直徑に對する式

$$y=Ae^{-k'(\ln Z-a')^2} \quad \cdots\cdots(2)'$$

を全く (2) と同形に導く事を得。和田氏はこの分布に關する實狀を闡明する爲め銀臭化物につき實測し Loveland 形式の最も良く實測に一致するを見た。時には二種以上の (2) 式を用ひて、卽ち唯媒介變數 (k, a) の異なる二種の分動曲線を一組としこの一組を用ひて實測結果による一種の分布を示し得る場合がある事を指摘してゐる。之れに對しかかる

乳濁物は二種以上の分散系の混合によるとするものと、粒子生成過程の際に發生する周期的不連續現象によるもので Liesegang 環の發生と類似の要素に因ると考ふるものと二者あり、後者は S. E. Sheppard氏[20] 等の主張するものである。かかる考察は最近之の種の不連續現象の多種が發見せられ檢討されつゝあるを見れば、一理の存するを信ずるものであるが、果して銀臭化物粒子の發生にかかる現象を持つてゐるかの眞相を見定めるには更に一段と深く研究の後決定さるべきであらう。又粒子の周圍の各點が同じ極性を持たざることの一表現としては分散質が生成の際接面抵抗を呈し得る場合にて微粒子生成の際種々破壞現象を伴ひて（時には破壞後摩擦現象の强度に伴ふ場合もある）所謂碎片發生の過程的現象である。斯くの如き場合には當然粒子の形狀竝に大きさ等少くとも二つの分散要素が存在し此等を如何なる尺度にて測るかは重大なる事にて一層分散に關しての複雜化を示すものである。骨材等の粒子に關する研究にはかかる二元の研究が必要であるが今各粒子を 1－10μ の範圍に限るを以て特に形狀分布を度外視し大きさの分布に就き考察せん。斯る二元的考察は機會を得て試る事があらう。形狀の分散度を度外視せる點大なる曖昧さを有してゐるが、H. W. Gonell氏[21] は形狀球ならざる、セメントの如き微粒子に就き 1－50μ 程度のものを彼の考案になる加壓空氣分離器 (Windschichter) を用ひて其の微片の分散度を求めた。分散度は稍急激であるが最大瀕度點に對し左右對稱でないことが著しく表はれてゐる。粘土の粒子分散度も粘土の品質撰定、含水量、其の他物理的諸性質に關係を有する爲めこれが測定は從來 S. Odén氏[22]の沈澱法及び其の改良になる自記的沈澱法を用ひ、沈積量一時關係より粒子分布を求めてゐる。此等研究の結果を見るに、Gauss, Maxwell 型の分布を示すものと銀臭化物乳濁液の如き Loveland 型のものと二種存在してゐる。斯く粒子生成の際の傾向に二種の異つた作用があり各々狀況に應じて、微粒子の分布を支配してゐると考へる事が出來る。此の際、この二種粒子分布傾向の粒子各々單體の形を測りて見れば一層發生機構が明白になることと思ふが原著にかかる見地に立つ考察の研究材料がないから分布曲線のみから決定的のことは述べることが出來ないのを遺憾とするも,分布曲線に於ける瀕度極大點 (Maximum) の數に就て考察せんに Loveland 型分布を與へる場合のみ周期的瀕度現象が現はれ、之れが一つの特長をなしてゐる。然れども Gauss, Maxwell 型の分布傾向を持つ場合周期的瀕度分布が現はれないと卽斷する事は出來ない。例へば T. Svedbderg, H. Rinde氏[24]が Odén 法を分散質の密度小さき場合にも充分自記し得る如く電磁的自記法を用ひ改良し「ガンボージ」水銀、脂肪の乳濁液に就き粒子分布を測りしに二三の周期的變動を示し最大瀕度點の多數ある事が明瞭に圖示されて

ゐる。稍大なる微粒子に對し測定せる Donovan Werner 氏[24] の實驗を見るにも粒子の大なるもの丶屬する系では周期的現象は著しく出てゐないが、粒子の平均直徑小さきものの系では相等著しく周期的傾向が現はれてをり、且つ實驗の誤差範圍以上の樣に思へる。D. Werner 氏の實測せし際試料は砂、粘土なる故微粒子生成の機構は一般的に見て碎片作用であると考へられるから、分布曲線の周期的傾向は成長熟生作用により發生する上記銀臭化物粒子の分布の周期的現象と同一要素によるか否かは重要な意義を有する問題である。總ての現象の基本的原理と特定された一つの自然現象としての一特性を特定する原因とを混同することなく考察する必要がある。然して兩者共に同一なる傾向を持ち得る事は少くとも基本原理の領域に動かす事の出來ない要素の存する事實と考ふ事が出來る。一方かかる粒子分布曲線は又物質破壞の一部門である「割れ目」の形態學的統計學的分布に於ても現はれて來る事は我邦に於て寺田博士等により、觀察され其の端緒が開かれ粘土の「ひび割れ」等に對しては渡邊氏[25] が割れ目の擴りと割れ目との濃度曲線として多元性を持つ Maxwell 型の分布式を求めてゐる。多元性に關しては寺田博士等による二次、三次割れの發生に起因すると解釋してゐる。剛體攪拌中物質破壞により生ずる分布には比較的多數の不均一的性質の集積點があり、此れ等が粒子分布を支配するに與つて力がある。かかる多元性の意義を明白にするには吾人の測定範圍なる巨視的 (Makroskopisch) の視界範圍を種々變じ實驗を繰返し歸納演繹すべきであらう。又 Correns Schott 氏[26] 等の獨逸北海の洪積層粘土 (Diluvalton v. Papendorf) と「セプタリエン粘土」(Septarienton v. Mallis) に就き自然乾燥せるものと一旦二百日間充分水にて飽和せるものに就いて Odén 法にて此等粘土游泥粒子分布曲線を求めた。此の際にも上記一元的又は多元的二種の傾向が現れてゐる。特に水分にて飽和せしものにはかゝる多元的分布が多く現はれてゐるから粒子生成の發生の場合斯くの如き多元的傾向を呈するものと解することが出來る。

以上諸種の物質の分散分布を求めたが分散質の粒子の狀態により(*A*)…個體なるか(*B*)…液體なるか(*C*)…半個體なるか、又粒子の形狀より見れば(*A*)形狀球なるか(*B*)粒子の表面上各點の勢力が特定の方向に於て異なる極力 (Polarität) を有するかに分類する事が出來る。

後者の場合には粒子の形は明かに眞球よりの偏りを示すものにて方位により異る特異極性を示し時には星狀、葉狀其の他複雜なる形狀を示す場合、碎片的形狀その儘を示す場合、又は一旦碎片的形狀を呈するも摩擦的の作用により一部其の形の修正される場合等に區分されるものである。各種のものに關し粒子(片)分布曲線の代表的のもの二三に就き考察することを得た。

以上の分布に對する分類によれば Gauss, Maxwell 型に類似の分布を示す場合と Loveland 型分布を有するものとあり且つ兩者共に單一連續曲線の場合及び連續なれども二個

以上の粒子頻度最大點のあるものとに Gauss, Maxwell 及び Loneland 型共に二分されをる事を明瞭に認むる事が出來た。

今後者周期的傾向を有するものを簡單の爲め多元的、前者を一元的と稱へん。今此等多數の實驗値を簡明に表示せんに下記の如きものを得た。

下表は實測結果中著しく現れし傾向により分類せしものなれど、此の分類は必ずしも一義的に定り、例へば粒子の形球狀のものは必ず Maxwell 形式の連續一元性の分布のみであるとは限らない。この表の如きものが多くの場合現れる確率特に大なることを示すものである。

第　1　表

分布曲線の形式	特性曲線	微粒子の形狀に關するもの	實　例
Maxwell, Gauss 型	連續一元性	(a) 一樣極性を有する場合, 球狀を示す	* 烏田; 遲青乳劑 * M. G. Levi ; 遲青乳劑 * Meunier ; 遲青乳劑、コロイドミル速度小さき場合 O. Sibree ; パラフイン水乳濁液 T. Svedberg ; 水銀ゾル、ゴムゾル, 乳酸誘導體類 Kraemer, Stamm ; ベンヂシ水乳濁液 Jvar Nordlund ; 水銀ゾル Fischer ; ヒイノール、スタノラックスゾル
		(b) 嚴密に一樣性ならざるも摩擦の影響等により上記の範疇に入ると見做し得る如きもの	Gonell ; セメント粒子分布 Odén, Werner, Correns Schott, 砂、粘土の粒子分布中各々に於て分散度の大なるもの、平均直徑の小なる場合
	連續多元性	(c) 一樣極性のを有する場合又は上記に相當するもの	* Meunier ; 遲青乳劑、コロイドミル速度大なる場合 T. Svedberg, H. Rinde ; ガンボーヂ、水銀ゾル
		(d) 碎片形	Odén, Werner, Correns Schott; 砂、粘土の實驗中各々に於て分散度小なるもの 渡邊; 酸性白土の縮み割れ
Loveland 型	連續一元性		Wightman, Trivelli, Sheppard, 和田 ; 銀臭化物の乳濁液の例、其の他粘土の粒子分布にもかかる場合あり
	連續多元性	一樣ならざる極性を有する形又は發青現象の著しく現れ居るもの	Wightman, Trivelli, Sheppard, 和田 ; 銀臭化物の乳濁液　但し Maxwell 形をとる事もある

* のものは第二章を參照すべし。

上表は唯分散系に就きての分布狀態を主とし分散質の分散系内に於ける形狀等より判定せしもので粒子發生機構を充分考慮に入れてゐないから曖昧さ不正確の點も多々あるが、1－10μ 程度の微粒子を含む分散系に於ける粒子が如何なる有樣に分布してをるものであるかを充分窺ふ事は出來る。

斯くして分布の法則は如何なる假定の下に如何なる傾向を持つ分布濃度を示すものであるかを推察する事が出來よう。今斯る一般的見地に立ちて道路鋪裝用瀝青乳劑に其の視野を擴けよう。

第二章　鋪裝用瀝青乳劑に於ける瀝青粒子の分布法則理論式の誘導竝に物理的意義に就いて

本報告本章に論ぜんとする瀝青乳劑も分散系として當然第一章に於て論及せらるべきものであるが、鋪裝用材料として重要なるもの故特に一章を設け之に關する考察を試んとするものである。本章に於て分散質分布を論んとする道路鋪裝用瀝青乳劑の一般性狀は西川技師[27]により發表されをるを以て其著を參照すれば一般實用上の性質は明かに窺ひ知る事が出來る。其等文獻中分散粒子分布に關する事項を見るに數年前の國產品に就き、各種の乳劑は直徑 3～8μ, 1,7～10,5μ, 3,5～10,5μ の範圍に分散してゐると報告されてゐる。勿論分散度(後の定義により明かになるも今は唯粒子分布の狀態と解釋してをく)は分散系なる乳劑其のもの>物理化學的性質を支配する重要なものであり、界面的現象にて物理化學的に重要な意義を持つものである。此等相互間の關係を求むるには統計的方法により巨視的 (Makroskopisch) と微視的 (Mikroskopisch) との兩樣の考察と、觀察とを同時に行ふ必要がある。斯く現象の錯雜せる爲めか又實驗の困難の爲めか此種の研究は餘り多く行はれてゐない樣である。一般乳濁液 (Emulsoide) に於ても分散度 (Dispersitätsgrade, Teilchengrösse) と分散系の他の物性との關係とを定量的に觀察せしものは僅少である。後章に於て其の二三の關係を引用する機會があらう。

瀝青乳劑に就いて其の一般的物性を論ぜし際 Meunier[28] 氏が粒子分布曲線を二三掲げ(その顯微鏡寫眞より分布曲線を示し主として乳劑の乳化の攪拌速度により其の分散度に大小あるを示す)且つMaxwellの速度分布と類似の分布をしてゐることを述べてゐるが、粒子の分散は如何なる要素にて之を示し得るか、又何故かゝる形式をとるべきであるかといふ問題には觸れてゐない樣である。分布曲線を見るに乳劑製造の際コロイドミル (Colloid

mill) の回轉速度を大にしたものは分布が急劇であり、且つ一元的であるが回轉速度小のものにては分布緩慢であり。多元的である且つ分布曲線は粒子數の最大瀕度に對する直徑の左右對照形を示してゐない。試料乳劑製造の際の分散質濃度、溫度壓力等製造の際の條件に關しては詳論して居ない故に、上記二種の分布が唯機械的攪拌速度のみによる影響の結果であると斷定を下す事は一般的考察の後に下さるべきものである。又 M.G. Levi[29] 氏は瀝青乳劑の物性の總括的研究を試みし際其の一章に粒子分布に關し更に一步進んだ明瞭を結果を發表してゐる。Levi 氏は顯微鏡寫眞の方法により粒子直徑を測り分布を求めたと述べてゐるが如何なる程度の粒子數を、如何なる取扱ひを爲し、測定し分布曲線を誘導せしや等に關し十分に明示されをらざる故に實驗結果の精度に關し批評する事は不可能である。蓋し氏は粒子分布に關し下記式の如き Maxwell 形式の分布示性式を提出し、實測値と比較した。

$$\Delta N = N\frac{2}{a^3}\cdot e^{-\frac{2}{3}\left(\frac{r}{a}\right)^3} r^2 \Delta r \quad \cdots\cdots (3)$$

但し $2a$=粒子分散度の尺度、卽ち粒子分布最大値を與ふ確率直徑

N=分散系單位容積中に於ける粒子總數

(3) 式は單位容積中に於ける、半徑 r との $r+\Delta r$ 範圍にある粒子の數を示す。Levi 氏によれば (3) 式は實測値と非常によく一致せるもので氏は

$2a$=2.75; 2.10; 2.00; 3.00; 1.00; 1.75; 1.85μ

を有する乳劑分布曲線に就き理論曲線竝に實測曲線とを圖示してゐる。

瀝青乳劑の粒子は第一章の分類に從へば一樣な極性を有し球狀を呈しをる分散系に屬す。

今分散度(粒子平均直徑の意味と同等)と其の他の物性とを比較するには是非比較せんとする物性例へば安定度、分解値等を、可及的に定量的に表示する尺度を持たねばならない。斯る方面の研究と共に粒子分布に關する研究は粒子發生機構竝に分散系中に於ける粒子の平衡狀況を窺ひ知る手段となり乳劑そのもの>眞相を洞察する上に役立つものである。其の二三の研究を見るに H. Weber, H. Bechler[30] 兩氏が碎石に對する瀝青乳劑の分解に關する相互關係の一部門たる石材の粗密度、表面の狀態、石質等に對する分解現象を詳細に調査研究し比較的定量的な分解値 (Zerfallwert ; Z. W.) なるものを提言した。Z. W. と乳劑中に存する乳化劑の量卽ち之と密接な關係を有するアルカリ性度 (Alkalinität) との關係を述べてゐる。更に一定量のアルカリ (0.1% K_2CO_3 或は 0.08% KOH) を添加して分解を起させしに、その分解値 (Z. W.) が相當減少せる事を示してゐる。之に對し石材の不溶解部の影響も著しく現ると Kornell, Kell[31] 氏が實驗を繰返した、更に H. Walter[32] 氏が瀝青乳劑の安定度を研究する爲め分散系の狀態を詳細に表示せんと試み瀝青乳劑

の分解値遊離アルカリ、水素イオンの濃度(P_H)の、三者の相互關係を求めた、三者は略々竝行的な關係を保てゐるが、特種な乳化劑を含んでゐる乳劑にては遊離アルカリ量は必ずしも他の二者と竝行的關係を示さないが、P_H と Z.W. のみは H. Walter 氏の實驗範圍内で略竝行してゐる事は注目すべき事である。分解に關する研究に於て粒子の大きさ分散度はこれを顯現的に度外視してゐる場合が多いが、分解等の現象が分散質分散媒との界面を通じて行はれるから、結局界面の影響即ち分散度が大なる影響を持つてゐる事は容易に推測される。斯る見地より乳劑中の瀝青質粒子の分散と諸物性との關係を考察するは唯に特定的道路鋪裝用瀝青乳劑の研究に必要なるのみならず、理論上にも重要な材料を提供するものである。Meuniér, Levi 兩氏斯る見地より粒子分布の測定を試みたものと想像される。本報告に於ても先づ分散系の狀況を知る先決問題なる粒子分布に關し更に深く理論的考察と實驗とを試みたものである。實驗試料としては現今道路工事用として全國的に使用されて居る國産道路鋪裝用瀝青乳劑代表的のものを用ひた。

常識的に粒子分散 (Dispersitäts grade) は平均直徑に逆比例すると考ふるも、果して分散度として明瞭な定義を下す事の出來る量が存在し得るや、如何なる物理的法則により如何なる數式により之を明示し得るや、即ち分散度を示す量は粒子の成立機構、平衡狀態を示す量と如何なる關係に立つかを明にする事が可能であるかに就き考察せんとする。

第一章に說明せる如く一般に 1～10μ 程度の微粒子の分布形式には Maxmell, Gauss 形式と Loveland 形式の存する事を述べた。瀝青乳劑分布は前者に屬するが如くであるが果して如何なる理由、即ち如何なる界面に於ける作用によりかゝる分布形式に從ふかを吟味する必要がある。先づ第一段として、粒子界面に於ける平衡狀況を支配する作用を各粒子單獨に顯微鏡的 (Mikroskopisch) に之を觀察せんす。

今乳劑中の粒子は種々多樣の作用の下に平衡狀態に達し各粒子は互に衝突相反撥し彈性球の如き觀を呈して凝結 (Koagulation) を爲さず平衡を持續しをるものである。斯る平衡を保持することの出來るのは如何なる力、條件によるかに就ては多くの理論的實驗的研究がある。表面張力に關する理論竝に吸着或るは界面に存在せる界面電位差 (Elektrokinetische Potential Sprung) ζ一電位の考察の下に論及されてゐる。今粒子分布の平衡問題に於ける此等の理論の適應性に考ふるに先づ粒子發生の機構の大略に就き考察する必要がある。即ち實際瀝青乳劑製造の際に於ける作用を吟味する必要がある其の詳細なる考察は本報告の目的にあらざるを以て總括的に之を記述する事とする。

Wirkinson, Forty[33], Otto Lange[34]; Clayton[35], A. Stamm, E. Kramer[36] の諸氏により之れを見るに乳化機械力に於ける乳劑の移動上の分類によれば單獨法 (Batch Pro-

cess)、連續法 (Contineous process) の二樣に大別されるも粒子形成上より見れば

i) 乳化器 (Machinen zur Erzeugung v. Emulsionen)、一般に Colloid mill 等を用ひて攪伴、衝撃、遠心碎粒等の機械作用による乳化過程。

ii) 更に一層大なる分散（粒子直徑を減少せん爲め）を得ん爲め乳化器の碎粒作用激烈なる均整器 (Machine zur Homogenisierung v. Emulsionen) と稱すべきものにより (i) の過程にて得しものを更に碎粒するもので此等 (i), (ii) の過程の範圍は後述の理論式に從ふべきものと推察される。然るに特に分散度大なる稍々一樣な粒子の集合體の系を得んには更に

iii) 遠心分離器 (Zentrifuge) の如き特に篩の作用を呈する機構を有する機械により同一均一直徑の粒子を集めるものである。

此等乳劑の粒子生成過程を考ふるに第一章に於ける Loveland 形式を與ふる如きものもとは其生成過程を異にし、統計力學的理論に從ふ確率的要素が主として現象を支配し、其の原理による分布に從ふものと推察する事が出來る。上述三過程中第 (iii) のものは如何に之れを理念化するも可逆的變化として考ふる事出來ない、唯 (i), (ii) 過程は理念化し外界よりの仕事が系全體に分配される際少しも損失なく疑平衡的 (quasi-statisch) に各粒子に分布されると考へる事が出來る。且つ粒子の系其のものを勢力の分布さるべき相點 (Phasen Punkt) の集合體と考ふれば、勢力分布は如何に粒子其のものと同等な相點が分布されるかと云ふ事に歸す事が出來る。今斯る見地に立ちて粒子生成機構を窺んとす。理論的に簡單に考ふれば粒子が生成される場合に粉碎作用と結合作用に對する防止力とが平衡狀態に達してゐるが、實際上瀝青粒子が平衡狀態に存在するには乳化劑、安定劑の存在が必要とされてをり乳化劑等は粒子界面に吸着層を作り粒子の周圍を取圍んでゐると考へられるも、此層は必ずしも實在の帶狀のものとして固體粒の周圍に一定の厚さを保つてゐると考へる必要はない。兎に角粒子の內部と分散媒の內部との界面に於ては各々內部と異つた不連續又は連續的擴りを有する領域に就て積分せる結果を一つの暫定的な層にて代表せしめる事が出來る。Film Theory の如く、薄層を實在物として取扱ふ事も時には必要であるが一般の擴散層 (Diffusion Grenzschicht) の場合には前者の考察が眞相を示してゐると思ふ。

今分散質 (A)、分散媒 (B) 共に接面應力に抵抗し得ない液體とし之と乳化劑 (E.A.) との組合の系を考ふる時三者間の表面張力の間には下式の如き關係がある。

(A) と (E.A) 間の表面張力＜(B) と (E.A) 間の表面張力……(4)

斯の如きは理論上當然の事であるが W.B. Bancroft 氏は詳細な多數の實驗を行ひ之を確めた。實際 (E.A) 層は擴散層をなすものである。表面張力の立場より Spencer[38] 氏は輕油の乳濁液を作り濃度 89% 以上のものも得たと報じてゐる、野澤[39]氏もビストン油乳化に此原理を用ひた。

斯く、界面張力 (Intergrenz Oberflächenspannung) の小なる事が第一條件である、然るに (E. A) 層には實際 Gibbs 氏の吸着式

$$\Gamma = -\frac{C}{RT}\frac{d\gamma}{dc}$$

(但し Γ; 界面に於ける分散質の過剩、C; 濃度、γ; 表面張力)

に從ひ自由エネルギー最小となる樣乳化劑分散質が分布される、卽ち粒子胞 (Micelle) を形成する。かゝる粒子の衝突の際表面張力による結合凝結的作用卽ち表面に於ける粒子の內部に向ふ作用に相反し反撥力を與ふ力が存在しをるべきである。

F. Haber[40] 氏、H. Bowenoakley[41]氏は吸着恒溫式 (Adsorption Isotherm) より熱力學的に二相間に電位の存在を演繹した、一方溶液中に於て固體粒子が電場に應じた速度を持ち移動する現象所謂電氣泳動 (Kataphoresis) なる現象が知れてをり、Helmholtz[42], Lamb[43], Smoluchowski[43] 氏等によりイオン吸着理論と共に Gouy[45] 氏等により此等電氣現象とイオン吸着との關係が明かとなり、電氣的二重層 (Electrische Doppelschicht) の概念, 動的電位差 ζ の存在が確認されるに至つた。ζ−電位の値に應じて粒子は (+) 又は (−) の電氣量を帶びてゐる。

本報告に於ては斯の如き ζ 電位竝に電氣量其のものに就ては論及しないが斯の如き ζ—電位差の變動による凝結 (Koagulation) に對する Smoluchowski 氏の理論を初め電氣界面荷電により粒子表面に表面張力と反對方向の力を生じ、粒子と粒子が衝突に際し、卽ち相接近し來る際吸着層間に折力が作用する。今かゝる際の能力を定量的に考案する爲めイオン吸着層のエネルギーを計算し、擴散層と同等な假設的二重層を考へてみよう。

吸着層それ自身は物質表面の極性にするものである。粒子を球形と見做し其の表面に純粹な二重層による荷電分布があれば下記(5)式の如きものにて理念的に ζ—電位 を表し得、

$$\zeta = \frac{4\pi r\sigma^2}{D}\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r-d}\right) \quad \cdots\cdots(5)$$

但し ζ; 二重層電位　σ; 單位面積當りの荷電　r; 粒子半徑　d; 假定せる二重層の厚み　D; 二重層內の電媒定數 (Dielektrik Konstant)

今粒子胞 (micelle) の周圍に於けるイオン密度 (ρ) と荷電 (σ) との關係を見るに、ε; 電場の强さ、ϑ; 電氣變位、φ; 電位、1, 2, ; 分散媒分散質領域を示し、n; は各領域に於て、界面に於ける內部に向ふ垂直方向を示すものとすれば下式が成立す。

$$\vartheta_{n1}+\vartheta_{n2}=4\pi\sigma \qquad \vartheta=D\varepsilon$$

(2) 相中に於て φ を常数と假定すれば $\vartheta_{n2}=0$

$$\therefore\ \vartheta_{n1}=4\pi\sigma \quad \cdots\cdots(6)$$

分散媒中任意の點に於ては Poisson 式より (7) 式が成立つ

$$\mathrm{div}\ (D\varepsilon)=4\pi\rho \quad \cdots\cdots(7)$$

(7) 式に於ける D は位置の函数であるが今平均値をとるとし之を一定と見做す、ρ は任意の點に於ける電氣量密度にて、イオン吸着の影響を受ける領域にては吸着の極性竝びに其の點に於ける電場により定まるものである。氣體論的法則が成立する範圍に於て濃度小なれば Boltzmann 原理により之を下記の如く示す事が出來る、卽ち $r=r_0$ の點に於ける ρ_0 は (8) 式にて示し得。

$$\rho_0=\Sigma FC \quad \cdots\cdots(8)$$

但し F: Faraday 常数, C は (8)′ の如きものとす。

$$C=C_0\left[n_k e^{-\frac{(A_k+\varphi_0 n_k F)}{RT}}-n_a e^{-\frac{(A_a-\varphi_0 n_a F)}{RT}}\right] \quad \cdots\cdots(8)'$$

一般に分散媒中に於て、吸着の影響受けざる領域にては

$$\rho=\Sigma FC=FC_0\left[n_k e^{-\frac{\varphi n_k F}{RT}}-n_a e^{-\frac{\varphi n_a F}{RT}}\right] \quad \cdots\cdots(9)$$

$$=FC_0\sinh\frac{\varphi F}{RT}, \qquad n_k=n_a=1 \quad \cdots\cdots(9)'$$

上式中

A_k, A_a; (+) イオン、(−) イオン吸着位置エネルギー,

C_0; イオン濃度 mol/c.cm, n_k, n_a; 一分子當りの陽イオン、陰イオン數を示す

一般に上式を解くには (8) 又は (8)′ を滿足する様 (9) 式又は (9)′ を (7) に代入し φ を求め (6) 式より σ を求む。(5) 式中 d は二重層に蓄積されたエネルギーと全電場のエネルギーとの關係より之を求む事が出來る。

一方 ζ-電位は $\varphi=\varphi_0$ に相當するもので, 電氣泳動の測定より求められるものにて下記 (10) 式の如く定義される。

$$u=\frac{\rho E D}{4\pi\eta} \quad \cdots\cdots(10)$$

但し u; 粒子泳動速度, η; 粒子周圍に於ける溶媒中の粘性係數

E; 電場の强さ

(10) 式分母の "4,, の係數値は Smoluchowski[46] 氏にては "6,, となつてゐる。電氣泳動の場合には粒子周圍の剪斷極限の强さが重要な役割をなすが (10) 式は粒子の大きさ E, η, D 等によらず ζ—電位 が一定の値を有すとして相互關係を求めたものである。最

近 Melvin, Mooney[47]氏等の油の乳濁液、H.B. Bull, R. A. Corner[48]氏等の石英粒子に對する電氣泳動速度 (u) の測定より ζ は粒子の大きさにより異る事を論じてゐる。唯 u の測定のみからその變化を粒子の大小による結果であると測定を下すことは早計と考へらるゝ理由充分存在せる故此點に關しては後に詳細に述べる。斯くの如く詳細なる機構未だ十二分に判明しをらざるも熱力學的考察によるも、イオン吸着理論によるも、電氣泳動の現象によるも、粒子の周圍には電氣的能率を有する荷電の或分布があり粒子の存在性に對し主要する役割を爲せる事は巨視的に考へて疑の餘地がない。

かゝる極性能率 (Polar Moment) によるエネルギーを粒子の單位表面積に就き計算せんに、(5) 式の理論的分布にて代表する粒子にあり形成されてゐる假定的コンデンサー (Kondensator) を考へんに、1 粒子は對するエネルギー總量 U_e;

$$U_e=\int du_e=\int \varphi dq=\frac{1}{2}C\cdot\zeta=\int^{\infty}\frac{DE^2}{8\pi}dv$$

但し, q; 電氣量を示すものとす。

單位面積當りに (5) 式を用ひ計算すれば

$$\Delta Ud=\frac{2\pi r d\sigma^2}{D(r+d)} \qquad (11)$$

を得。(11) 式に於ける σ の "+,, "−,, 符號は粒子表面の物質の極性卽ち陽陰イオンに對する吸着位の値の如何によるものである。平衡狀態に於ける粒子の大きさは後に之を定むるも (11) 式は與へられた "r,, 半徑を有する粒子の等價エネルギーを示すものである。式中 (11) σ, d, ζ の相互關係は上述の凝結の際のイオン中和の研究、粒子表面に於ける電導度等の H. B. Bull, R. Gortner[50], A. Ganguli[51] 氏等の研究により此の方面の機構に對し種々考察が續けられてゐるが、一つの平衡狀態を考ふれば最も簡潔に巨視的 (Makroskopisch) 立場より (11) 式により之を表示し得るものとし, 以下論ぜん。上述の如き二重層の存在を假定しこれにより分散系內に於ける分散質單獨粒子の大きさが如何に支配されるか種々分散質分散媒の組合せに就き研究されしものがある。其の內最も簡單なものはシヤボン球の平衡問題にて、上述の如き考案により ζ−電位 を誘導し, 乳濁液の場合には C. MC. C. Lewis[53]氏が之れを論し A. Gyement[54]氏が表面張力と電荷によるエネルギーの平衡問題を、變微分法により自由エネルギー最小の原理より粒子の直徑を求めた。此外 L. F. Knapp[55]氏は溶液中の溶解壓と溶解度, 粒子の大きさとの關係を求め、分散系の安定度を研究し粒子に就き總電荷が $q=ar^3$ (但し r 粒子半徑、a 比例常數) なれ

ば半徑に對し溶解度最小點が存在し安定なるも Lamb の理論の如く σ が粒子の大小によらざるものとし，電荷として $q=ar^2$ を與ふれば最小點なく不安定となると述べてゐるが，電氣泳動其の他實驗的研究が附隨してゐないから此の Knapp の理論が眞相を示してゐるとも速斷する事が出來ない。

更に外側の蒸氣壓を考慮に入れ Gogoberidge[55] 氏が表面張力との關係に立脚し平衡問題を取扱ひ最小安定半徑を求め此半徑の小なるほど安定度大る事を論じてゐる。上記の二三の理論は一個の單獨粒子の平衡問題に關するもので粒子の分布分散度に就ては言及してゐない。然し粒子構成の作用力を洞察するに役立つものである。

今表面張力と假定的二重層の存在により粒子の分布が如何に定るかを論ぜん。今物體の一點に於ける單位質量を考ふるに之に作用する力は邊圍に於ける分子により分子引力によるものである。我等は無限點に於ける位置エネルギーを零點をとし斯る分子引力による位置エネルギーは單位密度に對し $-u_0(u_0>0)$ とすれば單位質量に就き任意の密度に對し $-u_0C$ (但し C は濃度とする) となる。

u_0 の値は今考へてゐる物質の構造により諸種の假定の下に計算し得るものにて，結晶體の如きものにては稍々明瞭に之を求むる事が出來るが一般的には複雜なものである。今 $f(r)$ を分子引力を示す函數とすれば

$$-u_0C=-4\pi r^2C\int^{\infty}f(r)dr \quad \cdots\cdots(12)$$

となる，單位容積に就き $-u_0C^2$ の位置エネルギーが蓄積されてゐる。

今かゝる任意の一點が異る二相の界面上に存する場合兩物質の分子引力の差異により他種のエネルギーの蓄積が生ずるものにて，卽ち表面引力 (γ) が發生す故に界面上任意の點に於ける單位面積當りの蓄積エネルギーは $[-uC^2+\gamma]$ となる。

然るに安定なる分散系の粒子の表面單位面積には更に (11) にて示される電氣エネルギーの蓄積がある其れ故粒子表面單位面積當りには，

$$\left[-u_0C^2+\gamma+\Delta u_e\right]=\left[-u_0C^2+\gamma+\frac{2\pi rd\sigma^2}{D(r+d)}\right] \quad \cdots\cdots(13)$$

のエネルギー蓄積が存在する粒子 1 個に就いて

$$4\pi r^2\left[-u_0C^2+\gamma+\frac{4\pi rd\sigma^2}{D(r+d)}\right] \quad \cdots\cdots(14)$$

の位置のエネルギーが存在してゐる，(14) を "E_p,, と置く，

瀝靑乳劑の場合其の生成過程より考ふるに E_p 中第一項は分散前も分散後も一樣に存在しをるものなる故今之を度外視する。一個の粒子全體のエネルギーを考ふるに分子引力等に歸因する位置エネルギーと粒の存する運動エネルギーより成立つてゐる事は明である

今かゝるエネルギーの分配法則を考ふるに前者は自由エネルギーの一つの粒 (Quantum) と考へ (14) 式の如き値を持ち，且つ此の粒子は質點として幷進，廻轉運動速度を有するものとし，其の結果 "E_k," なる運動エネルギーを持つと考ふ。

斯の如き見地に立つて一つの粒子を考ふれば下記 (15) 式の如き，E_p, E_k の和をエネルギーに持つ一般座標の一點として之を取扱ふ事が出來る。

$$E=E_p+E_k \quad \cdots\cdots(15)$$

E_k はブラウン運動による運動勢力を考へに入れ運動量變動率を含蓄的に計算に入れ或る與へられた直徑の粒子は半徑に應じた一定の平均値 E_k を持つと考ふ，今乳劑を作る場合各粒子をして斯の如き狀態をとらしめる爲め外界より或種のエネルギーを供給せねばならない。

此の乳化作用を擬平衡 (Quasi-statisch) に行ひ外界より加へられたエネルギーが E_k に等しくなつてゐると考へる事が出來る。一樣なる球形粒子の位置運動に對する平均値は Einstein[56], Smolchowski[57], Langevin[58], Fürth[59]氏等により各々異る自獨の見地より同一結論に達してゐる。卽ち微粒子の直線運動に於ける位置變動の時間 t_0 より $t_0+\tau$ 間に於ける平均値を計算するに，

$$\overline{\Delta^2}=\frac{kt}{\pi\mu r}\tau \quad \cdots\cdots(16)$$

且つ粒子の直線的運動エネルギーとして

$$mv^2=3kT \quad \cdots\cdots(17)$$

を得た。但し

k; Boltzmann 常數、	r; 粒子の半徑、
T; 絶對溫度、	m; 粒子の質量、
μ; 溶媒の粘性係數、	v; 運動速度、

を示すものにて各粒子が瓦斯體の分子の如き性能を有すと考へ絶對溫度 (T) に於ける一自由度に對し $\frac{1}{2}kT$ のエネルギーを有すと假定せしものである。

果して斯る結果を今の瀝青乳劑の場合に其の儘適用して可能なるや否は一應吟味する必要がある。既に緒言に於て斯る見地の正しき事に就き M. René Constantin, B. I. Iljin の研究を引用したが Perrin[60] 氏は直徑約 1μ のガンボージュ乳濁液，直徑 1～10μ 程度の乳香に就き (16) 式の示す現象を觀測し其の正しき事を立證してゐる。

それ故粒子直徑 1－10μ の範圍にある瀝青乳劑に於ても粒子の運動性を考ふるに (16) 卽ち (17) 式が成立してゐると考ふるを妥當とする。同樣に粒子の質量中心を通る軸の廻りに或るは右に或るは左に忽にして方向を變じつゝ回轉しつゝあるとすれば斯の如き回轉に對する平均變位は (18) 式にて示す事が出來る。

$$\overline{\Delta\theta^2}=\frac{kT}{4\pi\mu r^3}\tau,\quad \overline{\Delta\varphi^2}=\frac{kT}{4\pi\mu r^3}\tau,\quad \overline{\Delta\Psi^2}=\frac{kT}{4\pi\mu r^3}\tau \cdots\cdots (18)$$

但し θ, φ, Ψ は剛體の三主軸の廻りの回轉角にて k, μ, τ は上述の如きものを示すとす (17) (18) 式を (15) 式に代入すれば、(19) 式を得

$$E=E_p+mv^2+\sum_{\theta,\varphi,\Psi}\frac{kT}{4\pi\mu r^3}I\theta \cdots\cdots (19)$$

但し、$I\theta$, $I\varphi$, $I\Psi$ は θ, φ, Ψ 軸に對する粒子の慣性値率とす。

(19) 式の末項の影響は球形非剛體的分散質に於ては度外視する事が出來る、液體分散質でしかも回轉楕圓體をなしてゐる如き、或る軸の廻りに回轉せるものと考へらるものにては此の種回轉のエネルギーは度外視出來ない。分散質が接面應力に抵抗し得ない場合には (19) 式の如きものにて示さるエネルギーを與ふる事により分散系となるが攪拌等により微粒子を作る際先づ切斷力を分散質に與へ或る一部の線に沿ひて彈性的破壞を與へ粒子發生の素因を與へる必要がある此の爲め幾分のエネルギーは消費されゐ、場合によりては此種の特性を有するエネルギーが相當利いて來る事がある。斯くの如き切斷に對するエネルギーは邊圍の線的大きさに比例するものである。

G; 剛性强度、K; 比例常數とすれば

(19) 式を更に下記 (20) 式の如く一般化する事が出來る。

$$E=E_p+mv^2+K\pi rG \cdots\cdots (20)$$

粒子の質量は $m=\frac{4}{3}\pi r^3\rho$ にて且つ粒の運動性は周圍の分散媒分子の運動性に由るものでブラウン運動に於ける假定の範圍内にて平均確率半徑のものに對する速度を持つと考ふ。斯くて後式 (17) により與へらる如き速度を持つ様粒子の質量が分布すれば、粒子はブラン運動の範圍内に存在する事を知る。

斯くの如く質量 (密度 ρ 一定なれば粒子の大きさ)の分布が行はれるから本論の過程に於て (20) 式の第二項は下記 (21) 式の如く之を記す事が出來る。(17) 式より

$$v^2=\frac{3kT}{\pi a^3\rho}$$

$$\therefore\quad mv^2=\frac{9kT}{4\pi}\left(\frac{r}{a}\right)^3 \cdots\cdots (21)$$

但し a; 確率半徑を示す。

以上は總て理想的の場合のみを考察したものであるが、實際上此等三種のエネルギーが組合される場合、分散質の狀態又は乳化の方法により或る常數を各々に乘じたもの>總和を以て粒子任意の狀態に於けるエネルギーを表し種々狀況に應じ常數を適當に變へる，卽ち粒子 1 個に對するエネルギーは下記 (22) の如く之を示す事が出來る。

$$E=O\cdot\left[\gamma+\frac{2\pi rd\sigma^2}{D(r+d)}\right]r^2+\frac{9kT}{4\pi}\left(\frac{r}{a}\right)^3+L\cdot G\cdot r \cdots\cdots (22)$$

但し O, V, L は各三種エネルギーの比例常數にて變動範圍は下記の如く其の任意の値をとり得るものとす。

$$O=4\pi\sim0,\qquad V=4\pi\sim0,\qquad L=2\pi\sim0 \cdots\cdots(23)$$

斯くして粒子の一點として代表されしエネルギーの量を知る事が出來た。今乳劑製造過程を一つの理想的過程に置換へ、考察せんに、絶對溫度 T なる恒溫容器中に於て同じ溫度の分散質分散媒に恒溫的に外界よりエネルギーを加へ全系がエネルギーの交換を行ひつゝ熱力學的平衡にあり外界よりのエネルギーは擬平衡的 (Quasi-statisch) に全系に分布されるものと考ふ事が出來る。其れ故第一章一般的考察に於ける統計力學的分布に從ふ事と相像される。

斯の如き平衡系は一般座標の

狀態座標變數 (Zustand Koordinaten) $q_1,q_2,\cdots q_n$,

運動量座標變數 (Impuls Koordinaten) $p_1,\ p_2,\cdots p_n$,

に依り完全に決定されるものであるから任意の瞬間に於て $q_1,\ q_2\cdots q_n,\ p_1,\ p_2,\cdots p_n$ が $2n$ 次の位相空間 (Phasenraum) の無限小なる領域

$$dq_1\cdots dq_n\cdot dp_1,\ dp_2\cdots dp_n$$

中に在るべき確率 dW は下記 (24) 式で示すことが出來る。

$$dW=Ce^{-\frac{E}{kT}}dq_1\ dq_2\cdots dq_n\ dp_1dp_2\cdots dp_n \cdots\cdots(24)$$

但し E は (24) 式のものを示し、C は比例常數にて

$$C=\frac{1}{\int^{\infty}\int^{\infty}\cdots\int^{\infty}e^{-\frac{E}{kT}}dq_1\cdots dq_n\ dp_1\cdots dp_n} \cdots\cdots(25)$$

を示す

乳化の過程を再び考ふるに、その際に於けるエネルギーの分布を考察し然も攪拌作用を擬平衡的 (quasi-statisch) に行ひ所要の狀態に達するものと考へてゐるからエネルギーが分布される過程中總て零速度にて行はれ運動量零の狀態を假定してゐる、其れ故位相空間は唯狀態座標のみのものとなる、三次元の空間の一點にて粒子を示し得るを以て (24) 式は下記 (26) 式の如く書換へ得、

$$\Delta W=\frac{e^{-\frac{E}{kT}}dq_1dq_2dq_3}{\int^{\infty}\int^{\infty}\int^{\infty}e^{-\frac{E}{kT}}dq_1dq_2dq_3} \cdots\cdots(26)$$

但し $q_1q_2q_3$ は直交座標にて之を球座標 $(r,\ \theta,\ \varphi)$ に書換へ得

$$q_1=r\sin\theta\cos\varphi,\quad q_2=r\sin\theta\sin\varphi,\quad q_3=r\cos\theta \cdots\cdots(27)$$

$$\therefore\quad dq_1dq_2dq_3=r^2\sin\theta\ drd\theta d\varphi \cdots\cdots(28)$$

斯くの如くエネルギーが $(r,\ \theta,\ \varphi)$ と $(r+\Delta r)(\theta+\Delta\theta)(\varphi+\Delta\varphi)$ との領域に存すべき確率は

$$e^{-\frac{E}{kT}}r^2\sin\theta\Delta r\Delta\theta\Delta\varphi$$

に比例する事を知る。今球形粒子即ちエネルギー分布は θ, φ に依らずして中心に對し對稱であるそれ故 θ, φ に就き上式を $0\sim\pi$, $0\sim2\pi$ の範圍に積分せるものは r と $r+\Delta r$ との間に一相位點 (Phasenpunkt) があるべき確率を示す。斯の如き確率は r と $r+\Delta r$ の間の粒子の存在すべき確率を示すものにして單位容積中に存すべき粒子數に比例する。

卽ち (26) 式より下記 (27) 式の如く此れを導く事が出來る。

$$\Delta N=N\frac{\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}e^{-\frac{E}{kT}}r^2\sin\theta dr d\theta d\varphi}{\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}e^{-\frac{E}{kT}}r^2\sin\theta dr d\theta d\varphi}=Ce^{-\frac{E}{kT}}r^2dr \quad\cdots\cdots\cdots(29)$$

但し C は比例常數にて E の値に應じ種々なる値をとり得るものとす。

N; 單位容積中の粒子總數。

(22) 式と (29) 式とにより粒子分布を論ぜんとす。先づ (22) 式に於て、$d=10^{-8}$cm $r=10^{-4}$ cm., $d<r$ と置けば

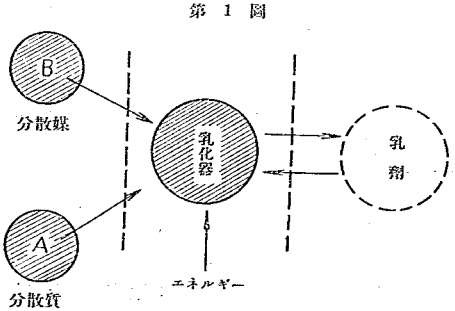
(22) は (22)′ の如く (29) は (29)′ の如くなる。

$$E=O\left[\gamma+\frac{2\pi d\sigma^2}{D}\right]+V(kT\rho a^3)\left(\frac{r}{a}\right)^3+LGr\cdots\cdots\cdots\cdots(22)'$$

$$\Delta N=N\cdot Ce^{-\frac{E}{kT}}\left[O\left(\gamma+\frac{2\pi d\sigma^2}{D}\right)r^2+V(kT\rho a^3)\left(\frac{r}{a}\right)^3+LGr\right]$$
$$\times r^2\Delta r\quad\cdots\cdots\cdots(29)'$$

斯くして一般に分散質が球形の微粒子として懸濁せる場合粒子の分布が如何に變るかは (29)′ 式により之を洞察する事が出來る。勿論 (29)′ 式を導きし場合種々假定をなし理念的な場合を取扱ひしものにて實際必ず或る速度を以て行はれる現象等にては上式で與ふるものより逼位を來す事明かなれども、大勢はこれにて充分推察する事が出來る。且つ上式は總ての事柄を連續的の立場より導けるものである。道路鋪裝用瀝靑乳劑の場合上記の假定が或る程度まで滿足されをる事は第三章の實驗と比較し之を知る事が出來る。第1圖は乳劑製造の際の過程の理念化せしもの>圖解である。圖中の記號にて明かなる故說明を

第 1 圖



略す、實驗値結果と、(29)′ 式との比較を便にせん爲め (29)′ 式を種々の場合に分類し式の意義、分散の意義を一應吟味し置くを便とす。先づ比例常數 L, O, V の關係を考案せんに瀝青乳劑の如く生成の際液體に近きものにては先づ。

i) $L=0$ と假定せん、

O, V は共に分散度を支配する要素であるが兩者は根本的概念に於て異るものなる故兩者相互の關係を理論的に求むる事は困難である。卽ち O の係數の項は各粒子に於ても巨視的 (makroskopisch) の概念を持つものが表面の一點に作用してゐる事による影響を示すもので V の係數の項は各粒子に於ても統計的計算による結果の量を示すものである。然も兩者相互に何等の關係なく擬平衡的 (quasi-statisch) に加算されてゐる。Levi 教授[61] の論文中にある粒子分布曲線は O 項を度外視し V 項のみを重要視し誘導されしものと想像されるも原著に於ては此點に關し更に深遠な原理に立つか不明なる故輕々しく論斷する事は之れを避けるも ii) の場合に相等する形式を有してゐる。

ii) $L=0$, $O=0$. $V=4\pi$. ……と置けば (29) 式は下記の如くなる。

$$\Delta=CNe^{-\frac{1}{kT}\frac{9kT}{4\pi}\left(\frac{r}{a}\right)^3}r^2\Delta r$$

$$=CNe^{-0{,}71\left(\frac{r}{a}\right)^3}r^2\Delta r \quad \cdots\cdots(30)$$

∴ C を求めんに

$$\int^{\infty}\Delta N=N=CN\int^{\infty}e^{-0{,}71\left(\frac{r}{a}\right)^3}r^2dr \qquad \text{より}$$

$$\therefore\ C=\frac{27}{\pi\times4}\cdot\frac{1}{a^3}=\frac{2{,}15}{a^3} \qquad \text{を得}$$

(30) は (31) の如くなる。

$$\Delta N=\frac{2{,}15}{a^3}e^{-0{,}71\left(\frac{r}{a}\right)^3}r^2\Delta r \quad \cdots\cdots(31)$$

今 Levi 氏の式と比較せんに

$$\Delta N=\frac{2}{a^3}e^{-\frac{2}{3}\left(\frac{r}{a}\right)^3}r^2\Delta r \quad \cdots\cdots\text{Levi 氏の式}\cdots\cdots(31)'$$

第三の場合としてブラウン運動の項卽ち (V) 項が度外視され界面のエネルギー (O 項) のみ存在すると考へ得る場合、卽ち

iii) $L=0$, $O=4\pi$, $V=0$ と置けば (29)′式は下記の如くなる。

$$\Delta N=CNe^{-\frac{4\pi}{kT}\left(\gamma+\frac{2\pi d\sigma^2}{D}\right)r^2}\times r^2Dr \quad \cdots\cdots(32)$$

今 $\sqrt{\left(\gamma+\frac{4\pi d\sigma^2}{D}\right)/kT}=\beta$ と置き

(ii) の場合と同様にして比例常数 C を求むれば(32) 式は下記の如くなる。

$$\Delta N=N\frac{4\beta^3}{\sqrt{\pi}}e^{-\beta^2\gamma^2}\times r^2\Delta r \quad \cdots\cdots(32)'$$

本式は既に著者の一人（島田）が本所報告第 24 號に於ける瀝青乳劑の粘度なる報告中に用ひたもので，β は粒子の最大瀕度を與ふ確率半徑の逆數に等しい、卽ち $r_w=1/\beta$ である。確率直徑は、

$D_w=2r_w=\dfrac{A}{\sqrt{\gamma+\dfrac{4\pi a\sigma^2}{D}}}$ となる

(5) 式より ζ－電位を代入すれば

$$D_w=A\cdot\frac{1}{\sqrt{\gamma+B\zeta^2}} \quad \cdots\cdots(33)$$

を得、但し A, B は常數にて B は一般に D, r の函數 $f(D,r)$ と見做すべきものである、斯く分散度は確率直徑により一義的に定むる事が出來る、確率直徑は上記 ii) の場合 $2a$, iii) の場合は (33) 式により與へらる。D_w は分散質分散媒の相互關係的量より定まる。(31), (32)′ 式にて明かなる如く、粒子瀕度曲線は $D_w(2a)$ を與ふれば一義的に定るもので同じ條件の下に製造せる乳劑(乳濁液)に於て同じ確率直徑に對し二種又は其れ以上の分散度の存在せざる事を示す。然れども若し粒子の分布を支配する法則が (31) (32)′ 式を與へし以外の要素として現れ來る事あれば又自ら問題は別個のものにて、(31) (32)′ 式以外の別個の分布が生ず。斯の如き場合は外見上同じ確率直徑 (D_w) に對しても別個の二種以上の分散が存在し得。

其の如きは分布を支配する法則の假定の相違により生るものにて單純に唯だ“同じ確率直徑(D_w)に對し二種以上の分散度が存在し得,, といふ命題と明瞭に區別し置く必要がある。

(31)′ (32)′ 兩式は共に一元的連續分布式を與ふるものであるが小くとも道路鋪裝用瀝青乳劑に對ては次章實測値と比較するも斯の如き概念の下に誘導せし分布式にて充分其の粒子分布の有樣を示す事が出來る。

一般分散問題に於ける多元的連續分布は第一章に述べし如く此種自然現象の考案に重要なものであるが本報告に於ては此の問題には觸れない。以上の如くにて得たる分布式に就き分散が如何なる物理的意義を有するや又實用上に關係する重要なる諸生質との關係を考察する必要がある。卽ち例へば

(i) 分散度(確率直徑)と安定度との關係

此處に云ふ安定度とは、分解値 (Z.V.) 其の他外界の物理化學的作用に對する感應度等を意味す。

(ii) 分散度と分散系の粘性との關係

(iii) 分散度と分散質（瀝青質含有量）との關係

以上の如き重要なる事項に就き考案せんとするに斯る問題に就きては道路鋪裝用瀝青乳劑にては勿論の事其の他の乳濁液に就ても研究せられしもの少い樣であるが（32)′式の分布を與ふる式の意義の考察より二三以上の諸題に就き論及せんとす。先づ次章に於て理論的に誘導せし分散式(分散度)が如何なる程度に實測値と相一致するやを吟味せんとす。

第三章　鋪裝用瀝青乳劑の粒子分布の實驗的研究

第二章にて誘導せし分散系中粒子の分布一般式（29)′より如何なる項をとりしものが鋪裝用瀝青乳劑の場合の實測値と如何なる程度に一致するや最も基本的方法なる顯微鏡的方法を用ひて丹念に之を測定した。

本研究に使用せし道路鋪裝用瀝青乳劑は全部國産品をとり撒布用（透入用又はA種と稱す)、混合用（B種と稱す)計 11 種に就き其の製造年月日の明瞭に判明せるものを充分密閉暗所に保存し極めて新鮮なる者につき約一ケ月半以内にて實測した。使用乳劑名，製造所名及び製造月日は第二表の如し。

各試料の工學的一般性狀に就いて著者の一人(福島)の測定値を第 4 表及び別表第 12 表に之を表示せり。以下記述を簡單にする爲め品名の代り適宜 B, C, D, E, F, G, H, I, K ……等の名稱を與ふ。

第　2　表

品　　名	製造者名	製造年月日
ピチユマルス　HF 透入不凍性	ピチユマルス株式會社	昭和 8 年10月
〃　H 透入用	〃	〃
〃　HRM 混合用	〃	〃
〃　HCM セメント混合用	〃	〃
御國乳劑一號　透入用	日本ソリデット株式會社	〃
〃　二號　混合用	〃	〃
鈴木乳劑A號	日本アスファルト株式會社	〃
〃　B號	〃	〃
エムラス　混合用	エムスラ工業株式會社	〃
〃　透入用	〃	〃
日石乳劑	日本石油株式會社	〃

試料作成に際し各乳劑をオレイン酸曹達溶液の 0.25% のものにて稀釋せしものを顯微鏡デツキ硝子に挿入し一般のものは約450倍に擴大し下記に示す如き方法にて顯微鏡寫眞を

撮り各粒子に就き直徑を測り一定範圍の直徑にあるものに就き粒子總數を計算しそれより百分率を計算し之を圖示し分布を示す曲線を求めた。

顯微鏡寫眞は寫眞第一より第三に之を示す。各試料に就き粒子數は約 1000 個をとり直徑を測定した附圖寫眞に示せる倍率にて粒子直徑を明確に測定し得ざりし時には更に此等を 4−5 倍に擴大せしものより測定した。別表第 1 より第 11 までは斯くの如き顯微鏡寫眞より測定せしものである。

此等表中二三注意すべき點を述ぶれば顯微鏡寫眞より實測せし直徑範圍に對する粒子の百分率瀕度より微粒子の眞の大きさ (μ) に對する百分率瀕度を計算する事即表中に於ける

$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}\times 100$ ……の項の各値より

$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$ ……の項の各値を

計算する時顯微鏡寫眞倍率により，分布公式に於て $\Delta r=1\mu$ の間隔に對する値に對する樣前者に適當なる係數を乘じ後者を得るものとす。

但し $(\Delta N)_m$ とは顯微鏡寫眞より直接測りし尺度による直徑間隔單位長內に存在せる粒子數 ΔN の數値を示す。

又粒子直徑の範圍の實測中實測誤差の範圍內にて或る特定の直徑に一致するものの特に多い樣な時がある。斯る場合は特に其の點に重要性を置き直徑範圍の間隔の移動伸縮を行つた。例へば顯微鏡寫眞第一中D號の分布曲線に於て實測直徑範圍を代表する縱軸座標は同じ間隔の橫座標點上に排置されてゐないのは上述の理由に因るものである。別表第 1 より 11 及び顯微鏡寫眞中の記號に就き二三說明を爲さん。

D_3; は**平均直徑 (Durchschnittlicher Durchmesser)** を示すもので下式により與へらる。

$$D_3=\frac{\Sigma d\Delta N_d}{\Sigma N_d};$$

直徑間隔範圍 "d_d" なる粒子の數を N_d にて示す。

$\overline{D}_w$; D_3 の如き實測平均直徑を有す粒子系が二章 (32)′ 式の如き分布に從ふと假定し下式にて計算せるものにて**確率直徑 (Wahrscheinlicher Durchmesser)** と稱し理論的最大粒子瀕度に相當する直徑である。

半徑に對する分布式なる (32)′式より直徑に對する式に書換へ之を用ひ計算すれば、

$$D_3=\frac{\int_0^\infty N\varphi(D^2)D^2dD}{N}=\int_0^\infty \frac{4\beta^3}{\sqrt{\pi}}e^{-\beta^2D^2}D^3dD$$

$$=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\cdot\frac{1}{\beta}=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\overline{D}_w\fallingdotseq 1{,}127\overline{D}_w \quad\cdots\cdots(34)$$

D_w; 實測せし結果より求めし代表縱座標を此の曲線と橫座標軸で圍む面積が單位面積になる樣適當に連續曲線で連ねた場合の實測曲線の粒子分布瀕度の最大點に相當する確率直徑の一種にて $\overline{D}_w$ と較べ**第二確率直徑**とも稱し前者 $\overline{D}_w$ と區別しをかん。

使用顯微鏡並に乾板に就て 本研究に使用せし顯微鏡下記の如し。

C. Reichert—顯微鏡

對眼鏡; Reichert, Comp. 12.

對物鏡; Reichert (Hart Apochromat)

焦點距離; f=4 mm., 6 mm., 8 mm.,

上記のものを適當に組合せ乾板距離を調節し所要の倍率を得。倍率は筒長、各レンズの焦點距離乾板距離等より計算上求められるも Leitz Wetzlar 製微尺度 (Mikrometer; 2 mm. lang geteilt in 200 Teile) の "スケール,, を其の都度撮影し倍率を念の爲め確め換算した。

瀝青乳劑は一般に其の特有なる黑褐色乃至黑色を帶び且つ其の着色程度も可なり大にて濃度も大なる爲め光の吸收多く撮影に困難を生じた且つ市販乳劑を稀釋せず其の儘顯微鏡試料を作らば短時間中に分解を生ず。其れ故濃度大約 30% 程度に稀釋した粒子は浮遊しブラウン運動を行つてゐるから顯微鏡寫眞乾板には整色性を持つ感度特に大なるものを要すべく、二三試撮の後下記二種のものを使用せり。二種の中後者は特に分散度大にてブラウン運動盛んなるものに使用す。

使用乾板　スペシヤル、ラピツド、パンクロマチツク乾板　H.D. 400

ソフト、グラデーション、パンクロマチツク乾板　H.D. 2000

光源としてはアーク燈を使用せしも取扱ひ及び光度の關係よりポイント、アークライト 100 燭光のものを集光レンズと組合せ使用し上記の乾板にて試料の濃度着色程度，粒の運動性に應じ ($\frac{1}{4}$～5) 秒の露出を與へた。各試料を作成後約一時間以內に撮影するも特に粒子小にて運動性大なるものにては 2—3 時間後粒子運動稍緩慢となりし時之を撮影した。

試料作成後長時間經しものはデツキ硝子邊周より分散媒の蒸發することにより乾燥し粒子の狀態の破壞することあるも斯の如き事絕對になき事を充分確め然る後顯微鏡寫眞を撮れり。

顯微鏡寫眞竝に分布曲線圖に就いて二三說明を加へて置く、顯微鏡寫眞第 1 第 2 第 3 は上述の如き方法に依り撮影せしものにて各葉に就き試料名撮影倍率を記入し (μ) スケールにて粒子を示せる尺度をも記入して置いた。寫眞第 3 の試料 $M.N$ は製造月日明瞭ならざる爲め直接本研究には引用しなかつたが瀝青乳劑中の分散質の狀況を觀察するに便宜であると考へ、之を寫眞中に入れた M は粒子運動性の全く停るも各粒子は全く球形なりと見做し得べく N は同じ試料が未だ運動性を相當保てる時に約 $\frac{1}{4}$ 秒の露出にて撮影したものである。N にて示さる如く粒子は明かにブラウン運動を行つてゐる。

顯微鏡寫眞は分散試料、稀釋度、光源により或ひは平面的に或ひは立體的に見ゆる事あ

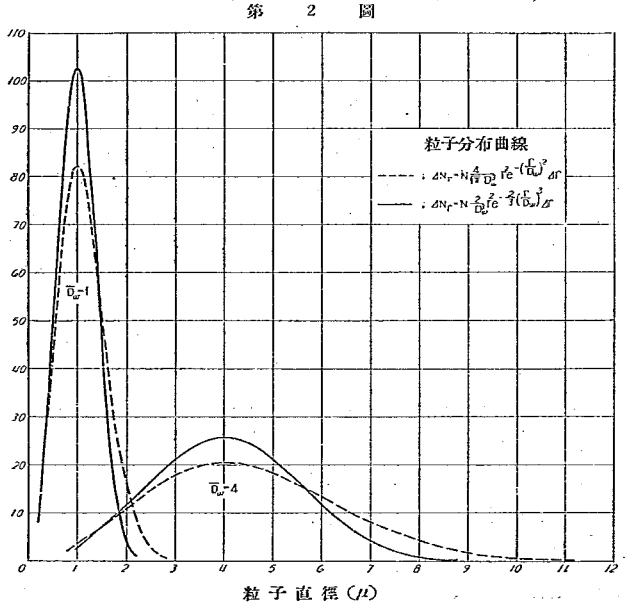
り時には粒子の輪廓不明瞭の場合あるも、總ての場合粒の形は球形を保つてゐるから球の邊周は全部同様な特性を持つて居り彈性球の如く衝突相反撥せるもので Maxwell 型連續分布をなすべき顯微鏡的性質を多分に持つてゐることが分る。

此等顯微鏡寫眞より別表 1 乃至 11 を作り上に述べた如き手續きを經て各粒子直徑に對する粒子數瀕度百分率を求め平均直徑 D_0 を計算し附圖第 1 乃至 11 に示す如く之を圖示し、容易に D_w, $\overline{D}_w$ を得るものにて詳細は既に之を述べた。

第 3 表に之れを全部取纏めて表示せん。$\overline{D}_w - D_w$ は實際の粒子分布が (32)′ 式の理論式の與ふるものから如何なる程度に偏位せるかを示すものである。表中又は附圖第 6 にて明かなる如く試料 G のみは分布曲線に於て (32)′ 式の與ふる分布より最大瀕度を與ふる直徑に對し大なる分散を示してゐる。卽ち粒子中均一直徑のもの非常に大なる特異な分散をしてゐる。斯の如き分散型の意義等に就きては更に詳しく之を考察しやう。

別表第 1 乃至第 11 中竝に附圖第 1 乃至第 11 中粒子の各種直徑の數値に於て有效數字は 3 桁まで記入しあるも本實驗の如き統計學的方法により且つ測定粒子數、各試料に就き 1000 前後のものをとり大きさはスケールを單に當てて、測りし如き場合にては第 3 桁は嚴密な意味にて有效と考ふること不可なるも唯々計算値其の儘記入せしものと解し置くべし分布曲線の傾向を見る爲めに一般式 (29)′ より誘導せし (31) (32)′ の同じ確率直徑に對する分散度を吟味せん。第 2 圖は此の二種の分布式を示す曲線にて

第　2　圖



實線は　(31)′式　$\Delta N_r = N\frac{2}{D_w^2}\cdot r^2 e^{-\frac{2}{3}\left(\frac{r}{D_w}\right)^3}\Delta r$

點線は　(32)′式　$\Delta N_r = N\frac{4}{\sqrt{\pi}D_w^3}r^2 e^{-\left(\frac{r}{D_w}\right)^2}\Delta r$

の分布を示す。實線の場合に一般式より誘導されし (31) を用ひず (31)′式を用ひしは兩者差異僅少にてしかも (31)′式の方係數稍々簡單にて Levi 氏も用ひしものなる故便宜上之をとつた。(31)′式 (32)′式の與ふ分布を見るに前者の方同一確率直徑に對し分散度大となる。

斯く二式の示す如く分布を支配する法則のみ變り得るならば分布も二種存在し得るが實際上かゝる點の解決には二つの假定の存在性を吟味し深く原理に立ち入り之を極めねばならない、分散度の多樣性に關し明快な判斷を持たねばならない。實驗試料としても卽ち分散系の模型として一層凝結性少き分散系を用ひ製作條件等を明かにし更に一層嚴密な觀察を用ふ事が必要である。

第　3　表

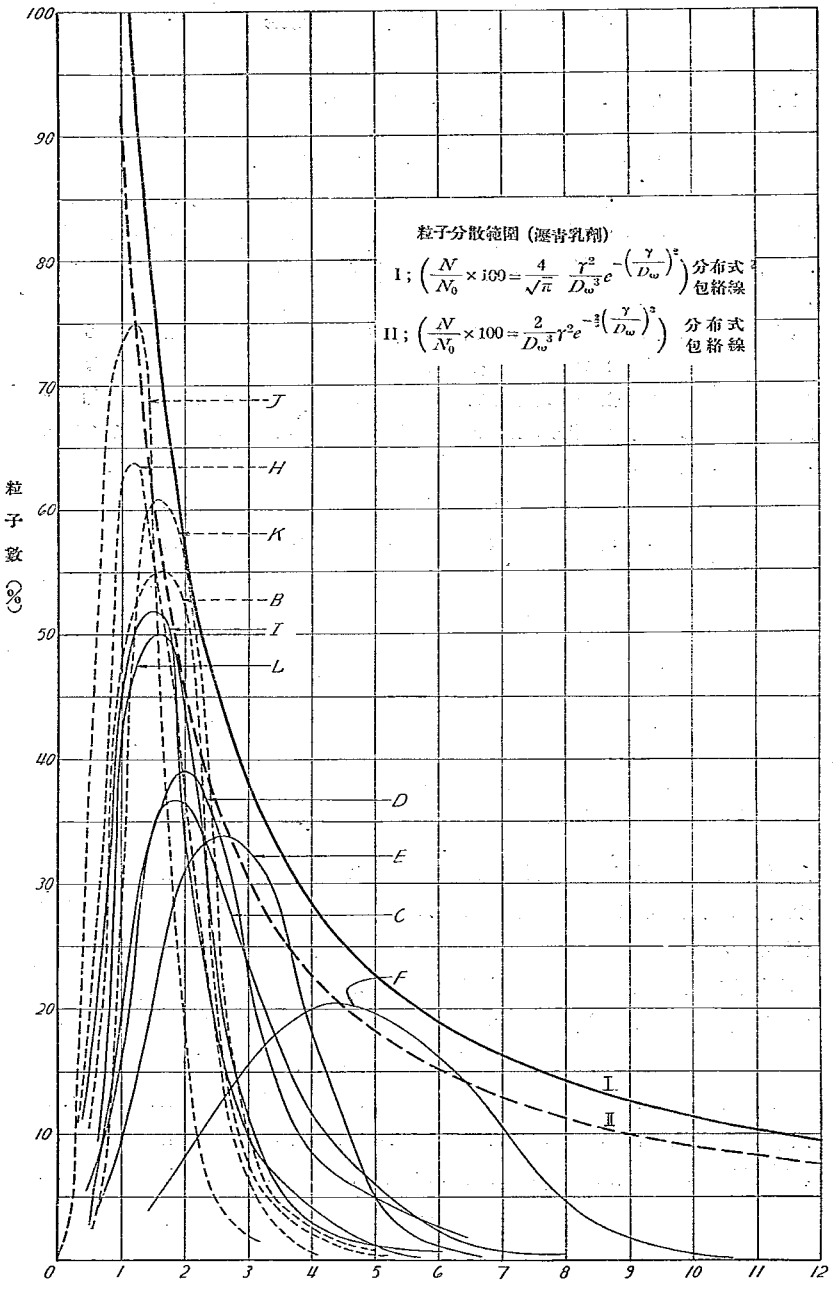
試料名	平均直徑 D_0 (μ)	確率直徑 $\overline{D_w}$ (μ)	第二確率直徑 D_w (μ)	偏差 $\overline{D_w}-D_w$
B	1.65	1.48	1.60	−0,12
C	2.72	2.40	2.00	+0,40
D	2.41	2.14	1.95	+0,19
E	2.84	2.52	2.63	−0,09
F	4.84	4.29	4.43	−0,11
G	1.50	1.50	1.50	0,
H	1.46	1.30	1.10	+0,20
I	1.80	1.60	1.45	+0,15
J	1.23	1.10	1.20	−0,10
K	1.70	1.60	1.50	+0,10
L	1.88	1.68	1.60	+0,08

道路鋪裝用瀝青乳劑の實測より得たる結果は明かに上述二式の假定の共に存在せる事を示すが如き粒子分布を呈してゐる。附圖第 1 乃至第 11 の各結果を一纏にし第 3 圖に實測曲線を記入す。

橫座標は粒子の直徑 (μ) を示し縱座標は各粒子百分率瀕度を示す。圖中實線にて畫けるは一般に透入用 (*A* 種) と稱し市販せられ居るものにて點線は同樣混合用 (*B* 種) として取扱はれ居るものに就いての粒子分布を示すものである。

但し圖中 *G* 號の分布は記入してない。*G* 號は特に他のものに比し異樣な分散をなし分散度大にて確率直徑 1,50 μ に對する粒子數瀕度百分率は約 120% を示しをり第 3 圖の他の10種の乳劑とは可なり偏位してゐる。(31)′式 (32)′式に對する包絡線 (Umhüllungskurve)

第 3 圖


粒子分散範圍（瀝青乳劑）
I; $\left(\frac{N}{N_0}\times 100=\frac{4}{\sqrt{\pi}}\frac{\gamma^2}{D_\omega^3}e^{-\left(\frac{\gamma}{D_\omega}\right)^2}\right)$ 分布式包絡線
II; $\left(\frac{N}{N_0}\times 100=\frac{2}{D_\omega^3}\gamma^2 e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\gamma}{D_\omega}\right)^2}\right)$ 分布式包絡線
粒子數 (%)
粒子直徑 (μ)
J
H
K
B
I
L
D
E
C
F
I
II

を求め圖中之れに II, I の記號を附して置いた。實測 11 種 (*G* を除く) の曲線は全部包絡線 II の內側に在るも I 包絡線に對しては內側にあるものと外側にあるものとある。

此の事實より判斷するに分布を支配する原則は大體上二式の假定範圍內に存在してゐることが推察されゐる。

而して粒子分布の如き複雜なる現象は(31)′(32)′式の如きもの單獨にて其の全貌を示す事の如何に難きかを示してゐる。一般式として最初(29)′式にて與へし如く此等 (31)′(32)′二式を組合せるかの如き二次の項三次の項の適當なる函數として分布が定まる如く思はれる。此の推理を一層擴めて行けば更に確率直徑の大なる樣な分布にては一次の項による影響も一層顯著に現れて來るものと考へらる。粒子の分布の狀態は乳化の際に於ける各種の原因により變るものである。

例へば絕えず攪拌を繼續するか一定時間を隔て數回攪拌するによる影響等は、粒子生成の際の發生學的機構の作用するものに於ては、全く無く唯溫度分散媒の性質等によりかゝる場合粒子分布が影響を受ける事を和田氏[62] は臭化ゾルにて研究した。然るに E. O. Kraemer, A. J. Stamm 氏[63]等のベンジン油の粒子の場合は粒子生成が發生學的機能によらざる爲めか、均整機 (Maschinen zur Homogenisierung) を强度に使用する毎に粒子分散は增大し來る事が示されてゐる。

一方試料 *G* 號は如何なる理由により一般的傾向より偏してゐるかに就き考察せん。實測に使用せし市販の乳劑は其の製造行程に於て如何なる方法が講ぜられしや各社の祕密に屬する故之れを明瞭に知るが出來ない。卽ち乳化機の種類、回轉速度、乳化溫度、乳化劑、安定劑の種類等不明であるが過程を種々の假定の下に理念化し粒子分布式を導いた。斯くして得た式は力學系として最も確率の大なるものであるから、此等の式より偏位した極度に大なる分散度を有する系にては，方法は種々あるも純粹に篩の作用をなす過程が製造中に含まれてゐる場合に發生すると想像される。かかる方法により分散度の大なる粒子系を得たる實驗は遠心分離式原理に基く操作を行ふも目的を達する事が出來る。又濾式法によるも强度の分散を得らる。

S. Oden 氏[64] の硫黃ゾルの研究の如き T. Svedberg, H. Rinde 兩氏[65] が金ゾルに就き 2, 3, 7, 1 μ の强度の分散度を持つ懸濁液を得たる如きは前者の原理によるものである。H. Bechold 氏[66] も一種の濾過器を用ひて分散の分離を試みた。特に Perrin 氏[67] の遠心分離法によるガンボージ、乳香の乳濁液の分離は歷史的にブラウン運動の研究と共に有名である。

特異な分散を有する分散系は要するに上述の如き作用を持つ操作が製造過程の中に包まれてゐることを示す。斯く本報告中の試料中 G號にはかかる所謂人爲的方法が講ぜられてゐると解すべきであらんか。然し必ずしも具體的方法に於て篩の作用の存在を云々するのではない。少くとも原理的に考察しかかる作用の存在性を知る。

附圖第1乃至第 11 までは各試料に就き實測値による曲線と (31)′式により計算せる曲線とを對照し畫けるものにて稍兩者一致せざるものあるも各乳劑に對し分散度及び確率直徑は相當の精度にて一致せることを見る。粒子數、瀕度、百分率等を比較するも兩者可なり良く一致してゐる。(G號に對するもののみ瀕度百分率は (32)′式の與ふるものとの偏位特に大なる爲め實測値のみを記入した) 實測値は斯の如く理論式と相一致することを見る故理論式は少くとも巨視的 (Makroskopisch) には正しきものと考へる事が出來る。

斯くして瀝青乳劑の分散系の分散度とは如何なるものを指示するか又如何なる物理的意義を有するかといふ事に就き少くとも定性的に之れを推論することが出來た。實驗結果は全部未だ分解等の現象を起しをらざる如きものに就き實例せしものであるから老化 (Alterung) 其の他外界の影響を受け分散度に變調を來せるもの又は分散の移動を來せる場合等は自ら其の趣きを異にせる分布現象を伴ふや豫測する事不可能なるも、この點に關しては例へば Smoluchowski 氏[68] が粒子衝突の機會確率と粒子の結合に就き考察せしが如き考へをも考慮に入れ研究する必要があるが今これに關して一切觸れない事とする。

第四章　分散系に於ける粒子分散度(粒子平均直徑)と分散系諸物性との相互關係に就て

以上第三章に於て瀝青乳劑の粒子分散そのものに就いては詳細に之を論ぜるも、最後に乳劑としては重要なれば本報告の直接の目的には非らざるも本試驗に使用せし瀝青乳劑の他の特性と粒子分散平均直徑との關係に就き二三述ぶる所あらん。

先づ一般使用の際に適用される規格試驗により之を見れば如何なる特性を有するやを附記す。以下實驗に關する事項は著者の一人(福島)の實測によるものにて試驗方法は本所試驗報告土木工事用材料標準試驗法中瀝青乳劑の各項により之を行ふ。撒布用又は透入用を *A* 種，混合用を *B* 種とす。第4表及び別表第12表は上記試驗方法にて得たる各試料の結果を示すものにて第六章に詳細に之れが說明を添附した。第四表は以上の十一種に付き *A* 種，*B* 種のもの平均値を示すものである。以下記述せんとする事項は第六章說明と重複の嫌ひある點あるも重要事項なる故以下主に第四表の結果と顯微鏡寫眞より測りし平均直徑 D_3 との間の關係を考察せん。

勿論第4表の如きは實用上の實驗による標準を示すものであるから嚴密なる議論をなすには更に定量的な實驗を行ひ、然る後其の關係を論及する方望ましき事なれども、今一段階として二三其の重要なるものに就き考察せん。

第　4　表

試料名　撒布或は透入用乳劑七種(A種)
混合用乳劑三種　(B種)

一般性狀　黒褐色質均等なる國産アスファルト乳劑

試料番號		A種乳劑	B種乳劑	備考
試驗項目	條件	成績	成績	
1. 外觀		均等	均等	
2. 比重	25°/25°C	1,005～1,010 **1,006**	1,008～1,015 < **1,011**	
3. a. 比粘度	25°Cエングラー	2,6～2,9 **2,8**	10,4～11,5 < **11,0**	A種I號を除く B種B號を除く
b. 比粘度	4°C エングラー	4,6～5,6 **5,1**	15,4～16,3 < **15,8**	同上
4. 水分	%(W)	45,5～49,5 **48,5** >	43,0～45,0 **44,0**	A種I號を除く
5. 瀝青質殘留物	%	50,5～54,5 **51,5**	55,0～57,0 < **56,0**	同上
a. 比重	25°/25°C	1,010～1,025 **1,015**	1,012～1,019 **1,015**	
b. 純瀝青	CS_2%	98,2～99,8 **99,2** >	98,1～99,6 **98,8**	
c. 灰分	%	0,2～0,8 **0,8**	1,9～1,4 < **1,2**	
d. 針度	25°C, 100g, 5sec.	103～145 **130** >	93～144 **114**	
e. 延性	15°C, 5 cm/min.	**>100**	**>100**	
f. 軟化點	R&B,5°C/min.,°C	35,5～42,5 **38,6°**	35,0～43,9 **38,5°**	
6. a. 分餾速度	20°C	30m ～45m. **40m.**	$2\frac{1}{2}$～$3\frac{1}{2}$h < **3h**	
b. 分離被膜		良	良	
c. 分解値(Z.W.)	石灰石	5,2～11,6 **9,0** >	1,9～3,4 **2,4**	
7. 貯藏安定度	7日			
a. 定性試驗	分離水層 mm.	3～6 **4mm.**	0～8 **3,2mm.**	A種I號, L號を除く
b. 定量試驗	%	0,6～3,5 **1,7**	0,8～2,8 **1,4**	同上
8. 低温安定度	−5°C, 3h	安定なると不安定なると略同數	全	
9. 混水安定度		……	一般に安定なるもの多し	
10. 分散度試驗				
粒子直徑	平均直徑 $D_0(\mu)$	**2,61** >	**1,46**	
同	確率直徑 $\overline{D}_{16}(\mu)$	**2,26** >	**1,38**	

(i)・分解に關する特性と分散度との關係

第4表を見るも分解に關連せるものとしては分解速度，分解値 (Z.W.) 低溫安定度等種

々あるも比較的定量的にその性質を表示せるものは分解値 (*Z.IV.*) である。其の他のものは實用上の規格としては充分その特性を表せるものと考へられるも、分散度等と比較するには更に深く精密に研究する必要がある故今比較的取扱ひ易き分解値 (*Z.IV.*) に就き考察せん。*A* 種 *B* 種のものに就き *Z.IV.* を比較するに混合用 *B* 種のもの分解値が小である。即ち微粒子の小なるもの>方安定なる事を示してゐる。各試料別個に就いては必ずしも全體を通じて之を見れば確率直徑の小なるもの大なるものに對して安定ではない(分解値小)然るに各製造所の製品に就きては必ず確率直徑の小なるもの>方分解値が小である。勿論平均値に就きても第4表の示す如くその傾向を示してゐる。

斯る分散度大（今の場合粒子平均直徑等の小なる事と同意義を有す）なるものが安定であると云ふことは瀝青乳劑以外の乳濁液に就いても實測されてゐる。例へば S. U. Pickering 氏[69]は鑛物油乳劑の安定度に就き同様な結果を得てをり，Bancroft 氏[70] も彼の乳化理論 (Theory of Emulsification) なる論文中主として實驗上の結果であるが總ての他の條件を同一にする時粒子の小なる程安定である事を指摘してゐる。

其の他 S. Oden 氏[71]は硫黄乳濁液に就いて電解質なる NaCl, HCl の如き稀薄溶液を添加し凝結の有様を限外顯微鏡にて實測し同様な結論を得てゐる。

更に此の種粒子の大小と外界の影響との關係が非常に重要な寫眞乾板に使用する臭化ゾルに對して感光度と微粒子平均直徑が理論的にも實驗的にも相當深く詳しく研究されてゐる。L. E. Dawidson 氏[72]によれば相對的感光度 (H. D. Gerade) と粒子平均直徑とは直線的に增減してゐる，理論としては E. P. Wightman[73] 氏一派の人々によりて古典力學の吸收理論を根據としてその關係を說明したものがあるが、一層更に其の後明瞭に L. Silbersein 氏[74] により求められた。古典的量子力學による粒子の平均直徑と光量吸收との關係を利用し分散度大なるもの（平均粒子の小なるもの）が感光度小なること即ち外界の影響に對し安定なることを實驗と理論との上より研究し兩者の非常に良く一致せる事を立證した。

然して以上の如き性質は第三章に誘導せし理論分散式よりも之れを明瞭に了解することが出來る。第 (32)′式により分散度は確率直徑（平均直徑に比例す）に逆比例する。即ち

$$\text{分散度}=1/D_w=\sqrt{\left(\gamma+\frac{2\pi}{D}d\sigma^2\right)}\Big/kT$$

なる式を見るに一般に $|\sigma|>0$ にて且つ分散度大となれば D_w 小となり σ^2 は增加する。然る時 (5) 式を見れば少くとも定性的性質としては假說二重層の ζ－電位 は增加する。即ち ζ 電位は大となる事は凝結理論 (Koagulation Theorie) に於ける ζ－電位の機構等

より判定せし結果と同一のものにて粒子の小なるものの安定なる事と ζ－電位 大なる事とは同意義を有するものなるかの如く解せられる。

然るに ζ－電位 は一方第三章にも述べし如く電氣泳動 (Kataphoresis) に於ける微粒子の動易度 (Mobilität) よりも定義されるのである。

然るに此の方面の實測によれば或る種のゾルに於ては粒子の小のものが ζ－電位の小なる値を有する事が最近測定されてゐる。例へば H. A. Abramson 氏[75]の實驗もかかる結果を與へてゐる。卽ち上記分散式又は凝結理論の與ふる ζ－電位 と粒子平均直徑との關係結果とは逆の傾向を示してゐる。

今直ちに泳動論によるものの正否に就て論及するは困難なるも電氣泳動の場は微粒子周圍の分散媒の粘性、粘性變形、剪斷抵抗等により現象が定まり、その結果として ζ－電位が測定されゐ，ζ－電位 が粒子の大きさにより種々異る値となりて現はれ來るも斯る力學的現象の結果によるものと推察されゐ。斯く考察すれば擴散層としての理念的二重層の ζ－電位 は運動を直接に伴はない場合の凝結安定度又は粒子分散度を示す ζ－電位 が眞にその眞相を示すものとも考へられゐ。然し實際具體的のものにては電氣泳動による測定法によらねばならないから、斯の如き二つの一見矛盾せる結果が生ぜしが如き揚合、特に後者の場合には一應動易度と電場との關係をも吟味して置かねばならない。然して後斯の如き問題は論及さるべきものであらう。

(ii) 分散系粘性に關するもの

一般に分散系の粘性系數は最も簡單なる取扱ひに於ては唯分散質の容積濃度 (φ) 及び分散媒のみの粘性系數 (η_0) により一義的に表はさるものとされてゐる。瀝青乳劑に於ては此等の間に著者の一人 (島田)[75] が實驗理論式を求めたが粒子の大きさは總て一樣と先天的に考へ且つその分散度又は粒子の大小に關して觸れる所が無つた。

嚴密に考ふれば系の粘性は粒子分散度（若し分散度と平均直徑が別個の獨立函數であれば粒子の絕對的大きさ）と密接な關係がある樣に考へられゐ。此の方面の研究は僅少であるが Oden[76] 氏が硫黄のゾルに就き平均半徑 5 $\mu.\mu.$ のものと 50 $\mu.\mu.$ のものに就き粒度を測定し同一濃度の分散系に於て前者の方が大なる粘度を有すると述べてゐる。

一方 O. Sibree[77] 氏はパラフィン油の乳濁液に就て粘性系數と平均直徑との關係を調べ、分散質の眞の容積比と Hatschek 氏の粘性式を用ひて誘導される容積比との比卽ち h -膨潤比率 (Hydration Koeffizient) と平均直徑との關係を吟味したが實驗の結果全く粒子の大小と關係がないと述べてゐる。

著者等の實測せし結果によれば第四表の如く“エングラー,,比粘度値であるが攝氏 25°C, 4°C に於ける測定値ともに平均粒子直徑値の小なる方粘性の大なる事を示してゐる。斯の如く Oden 氏の實測結果の如き結果になつてゐる。此の問題は粒子の大きさと粘性度測定

器の主要部分の大いさの相對的關係により支配される事と思ふから、速度傾度 (Geschwindigkeitsgefaelle) 等を考へに入れた實驗等に俟つべきである。之れに關しては近く論ずる機會があると思ふ。

(iii) 沈澱現象竝に分散質含有量に關するもの

定性、定量、安定度は要するに沈澱現象 (Niederschlagen Vorgang) に左右されるものであるが單に微粒子が浮遊ブラウン運動をなしつつ平衡狀態を保持しつつブラウン運動平衡法則に從ひ自然的に分布するとしても斯る分布は分散質と分散の媒と比重、分散媒の粘度、濃度等により支配される。

然るに此等の値を個々單獨に如何にとるべきか唯巨視的 (Makroskopisch) に通常の方法にて測定した値を其の儘採用して可なるか他の特性 (例へばζ－電位等の推定) より歸納された或る種の修正を施すべきものなるか此間頗る複雜な問題が存してゐる。

單に普通の測定法にて測定された粘度、比重、粒子の大きさ等のみにて沈澱 (Niederschlagen) 平衡狀態に伴ふ事柄と此等の量との關係を定量的に求むるは困難である。胞子 (Micelle) の狀態を破壞する事なく相當稀釋せる乳劑に就き沈澱時間曲線を求めζ－電位より修正された平均直徑を用ひ粘性及比重を適當にとる事により後始めて理論的に粒子分散度と沈澱との關係を求め得ると考ふ。

第四表中瀝青殘留物の灰分の量は、平均直徑の小なる場合に乳化劑又は安定劑の多量に含有しある事の一面を示すものと考へらる。一方鋪裝用瀝青乳劑としては他の特性を損ぜざる限り可及的瀝青物の含有量大なる事を必要とする。

蓋し如何なる程度に含有し得るかは唯に分散質と分散媒との容積比のみにて決定さるるものでない。今一樣な粒子なれば粒子の大小に拘はらず純幾何學的排列により見れば二つの場合あるも其の最大含有量は 74.05% である。この際更に球々の間の空隙に入り得る小球あれば濃度を增加し得るも空隙より大なるものにては濃度を增す上に前者より劣る。其れ故單に幾何學的排列上より考ふれば均一粒子は含有量を增すに有效でない。

一方油—水乳濁液にて含有量 83%[78] それ以上のものも容易に存在する事が實驗されてゐる。斯の如きものにては粒子は大小適當なる分布を有する場合のみ成立つ。然るに著者等の實驗せしものにては瀝青質含有量大なるものは粒子平均直徑小にて分散度大なる系である。此の事實は安定なる乳劑を得んとする場合然も瀝青量含有量の增加を計るには單に幾何學的排置のみにて之れを判定する事の不可なるを示すものである。卽ち分散系の安定條件とを合せ考ふれば上記の如きは自ら明かである。

特に直徑の小なものを集め大なるものを出來るだけ排除する事は不安定な凝結確率大なるもの卽ち凝結の核 (Kern) ともなる原因を排除することになり全體より見て更に安定な

る含有量多きものを得る主要なる要素と考へる事が出來る。

以上は粒子分布と本試料に就きての實測試驗範圍内に於ける諸性質との間の關係に就き二三考察を試しものにて其の一端を窺ひ知る事が出來た。此の種有機的微妙な機構に關しては將來の研究に俟つべきである。

上述 (i) (ii) (iii) 各項共重要なものであるが (i) 項に述べし如き ζ- 電位の考察が總て斯くの如き系の平衡非平衡問題に重大な意義を持つことを一つの新しき視野を通じて明瞭に之を了解し得た。斯の如くして、此の種基本的研究の重要性を知り得るのである。

第五章　瀝青粒子分布に關する以上の結論

以上第一章より第四章に詳細に說明せし如く鋪裝用瀝青乳劑に於ける粒子分散度に關して其の存在性竝に意義を考察し、之を明かにする事が出來た。卽ち分散度は確率直徑の逆數を以て一義的に之を示すことが出來た。本乳劑の如く生理的發生的生成機能によらざる微粒子に關しては粒子分散の一般式として下式の如きものを得た。

$$\Delta N = N \cdot C \cdot e^{-\left[O\left(\gamma+\frac{2\pi d\sigma^2}{D}\right)r^2+V\frac{9kT}{4\pi}\left(\frac{r}{a}\right)^3+L\cdot G\cdot r\right]}r^2\Delta r$$

但し　N; 單位容積に存在する粒子總數　　γ; 表面張力 C.G.S 單位

d; 電氣二重層の假說的厚み　　σ; 電氣二重層の假說面の單位面積當りの電氣量

D; 電氣二重層中の平均電媒係數　　k; Boltzmann 常數

T; 絶對溫度　　G; 剛性强度

O, V, L; 比例常數にて $4\pi\sim0, 4\pi\sim0, 2\pi\sim0$ の範圍に變るものとす

C; 常數にて $\int_0^\infty \Delta N = N$ より之を求む

r; 粒子の半徑

上式は半徑 (r) と ($r+\Delta r$) との間に存すべき粒子の單位容積中に於ける數を示す。

瀝青質乳劑の場合實驗値と可成り良く一致するものは上式一般式より之を求むることが出來る。卽ち $L=0$, $O=4\pi$, $V=0$, と置けば

$$\Delta N = N\frac{4\beta^3}{\sqrt{\pi}}e^{-\beta^2r^2}r^2\Delta r$$

$$\beta = \frac{1}{D_w}\infty\sqrt{\gamma+\frac{2\pi d\sigma^2}{D}}$$

卽ち　分散度∞1/平均直徑

を得。

斯く分散度の意義は表面張力竝に電氣的二重層 (Elektrische Doppelschicht) の特性に

より一義的に定るものである事が示された。分散度大にて平均直徑の小なるものにてはブラウン運動による分散度の項も表れて來る。斯の如き表面張力、電氣的エネルギーの假定の下に導きし分散にて實際上他の重要な性質との關係をも良く說明する事が出來た。特に電氣的二重層の特性が重大な意義を持ちζ－電位と凝結の現象との間には一層此の關係が著しく表はれてゐる。斯くして分散系の粒子の平均直徑を分散度の立場より力學系の平衡問題として之を考察する事が出來た。

第六章　實驗試料として使用せし道路鋪裝用瀝青乳劑に關する一般性狀に就て

第三章に詳細に報告せし如く顯微鏡方法にて粒子直徑を測定せしものであるが之れが試料が如何なる性狀を有するやに就き一應吟味し置く必要あるを以て主として土木試驗所標準試驗方法により著者の一人（福島）が周到なる實驗を行ひ第 4 表及び別表第 12 表の如き結果を得た。以下實驗事項竝にその結果より道路鋪裝用國產瀝青乳劑の（全部アスファルト乳劑）一般的性狀に就てその大略を記述すれば次の通りである。

(1) 外觀

A種乳劑は一般に黑褐色を呈し質は均等にして浮遊物及沈澱物等なく，微アルカリ性反應を示し，新鮮なる者に就ては臭氣なく粘度も高からず撒布或は透入に便利なる性狀を持つて居る。

B 種乳劑も一般に A 種乳劑と同じく黑褐色にして質は均等であるが比較的濃厚にして粘度高く分解は遲く混合に便利なる性狀を持つて居る。從來瀝青乳劑は其の粒子が粗く浮遊物竝に沈澱等が交り，質が不均等にして一見肉眼的に不良品と目される者數多存在せしも近來此の點に就いて可成りに改良せられ概む均等性になり其の品質を向上せるものが少くない。

(2) 比重 (25°/25°C)

一般に A 種乳劑は 比重平均 1,006 程度にして，B 種乳劑は平均 1,010 程度である。同一工場の同種製品に就いては其の變化は大略 0,01 以內に止る場合が多く一二の製品を除いては其の變動は一般に小である。

(3) 比粘度 (25°C 及 4°C)

乳劑の比粘度は瀝青質の含有量、乳化劑の種類竝に量、製造方法竝に溫度等に依り變動すべきものであるが一般に其粘性は A 種及 B 種乳劑を通じて撒布、透入竝に混合の難易

及び分離被膜の良否竝に膠着力の强弱等に關係すべき重要なる性質である。

(a) **比粘度** (25°C) はA種乳劑にては平均 2,8 程度にして, B 種乳劑では 11,0 程度である。

(b) **比粘度** (4°C) は A 種乳劑にては平均 5,1 程度にして, B 種乳劑では 16,0 程度である。

溫度の變化に依る比粘度の變化は規格案に於いては 4°C に於ては 25°C に於ける實測値の 2,5 倍以下と規定せるも一般の良質なる乳劑にありては、その新鮮なる者に對しては 1,5～2 倍程度の範圍に止つて居る樣である。

A 種乳劑にありては撒布時の溫度に對する比粘度は 3～4 程度が最も良しとされて居る, 今假りにその溫度を 25°C とすればその比粘度は概ね 3～4 程度なる故撒布竝に透入にさして不便無きものと信ぜられるものである。

(4) 水分含有量

水分は後述の瀝青質と共に乳劑の二大成分をなすものである。概ね, A 種乳劑に就いては其の含有量 48,0%, B 種乳劑にありては 44.0% 程度である。水分含有量は次の瀝青質含有量と共に製品により、之が一定せるものもあり、せざる者もありて製品の種類により多少の變動がある。

(5) 瀝青質殘留物

瀝青質殘留物は乳劑使用後膠着材として働く者にして最も重要なる成分であるのみならず又原料瀝青質の良否は乳劑の諸性質に大なる影響を與へ又一方乳劑は他の諸性質を毀損せざる限り其の含有量の大なるは經濟上得策とする所大なる故に特にその含有量と性質との試驗は肝要なるものである。その含有量は A 種乳劑に就いて概ね 52,0%;B 種乳劑に就いては 56,0% 程度である。更にその性質を檢する爲めに次項の如き試驗を行つたものである。

(a) 比重 (25°C)

A 種及び B 種乳劑を通じて其の比重は概ね 1,010～1,025 の範圍にある。之れより考ふれば原料瀝青質の比重の大小は乳劑の諸性質特に安定度に關係する所大なる故にその比重は概ね水のそれに近い者を撰びて使用して居る事を推察し得るのである。

(b) 純瀝青、 (c) 灰分

此處に云ふ純瀝青分とは瀝青殘留物中二硫化炭素に可溶成分の意味である。元來乳化劑の大部分は此の殘留物中に含有せられ其の中で二硫化炭素に溶解せられべきもの無きを保

し難きもその量は極めて小量なるべきを以て、大體純瀝青分と考へる事が出來る。その含有量は A 種乳劑に於いては概ね 99.5%;B 種乳劑に於いては概ね 98.5% 程度である。

次に灰分とは此處では以上の二硫化炭素に不溶なる無機及び有機成分の總稱の意味にしてその含有量は A 種乳劑に於て概ね 0.5%;B 種乳劑に於いて 1.5% 程度のものである。尙その數値は瀝青質殘留物に對する百分率を以つて示してゐる。

(d) 針度 (25°C), (e) 延性 (15°C), (f) 軟化點 (R & B)

瀝青質殘留物の針度は A 種乳劑に就いては概ね 100～150 ; B 種乳劑に就いては 90～150 程度の範圍である。尙水分蒸發等の操作の爲めに原料瀝青質針度の二割の減少を伴ひたるものと假定すれば,原料瀝青質の針度は A 種乳劑に就いて概ね 120～180;B 種乳劑に就いては平均 110～180;兩種平均 115～180 程度のものと推測されるのである。

延性 (15°C) は兩種共に 100 cm 以上であり, 軟化點は 38°C 內外である。

以上の如き諸試驗結果よりして一般に乳劑製造原料としては比較的軟質に屬し而も純瀝青量の多き良質瀝青質が撰擇されて用ひられて居る事を容易に想像し得るのである。

(6) (a) 分解速度 (b) 分離被膜の性狀 (c) 分解値 (Z. W.)

分解速度は乳劑が撒布或は混合せられたる場合主として其の表面に於いて大氣及び石材の影響に依り分解を初め分離被膜を生成し、その膠着材としての作用を現はし始めるまでの大體の時間を表はすものにして, A 種乳劑にては約 30～40 分;B 種乳劑にては約 2～4 時間內外を要するのである。

分離瀝青被膜は一般に均等にして分解が完結せる後は之を靜かに水と振盪するも轉落剝落等を起すこと著しからず, 又再乳化を起すことも稀である。

分解値は乳劑が撒布或は混合せらるる場合主として其の內部に於て石材の影響に依り分解せらるる模樣を測定せるもので, 一般に A 種乳劑は早く, B 種乳劑は遲く混合に必要なる乳化度を保持して居るを知るのである。

(7) 貯藏安定度 (7 日)

此は常溫に於いて乳劑を貯藏する場合の安定度を表す一方法である。此は一定容積の目盛圓筒に一定量の乳劑を採り, 7 日間之を靜置したる後, (a) に於いて分離せる水層及沈澱せる瀝青質部分等を見更に之を振盪攪拌して再び均等なる原乳化狀態に復するや否やを檢し (b) に於いて上下二部分の 試料中よりその含有瀝青量を定量しその差を以て貯藏安定度を表はすのである。

(a) 定性試驗に就いては A 種及び B 種乳劑共に分離水層概ね 0～8 m.m. の範圍にし

て浮遊竝に沈澱せる分離瀝青部分も小量にして振盪攪拌に依り容易に均等なる原乳化狀態に復するものが多い。

(b) **定量試驗**に於いても A 種及び B 種乳劑共に 0.5～4.0% の範圍にして極めて安定なる者が多い。然し例外としては I 號竝に D 號乳劑の如く (a) に於いて夫々 130mm. 及び 32 mm., (b) に於て夫々 48.2% 及び 26.6% の如き分離を現はし尙 D 號乳劑の如く採取後一ヶ月にしてその大部分が分解し烈しく之を振盪攪拌するも再び乳化せざるが如き不安定なる二三の製品も存在するのである。

(8) **低溫安定度** (−5°C, 3h.)

低溫安定度は乳劑が其の貯藏中時に寒冷の影響を受ける場合の變化を試驗するものである。A 種及び B 種乳劑共一般に安定なるものと不安定なるものと略同數を算するのである。

(9) **混水安定度**

混水安定度は一般に B種乳劑に就いて行ふものである。一般に混水に對しては安定なるものが多い。

(10) **分散度試驗** (粒子の大さ及分布狀態) 第三章, 第四章, 顯微鏡寫眞, 附圖, 參照。

一般に貯藏安定度、低溫安定度、混水安定度等にて表はされる乳劑の安定性は製造者竝に使用者たるの立場を問はず常にその工學的性質上重要視さるべき者にして現在の製品中には將來特にこの方面を研究改良せらねばならない者が少くない。斯の如きはその乳化方法即ち粒子の分散方法竝に原料瀝青質及び乳化劑, 安定劑の選擇竝に配合等に關する研究と同時に、以上の如き瀝青乳劑としての工學的諸性質に關係すべき諸要素の膠質化學的研究との進歩に俟つて始めて改良せられるものである。

之を要するに、以上の如き瀝青乳劑の分布狀態がその工學的諸性質に如何に關係すべきかは上記第四章に概述されたるも十分なる定量的な說明を與へる事は早計である。この點に關して將來、此種基本的研究の進行と工學的試驗とか相俟つて始てその工學的諸性狀及びその試驗竝に使用方法竝に製造方法等に關する相互的關係が釋明される者と著者達は信ずるものである。

最後に本研究殊に、この種基本問題の研究に對し多大の御鞭達と有益なる御指導とを賜りたる所長竝に所員諸彦に對し著者等は深く感謝の意を表するものである。特に、顯微鏡操作に就てその御指導を給りたる高田技師、竝に試驗及びその整理に多大の勞を煩はせし土屋直氏に深く謝意を呈するものである。

§ 引 用 文 獻

1. 土木試驗所 報告; 土木工事用 材料標準試驗法 昭和七年十二月
2. M. von Smoluchowski: Ann. d. Physik, **21**, 756, 1906, Zur kinetischen Theorie d. Brownschen Molekularbewegung d. Suspensionen.
3. A. Einsten: Ann. d. Physik, **19**, 371, 1906; Zur Theorie d. Brownschen Bewegung.
   ,, ,, Ann. d. Physik, **17**, 549, 1905; Ueber die von d. Molekularkinetischen Theorie d. wärmegeforderten Bewegung v. einruhenden Flüssigkeit suspendierten Teilchen.
4. Jean Perrin: Compt. rend., **146**, II. 967, 1908: L'agitation moléculare et la mouvement browien.
   ,, ,, Kolloid, Beih. **1**, 221, 1910: Die Brownsche Bewegung u. die wahre Existenz d. Molekuls.
5. M. René Konstantin: Compt, rend. **158**, 1171, 1914; Etude expérimentalle de la compressibilité osmotique des émulsions.
6. B. Iljin: Z. f. physikal, Chemie, Bd. **87**, 366, 1914; Die Höhenverteilung d. Teilchen bei der Brownischen Bewegung.
7. M. Raffo: Kolloid Zst, **2**, 358, 1908; Ueber Kolloiden Schwefel.
8. The Svedberg, Knud Estrup: Kolloid. Zst. **9**, 259, 1911: Ueber d. Bestimmung d. Häufigkeitsverteilung d. Teilchengrössen in einem dispersen System.
9. Ivar Nordlund: Kolloid. Zst. **26**, 121, 1920: Untersuchungen ueber d. Bildungsmechanismus u. Eigenschaften d. nach verschiedenen Dispersionsmethoden dargestellten Quecksilber hydrosole.
10. H. Freundlich: Kapillarchemie, Bd. I, s. 459, Leipzig 1930.
11. Elmer O. Kraemer, Alfred J. Stamm: J. of Amer. Chemical Soc., **46** II, 2709, 1924: A new method for the determination of the distribution of size of praticles in emulsions.
12. Carl K. Fischer; William D. Harkins: J. of physical chemistry, **36**, 98, 1932, Monomolecular films; The liquid-interface and the stability of emulsions.
13. O. Sibree: Trans. Farad. Soc. **27** p. 161, 1831, The viscosity of emulsions Part II,.
14. Alfred J. Stamm, The Svedberg: J. of Amer. Chem. Soc. **471**, 1582, 1925; The use of scattered light in the determination of the distribution of the distribution of size of particles in emulsions.
15. N. N. Andrejew, N. A. Kudrjawzew, T. A. Stessel: Kolloid Zst. **52**, 184, 1930; Ueber eine Anwendung d. photoelektrischen Effekts zur Bestimmung d. Beziehung zwischen Teilchenzahl, Teilchendimensionen und d. Grösse d. Lichtdispersion.
16. 松井元太郎、野田稻吉、神田周、小山田茂: 東京工業大學報 2 卷 11 號 昭和八年十一月. 光電管に依る懸濁液の濃度の測定に就て.
17. E.P. Wightman, A.P. H. Trivelli, S. E. Scheppard: J. of physical chemistry, vol. **27**, 270, 1922; The size frequency distribution of grains of silver halide in photographic emulsion and its relation to sensitometric charateristics.
    E. P. Wightman: Trans. Farad. Soc. **19**, 270, 1923; Structure of photographic emulsions.
18. Prof. Zernk: J. C. Kapten and M. Van Uven: Skew frequency Curves in biology and statistics, 2nd paper, Astromical Laboratory, Groningen, Holland.

19. 和田正雄：九州帝國大學工事部彙報第 6 卷 1 號、昭和六年；寫眞乾板乳劑の臭化銀粒子の分布に就て
20. S. E. Sheppard：Photographic J. 1925, p. 31：Grain size and distribution in emulsions.
21. H. W. Gonell：Zement, XVII Jahrgang S. 1786, 1928：Die Bestimmung d. Kornzusammenzetzung staubförmiger Stoffe, insbesondere von Zement.
„ „ ：V. D. I. Band **72**, Nr. 27, 945, 1928：Ein Windsichtverfahren zur Bestimmung d. Kornzusammensetzung staubförmiger Stoffe.
22. Sven Odèn：Kolloid. Zst. **18**, 33, 1916：Eine Method zur Bestimmung d Kornverteilung in Suspensionen.
„ „ ：Kolloid. Zst. **26**, 1001, 1920：Die automatisch registierende Sedimentiervorrichtung u. ihre Anwendung auf ein Kolloidchemische Problem.
23. The Svedberg, Herman Rinde：J. of Amer. chem. soc. **45**, 945, 1923：The determination of the distribution of size of particles in disperse systems.
24. Donovan Werner：Trans. of Faraday Soc. **21**, 381, 1926,：A simple method of obtaining the size distribution of particles in soils and precipitates.
25. 渡邊　彗：氣象集誌，12 卷 1 號；破れ目に就て.
26. Carl W. Correns, Wolgang Schott：Kolloid. Zst. **65** Bd. H.2, 196, 1933,：Ueber d. Einfluss d. Trockens auf die Korngrössenverteilung von Tonen.
27. 西川榮三：土木學會　昭和七年八月　國産鋪裝用瀝青乳劑に就て.
28. M. Louis Mounier：Revue général d. Routes：**6**, 577, 1931, La physico-chimie d. Emulsions aqueuses d. Bitume pour la Route.
29. Mario Giacomo Levi：Annali d. Lavori publici；Giugno 1932, Studi e richerse sulle emulsioni bituminose.
30. H. Weber, H. Bechler：Asphalt u. Teerstrassenbautechnik, H. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 1932, Ueber d. Zerfall der Strassenbau-Emulsionen durch Berührung mit dem Gestein.
31. Kornell Kell：Bitumen, N. 1, 1933：Untersuchungen ü. d. Zerfallwert d. Bituminösen Strassenbau-Emulsionen.
32. H. Walther：Asphalt und Teerstrassenbautechnik, **33** Jahrg. Nr. 33, 698, 1933；Beiträge zur Kenntnis bituminöser Emulsionen.
33. Wilkinson, Forty：Bituminous Emulsions · Process of manufacture of bituminous emulnions.
34. Otto Lange：Technik d. Emulsionen：—Maschinen zur Homogenierung von Emulsionen (Julius Springer, Berlin, 1929)
35. W. Clayton：Emulsions and their technical Treatment, London, J & H. Churchhill, 1928.
36. Alfred J. Stamm, E. O. Kraemer：J. of phys. chem, **30**, 992, 1926：—A note on the mechanism of Emulsification.
37. Wilder. D. Bancroft：J. of phy. chem. **17**, 501, 1913, The theory of emulsification, Part IV.
38. Spencer Umfreville Pickering；Kolloid. Zst. **7**, 11—1910：Ueber. Emulsionen.
39. 野澤房敏：業務資料 **21** 卷 3 號；乳濁化鑛油の研究.
40. F. Haber：Journal of Franklin Inst. vol. 199, No. **4**, 435：Practical results of the theoretical development of chemistry.
41. Henry Bowen Oakley：The origin of the change on colloidal particles.

42. V. H. Helmholz: Ann. d. Physik, **7**, 337, 1879; Studien über elektrische Grenzschichten.

43. H. Lamb: Phil. Mag. **25**, 62, 1888: On the theory of electricosmose and the other applied phenomena and on the existance of a sliding coefficient for a fluid in contact with a solid.

44. M. v. Smoluchowski: In Gaetz's Handbuch e. Elektrizität u.d. Magnetismus, II.

45. Gouy: J. Phys. **(4) 9**, 459, 1910, H. Freundlich; Kapillarcheme I Bd, s. 356~359.

46. M. v. Smoluchowski: 前掲 "44,,

47. Melvin Mooney: Physical Review, **23**, 396, 1924.: Variations in the cataphoretic mobilities of oil drops in water.

48. H. B. Bull, L. A. Corner: J. of phy. chem. **36**, III 1932; Electrokinetic potentials, the effect of particles size on the potentials.

50. H. B. Bull, Rossaiken Gartner: J. of phys. chem. **35**, 309, 1931. Electrical phenomena at interfaces.

51. A. Ganguli: Kolloid. Zst. **64**, H.1, 65, 1933: Ueber elektrische Adsorption and Stabilität von Kolloiden.

52. C. Mc. C. Lewis: Kolloid. Zst. 5, 91, 1909: Die Oberflächenspannung d. Kolloider und Emulsoiderpartikel und ihre Abhängigkeit von der Grenzgrösse der letzteren.

53. A. Gyenant: Kolloid. Zst. 33,9,1923: Die Elektrolytische Dissioziation ionogener Kolloide.

54. L. F. Knapp: Trans. of Faraday, Soc. 17, 457, 1922, The solubility of small particles and their stablity of colloids.

55. Gogoberidze: Kolloid. Zst. B. **65**, H. 1, 2, 4, 1933; Ueber die untere Grenze der Teilchengrösse in dispersen Systemen.

56. A. Einstein: 前掲 "3,,

57. M. V. Smoluchowski: 前掲 "2,,

58. P. Langevin, M. Mascart: Compt. rend., **146**, I, 530, 1908, Sur la theorie du mouvement brownien.

59. Reinhold Fürth: Z. f. Physik, 2, 244, 1920, Die Brownsche Bewegung bei Berücksichtigung einer Persistenz der Bewegungsrichtung mit Anwendung auf die Bewegung lebender Infusorien.

60. Jean Perrin: 前掲 "4,,

61. M. G. Levi: 前掲 "29,,

62. 和田 正雄、三輪 正巳、成澤 汎愛: 九州帝大工學部彙報, **8** 卷, 4 號, 昭和八年十一月臭化銀ゼラチン乳劑に關する研究.

63. E. O. Kraemer, A. T. Stamm: 前掲 "11,,

64. Sven Odèn: Kolloid. Zst. **8**, 186, 1911; Ueber die Darstellung kolloider Schwefellösungen von verschieden Dispersitätsgrad durch Koagulation.

65. The Svedberg, Herman Rinde: J. of Amer. chem. soc. **46**, II, 2677, 1924: The ultra-centrifuge, a new instrument for the determination of size of particle in a microscopic colloids.

66. H. Bechhold: Zst. f. phys. chem. **60**, 257, 1906. Kolloid. Studien mit der Filtrationsmethode.

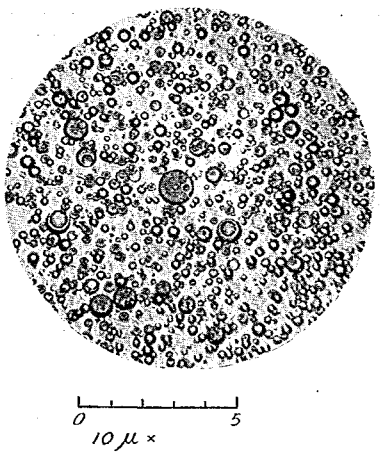
67. J. Perrin: 前掲 "4; "60,,

68. M. V. Smoluchowski: Phys. Zts, XVII. 557, 1916, Phys. Zts., XIII, 709, 1912, Drei Vorträge über Diffusion, Brownsche Molekularbewegung und Koagulation von Kolloidteilchen.

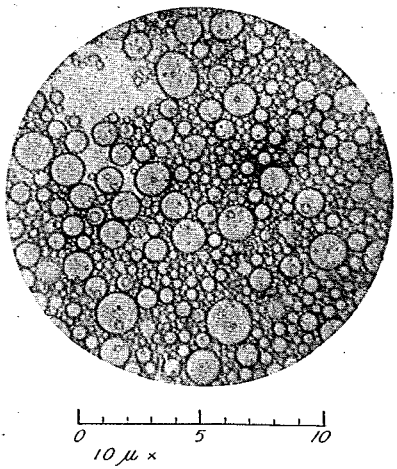
69. S. U. Pickering : 前揭 "38,,
70. W. P. Bancroft : 前揭 "37"
71. S. Odèn : 前揭 "64,,
72. L. F. Dawidson : Photographic J. p. 19, 1925, Conditions governing the Behaviour of the silver bromide grain during development.
73. E. P. Wightman, A. P.H. Trivelle, S.E. Scheppard : J. of phy. chem. p. 141, 1923,: The size frequency distribution of silver halide in photographic emulsions and its relation to sensitometric charactoristics part III.
74. L. Silberstein, A.P.H. Trivelle : Phil. mag. p. 252, 1922,: Preliminary investigations on Silbersteins Quantum Theory of photographic exposure.
75. Harold A. Abramson : J. Phys. chem. **35**, I., 289, 1931 : The influence of size, shape and conductivity on cataphoretic mobility and its bilogical significance.
76. S. Odèn : Z. Physikal chem. **80**, 709, 1912 ; Phyakalische-Eigenschaften d. Schwefel hydrosole.
77. O. Sibree : 前揭 "13,,
78. S. U. Pickering : 前揭 "35,, "69,,

顯微鏡寫眞第 1

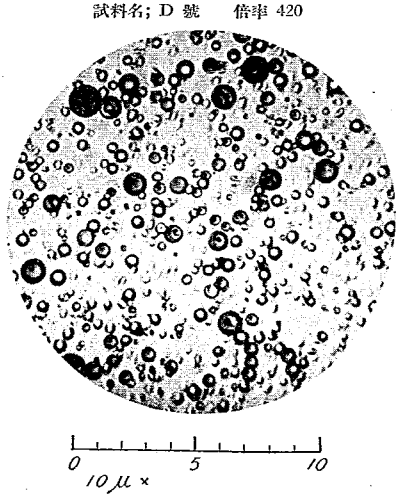
試料名; B 號　倍率 520



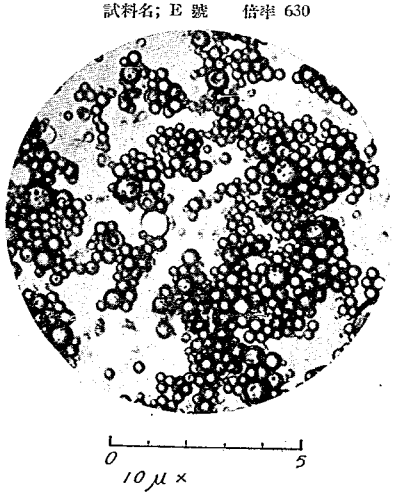
試料名; C 號　倍率 420



試料名; D 號　倍率 420

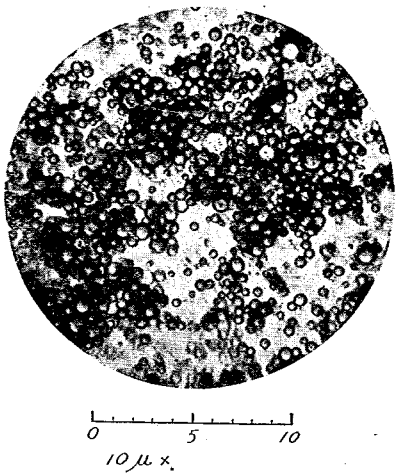


試料名; E 號　倍率 630

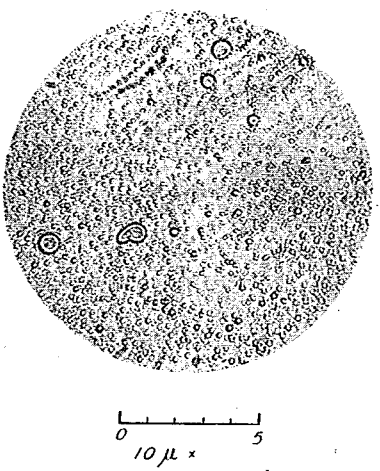


顯 微 鏡 寫 眞 第 2

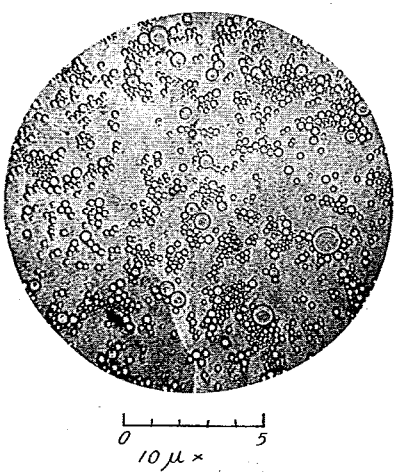
試料名; F 號　倍率 350



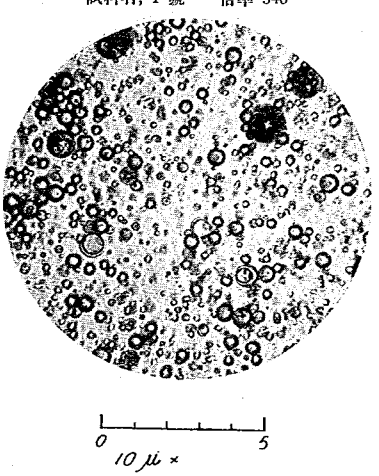
試料名; G 號　倍率 460



試料名; H 號　倍率 460

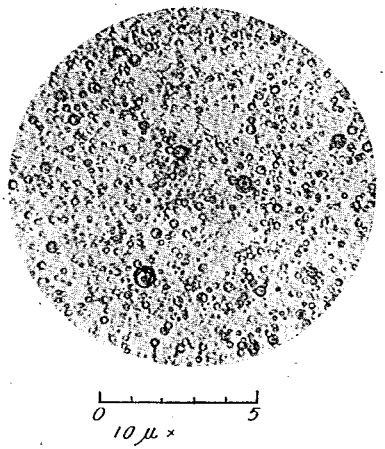


試料名; I 號　倍率 540

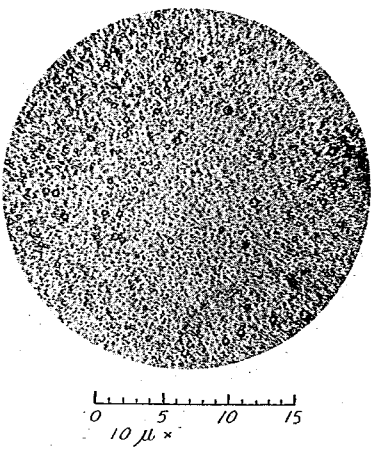


顯微鏡寫眞第3

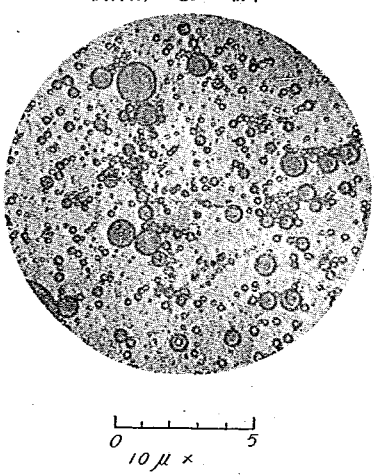
試料名; J 號　倍率 520.



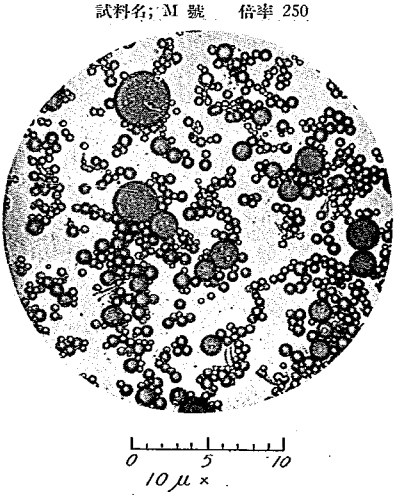
試料名; K 號　倍率 220



試料名; L 號　倍率 460

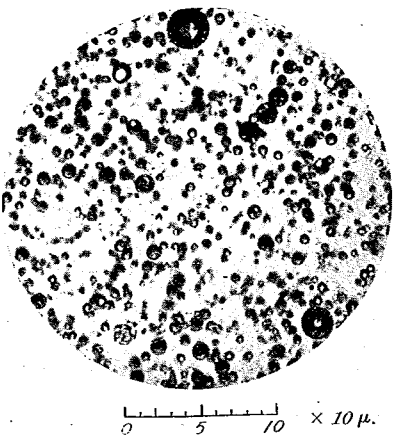


試料名; M 號　倍率 250

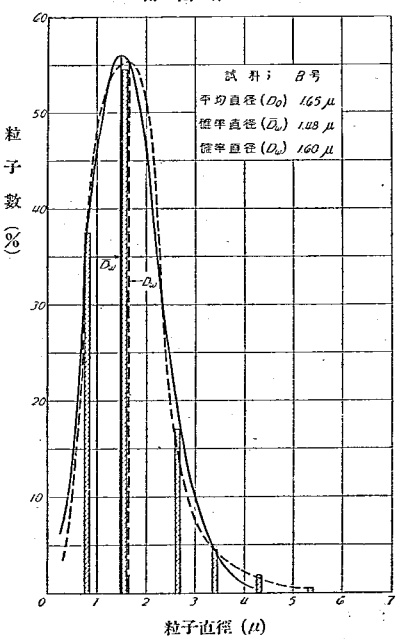


顯 微 鏡 寫 眞 第 3

試料名; N 號　倍率 250



附 圖 第 1.



備考. 附圖に於ける實線曲線は下式による.

$$\frac{\Delta N}{N}\cdot\times 100=\frac{4}{\sqrt{\pi}\bar{D}^3\omega}\cdot r^2 e^{-\left(\frac{r}{D_\omega}\right)^2}\Delta r\times 100.$$

但し, $\Delta r=1\mu$.

$$\bar{D}_\omega \fallingdotseq \frac{D_0}{1{,}127} \qquad D_0=\frac{\Sigma N d \Delta d}{N}$$

を示す.

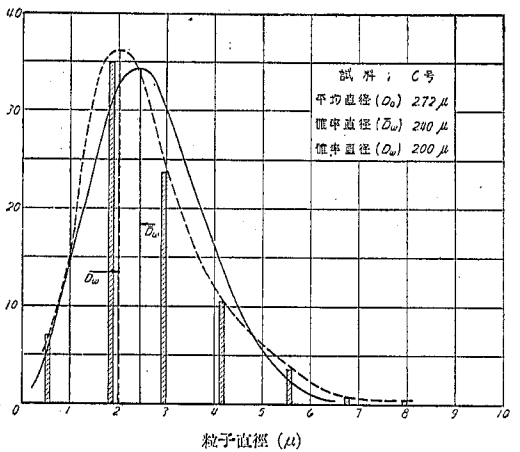
點線曲線は實測値より求めしものにて下記の如き條件の下に之を畫く.

$$\int_0^\infty\left(\frac{\Delta N}{N}100.\right)\Delta D=100$$

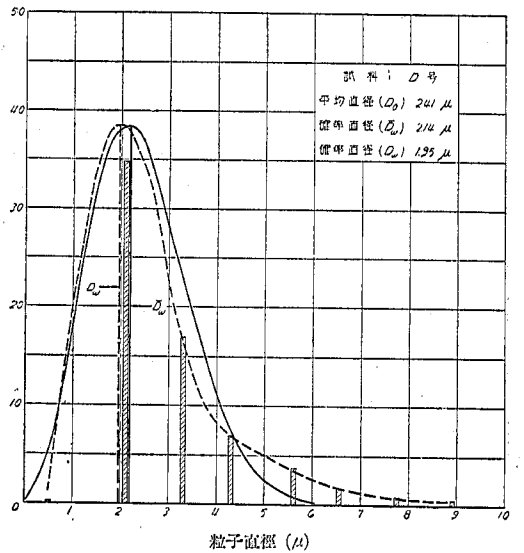
實線曲線の最大點に相當する直徑を ;

D_ω　にて示す

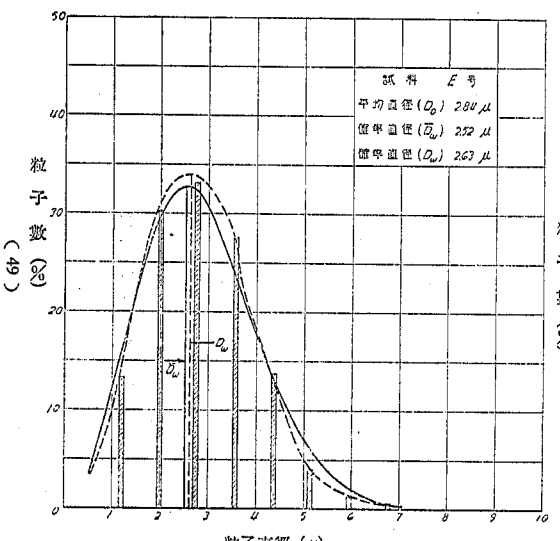
附圖第 2


試料；C号
平均直径 (D_0) 272 μ
標準直径 ($\bar{D}_w$) 280 μ
標準直径 (D_w) 200 μ
$\bar{D}_w$
D_w
粒子数 (%)
粒子直徑 (μ)

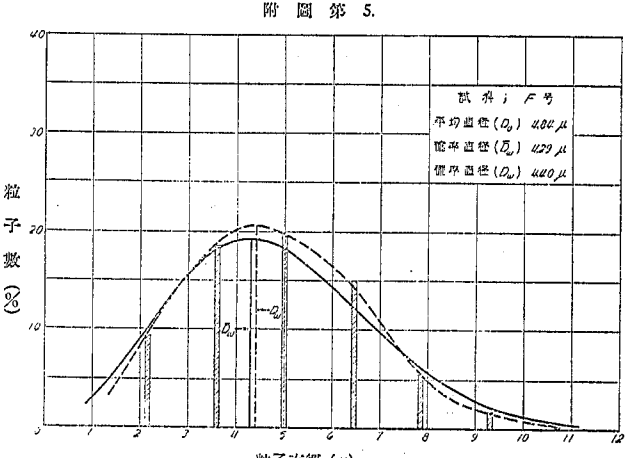
附圖第 3.


試料；D号
平均直径 (D_0) 241 μ
標準直径 ($\bar{D}_w$) 214 μ
標準直径 (D_w) 1.95 μ
D_w
$\bar{D}_w$
粒子数 (%)
粒子直徑 (μ)

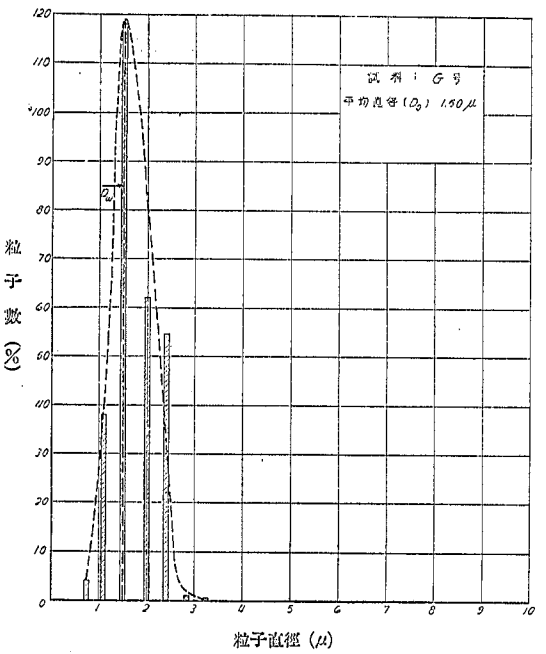
附 圖 第 4.


試料 E号
平均直徑 (D_0) 2.80 μ
個率直徑 ($\overline{D}_w$) 2.52 μ
個率直徑 (D_w) 2.63 μ
粒子數 (%)
粒子直徑 (μ)

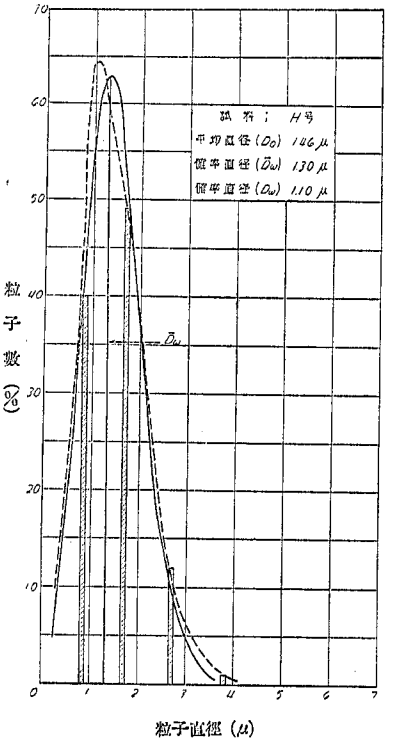
附 圖 第 5.


試料 F号
平均直徑 (D_0) 4.02 μ
個率直徑 ($\overline{D}_w$) 4.29 μ
個率直徑 (D_w) 4.40 μ
粒子數 (%)
粒子直徑 (μ)

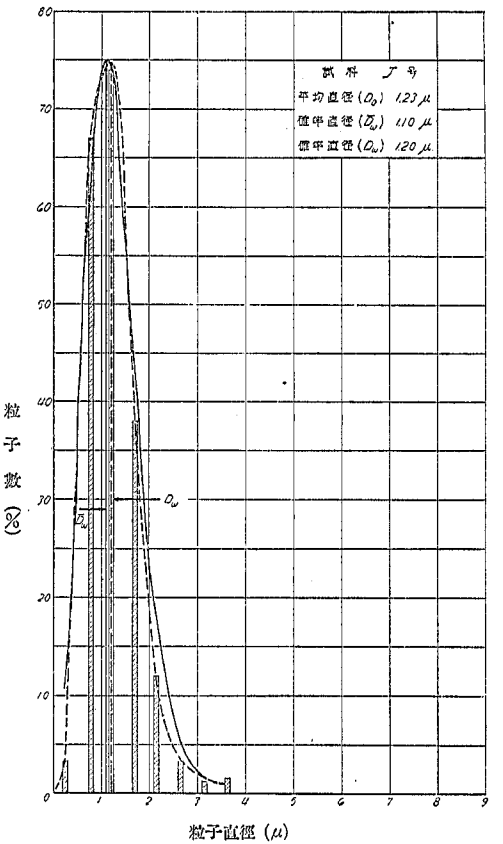
附圖第 6.


試料：G号
平均直径 (D_0) 1.50 μ
$\bar{D}_w$
粒子数 (%)
粒子直徑 (μ)

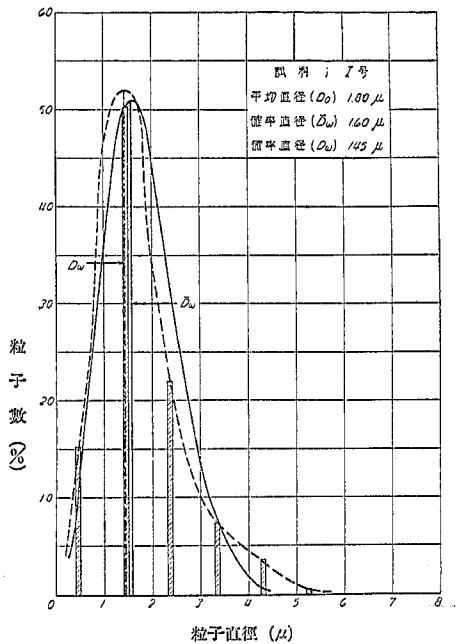
附圖第 7.


試料；H号
平均直径 (D_0) 1.06 μ
個平直径 ($\bar{D}_w$) 1.30 μ
個平直径 (D_w) 1.10 μ
$\bar{D}_w$
粒子数 (%)
粒子直徑 (μ)

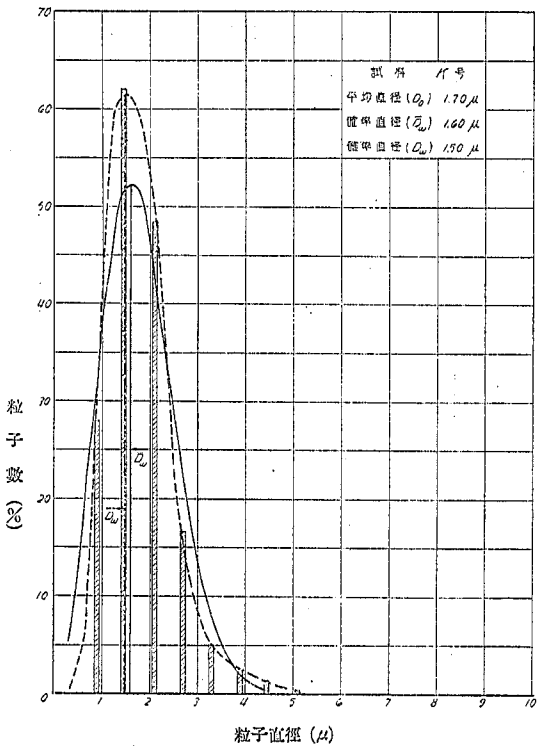
附圖第 9.


試料　丁号
平均直径 (D_0) 1.23 μ
個中直径 ($\bar{D}_w$) 1.10 μ
個中直径 (D_w) 1.20 μ
粒子数 (%)
粒子直径 (μ)

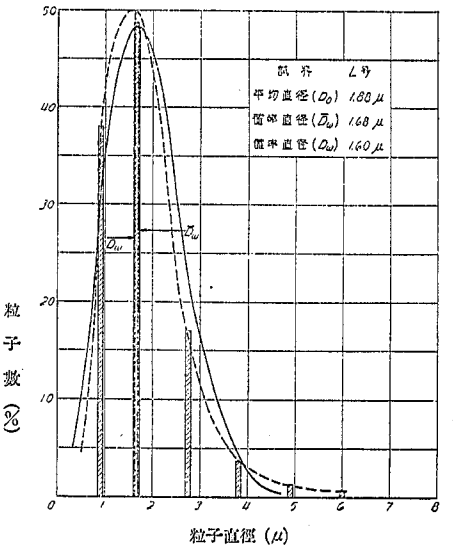
附圖第 8.


試料；丁号
平均直径 (D_0) 1.80 μ
個中直径 ($\bar{D}_w$) 1.60 μ
個中直径 (D_w) 1.45 μ
粒子数 (%)
粒子直径 (μ)

附圖第 10.


試料 A号
平均直徑 (D_0) 1.70μ
積率直徑 ($\bar{D}_w$) 1.60μ
標準直徑 (D_w) 1.50μ
粒子數 (%)
粒子直徑 (μ)

附圖第 11.


試料 L号
平均直徑 (D_0) 1.80μ
積率直徑 ($\bar{D}_w$) 1.68μ
標準直徑 (D_w) 1.60μ
粒子數 (%)
粒子直徑 (μ)

別　表

第 1 表

試　料;　B 號　　顯微鏡寫眞倍率; 520 倍
D_0=1,65μ; D_ω=1,60μ

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}\times 100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$
0,2—0,6	522	208,8	28,6	0,77	37,2
0,6—1,1	940	752,0	51,5	1,54	53,5
1,1—1,5	236	335,0	12,9	2,50	16,8
1,5—2,0	76	133,0	4,2	3,37	4,4
2,0—2,5	32	72,0	1,8	4,33	1,9
2,5—3,0	8	22,0	0,5	5,29	0,5
3,0—3,5	8	26,4	0,5	6,35	0,5
3,5—4,0	4	16,0	0,3	7,21	0,3
	Σ=1826	Σ=1568			

第 2 表

試　料;　C 號　　顯微鏡寫眞倍率; 520 倍
D_0=2,72μ; D_ω=2,00μ

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}\times 100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$
0—0,5	120	30,0	8,7	0,60	7,3
0,5—1,0	564	422,5	41,0	1,79	34,5
1,0—1,5	412	515,5	30,0	2,98	25,2
1,5—2,0	166	290,5	12,1	4,17	10,2
2,0—2,5	64	144,0	4,7	5,36	4,0
2,5—3,0	20	55,0	1,5	6,55	1,3
3,0—3,5	12	39,0	0,9	7,74	0,8
3,5—4,0	10	37,5	0,7	8,93	0,6
4,0—4,5	8	34,0	0,6	10,12	5,0
	Σ=1376	Σ=1568			

D_0: 平均直徑.　　$\overline{D_\omega}$: D_0 に對應する確率直徑=$\frac{D_0}{1,127}$

D_ω: =確率直徑.

第 3 表

試 料; D 號　　顯微鏡寫眞倍率; 420 倍
$D_0=2.41\mu$, $D_{10}=1.95\mu$

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}=100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$
0—0,5	320	118,3	26,4	1,00	26,4
0,5—1,0	498	438,0	41,1	2,09	37,8
1,0—1,5	232	320,0	19,1	3,28	16,1
1,5—2,0	82	147,7	6,8	4,29	5,7
2,0—2,5	52	122,1	4,3	5,60	3,6
2,5—3,0	17	46,8	1,4	6,55	1,2
3,0—3,5	7	22,7	0,6	7,74	0,5
3,5—4,0	3	11,5	0,2	8,92	0,2
4,0—4,5	2	8,5	0,2	10,10	0,2
	$\Sigma=1213$	$\Sigma=1235.5$			

第 4 表

試 料; E 號　　顯微鏡寫眞倍率; 630 倍
$D_0=2.84\mu$, $D_{10}=2.63\mu$

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}\times 100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$
0,5—1,0	142	106,5	10,6	1,19	13,2
1,0—1,5	318	392,0	23,4	1,98	29,2
1,5—2,0	367	550,0	27,2	2,78	34,0
2,0—2,5	308	695,0	22,9	3,58	28,6
2,5—3,0	140	385,0	10,4	4,37	13,0
3,0—3,5	42	136,5	3,1	5,16	3,88
3,5—4,0	14	52,5	1,0	5,95	1,25
4,0—4,5	10	42,5	0,7	6,75	0,87
4,5—5,0	6	28,5	0,4	7,55	0,5
5,0—5,5	1	52,5	0,07	8,35	0,87
	$\Sigma(\Delta N)_m=1344$	$\Sigma=2403.75$			

第 5 表

試 料; F 號　　顯微鏡寫眞倍率; 350 倍
$D_0=4.84\mu$; $D_{10}=4.40\mu$

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}\times 100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$
0,5—1,0	168	120,0	13,8	2,14	9,7
1,0—1,5	324	404,0	26,6	3,57	18,6
1,5—2,0	350	613,0	28,8	5,00	20,2
2,0—2,5	268	604,0	22,0	6,43	15,4
2,5—3,0	72	198,0	5,9	7,85	4,1
3,0—3,5	28	91,0	2,3	9,30	1,6
3,5—4,0	4	15,0	0,3	10,71	0,2
4,4—4,5	4	17,0	0,3	12,14	0,2
	$\Sigma=1218$	$\Sigma=2062.0$			

第 6 表

試 料; G 號　　顯微鏡寫眞倍率; 460×5=2300 倍
D_0=1.5 μ　D_x=1.5 μ

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}\times 100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$
1—2	4	6,0	0,4	0,68	0,8
2—3	190	475,0	16,6	1,09	37,8
3—4	598	2095,0	52,2	1,52	118,7
4—5	312	1404,0	27,2	1,96	61,8
5—6	37	204,0	3,2	2,39	54,4
6—7	3	19,5	0,3	2,82	0,6
7—8	1	7,5	0,1	3,26	0,2
	Σ=1145	Σ=4211			

第 7 表

試 料; H 號　　顯微鏡寫眞倍率; 460 倍
D_0=1.46 μ, D_w=1.10 μ

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}\times 100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$
0—0,5	468	117,0	38,0	0,55	35,0
0,5—1,0	595	446,0	48,3	1,65	44,5
1,0—1,5	141	176,2	11,4	2,72	10,5
1,5—2,0	12	21,0	1,4	3,81	0,9
2,0—2,5	10	22,5	0,8	4,90	0,7
2,5—3,0	4			5,99	0,1
3,0—3,5	1	3,3	0,1	7,07	
3,5—4,0	1	3,8	0,1	6,16	0,1
	Σ=1232				

第 8 表

試 料; I 號　　顯微鏡寫眞倍率; 540 倍
D_0=1.80 μ, D_w=1.45 μ

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}\times 100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$
0—0,5	144	36,0	15,4	4,63	16,6
0,5—1,0	448	336,0	48,3	1,39	52,1
1,0—1,5	212	265,0	22,8	2,31	24,6
1,5—2,0	66	115,5	7,1	3,24	7,7
2,0—2,5	36	81,0	3,9	4,16	4,2
2,5—3,0	12	33,0	1,3	5,09	1,4
3,0—3,5	5	16,3	0,5	6,01	0,5
3,5—4,0	3	11,2	0,3	6,94	0,3
4,0—4,5	2	8,5	0,2	7,86	0,2
	Σ=928				

第 9 表

試料; J 號　　顯微鏡寫眞倍率; 520×4=2080 倍
D_0=1.23 μ, D_w=1.20 μ

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{(\Sigma \Delta N)_m}\times 100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{(\Delta N)}{\Sigma \Delta N}\times 100$
0—1,0	16	8,0	1,6	0,25	3,2
1—2	340	510,0	33,6	0,75	67,2
2—3	378	945,0	37,3	1,25	74,6
3—4	188	658,0	18,6	1,75	37,2
4—5	58	261,0	5,7	2,25	11,4
5—6	19	88,0	1,6	2,75	3,2
6—7	6	39,0	0,6	3,25	1,2
7—8	10	75,0	1,0	3,75	2,0
	Σ=1012	Σ=2584.0			

第 10 表

試料; K 號　　顯微鏡寫眞倍率; 1680 倍
D_0=1.70 μ, D_w=1.50 μ

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}\times 100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$
1—2	205	307,5	16,5	0,89	27,8
2—3	465	1161,0	37,5	1,49	63,0
3—4	363	1270,0	29,2	2,08	49,1
4—5	123	554,0	9,7	2,68	16,3
5—6	37	203,5	3,7	3,28	6,2
6—7	19	123,4	1,5	3,77	2,5
7—8	12	90,0	1,0	4,46	1,7
8—9	7	59,5	0,6	5,05	1,0
9—10	5	57,5	0,4	5,65	0,7
10—11	4	42,0	0,3	6,25	0,5
	Σ=1240	Σ=3858.4			

第 11 表

試料; L 號　　顯微鏡寫眞倍率; 460 倍
D_0=1.88 μ, D_w=1.60 μ

直徑範圍 d_m mm.	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm.	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}\times 100$	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}\times 100$
0—0,4	78	15,6	6,7	0,44	15,2
0,4—0,6	364	182,0	31,2	1,10	47,3
0,6—1,0	424	339,0	36,3	1,74	56,7
1,0—1,5	206	258,0	17,7	2,73	17,8
1,5—2,0	55	96,2	4,7	3,83	4,3
2,0—2,5	20	45,0	1,7	4,93	1,5
2,5—3,0	20	55,0	1,7	6,02	1,5
	Σ=1167	Σ=990.8			

第　12　表

試料名　瀝青乳剤　F　I　D　;　G　J
〃　E　K　H
〃　C　L　B

一般性状　黒褐色、質均等なる撒布用或は混合用アスファルト乳剤なり。A 種 乳 剤　B 種 乳 剤

試料番號		F	E	C	I	K	L	D	G	H	B	J
試験項目	條件	成績 1.	成績 2.	成績 3.	成績 4.	成績 5.	成績 6.	成績 7.	成績 1.	成績 2.	成績 3.	成績 4.
1. 外観		均等	均等	均等	不均等	均等	均等	均等	均等	均等	均等	均等
2. 比重	25°/25°C	1,005	1,005	1,007	1,007	1,005	1,005	1,010	1,015	1,010	1,008	1,012
3. a. 比粘度	25°C エングラー	2,9	2,8	2,8	1,7	2,6	2,8	2,8	10,7	10,4	4,2	11,5
b. 比粘度	4°C エングラー	4,6	4,8	4,8	3,2	5,2	5,3	5,6	15,8	15,4	7,9	16,3
4. 水分	%(W)	49,5	49,5	47,8	66,0	45,5	48,0	50,0	43,0	45,0	45,0	43,0
5. 瀝青質殘留物	%(W)	50,5	50,5	52,2	34,0	54,5	52,0	50,0	57,0	55,0	55,0	57,0
a. 比重	25°/25°C	1,013	1,016	1,014	1,018	1,012	1,010	1,025	1,019	1,017	1,012	1,013
b. 純瀝青	CS_2 %	99,4	99,4	99,3	98,2	99,8	98,3	99,8	99,6	98,5	99,2	98,1
c. 灰分	%	0,6	0,6	0,7	1,8	0,2	1,7	0,2	0,4	1,5	0,8	1,9
d. 針度	25°C 100g, 5 sec	145	132	143	137	110	132	103	93	125	144	96
同上	C, g, sec	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……
e. 延性	15°C,5cm/min,cm.	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
同上	C, 5cm/min, cm.	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……
f. 軟化點	R & B. 5°C/min, °C.	36,5	36,0	35,5	39,5	38,0	42,5	42	43	39	35	37
6. a. 分解速度	20°C.	40min	45min	30min	30min	45min	45min	30min	2½~3 h	3½~3 h	2½~3 h	3½~3 h
b. 分離被膜		良	良	良	不良	良	良	良	良	良	良	良
c. 分解値(Z.W.)	石灰石	10,6	11,2	7,5	10,4	5,2	11,6	5,6	1,9	2,2	2,1	3,4
7. 貯藏安定度	7 日											
a. 定性試驗	mm.	6 mm.	3 mm.	3 mm.	130 mm.	3 mm.	32 mm.	6 mm.	8 mm.	2 mm.	3 mm.	0 mm.
b. 定量試驗	%	1,7	1,1	1,6	48,2	0,2	26,6	3,5	2,8	1,0	0,8	1,3
8. 低溫安定度	−5°C, 3h.	安定	安定	安定	不安定	稍安定	不安定	不安定	安定	安.定	安定	不安定
9. 混水安定度		……	……	……	……	……	……	……	良	良	良	良
10. 分散度試驗												
平均直徑	D_0 (μ)	4,84	2,84	2,72	1,80	1,77	1,88	2,41	1,50	1,46	1,65	1,23
確率直徑	$\bar{D}_w$ (μ)	4,26	2,52	2,40	1,60	1,57	1,68	2,14	1,50	1,30	1,48	1,10
第二確率直徑	D_w (μ)	4,43	2,63	2,00	1,45	1,50	1,60	1,95	1,50	1,10	1,60	1,20

自動車の路面への衝撃に關する研究(其の一)

内務技師　松　村　孫　治

目　次

第一章　緒言……(1)
第二章　衝撃の大さ……(3)
　第一節　衝撃の大さを示す基本式……(3)
　第二節　自由落下の場合……(7)
　第三節　各種障害物による衝撃の大さ……(10)
　第四節　障害物による車體及車輪の變位……(18)
第三章　試驗結果との比較……(21)
　第五節　米國道路局の衝撃試驗……(21)
　第六節　shock の値の比較……(23)
　第七節　drop　の値の比較……(33)
　第八節　自然路面に於ける比較……(40)
　第九節　結言……(42)
附錄　I……(43)
附錄　II……(46)
附錄　III……(48)
附錄　IV……(55)
附錄　V……(57)
參考文獻……(62)

第一章　緒　言

凹凸が存在する路面上を自動車が走行する時車體は障害物の爲に上下振動を起し、車輪の路面に及ほす壓力は衝撃（impact）の爲に著しく增大する。衝撃の大さは鋪裝版の設計に必要なるのみならず、路面附近に存在する工作物に自動車が及ほす振動の大さを支配する重要なる因子である。

自動車の構造は複雜にして路面の凹凸の形狀も亦種々雜多なるを以て衝擊の大さを正確に求める事は一般に極めて困難である。然し適當なる假定の下に自動車の構造を單純化し、路面の形狀が與へらるれば理論上より衝擊の大さを推定するは左程困難でない。實驗的に衝擊の大さを求める場合には完全なる測定裝置を得る事が困難にして、殊に實物大の自動車を用ひて行つた實驗に於ては正確度の低下するは避け難い事である。又假令完全なる測定裝置が得られたる場合に於ても、自動車の構造，重量等を異にする時は實驗結果をその儘他の場合に適用するは不可能である、從つて實驗によりてのみ衝擊の値を求めんとする時は多大の時間，經費及手數を必要とし米國道路局の衝擊試驗は 10 年の長きに亙りて行はれた。然るに理論的研究により求めたる結果を實驗的結果と比較して，兩者が大體一致する時はその理論的結果を他の場合にも容易に適用し得る分であつて、本文に於ては自動車の衝擊の大さを與ふる近似公式を理論的研究により求め實驗的結果と比較せんとする。

自動車の車輪が障害物上を通過する時輪帶（tire）の變形に伴ひて車輪は上下振動を爲し、上部の車體も亦振動し、各車輪の受持つ荷重は振動の前後に於て異なる。然し此の荷重分布の差異は障害物による衝擊の大さに比較すれば第二次的と考へらる。今荷重分布の差異による影響を無視し得るならば障害物上を通過する時、自動車の車輪は夫々一定の彈上荷重を支持し各々獨立して垂直運動を行ひ、車輪相互間の影響は無きものと考へらる。從つて Thomé 氏[1] の假定と同樣に自動車は車輪を一つの質量とその彈性率が輪帶と等しき彈條とに分ち、彈下荷重（unsprung mass）—車輪，車軸等の彈條下の全質量—の下部はその彈條により路面に接觸し、上部は他の彈條により彈上荷重（sprung mass）を支持する二つの自由度を有する振動系と考へらる。本文に於ては上記の振動系を以て自動車を代表せしめる爲に實際の自動車と構造が異なる、從つて構造の差異の衝擊の大さに及ぼす影響は別に考究する必要がある。

衝擊に比較的大なる影響を及ぼす因子は次の如くである。

1. 彈上及彈下荷重の大さ
2. 輪帶及彈條の彈性率（外力と變形量との比）
3. 障害物上を走行する速度
4. 障害物の形狀及高さ又は深さ
5. 各種の抵抗（空氣の抵抗，內部摩擦力等）

是等各因子の衝擊に及ぼす作用の大さを夫々求める必要あるが、上述の如く本文の計算は實際の自動車と構造を異にする振動系に就て行ふものなるを以て上記の振動系を使用す

る事の適否を研究するが先決問題にして本文の目的もその點にある。

更に計算を簡單にする爲に次の假定を置く。

1. 輪帶及彈條の變形は外力に比例する
2. 路面の變形は無視する
3. 自動車は一樣なる速度にて障害物上を通過する
4. 各種の摩擦力の影響を無視する

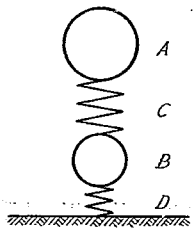
車輪及彈條の變形と外力との比は一般には外力の大さにより變化する、然し衝撃の極限値或は是等の影響を求める場合には常數とするもその爲に生ずる誤差は無視し得る程度である。又衝撃の結果車輪の路面に作用する壓力が增加する時は、路面は外力により變形する故に障害物の形狀も亦變化し原形と異なるを以て是等の影響を計算中に考慮する必要がある。若し路面の變形と壓力との比が一定であるならば、輪帶と路面との全變形量を以て輪帶の變形量とすれば、路面の變形の影響を考慮し得る譯である。一般に鋪裝路面（變形し易き材料を用ひたるものを除く）の變形量はバルン・タイヤ等の輪帶（鐵輪等を除く）の變形に比し小なるを以て近似的には路面の變形を無視して差し支へない。又後節の計算により容易に求められる如く路面の變形を無視する時は計算値は實際に生ずる衝撃値より大となるを以て安全側の誤差となる。自動車が上下振動を行ふ時空氣の抵抗を始めとし自動車の各部に振動に抵抗する各種の摩擦力が作用する、然し是等の作用はいづれも衝撃の大さを減少せしめる。附錄 V に求めたる如く輪帶及彈條の內部摩擦力のみを考慮したる計算も可成り面倒なるを以て一般の場合に是等の作用を總て考慮する時は計算式が極めて煩雜となり取り扱ひ不可能となる危險がある、且つ本文に於ては單獨の障害物による衝撃の大さを求め、共鳴の問題を取り扱はざるを以て各種摩擦力は余り重大なる影響無く、從つて計算には是等の影響を無視した。

本文は第二章に於て自動車が任意の形狀の障害物を通過する場合に生ずる衝撃の大さを求める一般式を誘導し、第三章に於て米國道路局にて行つた自動車の衝撃試驗(2)と比較し本文の計算法の近似の程度を明にするを目的とする。

第二章　衝撃の大さ

第一節　衝撃の大さを示す基本式

緒言に述べたる如く自動車は第 1 圖に示す機構を以て代表さる。圖中 A は彈上荷重，B は彈下荷重，C は車體を支持する彈條，D は輪帶の變形を代表する彈條を示す。



第 1 圖
自働車の假想の機構

本文中に使用する主なる記號は次の如し。

記號（第 2 圖參照）

y_0; 路面の表面の凹凸

y_1; 彈下荷重の垂直變位

y_2; 彈上荷重の垂直變位

（y_0, y_1, y_2 は重力の方向を正とし、靜止時の位置を y_1, y_2 の原點とする）

m_1; 彈下荷重の質量

m_2; 彈上荷重の質量

c_1; 車輪を單位長變形するに要する力

c_2; 車體を支持する彈條を單位長變形するに要する力

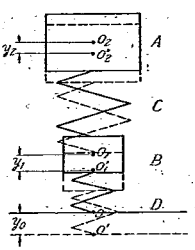
P; 障害物の爲に新に路面に作用する力卽ち衝撃の大さ（壓力を正とする）

v; 自動車の速度

ε; 障害物の最大の高さ

g; 重力の單位

t; 時間



第 2 圖

第 2 圖に示す如く路面に y_0 なる凹みが存在する時、彈下及彈上荷重が夫々 y_1, y_2 なる變位を爲すとすれば、彈上荷重に作用する外力は C 彈條の延びによる力卽ち $c_2(y_1-y_2)$ が下方に作用し、彈下荷重の外力は C 彈條による力 $c_2(y_1-y_2)$ が上方へ、D 彈條による力 $c_1(y_0-y_1)$ が下方に作用する、然るに物體に作用する外力の總加はその物體の有する惰力（inertia force）に等しきを以て彈下及彈上荷重の運動方程式は

$$\left.\begin{aligned} m_1\frac{d^2y_1}{dt^2} &= c_1(y_0-y_1)-c_2(y_1-y_2) \\ m_2\frac{d^2y_2}{dt^2} &= c_2(y_1-y_2) \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(1)$$

(1) 式は車輪と路面とが常に接觸する假定の下に求めたるを以て車輪が路面より離れた

る後に於ける運動式は (1) 式と異なる、從つて車輪が自由落下する場合の解は新に求める必要がある。

衝撃による力 P は壓力を正とする故に D 彈條の縮まりによる力に等しく

$$P=c_1(y_1-y_0) \quad \cdots\cdots(2)$$

y_0 は路面の凹凸の形狀を示すを以て既知である。從つて (1) 式は係數が常數なる聯立二次微分方程式となるを以て、y_0 に相當する一つの解を求むれば y_1, y_2 の一般解 (general solution) は容易に求めらる。

今自動車の出發點を原點とし、水平の方向に x 軸をとり、自動車の進行方向を x の正の方向とする。路面の凹凸 y_0 が $f(x)$ なる函數にて與へらる時、(1) 式の解を求める便宜上フーリエの重積分を用ひ y_0 卽ち $f(x)$ を次式の如く示す(3)、但し y_0 の原點は任意にとり得るを以て $x=0$ に於て $y_0=0$ とする。

$$y_0=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty \sin x\alpha d\alpha \int_0^\infty f(\lambda)\sin \alpha\lambda d\lambda \quad (0<x<\infty).$$

y_0 がフーリエの重積分にて示し得ざる場合は路面が重積分にて示さるゝ形狀を爲すと考ふるも實際上は差し支へない。緒言に述べたる如く自動車は一定の速度にて進行するを以て t 時間後には vt なる距離を進行する、從つて自動車が x の原點より出發すれば $x=vt$ なるを以て上式に $x=vt$ と置き次の如く示さる。

$$\left.\begin{aligned} &y_0=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty F(\alpha)\sin vt\alpha d\alpha \\ &\text{但し}\quad F(\alpha)=\int_0^\infty f(\lambda)\sin \alpha\lambda d\lambda \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(3)$$

(3) 式を (1) 式に代入し

$$m_1\frac{d^2y_1}{dt^2}+(c_1+c_2)y_1-c_2y_2=\frac{2c_1}{\pi}\int_0^\infty F(\alpha)\sin \alpha vt d\alpha$$

$$m_2\frac{d^2y_2}{dt}+c_2y_2-c_2y_1=0$$

上式を夫々 m_1, m_2 にて除し

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d^2y_1}{dt^2}+(k_1^2+\gamma k_2^2)y_1-\gamma k_2^2y_2=\frac{2k_1^2}{\pi}\int_0^\infty F(\alpha)\sin \alpha vt d\alpha \\ &\frac{d^2y_1}{dt^2}+k_2^2y_2-k_2^2y_1=0 \\ &\text{但し}\quad \frac{c_1}{m_1}=k_1^2,\quad \frac{c_2}{m_2}=k_2^2,\quad \frac{m_2}{m_1}=\gamma \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(4)$$

(4) 式の解は附錄 I の (10) 式より

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= A_1\sin\beta_1 t + A_2\cos\beta_1 t + A_3\sin\beta_2 t + A_4\cos\beta_2 t \\ &\quad + \frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{k_1^2\{k_2^2-(av)^2\}F(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}\sin vta\, da \\ y_2 &= \frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_1^2}(A_1\sin\beta_1 t + A_2\cos\beta_1 t) + \frac{k_2^2}{k_2^2-\beta_2^2}(A_3\sin\beta_2 t + A_4\cos\beta_2 t) \\ &\quad + \frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{k_1^2k_2^2F(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}\sin vta\, da \end{aligned}\right\} \cdots(5)$$

式中 A_1, A_2, A_3, A_4 は積分常数にて、β_1, β_2 は (6) 式に示す如し。

$$\left.\begin{aligned} \beta_1^2 &= \frac{1}{2}\left\{k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2+\sqrt{(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2)^2-4k_1^2k_2^2}\right\} \\ \beta_2^2 &= \frac{1}{2}\left\{k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2-\sqrt{(k_1^2+k_2^2+\gamma k_2^2)^2-4k_1^2k_2^2}\right\} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(6)$$

同様に P の値は附錄 I の (11) 式より

$$\begin{aligned} P &= -\frac{2c_1}{\pi}\int_0^\infty F(a)\sin vta\, da \\ &\quad + \frac{2c_1}{\pi}\int_0^\infty \frac{k_1^2\{k_2^2-(av)^2\}F(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}\sin vta\, da \\ &\quad + c_1A_1\sin\beta_1 t + c_1A_2\cos\beta_1 t + c_1A_3\sin\beta_2 t + c_1A_4\cos\beta_2 t \quad \cdots(7) \end{aligned}$$

最も一般的の場合の始めの條件 (initial condition) は (8) 式にて示され、

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= Y_1, \quad & y_2 &= Y_2 \\ \frac{dy_1}{dt} &= V_1, \quad & \frac{dy_2}{dt} &= V_2 \end{aligned}\right\} \quad \text{at } t=0 \cdots\cdots(8)$$

上式を滿足する積分常数 A_1, A_2, A_3, A_4 は附錄 I の (14) 式より

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= \frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1k_2^2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\{V_1k_2^2-V_2(k_2^2-\beta_2^2)\} + \frac{2}{\pi}\frac{k_1^2(\beta_1^2-k_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\int_0^\infty \frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}}da \\ A_2 &= \frac{\beta_1^2-k_2^2}{k_2^2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\{k_2^2Y_1-(k_2^2-\beta_2^2)Y_2\} \\ A_3 &= \frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2k_2^2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\{V_1k_2^2-V_2(k_2^2-\beta_1^2)\} + \frac{2}{\pi}\frac{k_1^2(k_2^2-\beta_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\int_0^\infty \frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_2^2\}}da \\ A_4 &= \frac{k_2^2-\beta_2^2}{k_2^2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\{k_2^2Y_1-(k_2^2-\beta_1^2)Y_2\} \end{aligned}\right\} (9)$$

今特別なる場合として $t=0$ に於て自動車が靜止狀態にある時は (9) 式は非常に簡單となり、

$$A_1=\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2(\beta_1^2-k_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}}da,\quad A_2=0$$

$$A_3=\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2(k_2^2-\beta_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_2^2\}}da,\quad A_4=0$$

是等の値を (5) 式, (7) 式に代入すれば y_1, y_2, P は夫々

$$y_1=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\frac{k_1^2\{k_2^2-(av)^2\}F(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}\sin vta\,da$$
$$+\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2(\beta_1^2-k_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_1t\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}}da$$
$$+\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2(k_2^2-\beta_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_2t\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_2^2\}}da$$

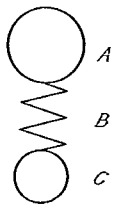
$$y_2=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\frac{k_1^2k_2^2F(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}\sin vta\,da$$
$$-\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2k_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_1t\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}}da$$
$$+\frac{2}{\pi}\frac{k_1^2k_2^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_2t\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_2^2\}}da$$

$$P=-\frac{2c_1}{\pi}\int_0^\infty F(a)\sin vta\,da$$
$$+\frac{2c_1k_1^2}{\pi}\int_0^\infty\frac{\{k_2^2-(av)^2\}F(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}\{(av)^2-\beta_2^2\}}\sin vta\,da$$
$$+\frac{2c_1}{\pi}\frac{k_1^2(\beta_1^2-k_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_1^2\}}da\cdot\sin\beta_1t$$
$$+\frac{2c_1}{\pi}\frac{k_1^2(k_2^2-\beta_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\int_0^\infty\frac{avF(a)}{\{(av)^2-\beta_2^2\}}da\cdot\sin\beta_2t\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

y_3 即ち $f(x)$ が既和なる時は (3) 式より $F(a)$、從つて (10) 式より y_1, y_2, P の値を求め得る。

第二節　自由落下の場合

前節に於ては車輪が常に路面と接觸する場合の解を求めたるを以て、車輪が高所より落下する場合又は何等かの原因により路面より跳ね上りたる後に於ては (10) 式を適用する



第3圖
自由落下の場合の自働車の假想の機構

を得ない。從つて車輪が重力の作用の下に自由に落下する場合の解を求める必要がある。此の場合輪帶の變形は路面を離れると共に殆んど消失するを以て自働車は第3圖に示す如く彈上及彈下荷重が一つの彈條にて聯結され、一つの自由度を有する振動系が重力の爲に自由に落下する場合と同一であると考へらる。從つて m_1 及 m_2 の運動力程式は次の如し。

$$m_1\frac{d^2y_1}{dt^2}=-c_2(y_1-y_2)+m_1g$$

$$m_2\frac{d^2y_2}{dt^2}=c_2(y_1-y_2)+m_2g$$

上式を m_1, m_2 にて除し

$$\left.\begin{aligned}&\frac{d^2y_1}{dt^2}+\gamma k_2^2y_1-\gamma k_2^2y_2=g\\&\frac{d^2y_2}{dt^2}-k_2^2y_1+k_2^2y_2=g\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(11)$$

(11) 式の y_1, y_2 の解は附錄 II の (6) 式より

$$\left.\begin{aligned}y_1=&-A_1\gamma\sin k_2\sqrt{1+\gamma}\,t-A_2\gamma\cos k_2\sqrt{1+\gamma}\,t\\&+A_3\frac{t}{1+\gamma}+\frac{A_4}{1+\gamma}+\frac{1}{2}gt^2\\y_2=&A_1\sin k_2\sqrt{1+\gamma}\,t+A_2\cos k_2\sqrt{1+\gamma}\,t\\&+A_3\frac{t}{1+\gamma}+\frac{A_4}{1+\gamma}+\frac{1}{2}gt^2\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(12)$$

但し A_1, A_2, A_3, A_4 は積分常數。

今車輪が路面より離れたる瞬間を時間の原點とし始めの條件を次の如く與ふる。

$$\left.\begin{aligned}&y_1=d_1,\qquad y_2=d_2\\&\frac{dy_1}{dt}=v_1,\qquad \frac{dy_2}{dt}=v_2\end{aligned}\right\}\quad\text{at } t=0\quad\cdots\cdots(13)$$

(13) 式より積分常數 A_1, A_2, A_3, A_4 を求め (12) 式に代入すれば y_1, y_2, $\frac{dy_1}{dt}$, $\frac{dy_2}{dt}$ は附錄 II の (9) 式より

$$
\left.\begin{aligned}
y_1&=\frac{1}{1+\gamma}\left\{\frac{\gamma(v_1-v_2)}{k_2\sqrt{1+\gamma}}\sin k_2\sqrt{1+\gamma}\,t+\gamma(d_1-d_2)\cos k_2\sqrt{1+\gamma}\,t\right.\\
&\quad\left.+(\gamma v_2+v_1)t+(d_1+\gamma d_2)+\frac{1}{2}(\gamma+1)gt^2\right\}\\
y_2&=\frac{1}{\gamma+1}\left\{-\frac{v_1-v_2}{k_2\sqrt{1+\gamma}}\sin k_2\sqrt{1+\gamma}\,t-(d_1-d_2)\cos k_2\sqrt{1+\gamma}\,t\right.\\
&\quad\left.+(\gamma v_2+v_1)t+(d_1+\gamma d_2)+\frac{1}{2}(\gamma+1)gt^2\right\}\\
\frac{dy_1}{dt}&=\frac{\gamma}{\gamma+1}(v_1-v_2)\cos k_2\sqrt{1+\gamma}\,t\\
&\quad-\frac{\gamma\sqrt{1+\gamma}\,k_2}{\gamma+1}(d_1-d_2)\sin k_2\sqrt{1+\gamma}\,t+\frac{\gamma v_2+v_1}{\gamma+1}+gt\\
\frac{dy_1}{dt}&=-\frac{v_1-v_2}{\gamma+1}\cos k_2\sqrt{1+\gamma}\,t\\
&\quad+\frac{\sqrt{\gamma+1}\,k_2}{\gamma+1}(d_1-d_2)\sin k_2\sqrt{1+\gamma}\,t+\frac{\gamma v_2+v_1}{\gamma+1}+gt
\end{aligned}\right\}\cdots(14)
$$

車輪が自由落下する場合輪帶の變形は無視し得るを以て車輪の下端が路面に再び接觸した瞬間に於ては彈下荷重は靜止狀態より $(m_1+m_2)g/c_1$ だけ上方に位する、從つて車輪が路面を離れてより再び路面に接觸する迄に要する時間 t は (14) 式の d_1, d_2 が自動車の靜止狀態を原點として測りたる値なる時は $y_1=-(m_1+m_2)g/c_1$ となるに要する時間なるを以て次式により與へらるゝ。

$$
\left.\begin{aligned}
&a\sin k_2\sqrt{1+\gamma}\,t+b\cos k_2\sqrt{1+\gamma}\;t+ct+d+\frac{1}{2}gt^2=0\\
&\text{但し}\\
&a=\frac{\gamma}{\gamma+1}\frac{v_1-v_2}{k_2\sqrt{1+\gamma}},\qquad b=\frac{\gamma}{\gamma+1}(d_1-d_2)\\
&c=\frac{\gamma v_2+v_1}{1+\gamma},\qquad d=\frac{d_1+\gamma d_2}{1+\gamma}+\frac{m_1+m_2}{c_1}g
\end{aligned}\right\}\cdots(15)
$$

(15) 式の t を用ひて再び路面に接觸したる時の y_2, $\frac{dy_1}{dt}$, $\frac{dy_2}{dt}$ は (14) 式より求めらるゝを以て、路面への接觸後の y_1, y_2, P の値は夫々 (5), (7) 式より計算し得る。式中の常數 A_1, A_2, A_3, A_4 は路面に接觸した瞬間を時間の原點とすれば (9) 式の如く示され、路面が平坦なる時は $F(a)=0$ なるを以て (5) 及 (7) 式より y_1, y_2, P は次の如し。

$$y_1=\frac{1}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left[\frac{(\beta_1^2-\beta_2^2)V_1-\gamma k_2^2V_2}{\beta_1}\sin\beta_1 t+\{(\beta_1^2-k_2^2)D_1-\gamma k_2^2D_2\}\cos\beta_1 t\right.$$
$$\left.+\frac{(k_2^2-\beta_2^2)V_1+\gamma k_2^2V_2}{\beta_2}\sin\beta_2 t+\{(k_2^2-\beta_2^2)D_1+\gamma k_2^2D_2\}\cos\beta_2 t\right]$$

$$y_2=\frac{k_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left[\frac{(\beta_1^2-\beta_2^2)V_1-\gamma k_2^2V_2}{\beta_1(k_2^2-\beta_1^2)}\sin\beta_1 t+\frac{(\beta_1^2-k_2^2)D_1-\gamma k_2^2D_2}{k_2^2-\beta_1^2}\cos\beta_1 t\right.$$
$$\left.+\frac{(k_2^2-\beta_2^2)V_1+\gamma k_2^2V_2}{\beta_2(k_2^2-\beta_2^2)}\sin\beta_2 t+\frac{(\beta_1^2-k_2^2)D_1+\gamma k_2^2D_2}{k_2^2-\beta_2^2}\cos\beta_2 t\right]$$

$$P=\frac{c_1}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left[\frac{(\beta_1^2-\beta_2^2)V_1-\gamma k_2^2V_2}{\beta_1}\sin\beta_1 t+\{(\beta_1^2-k_2^2)D_1-\gamma k_2^2D_2\}\cos\beta_1 t\right.$$
$$\left.+\frac{(k_2^2-\beta_2^2)V_1+\gamma k_2^2V_2}{\beta_2}\sin\beta_2 t+\{(k_2^2-\beta_2^2)D_1+\gamma k_2^2D_2\}\cos\beta_2 t\right]$$

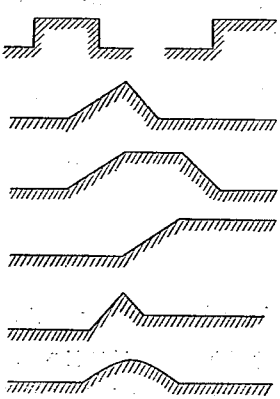
……(16)

但し D_1, D_2, V_1, V_2 は車輪が路面に接觸したる瞬間の彈下及彈上荷重の變位竝に速度を示す。

(16) 式の P に $t=0$ と置けば

$$P_{t=0}=c_1D_1$$

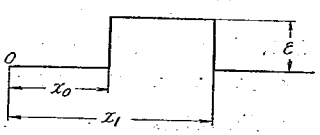
第三節　各種障害物による衝撃の大さ



第 4 圖
本文にて計算する各種障害物の形狀

各種障害物による衝撃の大さは (10) 式より一般的に求めらる。元より實在の障害物はその形狀極めて複雜にして千差萬別なるを以てその一つ一つに就き計算するは全く不可能である。從つて本文に於ける計算は主として第三章に於ける試驗結果と比較するに必要なる範圍に止む。第 4 圖に本文にて計算する各種障害物の形狀を示す。

1. 矩形障害物



第 5 圖　矩形の障害物

第 5 圖に示す如き矩形障害物による衝撃の大さを求めんとす。但し自動車は靜止狀態より出發するものとす。

x_0; 自動車の出發點より障害物の始點迄の距離

x_1; 出發點より障害物の終點迄の距離

t_0; 自動車が障害物の始點に到着するに要する時間

t_1; 障害物の終點に到着するに要する時間

路面の凹凸の形狀 $f(x)$ は次の如く示され

$$\left.\begin{aligned} f(x)&=0 && 0<x<x_0 \\ f(x)&=-\varepsilon && x_0<x<x_1 \\ f(x)&=0 && x_1<x \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(17)$$

是等の値を (3) 式に代入し

$$F(\alpha)=-\varepsilon\frac{\cos x_0\alpha-\cos x_1\alpha}{\alpha}$$

然るに自動車は一樣なる速度 v を以て走行する故に t_0, t_1 と x_0, x_1 の間には次に示す關係あり。

$$x_0=vt_0, \qquad x_1=vt_1$$

從つて $F(\alpha)$ は

$$F(\alpha)=-\varepsilon\frac{\cos vt_0\alpha-\cos vt_1\alpha}{\alpha} \quad \cdots\cdots(18)$$

(18) 式の $F(\alpha)$ を (10) 式に代入すれば衝撃の大さ P は

$$\begin{aligned} P=&\frac{2c_1\varepsilon}{\pi}\int_0^\infty\frac{\cos vt_0\alpha-\cos vt_1\alpha}{\alpha}\sin vt\alpha d\alpha \\ &-\frac{2c_1\varepsilon}{\pi}k_1^2\int_0^\infty\frac{\{k_2^2-(\alpha v)^2\}(\cos vt_0\alpha-\cos vt_1\alpha)}{\alpha\{(\alpha v)^2-\beta_1^2\}\{(\alpha v)^2-\beta_2^2\}}\sin vt\alpha d\alpha \\ &-\frac{2c_1\varepsilon}{\pi}\frac{k_1^2(\beta_1^2-k_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_1 t\int_0^\infty\frac{\alpha v(\cos vt_0\alpha-\cos vt_1\alpha)}{\alpha\{(\alpha v)^2-\beta_1^2\}}d\alpha \\ &-\frac{2c_1\varepsilon}{\pi}\frac{k_1^2(k_2^2-\beta_2^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\sin\beta_2 t\int^\infty\frac{\alpha v(\cos vt_0\alpha-\cos vt_1\alpha)}{\alpha\{(\alpha v)^2-\beta_2^2\}}d\alpha \quad \cdots\cdots(19) \end{aligned}$$

又は附錄 III の (3) 式より

$$\left.\begin{aligned}
&P=0 && 0<t<t_0\\
&P=\frac{c_1\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1^2}\cos\beta_1(t-t_0)+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2^2}\cos\beta_2(t-t_0)\right\} && t_0<t<t_1\\
&P=\frac{c_1\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1^2}\cos\beta_1(t-t_0)+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2^2}\cos\beta_2(t-t_0)\right\}\\
&\quad-\frac{c_1\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1^2}\cos\beta_1(t-t_1)+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2^2}\cos\beta_2(t-t_1)\right\} && t_1<t<\infty
\end{aligned}\right\}\cdots(20)$$

路面に高さ ε なる段違ひが存在する場合は $t_1\to\infty$ なる特別の場合なるを以て (20) 式の第 2 式により示さる。

(20) 式より次の事項を知る。

1. P は $0<t<t_0$ にて零なるを以て $t_0=0$ とするも (20) 式は一般性を失はず

2. P は ε に比例する

3. $Pt_0=c_1\varepsilon$、即ち車輪を ε だけ變形すに要する力に等し。

(20) 式の第 2 式と第 3 式とを比較するするに高さ ε_1, ε_2, ε_3, …なる段違ひが出發點より夫々 t_1, t_2, t_3, … に相當する距離に存在する時 $t_{r-1}<t<t_r$ 間の P の値を P_r とすれば

$$P_r=\sum_{s=1}^{r-1}\varepsilon_s\frac{k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1^2}\cos\beta_1(t-t_s)+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2^2}\cos\beta_2(t-t_s)\right\}$$

(20) 式に於て $t_0=0$ と置けば障害物通過後の P の値は

$$P=\frac{c_1\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left[\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1^2}\{\cos\beta_1t-\cos\beta_1(t-t_1)\}+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2^2}\{\cos\beta_2t-\cos\beta_2(t-t_1)\}\right]$$

障害物を通過するに要する時間 t_1 が非常に小にして β_1t_1, β_2t_1 が 1 に比し省略し得る場合には

$$\sin\beta_1t_1\fallingdotseq\beta_1t_1,\qquad \sin\beta_2t_1\fallingdotseq\beta_2t_1,\qquad \cos\beta_1t_1\fallingdotseq\cos\beta_2t_1\fallingdotseq1$$

なるを以て P は簡單化され

$$P=-\frac{c_1\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}t_1\left\{\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\beta_1}\sin\beta_1t+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\beta_2}\sin\beta_2t\right\}$$

上式より P は t_1 に比例する、即ち自動車の速度大なる程障害物通過後の衝撃の大さ

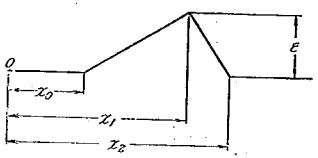
は小となる、然し實際は β_1, β_2 は可成り大なる數値なるを以て t_1 が極めて小なる場合を除きては上記の關係成立せず、又車輪が矩形障害物より落下する場合は斜面に沿ひて垂直には落下せず、他の狀態にて落下するを以て上記の結論はその儘實在の場合に適用するは不合理である。然し第三章の試驗結果によるも速度が或る値以上になる時は障害物通過後の衝撃の大さが却つて減少する傾向あるは明らかに認めらる。

2. **三角形の障害物**（障害物の兩側に於て路面の高さ等しき場合）

x_0, x_1, x_2 を出發點より障害物の始點，頂點，終點迄の距離、t_0, t_1, t_2 を x_0, x_1, x_2 の距離を通過するに要する時間とすれば

$$x_0=vt_0, \qquad x_1=vt_1,$$

$$x_2=vt_2$$



第 6 圖
三角形の障害物

路面凹凸の形狀は

$$\left.\begin{aligned} f(x)&=0 && 0<x<x_1\\ f(x)&=-\varepsilon\frac{x-x_0}{x_1-x_0} && x_0<x<x_1\\ f(x)&=-\varepsilon\frac{x_2-x}{x_2-x_1} && x_1<x<x_2\\ f(x)&=0 && x_2<x<\infty \end{aligned}\right\} \quad\cdots\cdots(21)$$

(21) 式を (3) 式に代入し

$$F(a)=-\frac{\varepsilon}{a^2}\left\{\frac{\sin ax_1-\sin ax_0}{x_1-x_0}-\frac{\sin ax_2-\sin ax_1}{x_2-x_1}\right\}$$

又は

$$F(a)=-\frac{\varepsilon}{a^2v}\left\{\frac{\sin vt_1a-\sin vt_0a}{t_1-t_0}-\frac{\sin vt_2a-\sin vt_1a}{t_2-t_1}\right\}\quad\cdots\cdots(22)$$

(22) 式を (10) 式に代入すれば P の値は附錄 III の (5) 式より

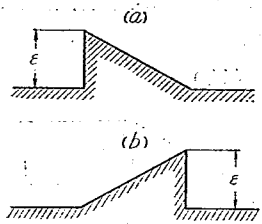
$$P=0 \qquad 0<t<t_0$$

$$P=\frac{c_1\varepsilon}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0}\right\} \qquad t_0<t<t_1$$

$$P=\frac{c_1\varepsilon}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_1(t-t_1)}{t_2-t_1}\right\}$$

$$+\frac{c_1\varepsilon}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_2(t-t_1)}{t_2-t_1}\right\} \qquad t_1<t<t_2$$

$$P=c_1\varepsilon\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_2)}{t_2-t_1}\right\}$$
$$+c_1\varepsilon\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_2)}{t_2-t_1}\right\}$$
$$t_2<t<\infty \qquad \cdots\cdots(23)$$



第 7 圖

第 7 圖 (a), (b) に示す形狀は三角形の特別の場合にして (a) に於ては $t_0=t_1$、(b) に於ては $t_1=t_2$ と置きその極限値より求めらる。

(a) の場合の値

$$\left.\begin{aligned}
&P=0 && 0<t<t_1\\
&P=\frac{c_1\varepsilon(k_1^2-\beta_2^2)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\beta_2\cos\beta_1(t-t_1)-\frac{\sin\beta_1(t-t_1)}{t_2-t_1}\right\}\\
&\quad+\frac{c_1\varepsilon(\beta_1^2-k_1^2)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\beta_2\cos\beta_2(t-t_1)-\frac{\sin\beta_2(t-t_1)}{t_2-t_1}\right\} && t_1<t<t_2\\
&P=c_1\varepsilon\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\beta_1\cos\beta_1(t-t_1)-\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_2)}{t_2-t_1}\right\}\\
&\quad+c_1\varepsilon\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\beta_2\cos\beta_2(t-t_1)-\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_2)}{t_2-t_1}\right\}\\
&\qquad\qquad t_2<t<\infty
\end{aligned}\right\}\cdots(24)_1$$

(b) の場合の値

$$\left.\begin{aligned}
&P=0 && 0<t<t_1\\
&P=\frac{c_1\varepsilon}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0}\right\}\\
&\qquad\qquad t_0<t<t_1\\
&P=c_1\varepsilon\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0}-\beta_1\cos\beta_1(t-t_1)\right\}\\
&\quad+c_1\varepsilon\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0}-\beta_2\cos\beta_2(t-t_1)\right\}\\
&\qquad\qquad t_1<t<\infty
\end{aligned}\right\}\cdots(24)_2$$

(23), (24) 式より (20) 式と同様に

1. P は $0<t<t_0$ にて零なるを以て $t_0=0$ と置くことを得
2. P は ε に比例する

3. 澤山の凹凸が存在する時、個々の障害物による値を加へ合せて全體の衝撃の大さを求め得る

3. 梯形ノ障害物

x_0, x_1, x_2, x_3 を通過するに要する時間を夫々 t_0, t_1, t_2, t_3 とすれば第 8 圖に示す梯形の障害物の形狀は

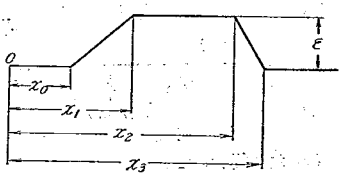
$$f(x)=0 \qquad 0<x<x_0$$

$$f(x)=-\varepsilon\frac{x-x_0}{x_1-x_0} \qquad x_0<x<x_1$$

$$f(x)=-\varepsilon \qquad x_1<x<x_2$$

$$f(x)=-\varepsilon\frac{x_3-x}{x_3-x_2} \qquad x_2<x<x_3$$

$$f(x)=0 \qquad x_3<x<\infty$$



第 8 圖
梯形の障害物

從つて $F(a)$ は (3) 式より

$$F(a)=-\frac{\varepsilon}{a^2}\left\{\frac{\sin vt_1a-\sin vt_0a}{v(t_1-t_0)}-\frac{\sin vt_3a-\sin vt_2a}{v(t_3-t_2)}\right\} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(25)$$

P の値は附錄 III の (6) 式より

$$P=0 \qquad 0<t<t_0$$

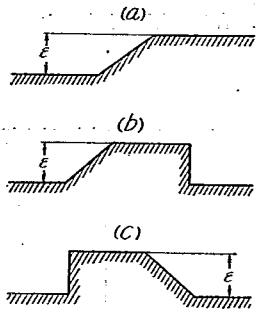
$$P=\frac{c_1\varepsilon}{t_1-t_0}\left\{(k_1^2-\beta_2^2)\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}+(\beta_1^2-k_1^2)\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\right\} \qquad t_0<t<t_1$$

$$P=\frac{c_1\varepsilon}{t_1-t_0}\left[(k_1^2-\beta_2^2)\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}+(\beta_1^2-k_1^2)\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\right] \qquad t_1<t<t_2$$

$$P=c_1\varepsilon\left[\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_1(t-t_2)}{t_3-t_2}\right\}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_2(t-t_2)}{t_3-t_2}\right\}\right] \qquad t_2<t<t_3$$

$$P=c_1\varepsilon\left[\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_1(t-t_2)-\sin\beta_1(t-t_3)}{t_3-t_2}\right\}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0}-\frac{\sin\beta_2(t-t_2)-\sin\beta_2(t-t_3)}{t_3-t_2}\right\}\right] \qquad t_3<t<\infty$$

$\cdots(26)$



第 9 圖

(26) 式に於ても

1. $P=0 \quad 0<t<t_0$

2. P は ε に比例する

第 9 圖の (a), (b), (c) の障害物は (26) 式の特別の場合にして (a) は t_2 を無限大、(b) は $x_2=x_3$、(c) は $x_0=x_1$ として容易に求め得る。

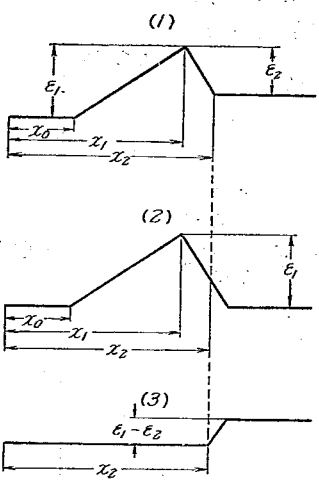
(a) なる場合の値は

$$P=0$$

$$P=\frac{c_1\varepsilon}{t_1-t_0}\left\{(k_1^2-\beta_2^2)\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}+(\beta_1^2-k_1^2)\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\right\} \qquad t_0<t<t_1$$

$$P=\frac{c_1\varepsilon}{t_1-t_0}\left\{(k_1^2-\beta_2^2)\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\right.$$

$$\left.+(\beta_1^2-k_1^2)\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\right\} \qquad t_1<t<\infty \qquad \cdots(27)$$



第 10 圖　三角形の障害物
(兩側の路面の高さ異なる)

4. 三角形の障害物 (障害物の兩側に於て路面の高さ異なる場合)

第 10 圖に示す如く障害物の兩側に於て路面の高さが異なる場合の衝撃の大さは上記の 2 及 3 を適當に組み合せて求めらる。路面より障害物の頂點迄の高さを夫々 ε_1, ε_2 とすれば圖の (1) に示す障害物は (2) 及 (3) なる二つの障害物に分ち得る。(2) は高さ ε_1 なる兩側の路面等高なる三角形の障害物にして本節の 2 の場合に相當し P の値は (23) 式に示さる、(3) は高さ $(\varepsilon_1-\varepsilon_2)$ なる梯形障害物の特別の場合にて 3 の (a) に相當し P の値は (27) 式に與へらる。

今 x_0, x_1, x_2 を通過するに要する時間を t_0,

t_1, t_2 とすれば P の値は (23), (27) 式より

$$
\left.
\begin{aligned}
&P=0 && 0<t<t_0\\
&P=\frac{c_1\varepsilon_1}{\beta_1^2-\beta_2^2}\left\{\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0}\right\} && t_0<t<t_1\\
&P=\frac{c_1\varepsilon_1}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0}\\
&\quad-\frac{c_1\varepsilon_2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1}\frac{\sin\beta_1(t-t_1)}{t_2-t_1}\\
&\quad+\frac{c_1\varepsilon_1}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0}\\
&\quad-\frac{c_1\varepsilon_2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2}\frac{\sin\beta_2(t-t_1)}{t_2-t_1} && t_1<t<t_2\\
&P=c_1\varepsilon_1\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}\\
&\quad+c_1\varepsilon_1\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t-t_0)}\\
&\quad-c_1\varepsilon_2\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_2)}{\beta_1(t_2-t_1)}\\
&\quad+c_1\varepsilon_2\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_2)}{\beta_2(t_2-t_1)} && t_2<t<\infty
\end{aligned}
\right\}\quad\cdots(28)
$$

(28) 式に於ても上記の諸式と同様なる關係成立する。

5. 正弦曲線の障害物

此の場合に於ては上記と異なる方法により衝撃の大さ P を (10) 式によらずして直接 (1) 式の運動方程式より求めんとす。 x_0, x_1 に相當する時間を夫々 t_0, t_1 とする。

第 11 圖
正弦曲線の障害物

1) $0<t<t_0$ に於ては上記の場合より $P=0$ なるを知る。

2) $t_0<t<t_1$

此の區域内に於ては路面の凹凸の形狀 y_0 は

$$y_0=-\varepsilon\sin\frac{\pi}{x_1-x_0}(x-x_0)$$

なるを以て (4) 式に相當する運動方程式は次の如し。

$$\left.\begin{aligned}&\frac{d^2y_1}{dt^2}+(k_1^2+\gamma k_2^2)y_1-\gamma k_2^2y_2=-k_1^2\varepsilon\sin\frac{\pi}{t_1-t_0}(t-t_0)\\&\frac{d^2y_2}{dt^2}+k_2^2y_2-k_2^2y_1=0\end{aligned}\right\}\cdots(29)$$

(29) 式より y_1, y_2 の値を求め、

$$y_1=0,\qquad y_2=0$$
$$\frac{dy_1}{dt}=0,\qquad \frac{dy_2}{dt}=0\qquad \text{at } t=t_0$$

なる始めの條件を滿足する如く積分常數を定める時は、P の値は附錄 IV の (5) 式より

$$P=c_1\varepsilon\left[1-\frac{k_1^2\left\{k_2^2-\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2\right\}}{\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2\right\}\left\{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2\right\}}\right]\sin\frac{\pi}{t_1-t_0}(t-t_0)$$
$$+\frac{c_1\varepsilon k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{t_1-t_0}\left\{\frac{k_2^2-\beta_1^2}{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1}-\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2}\right\}\qquad\cdots\cdots(30)_1$$

3) $t_1<t$

此の區域に於ては路面の凹凸は存在せざるを以て y_1, y_2 の値は (5) 式に $F(a)=0$ と置ける特別の場合にして式中の常數 A_1, A_2, A_3, A_4 は $t=t_1$ に於て y_1, y_2, $\frac{dy_1}{dt}$ 及 $\frac{dy_2}{dt}$ の値を (2) の區域に於けるそれ等の値と等しくする如く定める。P の値は附錄 IV の (9) 式より

$$P=-\frac{\varepsilon c_1k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\pi}{t_1-t_0}\left\{\frac{\beta_1^2-k_2^2}{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_1^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)+\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1}\right.$$
$$\left.+\frac{k_2^2-\beta_2^2}{\left(\frac{\pi}{t_1-t_0}\right)^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)+\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2}\right\}\qquad\cdots\cdots(30)_2$$

第四節　障害物による車體及車輪の變位

車體及車輪の垂直變位が夫々彈上及彈下荷重の變位と等しとするならば (3) 式の $F(a)$ を (10) 式に代入しそれ等の値を計算するは容易である。車輪の變位は輪帶の變形より生ずるを以て彈下荷重の變位と略等し、之に反し車體は一般に四個の車輪にて支持さるゝを以て障害物を通過する際車體は垂直運動と廻轉運動とを行ひ、上記の計算によりその變位を求

むるは不可能である。從つて車體の變位は彈上荷重の變位にて示し得ざるも、第三章に於て彈下及彈上荷重の變位 y_1, y_2 の値を必要とするのみならず、y_2 の値より車體の變位の大體の傾向を推定し得るを以て、本節に於ては後節に必要なる障害物に就て、それ等の値を自動車が靜止狀態より出發するものとして求む。

1. 三角形の障害物

路面の形狀は第 3 節の第 6 圖に示さるるを以て (22) 式の $F(a)$ を (10) 式に代入し y_1, y_2 を求むれば、附錄 III の (5) 式より次の如し。但し $0<t<t_0$ の區域內にては y_1, y_2 は零となる。

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= -\varepsilon\left\{\frac{t-t_0}{t_1-t_0}-\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0}\right. \\ &\quad \left.-\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0}\right\} && t_0<t<t_1 \\ y_1 &= -\varepsilon\left[\frac{t_2-t}{t_2-t_1}+\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0}\right.\right. \\ &\quad \left.\left.+\frac{\sin\beta_1(t-t_1)}{t_2-t_1}\right\}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0}\right.\right. \\ &\quad \left.\left.+\frac{\sin\beta_2(t-t_1)}{t_2-t_1}\right\}\right] && t_1<t<t_2 \end{aligned}\right\}\cdots(31)_1$$

$$\left.\begin{aligned} y_2 &= -\varepsilon\left\{\frac{t-t_0}{t_1-t_0}+\frac{\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0}\right. \\ &\quad \left.-\frac{\beta_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0}\right\} && t_0<t<t_1 \\ y_2 &= -\varepsilon\left[\frac{t_2-t}{t_2-t_1}+\frac{\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{t_1-t_0}\right.\right. \\ &\quad \left.\left.-\frac{\sin\beta_1(t-t_1)}{t_2-t_1}\right\}-\frac{\beta_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\left\{\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{t_1-t_0}\right.\right. \\ &\quad \left.\left.-\frac{\sin\beta_2(t-t_1)}{t_2-t_1}\right\}\right] && t_1<t<t_2 \end{aligned}\right\}\cdots(31)_2$$

但し $t_2<t$ の値は後節の計算に不必要なるを以て省略せり。

2. 梯形の障害物

路面の形狀は第 8 圖に示され y_1, y_2 は附錄 III の (6) 式より（此の場合も $0<t<t_0$ の區域にては y_1, y_2 は共に零なり）

$$y_1=-\varepsilon\left\{\frac{t-t_0}{t_1-t_0}-\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0}+\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0}\right\} \qquad t_0<t<t_1$$

$$y_1=-\varepsilon\left\{1-\frac{k_1^2-\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)-\sin\beta_1(t-t_1)}{\beta_1(t_1-t_0)}-\frac{\beta_1^2-k_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)-\sin\beta_2(t-t_1)}{\beta_2(t_1-t_0)}\right\} \qquad t_0<t<t_2 \qquad \cdots(32)_1$$

$$y_2=-\varepsilon\left\{\frac{t-t_0}{t_1-t_0}+\frac{\beta_2^2}{\beta_1(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\sin\beta_1(t-t_0)}{t_1-t_0}-\frac{\beta_1^2}{\beta_2(\beta_1^2-\beta_2^2)}\frac{\sin\beta_2(t-t_0)}{t_1-t_0}\right\} \qquad t_0<t<t_1$$

$$y_2=-\varepsilon\left\{1-\frac{\beta_2^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_1(t-t_1)-\sin\beta_1(t-t_0)}{\beta_1(t_1-t_0)}+\frac{\beta_1^2}{\beta_1^2-\beta_2^2}\frac{\sin\beta_2(t-t_1)-\sin\beta_2(t-t_0)}{\beta_2(t_1-t_0)}\right\} \qquad t_1<t<t_2 \qquad \cdots(32)_2$$

$t_2<t<t_3$, $t_3<t$ の値は後節に不必要なるを以て省略せり。

以下次號

昭和九年三月二十五日　印刷
昭和九年三月三十日　發行

内務省土木試驗所
東京市本郷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　守岡功
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二

印刷所　凸版印刷株式會社本所分工場
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二

土木試験所出版圖書

報告

第一號	路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告。瀝青質材料竝瀝青質混合物に關する研究第一報	大正十四年三月發行
第二號	瀝青質材料針度に就て	大正十五年一月發行
第三號	「ヴァイアログ」に依る路面凹凸測定。瀝青混合物に關する研究。「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て	同　二月發行
第四號	急硬セメントに關する試驗報告	同　五月發行
第五號	簡易鋪裝に關する試驗報告	昭和二年三月發行
第六號	混凝土及鐵筋混凝土抗扭力試驗報告	同　五月發行
第七號	八幡製鐵所副產部製品、瀝青質材料、瀝青質鋪裝、「セメント」類及揮發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績	同　七月發行
第八號	瀝青質材料標準試驗方法。　石材類標準試驗方法	同　十月發行
第九號	急硬性「セメント」に關する試驗。「ソリデチット」の耐壓强度に關する試驗。「ブロック」に關する試驗。高知縣黒潮川產砂に關する試驗。多摩川產砂利及砂に關する調査。石材類試驗成績	同　十一月發行
第十號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第一）道路橋振動試驗	昭和三年三月發行
第十一號	瀝青滲透ブロック試驗成績。鋪裝工事用サーフエス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗。常願寺川產砂に關する試驗	同　七月發行
第十二號	アスファルト・ブロック試驗成績。各種アスファルト・ブロック比較試驗成績。石油アスファルトとコール・タール・ピッチとの混合物に關する試驗。瓦斯燈及骸炭燈タールと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。	同　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。橋桁用敷板强度試驗。舊廐橋鐵材の腐蝕に關する調査。鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗。	同　五月發行
第十四號	瀝青乳劑及ビチ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。電氣熔接法による鐵筋の接合。現場打混凝土の耐壓試驗報告	同　五年二月發行
第十六號	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第二）。瀝青滲透ブロック鋪裝試驗。工事用石材試驗成績	同　五月發行
第十七號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第三）	同　五月發行

（注意）裏面ニ續ク

第十八號	混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試驗。鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響竝に之に應ずる設計及工法に就て(一)。鬼怒川上流改修工事用角礫凝灰岩砂利及砂に關する試驗。鐵筋混凝土道路橋設計資料。各種土木工事用材料試驗成績	昭和五年十月發行
第十九號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響竝に之に基く道路設計の基本に關する研究（第四）	同　十一月發行
第二十號	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)。基礎の沈下量算定法(一)。岩淵水門に關する水理試驗。單鉸拱橋模型試驗。國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案	同六年六月發行
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。瀝靑乳劑試驗成績	同　十二月發行
第二十二號	地震時土壓の實驗的研究 混凝土鋪裝縱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	同　七年五月發行
第二十三號	簡易鋪裝に關する實地比較試驗 鋼矢板試驗 大和川筋龜ノ瀨地辷に關する調査(第一)	同　七月發行
第二十四號	道路の背向曲線の設計に就て 阻柱に關する試驗 乳劑の粘度に就て 府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案 碎石の磨損率に關する一試驗 三陸津浪調査報告	昭和八年六月發行
第二十五號	本邦鋪裝用タールの性質に就て 橫溢流堤流量試驗 擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗 砂利層の支持力に關する試驗（第一報） 鋼矢板試驗（續） エタニツト・パイプ試驗	昭和八年十一月

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