

土木学会論文集

第 61 号・別冊 (3-3)

骨材の表面積と新面積法による構築混合物の 検討とその應用に関する研究

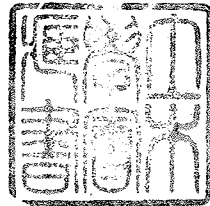
正員 太田 誠 一 郎

TRANSACTIONS
OF THE
JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

No. 61, EXTRA PAPERS (3-3)

A RESEARCH ON SURFACE AREA OF AGGREGATE,
FUNDAMENTAL STUDY AND APPLICATION OF NEW
SURFACE AREA METHOD OF STRUCTURAL
MIXTURES

By Seiichiro Ohta, C.E. Member



May 1959

TOKYO JAPAN

昭和 34 年 5 月

土 木 学 会

骨材の表面積と新表面積法による構築混合物の 検討とその応用に関する研究

正員 太田 誠一郎*

A RESEARCH ON SURFACE AREA OF AGGREGATE, FUNDAMENTAL STUDY AND APPLICATION OF NEW SURFACE AREA METHOD OF STRUCTURAL MIXTURES

By *Seiichiro Ohta, C.E. Member*

Synopsis : The author considers that a more accurate result has been obtained by his original stearic acid monocular film method besides the conventional Carman and Blaine methods of aggregate and stone dust.

On the other hand, seeing that certain best typical asphaltic mixtures have the optimum asphalt content, he has got a formula $A_0^{3/4}t=C$ (Fig. 9) as a result of this analytical investigation by the specific surface area of aggregate and stone dust. This is the fundamental formula of Ohta's New Surface Area Method, and his experiment has proved it true.

In short, the present paper proves with various instances that this formula enables us to make a reasonable study of all mixtures and soil, and also that it is very extensively applicable to the practice.

要旨 従来の Carman 法, Blaine 法等による骨材, 石粉等の表面積測定のほか, 著者の独創のステアリン酸法による表面積測定から, より一層正確な値を得たものと考えている。

一方成績優秀な代表的のアスファルト混合物数種をとりあげると, それらの内容は最適アスファルト量を有するものであるから, これを骨材, 石粉の比表面積によつて分析検討した結果 $A_0^{3/4}t=C$ (図-9) という式を得た。これが著者の新表面積法の基本式であつて, さらに実験によつても証明している。

この式によつてすべての混合物, 土壌等の合理的な研究ができ, その応用の非常に広いことをいろいろの例をあげて記述したものである。

Abstracts

In his previous experiments to determine the best proportioning of bituminous mixtures, the present author has studied this problems by making use of the values of surface areas of aggregates recommended by Mr. L.N. Edwards and encountered, in the course of studies, some doubt about these figures.

Consequently, after rechecking Mr. Edwards' surface areas, the author has found that the following much-used previous formulas

$$A_0 = \frac{6}{\rho d}; \quad A_0 = 7.15 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{1/3}; \quad \text{and} \quad A_0 = \frac{6K}{\rho} \left(\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right)$$

should be replaced by the following formulas respectively :

$$A_0 = \frac{8}{\rho d}; \quad A_0 = 9 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{1/3}; \quad \text{and} \quad A_0 = \frac{8K}{\rho} \left(\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right)$$

where

A_0 : Specific surface area of aggregate;

ρ : Specific gravity of aggregate;

d : Jung's mean diameter of aggregate;

N : Number of grains contained in 1 gram of aggregate; and

x : Grain diameter of aggregate :

* 室蘭工業大学教授, 土木工学科教室

The following methods have been used in the determination of the author's surface areas :

- (1) Examination of heavy oil films around aggregate ;
- (2) Examination of monocular films around aggregate, which is the author's own method of examining stearic acid monocular films around aggregate taking hints from Dr. Langmuir's research ;
- (3) Examination of adsorption of stearic acid monocular films around fine aggregate, which the author had been studying before the Russel and Orr's methods were introduced.
- (4) Water permeability method (Carman method) ; and
- (5) Air permeability method (Blaine method) :

A series of comparison studies of results obtained from the above methods have enabled the author to arrive at a conclusion that, if the aggregate are sifted through at a set of sieves and sorted, their specific surface areas independent of substances, shapes, etc. should have values given in the following table.

Screen Openings (mm, inch or number)	A_0 Specific surface area (cm^2/g , $\rho=2.50$)	α Factor of specific surface area ($a_0=10\,000\text{ cm}^2/\text{kg}$, $\rho=2.50$)
40~20($1\frac{1}{2}$ ~ $\frac{3}{4}$)	1.8	0.2
20~10($\frac{3}{4}$ ~ $\frac{3}{8}$)	3.3	0.3
10~5($\frac{3}{8}$ ~No. 4)	6.1	0.6
5~2.5 (No. 4~No. 8)	11.2	1.1
2.5~1.2 (No. 8~No. 16)	20.8	2.1
1.2~0.6 (No. 16~No. 30)	38.6	3.9
0.6~0.3 (No. 30~No. 50)	71.0	7.1
0.3~0.15 (No. 50~No. 100)	133.0	13.3
0.15~0.075 (No.100~No.200)	246.0	24.6
0.075-(No. 200-)	3250.0	325.0 (or measured by Blaine) method accurately

Values of surface areas given above are larger by 22% than the corresponding values obtained by the Edwards' method.

Fig. 7 is a curve drawn by the author, showing relations between specific surface areas and mean diameter of aggregates, which pass through a sieve chosen arbitrarily, but are retained in the sieve of next smaller mesh or which are retained by an arbitrarily chosen sieve, but pass through the sieve of next larger mesh.

Thus, by making use of these newly found values of specific surface areas, the author has experimented on ingredients and proportionings in asphaltic mixtures, which are available and known to have been accepted, as well as on ingredients and proportionings in typical mixtures recommended by the Asphalt Institute in U.S.A. and other samples.

After repeated experiments by substituting these values in the formula :

$$\sum p A_0 x = P$$

where

p : Quantity of aggregates in percent (%) ;

A_0 : Specific surface areas of aggregates with respect to an arbitrarily chosen sieves as explained above ;

x, t : Asphalt film thickness ;

P : Quantity of asphalt :

The author has been able to prove inductively that the following relation between specific surface areas and thickness of asphalt film will hold ;

$$A_0^{3/4} \cdot x = C \text{ or } A_0^{3/4} \cdot t = C$$

where ;

C : a constant

The line $\left(\frac{t_{2-3} + t_3}{2}\right)$ which parallel to No. 3 in Fig. 9 represents asphalt mixtures. In any and

all proportionings of aggregates, optimum asphalt content may be obtained from this line.

When finding the amount of water required for cement concrete, it is convenient to draw several lines parallel to the line No. 3. The larger the values of constant C, the softer the concrete. In other words, irrespective of aggregates, mixtures represented by the same line will have the equal consistency. Consequently, by varying proportionings, gradation, etc. it is possible to find the mixture most suitable to any particular purpose.

Fig. 9 and the formula given above are applied naturally to structural mixtures regardless the voids.

The field of application of Ohta's new surface area method is quite extensive.

To mention a few examples,

- (1) Determination of rational proportioning of asphalt mixtures;
- (2) Determination of rational proportioning of cement concrete;
- (3) Relation between surface areas of sand and water permeability constant;
- (4) Research on rational water cement ratio in concrete; and
- (5) Rational determination of the optimum moisture content in soil:

概 要

著者はさきに、歴青混合物の配合割合を合理的に解決し、これからその混合物の最優秀なものを得ようとして、L.N. Edwards 氏の求めた骨材の比表面積の値を用いてこれを検討したが、その途中で、同氏の比表面積値に疑問を生じた。

従つて、まず、Edwards 氏の比表面積値の再検討の結果、従来の式の $A_0 = \frac{6}{\rho d}$, $A_0 = 7.15 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{1/3}$, $A_0 = \frac{6K}{\rho} \left(\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right)$ はそれぞれ次のように変えなければならないものとした。

$$\text{すなわち, } A_0 = \frac{8}{\rho d}, \quad A_0 = 9 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{1/3}, \quad A_0 = \frac{8K}{\rho} \left(\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right)$$

式中

A_0 : 骨材の比表面積

ρ : 骨材の比重

d : ヤング氏の骨材の平均径

N : 1g 当りの骨材の粒子数

x : 骨材の任意の粒子径

著者の表面積測定法として使用したものは

- (1) 骨材のまわりの重油被膜によるもの
- (2) 骨材のまわりのステアリン酸単分子膜によるもので、Langmuir 氏の研究から暗示を得た著者の独創的のものである。
- (3) 細骨材のまわりのステアリン酸単分子膜の吸着によるもの（著者が Russel および Orr 法の以前から研究していたもの）
- (4) 透水法 (Carman 法)
- (5) 空気の浸透法 (Blaine 法)

以上の方法による測定値を比較検討し、その結論として、骨材は一連のふるいを以てふるい分けさえすれば、その比表面積は工学的には骨材の種類、形状等には無関係で右表の値であるとした。

また、骨材をある任意のふるいでふるい分けをした時の比表面積はその隣りのふるいと平均径からその間の比表面積を求めた図表を作製した。

ふるい (mm, inch, 番号)	A_0 比表面積 (cm^2/g , $\rho=2.50$)	α 比面率 ($a_0=10\,000\text{ cm}^2/\text{kg}$, $\rho=2.50$)
40~20 ($1\frac{1}{2}$ ~ $\frac{3}{4}$)	1.8	0.2
20~10 ($\frac{3}{4}$ ~ $\frac{3}{8}$)	3.3	0.3
10~5 ($\frac{3}{8}$ ~No. 4)	6.1	0.6
5~2.5 (No. 4~No. 8)	11.2	1.1
2.5~1.2 (No. 8~No. 16)	20.8	2.1
1.2~0.6 (No. 16~No. 30)	38.6	3.9
0.6~0.3 (No. 30~No. 50)	71.0	7.1
0.3~0.15 (No. 50~No. 100)	133.0	13.3
0.15~0.075 (No. 100~No. 200)	246.0	24.6
0.075 (No. 200) 以下	3250.0	325.0 (なるべくそのものを Blaine 法にかける)

次に、著者はこの比表面積の値を用い、著者の手もとにある成績優秀な舗装用のアスファルト混合物の内容、または米国の Asphalt Institute の代表的な配合割合の平均値、その他のものの内容を $\Sigma p A_0 x = P$ の式に代入して検討し、また、その上その混合物を実験した結果、骨材の比表面積とそのまわりのアスファルト被膜厚との間の関係は $A_0^{3/4} x = C$ で表わせることが判明した。ただし、 p は各ふるい間の骨材の分量％、 P はアスファルト量、 A_0 は隣りのふるい間の骨材の比表面積、 $x(\text{cm})$ 、 $t(\mu)$ はアスファルト被膜厚、 C はある定数である。

図-9 の No. 3 の線に平行し、ごくわずかに下側の線、すなわち各番号の被膜を $t_1, t_2 \dots t_4$ 等とすれば $\frac{t_{2-3} + t_3}{2}$ はこのアスファルト混合物の最適アスファルト量を示すものである。

すなわち、どんな粒径、粒度の骨材のどんな配合割合の混合物でも、この線によつて合理的な最適アスファルト量 (Optimum Asphalt Content) が求められる。

この No. 3 の線に平行にいく本かの線を引きやると、セメントコンクリートの使用水量を合理的に求めるときによい。C の定数の大きいものほど軟かなコンクリートになる。換言すれば、骨材の内容のどんなものでも同一の線で示されたコンクリートの軟かさはみな等しいということである。従つて、配合割合、粒度等をいろいろに変えてその最も良いコンクリートを研究することができる。

この式や図表は構築用混合物を前提とし、その空げきを無視したときのものである。

この著者の考えた新表面積法 (Ohta's new surface area method) の応用範囲は非常に広いものがあると考えられる。すなわち、

- (1) アスファルト混合物の配合理論
- (2) セメントコンクリートの配合理論
- (3) 砂の表面積とその透水係数との関係
- (4) セメントコンクリートの合理的な水セメント比の研究
- (5) 土の最適含水量の合理的決定法

等である。

第1章 骨材の表面積

砕石、砂利、砂および石粉(フィラー)等の土木材料の表面積に関して研究することは、その粒度を調べること以上に各方面すなわち、アスファルト混合物、セメントコンクリートまたは土壌の分野等で応用範囲が広いものと考えられる。

従来、この問題に関して研究した人も多く、またその結果も発表されているが、その表面積の値は著者の測定したものより一般に小さく、たとえば従来この方面の権威者の Edwards¹⁾ 氏の値は約 22% ほど小さい。著者はこの点に留意し、以下述べるような表面積についての研究の結果、

$$A_0 = \frac{8}{\rho d_m}, \quad A_0 = 9 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{1/3}, \quad A_0 = \frac{8K}{\rho} \left[\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right]$$

ふるい (inch, 番号, mm)	A_0 比表面積 (cm ² /g, $\rho=2.50$)
1 1/2 ~ 3/4 (38.1 ~ 19.1)	1.8
3/4 ~ 3/8 (19.1 ~ 9.55)	3.3
3/8 ~ No. 4 (9.55 ~ 4.76)	6.1
No. 4 ~ No. 8 (4.76 ~ 2.38)	11.2
No. 8 ~ No. 16 (2.38 ~ 1.19)	20.8
No. 16 ~ No. 30 (1.19 ~ 0.59)	38.6
No. 30 ~ No. 50 (0.59 ~ 0.30)	71.0
No. 50 ~ No. 100 (0.30 ~ 0.15)	133.0
No. 100 ~ No. 200 (0.15 ~ 0.074)	246.0
No. 200 (0.074) 以下	3 250.0 (なるべく Blaine 法で測定する)

の式で計算した値がよく実測値に合うものとし、米国型ふるいを用いたときの値を左表のように与えた。

他の種類のふるいを用いたときおよび他の平均径によるものにも著者は図-7をつくり、これによつて容易に比表面積を求めるようにした。

1. 表面積測定の際のふるいの平均径

骨材の表面積を表わすには、隣りのふるい間のものについて 1g 当り、または 1kg 当りいくらと示すのが普通である。この場合必ずその隣りとのふるい目の

平均径が問題になつてくる。換言すれば、そのふるい間の骨材の実表面積を表わすにどんな平均径で計算してやれば最も正しいかの問題である。いま、その平均径 d の求め方について代表的なものを次にあげる。

(1) Edwards¹⁾ 氏:

$$d = \frac{l_1 + l_2}{2} \dots \dots \dots (1)$$

式中、 l_1, l_2 は隣り合のふるい目の大きさ

(2) Vieser²⁾ 氏: ふるい目の関係が $l_1 = 2 l_2$ のときは、その粒径の半数は $7/8 l_1$ の径をもち、残り半数は

$5/8 l_1$ の径を持つものとして、その平均径の d は

$$d = (7/8 + 5/8)l_1 = 3/4 l_1 \dots\dots\dots (2)$$

(3) Pöpel³⁾ 氏：隣り合いのふるい間の骨材の表面積は l_1 径のふるい目に相当する表面積 A_1 と、 l_2 径のふるい目に相当する表面積 A_2 との平均値であるとして、

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{\lambda}{\rho l_1} \\ A_2 &= \frac{\lambda}{\rho l_2} \\ A &= \frac{A_1 + A_2}{2} = \frac{\lambda}{2\rho} \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_1 l_2} \\ d &= \frac{2 l_1 l_2}{l_1 + l_2} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

いま、 $l_1 = 2 l_2$ のときは

$$d = \frac{2}{3} l_1 \dots\dots\dots (4)$$

式中、 λ は骨材に関する定数で、 ρ は骨材の比重である。

(4) Jung 氏⁴⁾： d_m を実測表面積に相当する平均径として、

$$\eta = \frac{d_m}{d}, \quad d = \frac{2 l_1 l_2}{l_1 + l_2}$$

角目ふるいときは

$$\eta = \frac{a}{d^n} = \frac{1.025}{d^{1/3}} \dots\dots\dots (5)$$

丸目ふるいときは

$$\eta_r = \eta - 0.136 \dots\dots\dots (6)$$

2. 表面積の計算式

従来、粒子の表面積を計算する式にはいろいろのものがあるが、それらはその式を誘導するときの仮定が多少違う。

(1) 粒形を球と考えるもの：いま

ρ ：粒子の比重、 N ：1g の中に含まれる粒数、 d ：粒子の平均直径
とすれば、1g の粒群の総容積の $V(\text{cm}^3/\text{g})$ は粒を球と仮定すると、

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot d^3 N$$

また、その比表面積の $A_0(\text{cm}^2/\text{g})$ は

$$A_0 = \pi d^2 N$$

この2つの式から

$$\frac{V}{A_0} = \frac{1}{6} d, \quad d = \frac{6V}{A_0}$$

この d を V の式に代用すると、

$$V = \frac{\pi}{6} \left(\frac{6V}{A_0} \right)^3 N$$

また、 $A_0^3 = 36\pi V^2 N$ 、 $V = 1/\rho$ であるから

$$A_0 = 4.836 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (7)$$

立方体および四面体の粒を考えると、

$$A_0 = 6 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (8)$$

$$A_0 = 7.15 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (9)$$

一般に、碎石、砂等の粒子の不規則な形のものには

$$A_0 = C_1 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (10)$$

とし、式中の C_1 は実験によつて決定する。

(2) 粒形を実表面積を有する規則形と仮定する方法：

ρ : 粒子の比重, N : 1g 中の粒子の数, v : 各粒子の容積, d : 各粒子の直径, a : 各粒子の表面積とすれば、はじめ球形と仮定して、

$$v = \frac{1}{\rho N}, \quad v = \frac{\pi}{6} d^3, \quad a = \pi d^2$$

$$\therefore v = \frac{a \cdot d}{6}$$

従つて、 $a = \frac{6v}{d} = \frac{6}{\rho d N}$

1g 当りの粒群の表面積すなわち比表面積の A_0 は

$$A_0 = aN = \frac{6}{\rho d} \dots \dots \dots (11)$$

Pöpel³⁾氏は $l_m = d = \frac{2l_1 l_2}{l_1 + l_2}$ を用い、一般形の粒子には $A_0 = \frac{6}{\rho l_m}$ とした。

Jung⁴⁾氏は実表面積と $A_0 = \frac{6}{\rho l_m}$ との間には、ある程度の差があるとして、実表面積に相当する平均径の d_m と l_m との比を、 $\eta = \frac{d_m}{l_m} = \frac{1.025}{l_m^{1/3}}$ で計算すべきであるとした。これは角ふるいするときである。砕石、砂利に丸目ふるいを使用したときは、 $\eta_r = \eta - 0.136$ で計算する。

しかし、混合物全体の表面積のうち、砂利または砕石の占める表面積の割合は砂、石粉等の角目ふるいを用いる表面積に比べて非常に小さく、従つて表面積に関する限り、角目ふるい、丸目ふるいの区別の問題は採るに足らない。

(3) 粒形の相似性を持つ仮定による方法：骨材の粒形が相似形をなし、しかもその粒子の分布状態が特別のものでなければ、その残さの $R_{(x)}$ は

$$R_{(x)} = e^{-Kx^n} \dots \dots \dots (12)$$

式中、

$R_{(x)}$: x 径のふるいに残る量, K, n : 骨材によるある定数

(12) 式を変形して、

$$\log(-\log R) = \log K + n \log x + \log(\log e)$$

よつて、この式の R に2種以上のふるい上に残る骨材の量を代入してこれを計算すれば K と n とが求められる。この式は石粉、セメント等の粉体の表面積の計算に用いられ、いま、一般の石粉(フィラー)についてそのときの K と n とを算出すると、 n は1に近い値であることは次の計算によつて証明され、実用的には n を1としてさしつかえがない。

市販の寒水石粉(フィラー)をふるい分けして(3回の平均値)

No. 1 の資料 (比重 $\rho=2.66$)

粒子の大きさ(mm)	$p(\%)$
0.3 ~0.15	16
0.15 ~0.075	32
0.075~0.04	9
0.04 ~0.02	25
0.02 以下	18

} 48 (ふるい分けにより)
} 52 (Schöne のとうだ法により)

ふるい x 目に残る R は

$$R = e^{-Kx^n}$$

$$\log(-\log R) = \log K + n \log x + \log(\log e)$$

この式に、No. 1 の試料のふるい分けした値を入れて n を求めると

粒子の大きさ(mm)	x (cm)	R (%)
0.3 ~0.15	0.015	16
0.15 ~0.075	0.0075	48
0.075~0.04	0.004	57
0.04 ~0.02	0.002	82

$$\begin{aligned} \log(-\log R) &= \log 0.706 = \log K + n \log 0.015 + \log(\log e) \\ -0.151 &= \log K - 1.824n + \log(\log e) \dots\dots\dots (i) \end{aligned}$$

同じように

$$\begin{aligned} -0.496 &= \log K - 2.125n + \log(\log e) \dots\dots\dots (ii) \\ -0.613 &= \log K - 2.398n + \log(\log e) \dots\dots\dots (iii) \\ -1.065 &= \log K - 2.699n + \log(\log e) \dots\dots\dots (iv) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (i) - (ii) \quad 0.345 &= 0.301n \quad n=1.14 \\ (i) - (iii) \quad 0.462 &= 0.574n \quad n=0.82 \\ (i) - (iv) \quad 0.914 &= 0.875n \quad n=1.04 \\ (ii) - (iii) \quad 0.117 &= 0.273n \quad n=0.43 \\ (ii) - (iv) \quad 0.569 &= 0.574n \quad n=0.99 \\ (iii) - (iv) \quad 0.452 &= 0.301n \quad n=1.50 \end{aligned}$$

従つて、 n の平均値は、

$$n = \frac{1}{6}(1.14 + 0.82 + 1.04 + 0.43 + 0.99 + 1.50) = 0.99 \approx 1.0$$

次に、No. 2 の試料については次に示す。

粒子の大きさ(mm)	x (cm)	R (%)
0.3 ~ 0.15	0.015	14
0.15 ~ 0.075	0.0075	42
0.075 ~ 0.04	0.004	57
0.04 ~ 0.02	0.002	77

前と同じように計算して、

$$\begin{aligned} -0.069 &= \log K - 1.824n + \log(\log e) \dots\dots\dots (v) \\ -0.401 &= \log K - 2.125n + \log(\log e) \dots\dots\dots (vi) \\ -0.613 &= \log K - 2.398n + \log(\log e) \dots\dots\dots (vii) \\ -0.943 &= \log K - 2.699n + \log(\log e) \dots\dots\dots (viii) \end{aligned}$$

以上を組み合わせて n を求めると、

$$\begin{aligned} (v) - (vi) \quad 0.332 &= 0.301n \quad n=1.04 \\ (v) - (vii) \quad 0.544 &= 0.574n \quad n=0.95 \\ (v) - (viii) \quad 0.874 &= 0.875n \quad n=1.00 \\ (vi) - (vii) \quad 0.212 &= 0.273n \quad n=0.78 \\ (vi) - (viii) \quad 0.542 &= 0.574n \quad n=0.94 \\ (vii) - (viii) \quad 0.330 &= 0.301n \quad n=1.09 \end{aligned}$$

よつて、 n の平均値は、

$$n = \frac{1}{6}(1.04 + 0.95 + 1.00 + 0.78 + 0.94 + 1.09) = 0.97 \approx 1.0$$

また、 K の値は $n=1.0$ として、上述の式に代入すると求められて、まず、 $e=2.718$, $\log(\log e)$ は -0.362 であるから、No. 1 の試料の石粉では、

$$\begin{aligned} -0.151 &= \log K - 1.824 - 0.362, & \log K &= 2.035, & K &= 108 \\ -0.496 &= \log K - 2.125 - 0.362, & \log K &= 1.991, & K &= 98 \\ -0.613 &= \log K - 2.398 - 0.362, & \log K &= 2.147, & K &= 140 \\ -1.065 &= \log K - 2.699 - 0.362, & \log K &= 1.996, & K &= 99 \\ & & \text{平均} & & K &= 110 \end{aligned}$$

また、No. 2 の試料では、

$$\begin{aligned} -0.069 &= \log K - 1.824 - 0.362, & \log K &= 2.117, & K &= 131 \\ -0.401 &= \log K - 2.125 - 0.362, & \log K &= 2.063, & K &= 116 \\ -0.613 &= \log K - 2.398 - 0.362, & \log K &= 2.147, & K &= 140 \\ -0.943 &= \log K - 2.699 - 0.362, & \log K &= 2.118, & K &= 131 \\ & & \text{平均} & & K &= 130 \end{aligned}$$

すなわち、前者の No. 1 の石粉の K の値は 110, 後者の No. 2 のそれは $K=130$ であつて、普通のポルトランドセメントでは $K \approx 100$ といわれ、 $n=1$ としている。

さて、 $n=1.0$ とすると

$$\frac{dR}{dx} = \frac{d}{dx} e^{-Kx} = -Ke^{-Kx}$$

比表面積の A_0 は

$$A_0 = \frac{C_3 K}{\rho} \int_{x_1}^{x_2} \frac{e^{-Kx}}{x} \dots \dots \dots (13)$$

これは不定積分である。

$$A_0 = \frac{C_3 K}{\rho} \left[\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \dots \dots \right] \dots \dots \dots (14)$$

C_3 の値は、粒子が球形のものとするれば、 $C_3=6$ となり、また、積分の範囲はフィラーでは No.200(0.075 mm) 以下のものを考え、 7.5×10^{-3} cm (75 μ) から微粉の最小のものまでとする。

鉱物学の方面で鉱物を粉碎したときは、その鉱物の種類、粉碎機の別で多少異なるが、最小粒径は石灰岩粉では 1.0×10^{-7} cm (1.0 $\mu\mu$) を用いて良いといわれる。

以上述べた表面積の式をまとめると、

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= C_1 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{1/3} \\ A_0 &= \frac{C_2}{\rho d_m} \\ A_0 &= \frac{C_3 K}{\rho} \left[\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

3. 骨材の表面積測定法

骨材の表面積を測定する方法にいろいろあつて、

- (1) 方眼紙を砂利または碎石の表面に張つてその方眼紙の目を勘定して測定するもの⁵⁾,
- (2) 水または油が骨材の表面に付着する被膜によるもの^{4), 6)},
- (3) ステアリン酸の被膜によるもの⁷⁾,
- (4) 水および空気の影響によるもの⁸⁾,
- (5) 薬品による砂等の溶解量によるもの¹⁰⁾,

以上のうち、著者は計算式としては前述の通り、(15)式を用い、また、測定法としては(2),(3)および(4)を採用し、計算値と実測値とを比較研究して、実用上簡単で、しかも正確な値を与える式を検討した結果、(15)式の C_1, C_2 および C_3 の定数はそれぞれ、 $C_1=9, C_2=8, C_3=8$ とした。

すなわち、

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= 9 \sqrt[3]{\frac{N}{\rho^2}} \\ A_0 &= \frac{8}{\rho d_m} \\ A_0 &= \frac{8K}{\rho} \left(\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (16)$$

骨材、石粉等の比表面積はこの(16)式で計算すべきであると結論した。

4. 重油の被膜による表面積測定

この骨材の表面積測定には重油と MC (medium curing cut back asphalt) の2種類を使用した。MC は実験の結果、付着する被膜の厚さが一定でないことが判明したので、その実験資料は採用しなかつた。重油によつたものは、最初表面積既知の立方体の安山岩および頁岩によつて、一定の室温(約30°)のとき、石を重油に浸してからこれを取り出し、1時間そのまま静止(釣る)して、余分の重油をたらし、前後の重量差により、その被膜の厚さを計算した。その結果、頁岩では 18.3 μ , 安山岩に対しては 24.9 μ の値を得た。

つぎに、安山岩および頁岩の碎石を前と同じ状態で重油に浸し、その前後の重量差を、24.9 μ または 18.3 μ で除して、その碎石の表面積を算出した。表-1 はその結果を示す。

安山岩碎石は比較的粗面であるのに反し、頁岩碎石は比較的平滑であつた。しかして、重油はその粗面中の多くの小孔に前記の基準の被膜以上に余分量が満たされ、従つて、粗面の安山岩は頁岩の碎石よりも比較的多量の

表-1 重油被膜法による骨材の表面積

(1) 安山岩碎石 ($\rho=2.63$)

番号	室温 (°C)	W_0 (g)	W_1 (g)	$W=W_1-W_0$ (g)	被膜厚 (cm)	表面積 A (cm ²)	球としての半径 r (cm)	半径 r の球の表面積 A_r (cm ²)	A/A_r
1	27	37.464	37.606	0.142	0.000249	57.03	1.503	28.39	2.00
2	29	24.888	24.980	0.092	"	36.95	1.312	21.63	1.70
3	27	9.133	9.195	0.062	"	24.90	0.939	11.08	2.25
4	27	22.781	22.871	0.090	"	36.14	1.274	20.40	1.77
5	27	23.754	23.857	0.103	"	41.37	1.292	20.98	1.97
6	27	7.349	7.397	0.048	"	19.28	0.874	9.06	2.00
7	29	15.247	15.338	0.091	"	36.55	1.114	15.60	2.34
8	29	26.756	26.863	0.107	"	42.97	1.344	22.70	1.89
9	29	29.434	29.555	0.121	"	48.59	1.388	24.21	2.00
10	29	16.553	16.628	0.075	"	30.12	1.145	16.48	1.83
平均									1.98

(2) 頁岩碎石 ($\rho=2.74$)

番号	室温 (°C)	W_0 (g)	W_1 (g)	$W=W_1-W_0$ (g)	被膜厚 (cm)	表面積 A (cm ²)	球としての半径 r (cm)	半径 r の球の表面積 A_r (cm ²)	A/A_r
1	32	18.973	19.041	0.068	0.00183	37.15	1.182	17.56	2.11
2	32	6.882	6.913	0.031	"	16.94	0.843	8.93	1.89
3	32	29.767	29.861	0.094	"	51.37	1.374	23.71	2.17
4	32	15.023	15.076	0.054	"	28.96	1.094	15.04	1.93
5	29	22.646	22.709	0.063	"	34.43	1.254	19.76	1.73
6	32	23.703	23.748	0.045	"	24.59	1.274	20.40	1.20
7	32	18.255	18.304	0.049	"	26.78	1.168	17.14	1.56
8	29	13.010	13.065	0.055	"	30.05	1.043	13.67	2.20
9	32	13.319	13.382	0.063	"	34.43	1.051	13.68	2.48
10	29	19.385	19.433	0.031	"	26.23	1.191	17.83	1.47
平均									1.88

重油が付着したものと推測される。この理由と多数の小孔をもつて、表面積の以外に大きい2つのことから、その実表面積とこれと同じ体積の球の表面積との比 A/A_r の値の平均値は安山岩の方が大きいのが当然である。

5. ステアリン酸単分子の被膜による表面積測定法

この方法は化学の方面で Langmuir 氏⁷⁾の方法を著者が碎石の表面積測定法にはじめて応用した新しい方法で独創的なものであると考えている。

この測定に必要な器具および薬品は

- | | |
|-------------------|---------|
| (a) 写真現像用の四つ切りバット | 1 |
| (b) 高さ約 60 cm の槽 | 1 |
| (c) プラニメーター | 1 |
| (d) 1 cc の注射器 | 2 |
| (e) ステアリン酸 | 約 10 cc |
| (f) オレイン酸またはヒマシ油 | 約 10 cc |
| (g) ベンゾール | 約 50 cc |
| (h) パラフィン | 約 20 g |

次に、この測定法の要点を述べてみる。まず、オレイン酸またはヒマシ油、ステアリン酸およびパラフィンをベンゾールに溶かして溶液をつくる。碎石、糸はパラフィン溶液につけてパラフィン塗布を行う。バットに水を盛り、その上に輪にした糸を浮かせ、その内側に注射器でごく少量のステアリン酸溶液を水面に落とす。ステアリン酸溶液は単分子層で水面上に拡散してある程度糸の輪をおし広げて円形とする。次に、糸の輪の外側にオレイン酸溶液を少量落とすと、オレイン酸の方は複分子層で水面上に拡散ができ、その表面圧がステアリン酸よりも弱いから、糸の輪の内側はステアリン酸の単分子膜、外側はオレイン（ヒマシ油とともにこれをピストン油という）の複分子層の被膜で満たされ、糸はこれら2種の油のつり合いで静止する。ピストン油の方は少し多い目に拡散させる。この間溶液のベンゾールは揮発してしまう。このときの糸の輪の径は約 15 cm であつた。

次に、試料の碎石を糸でつり、静かに輪の中に下げて水中に浸けると、碎石の表面にステアリン酸の被膜が単分子膜で付着し、それに相当する水面のステアリン酸被膜が失われて表面圧が低下する。これを補わんとして輪の外側のオレイン酸が複分子の重なりをくずして糸を押しつけるため、輪の形を変える。

碎石を水中に沈めたまま輪の形を紙に写して、最初の輪の面積から引き去ると、骨材の表面積が求められる。実測では碎石を一度水から引き上げて、いま一回ステアリン酸被膜を重ね、糸の輪には2倍の面積の変形をやらせ、その前後の表面積差を2で除して骨材の表面積とする。もし、数回にわたってこの操作を繰り返し、その回数で表面積差を割つてやれば、なお一層精度の高い結果が得られる。要は糸の輪の変形をにらんでその測定の上げ下げの回数を決めるのである。また、前後の糸の輪の形を写真に撮れば、実験後ゆつくりその面積の測定および計算等ができるほかに記録を保存するのにつごうが良い。

要するに、この測定を行えば、非常に高精度の結果が得られ、とうてい重油被膜その他の測定のとびではない。ただ、その操作にかなり微妙なものから十分注意を要する。

いま、著者の経験からその注意すべき諸点をあげると、

(1) 実験室は清浄で、ちりなど飛散せず、風のない静かな部屋であること、このために著者は夕方から夜にかけて実験した。

(2) 室温および水温は 20°C 前後であること、このためには夏の夜(仙台)が適当であつた。

(3) バット中の水は pH=6.8 の蒸留水を使用すること。

(4) 試験用器物は測定ごとによくそうじし、糸は毎回新しいものと取り替えること。

図-1 ステアリン酸被膜による表面積測定装置

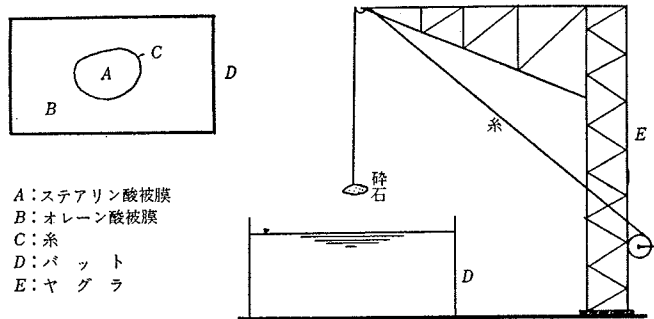
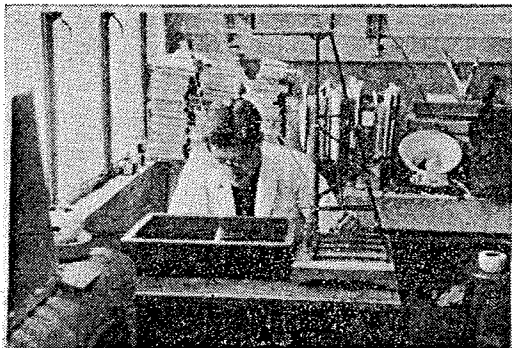


写真-1 ステアリン酸被膜による表面積測定



著者は以上の諸注意のもとに実験を行つて表-2の結果を得た。このときの供試体は前記重油のときのものをふたたび使用して、その表面積を比較した。ただし、個々の碎石の重量は再計量し、試験中の重量の変化を確かめた。

重油被膜法による実表面積と、ステアリン酸被膜法との間にはかなりの差があり、また、 A/A_r の値にも同じように相当の差異が認められる。

次に、安山岩碎石と頁岩碎石の表面の状態から見て、両碎石を比較すると、 A/A_r の値には相当のへだたりがあると思われるが、実際の測定の結果からはあまり差異

表-2 ステアリン酸被膜による表面積測定

(1) 安山岩碎石 ($\rho=2.63$)

番号	W_0 (g)	A_r (cm^2)	A (cm^2)	A/A_r
1	37.8	26.64	47.56	1.66
2	25.0	21.85	32.18	1.47
3	9.3	11.30	19.04	1.68
4	22.8	20.22	35.23	1.74
5	23.9	21.23	35.14	1.65
6	7.4	9.68	15.02	1.55
7	15.4	15.70	31.27	1.99
8	26.9	22.61	39.49	1.75
9	29.7	24.24	47.70	1.96
10	17.7	17.21	26.47	1.54

平均 1.699

(2) 頁岩碎石 ($\rho=2.74$)

番号	W_0 (g)	A_r (cm^2)	A (cm^2)	A/A_r
1	19.2	17.84	30.63	1.72
2	6.9	9.04	13.61	1.51
3	29.9	23.86	43.62	1.83
4	15.2	15.20	26.79	1.76
5	22.7	19.59	28.88	1.48
6	23.9	20.60	26.45	1.28
7	18.3	17.21	26.77	1.55
8	13.0	13.56	29.87	2.20
9	10.8	12.06	26.95	2.23
10	19.5	17.84	26.14	1.46

平均 1.703

注: A =ステアリン酸法による表面積, A_r =半径 r の球の表面積

は認められない。これは重油の塗布で碎石の表面の小孔および凸凹がふさがれ、ステアリン酸測定の際の供試体の表面の状態が変つているためと思われる。従つて、著者はまったく新しい他の碎石をとり出し、これについてふたたびステアリン酸を行いその結果を表-3に示した。このとき使用した(3)の安山岩碎石は前記(1)のものとは産地が違い、表面に多数の小孔があり粗面である。これに反し、(4)の流紋岩碎石はその表面の状態は前の頁岩のそれとやや似た比較的平滑なものであつた。

表-3 ステアリン酸被膜による表面積測定

(3) 安山岩碎石 ($\rho=2.649$)						(4) 流紋岩碎石 ($\rho=2.544$)					
番号	$W_0(g)$	$d(cm)$	$A_r(cm^2)$	$A(cm^2)$	A/A_r	番号	$W_0(g)$	$d(cm)$	$A_r(cm^2)$	$A(cm^2)$	A/A_r
1	22.70	2.54	20.30	38.34	1.89	1	19.20	2.43	18.54	29.74	1.60
2	17.40	2.32	16.85	27.97	1.66	2	15.10	2.24	15.73	28.66	1.83
3	14.40	2.18	15.00	25.53	1.69	3	14.10	2.19	15.10	25.53	1.69
4	13.80	2.15	14.50	21.24	1.44	4	13.70	2.17	14.77	21.24	1.44
5	14.40	2.18	15.00	19.23	1.37	5	12.70	2.11	14.00	19.23	1.37
平均 1.586						平均 1.586					

この試験で注意することは、表-3の結果は重油試験法を行わない全く新しい碎石であるが、ステアリン酸の付着を良くするために供試体にあらかじめパラフィン溶液の塗布をやる関係上、やはりある程度表面の小孔がふさがれていることである。従つて、表面積測定に多少の誤差を生ずる。これを軽減するためにはパラフィン溶液はなるべく薄いものを塗布すべきである。

以上の測定結果を観察するに、その測定表面積は実表面積に比較して、重油によるものは大きな値が得られ、重油被膜試験ずみのものにステアリン酸法を用いたものは反対に小さい値を与える。また、最後の全く新しい碎石をステアリン酸法で測定したものは、その実測表面積の値が少しく小さく表われているものと推察される。

以上のように、それぞれ多少の修正を必要とするが、その誤差は±の符号であるから、いま、以上の測定のア/A_r値の平均をもつて最後の公値としても、著者の新表面積法の内容すなわち、粒径の大きいものは比表面積値が小さく、従つて、その与える影響も少ないものとして問題がないと思う。

表-4 碎石のへん平率細長率その他

(1) 安山岩碎石 ($\rho=2.63$)															
番号	長さ $a(cm)$	幅 $b(cm)$	厚さ $c(cm)$	容積 $V(cm^3)$	容積係数 K	球形率 R	細長率 e	へん平率 f	方形率 S	Person 径 $d\bar{\rho}(cm)$	表面積 A' 重油	表面積 A'' ステアリン	平均値 A_m (cm^2)	$A_m/d\bar{\rho}$	A/A_r
1	4.5	3.2	2.3	14.4	0.436	0.832	1.960	6.270	1.406	3.21	57.03	47.59	52.31	16.3	1.83
2	4.1	3.5	2.1	9.5	0.315	0.602	1.952	6.833	1.171	3.11	36.95	32.18	34.57	11.1	1.59
3	3.4	2.0	1.5	3.5	0.343	0.655	2.267	4.533	1.700	3.17	24.90	19.04	21.97	10.1	1.97
4	4.2	3.1	2.2	8.7	0.304	0.581	1.909	5.918	1.355	3.06	36.14	35.23	35.69	11.7	1.75
5	3.9	3.2	1.7	9.1	0.429	0.819	2.294	7.341	1.219	2.77	41.37	35.14	38.26	13.8	1.82
6	3.5	1.8	1.3	2.8	0.342	0.653	2.692	4.846	1.944	2.01	19.28	15.02	17.15	8.6	1.78
7	3.9	2.2	1.4	5.9	0.349	0.938	2.786	6.129	1.773	2.29	36.55	31.27	33.91	14.8	2.15
8	4.5	2.2	2.1	10.2	0.490	0.936	2.143	4.714	2.045	2.75	42.97	39.49	41.23	15.0	1.81
9	4.3	3.5	2.2	11.3	0.341	0.651	1.955	6.860	1.229	3.21	48.59	47.70	48.15	15.0	1.98
10	4.1	2.8	1.4	6.9	0.417	0.697	2.927	8.200	1.464	2.52	30.12	26.47	28.30	11.2	1.62
平均 12.76															

注: $K = \frac{V}{abc}$, $R = \frac{6V}{\pi abc}$, $e = \frac{a}{c}$, $f = \frac{ab}{c}$, $S = \frac{a}{b}$, Person 径 $d\bar{\rho} = \sqrt[3]{abc}$, $A_m = \frac{A'+A''}{2}$, $V = \frac{W_0}{\rho}$

(2) 頁岩碎石 ($\rho=2.74$)															
番号	長さ $a(cm)$	幅 $b(cm)$	厚さ $c(cm)$	容積 $V(cm^3)$	容積係数 K	球形率 R	細長率 e	へん平率 f	方形率 S	Person 径 $d\bar{\rho}(cm)$	表面積 A' 重油	表面積 A'' ステアリン	平均値 A_m (cm^2)	$A_m/d\bar{\rho}$	A/A_r
1	4.0	2.1	1.9	7.0	0.439	0.838	2.105	4.421	1.905	2.52	37.15	30.63	33.89	13.4	1.91
2	3.2	1.9	1.4	2.5	0.294	0.562	2.284	4.343	1.684	2.04	16.94	13.61	15.28	7.5	1.71
3	4.2	2.4	2.5	10.9	0.433	0.827	1.680	4.032	1.750	2.93	51.37	43.62	47.50	16.2	2.00
4	3.0	2.6	1.9	5.5	0.371	0.709	1.579	4.105	1.154	2.46	28.96	26.79	27.88	11.3	1.85
5	4.2	3.6	1.6	8.3	0.398	0.760	2.625	8.138	1.355	2.75	34.43	28.88	31.66	11.5	1.60
6	4.0	3.0	1.7	8.7	0.426	0.814	2.353	7.059	1.333	2.73	24.59	26.45	25.52	9.3	1.25
7	3.7	2.8	1.7	6.7	0.380	0.726	2.178	6.094	1.321	2.60	26.78	26.77	26.78	10.3	1.56
8	2.6	2.2	1.6	4.7	0.514	0.982	1.625	3.575	1.182	2.09	30.05	29.87	29.96	14.3	1.21
9	3.3	1.9	1.7	3.9	0.366	0.699	1.941	3.688	1.737	2.20	34.43	26.95	30.69	13.9	2.56
10	4.2	3.0	1.6	7.1	0.352	0.672	2.625	7.875	1.400	2.72	26.23	26.14	26.19	9.6	1.46
平均 11.73															

(3) 安山岩砕石 ($\rho=2.65$)

番号	長さ $a(\text{cm})$	幅 $b(\text{cm})$	厚さ $c(\text{cm})$	容積 $V(\text{cm}^3)$	容積係数 K	球形率 R	細長率 e	へん平率 f	方形率 S	Person 径 $dp(\text{cm})$	表面積 Aステア リン	A/dp	A/A_r
1	3.8	3.7	2.3	8.6	0.266	0.508	1.652	6.113	1.027	3.19	38.34	12.0	1.89
2	4.4	2.7	2.3	6.6	0.242	0.462	1.913	5.165	1.630	3.01	27.97	9.3	1.64
3	3.7	2.9	1.8	5.4	0.280	0.534	2.056	5.961	1.276	2.68	27.67	10.3	1.86
4	3.2	2.7	1.8	5.2	0.334	0.639	1.778	4.800	1.185	2.50	24.67	9.9	1.70
5	3.4	2.4	1.8	5.4	0.368	0.703	1.889	4.533	1.417	2.45	30.24	12.3	2.03
平均												10.76	

(4) 流紋岩砕石 ($\rho=2.54$)

番号	長さ $a(\text{cm})$	幅 $b(\text{cm})$	厚さ $c(\text{cm})$	容積 $V(\text{cm}^3)$	容積係数 K	球形率 R	細長率 e	へん平率 f	方形率 S	Person 径 $dp(\text{cm})$	表面積 Aステア リン	A/dp	A/A_r
1	4.1	3.3	2.0	7.5	0.277	0.530	2.050	6.765	1.242	3.00	29.74	9.9	1.61
2	4.2	3.6	1.2	5.9	0.325	0.620	3.500	12.600	1.167	2.63	28.66	10.9	1.82
3	3.9	2.4	1.4	5.5	0.420	0.802	2.786	6.685	1.625	2.36	25.53	10.8	1.70
4	3.9	3.1	1.4	5.4	0.319	0.610	2.786	8.636	1.258	2.56	21.24	8.3	1.43
5	3.9	2.7	1.5	5.0	0.317	0.605	2.600	7.020	1.444	2.52	19.23	7.6	1.36
平均												9.50	1.78
(30個の平均)													

$$A/A_r = \frac{1}{6}(1.98 + 1.88 + 1.70 + 1.70 + 1.59 + 1.59) = 1.75$$

次に、表-4は表-1および表-3の安山岩、頁岩および流紋岩の砕石について調べた細長率、へん平率等であつて、これらの値でわかるように、これらの供試体は比較的形の良いものであり、ひどいへん平のものまたは細長いものはない。

A/dp の平均は

$$A/dp = \frac{1}{4}(12.76 + 11.73 + 10.76 + 9.50) = 11.19 \div 11.2$$

この結果、比表面積値の比較的小さい砕石は、その Person 径 $dp = \sqrt[3]{abc}$ を計算し、その 11 倍を表面積として用いることもできる。

次に、一定重量の骨材の個数については、藤井真透博士⁹⁾の研究の結果から

砂, 砂利 $N = 521\,195\,d^{-3}$ ($\rho = 2.60$)

砕石, ふるいくず $N = 696\,626\,d^{-3}$ "

式中

N : 1 kg 当りの骨材の個数, d : 骨材の平均径 (mm)

各ふるい間の骨材の個数を計算すると表-5のようになる。

表-5 各ふるい間の骨材の個数と表面積

番号	ふるい	$d = (l_1 + l_2)/2$ (mm)	$N = 696\,626\,d^{-3}/\text{kg}$	$N = 521\,195\,d^{-3}/\text{kg}$	$a_0 = 1$ 個の骨材 の球としての表 面積(mm^2)	$1.80\,a_0(\text{mm}^2)$ $\rho = 2.60$	1 kg 当りの表面積 $1.80\,a_0 N \text{ cm}^2/\text{kg}$ $\rho = 2.60$
1	1 1/2~3/4"	28.6	29.78	—	2569	4624	1432
2	3/4~3/8"	14.3	238.23	—	642	1156	2164
3	3/8~No. 4	7.2	1866.4	—	163	293	5687
4	No. 4~No. 8	3.6	14931.1	—	41	74	11491
5	No. 8~No. 16	1.79	—	90.875	—	—	—
6	No. 16~No. 30	0.89	—	739.32	—	—	—
7	No. 30~No. 50	0.44	—	6118.00	—	—	—
8	No. 50~No. 100	0.23	—	42838.00	—	—	—
9	No. 100~No. 200	0.112	—	376976.00	—	—	—
10	No. 200 以下	—	(kg 当りの個数)	(g 当りの個数)	—	—	—

注: 不明の箇所は他の方法による。

一般に使用する砕石には相等へん平のものまたは細長いもの等いろいろあつて、この点を考えると A/A_r の値は表-4でも検討したように相当のひらきがあると思われる。この表-4では 1.25~2.56 の範囲で、その平均は 1.78 となり、前の 1.75 とともにらみ、この際表-5では区切のよい数の 1.8 としたが、砕石, 砂利のようにその比表面積値の小さいものには、この場合のような表面積に関する研究ではとるに足らない問題であることは前述の通りでその多少の誤差は無視できる。問題はセメント、石粉のような比表面積の非常に大きな場合で、その

測定値の精粗いかんが非常に重大なことになる。

6. 透水法と空気浸透水法による表面積測定法

(A) 透 水 法

Carman³⁾氏は Kozeny 氏の式から表面積を計算する式を誘導して、

$$\left. \begin{aligned} S_0 &= 14 \sqrt{\frac{1}{K\nu} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} - \frac{2}{D(1-\epsilon)}} \\ A_0 &= \frac{S_0}{\rho} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(17)$$

式中

- S_0 : 1 cm³ 当りの表面積 (cm²/cm³)
- A_0 : 1 g 当りの表面積すなわち比表面積 (cm²/g)
- K : 透水係数 (cm/sec)
- ν : 水の動粘性係数 (cm²/sec)
- ϵ : 骨材の空げき率
- D : 試験筒の直径 (cm)
- ρ : 骨材の比重

測定用具としては

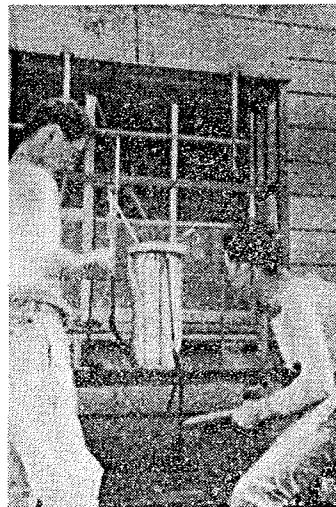
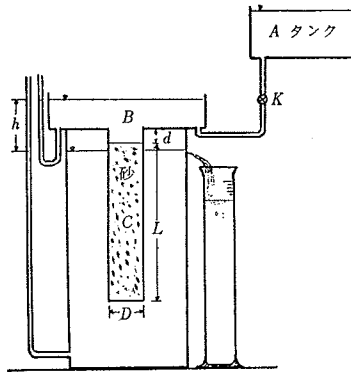
透水試験器	1 揃	メスシリンダー 100,250,500,1000 cc 各 1
ブレン式測定器	1 揃	突き固め棒 1
寒 暖 計	1	d の深さを測るめもり棒 1
秒 時 計	1	スケール (mm めもり) 1

十分ふるい分けした骨材の乾燥重量を測り、これを少しづつCの容器の中に入れて、突き棒である程度突き固める。この突き固めの程度には別に制限がない。要は砂等の試料の中に大きいすきまがないようにする。この突き固めのときは突き棒で砂をかきまわしながらなるべく試料の中の空気を追い出すようにする注意が要る。砂の粒の大きさにより、試験筒の直径、深さの d を変えて試料をつめ、表面を平にしてから、めもり棒（先端に小円盤をとり付けた棒）でその深さ d を測る。次に、水おけAから水を送り、余分の水はBからあふれるようにして、 h を一定の水位に保つ。一定の水量が何秒間で浸透するかを数回にわたり秒時計で測定をする。この測定時間がだんだん増すのは砂粒のまわりに空気の付着の増進していることを示し、このことは浸透時間の測定でわかる。

例-1 はこの場合を示す。

写真-2 透水法による表面積測定 (向って右側著者)

図-2 透水法による表面積測定装置



例-1 広瀬川砂 (No. 16~No. 30, 1.2~0.6 mm)
 $\rho=2.60$, $W_0=800$ g, $h=5.2$ cm, $L=15.55$ cm, $D=6.9$ cm
 (面積 $F=37.3$ cm²), 水温 $T=26.8^\circ\text{C}$, $\nu=0.0085$ (図-3)

Q(cc)	浸透時間 t sec		
	1 回	2 回	3 回
200	25.6	28.6	32.7
400	51.2	58.0	67.0
600	77.0	87.0	102.0
800	102.0	117.0	138.0
1000	130.0	148.0	173.0

この空気の付着を防ぐ意味で、水おけAの水は一旦温めて水中の空気を追い出し、また試料は温水に浸し、その冷えるのを待つてかきまわした後試験筒Cに投入すれば砂のまわりに空気の付着が認められない。しかし、この場合は、その砂の乾燥重量が不明であるから、測定後乾燥して計量する。例-2 は後者のものである。

例-1 の第1回目の測定結果を調べると、200 cc から 1000 cc ま

では浸透時間の変化が認められないから、この時の浸透時間の t を採用して、

$$K = \frac{vL}{h} = \frac{1000 \times 15.55}{130 \times 37.3 \times 5.2} = 0.610$$

試験筒内の砂の容積の V は

$$V = 37.3 \times 15.55 = 581 \text{ cm}^3$$

すき間なしに砂が満たされた時の重量 W は

$$W = \rho V = 2.60 \times 581 = 1510 \text{ g}$$

$$1 - \varepsilon = \frac{W_0}{W} = \frac{800}{1510} = 0.53$$

$$\therefore \varepsilon = 0.47$$

$$p = \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2} = 0.370 \text{ (図-4)}$$

$$S_0 = 14 \times \sqrt{\frac{p}{K\nu}} - \frac{2}{D(1 - \varepsilon)} = 14 \times \sqrt{\frac{0.370}{0.0085 \times 0.610}} - \frac{2}{6.9 \times 0.53} = 117.85 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

砂の比重 $\rho = 2.50$ のときの比表面積は、

$$A_0 = \frac{117.85}{2.50} = 47.2 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$(\rho = 2.50)$$

実際の砂の比表面積は、 $\rho = 2.60$ であるから、

$$A_0 = \frac{117.85}{2.60} = 45.33 \text{ cm}^2/\text{g}$$

例-2 小高標準砂(No. 16~No. 30, 1.2~0.6 mm) $\rho = 2.65$, $W_0 = 600 \text{ g}$, $h = 5.3 \text{ cm}$, $L = 9.65 \text{ cm}$, $D = 6.9 \text{ cm}$, $T = 29.2^\circ\text{C}$, $\nu = 0.008$

浸透時間 t sec

Q(cc)	1 回	2 回	3 回
200	23.0	22.5	23.0
400	45.0	44.5	45.0
600	66.0	66.0	66.0
800	89.0	88.0	88.0
1000	111.0	111.0	111.0

$$K = \frac{1000 \times 9.65}{111 \times 37.3 \times 5.3} = 0.438$$

$$S_0 = 83.6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3,$$

$$A_0 = \frac{83.6}{2.50} = 33.4 \text{ cm}^2/\text{g} (\rho = 2.50)$$

表-6 は川砂、浜砂およびふるいく等についての著者の測定結果である。この表の中には空気の付着が認められたものは除いた。また、各回の測定値は少なくとも12回の平均である。

以上の結果を検討すると、一定のふるい間の測定比表面積に一定程度の差を見る。まず、第1は特にこの表中に掲載されなかつた欠番のものは、その差がはなはだしく、大きな誤差を示し、空気の付着が認められる。従つてこの測定値はもちろん除いた。

図-3 水温と動粘性係数

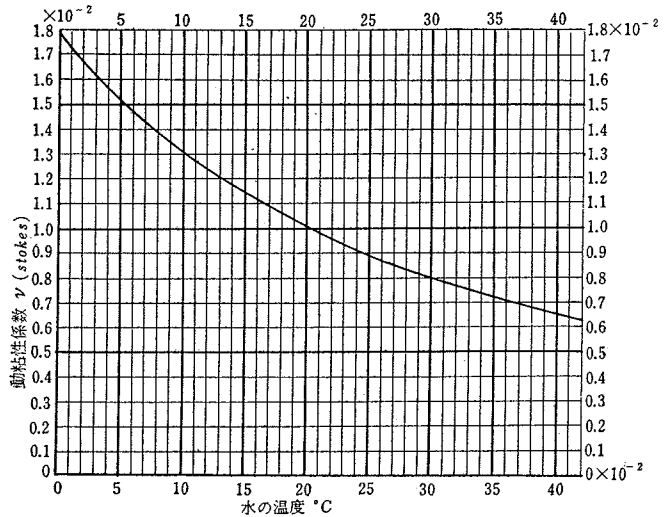


図-4 間げき率 ε と $p = \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2}$ との関係

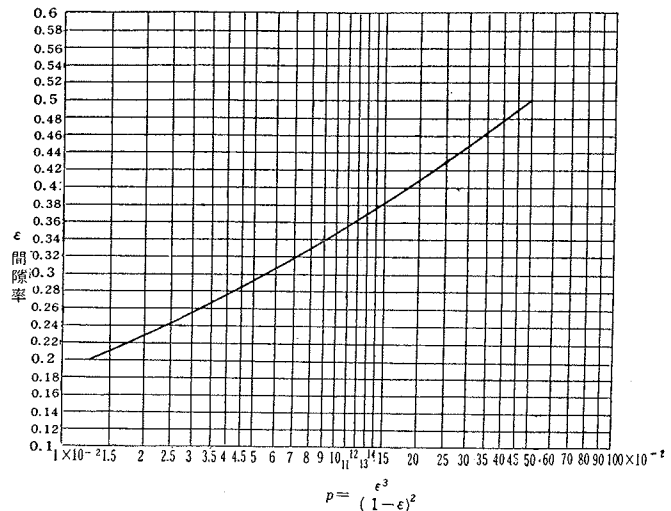


表-6 透水法による表面積

(1) No. 8~No. 16 (2.5~1.2 mm)

No	骨材の種類	D(cm)	W ₀ (g)	ρ	ϵ	ϕ	K	T°C	S ₀ (cm ² /cm ³)	A ₀ (cm ² /g, $\rho=2.50$)
5	広瀬川砂	4.5	380	2.48	0.433	0.254	1.74	27.0	57.5	23.0
25	"	"	350	2.45	0.423	0.228	1.47	25.7	58.4	23.3
26	"	"	404.6	"	0.431	0.246	1.49	26.5	60.7	24.2
50	ふるい屑 (流紋岩)	"	372.0	2.67	0.517	0.500	2.04	19.2	63.7	25.4
24.0										

(2) No. 16~No. 30 (1.2~0.6 mm)

No	骨材の種類	D(cm)	W ₀ (g)	ρ	ϵ	ϕ	K	T°C	S ₀ (cm ² /cm ³)	A ₀ (cm ² /g, $\rho=2.50$)
1	広瀬川砂	6.9	800	2.58	0.466	0.354	0.618	26.8	114.5	45.8
6	"	4.5	300	2.58	0.480	0.408	0.623	27.0	122.2	49.0
28	"	4.5	414	2.56	0.442	0.275	0.434	27.2	121.2	48.6
30	"	6.9	1000	2.58	0.433	0.250	0.276	21.5	119.5	47.8
49	ふるい屑 (流紋岩)	4.5	312.6	2.56	0.498	0.500	0.689	23.5	123.7	49.4
48.12										

(3) No. 30~No. 50 (0.6~0.3 mm)

No	骨材の種類	D(cm)	W ₀ (g)	ρ	ϵ	ϕ	K	T°C	S ₀ (cm ² /cm ³)	A ₀ (cm ² /g, $\rho=2.50$)
2	名取川砂	6.9	500	2.63	0.453	0.313	0.160	26.7	212.2	85.0
7	"	4.5	250	"	0.457	0.323	0.218	28.1	187.2	75.0
11	広瀬川砂	"	300	"	0.438	0.266	0.219	27.0	167.7	67.2
12	"	6.9	700	2.60	0.442	0.280	0.134	27.0	221.5	88.6
29	"	4.5	408	"	0.445	0.317	0.154	27.8	217.2	86.8
35	"	6.9	500	"	0.436	0.260	0.106	21.5	222.0	88.8
48	ふるい屑 (流紋岩)	4.5	194	2.52	0.508	0.500	0.254	28.2	216.4	86.7
82.6										

(4) No. 50~No. 100 (0.3~0.15 mm)

No	骨材の種類	D(cm)	W ₀ (g)	ρ	ϵ	ϕ	K	T°C	S ₀ (cm ² /cm ³)	A ₀ (cm ² /g, $\rho=2.50$)
8	名取川砂	4.5	300	2.65	0.456	0.321	0.0533	25.2	363.4	145.0
31	"	"	212	2.65	0.446	0.289	0.0472	27.8	380.2	152.0
37	浜砂	"	144.7	2.71	0.440	0.275	0.0507	28.0	356.2	142.1
47	ふるい屑 (流紋岩)	"	67.5	2.57	0.458	0.330	0.0605	27.4	356.2	142.7
145.5										

(5) 小高標準砂 (No. 16~No. 30, 1.2~0.6 mm)

No	骨材の種類	D(cm)	W ₀ (g)	ρ	ϵ	ϕ	K	T°C	S ₀ (cm ² /cm ³)	A ₀ (cm ² /g, $\rho=2.50$)
13	小高砂	6.9	600	2.65	0.370	0.128	0.438	29.2	83.5	33.4
14	"	"	1000	"	0.373	0.132	0.432	29.3	86.0	34.4
15	"	"	"	"	0.366	0.122	0.447	30.4	82.0	32.8
17	"	10.1	2400	"	0.362	0.116	0.385	25.5	81.5	32.6
18	"	"	"	"	0.360	0.114	0.387	25.5	81.0	32.4
19	"	6.9	1000	"	0.363	0.118	0.368	27.0	85.5	34.2
21	"	"	800	"	0.366	0.120	0.434	27.1	79.1	31.6
22	"	"	"	"	0.380	0.143	0.463	27.1	84.5	33.8
23	"	"	"	"	0.363	0.117	0.476	28.5	76.5	30.6
32.8										

(6) 九味浦標準砂 (No. 50~No. 100, 0.3~0.15 mm)

No	骨材の種類	D(cm)	W ₀ (g)	ρ	ϵ	ϕ	K	T°C	S ₀ (cm ² /cm ³)	A ₀ (cm ² /g, $\rho=2.50$)
24	九味浦砂	4.5	194.8	2.66	0.399	0.180	0.034	28.7	356.3	142.5
25	"	"	199.7	"	0.392	0.165	0.033	28.6	345.3	138.0
27	"	"	199.8	"	0.392	0.165	0.032	29.0	351.3	140.4
140.2										

(7) 九味浦標準砂 (No. 50, 0.3 mm 以下)

No.	骨材の種類	D(cm)	W ₀ (g)	ρ	ϵ	ϕ	K	T°C	S ₀ (cm ² /cm ³)	A ₀ (cm ² /g, $\rho=2.50$)
9	九味浦砂	4.5	199.0	2.66	0.393	0.165	0.022	23.5	400.0	160.0
10	"	"	198.5	"	0.400	0.180	0.023	25.7	420.0	168.0
11	"	"	199.6	"	0.395	0.170	0.021	23.5	410.5	164.3
31	"	"	300.0	"	0.410	0.200	0.028	27.0	405.0	162.0

163.6

注：小高標準砂はわずかに No. 16 に残り あとはほとんど No. 30 に残留する。そして粒径は No. 16 に近いものが多いようである。また、九味浦標準砂は約半分ずつ No. 50~No. 100 および No. 100~No. 200 にふるい分けられ、そのうち、No. 100 から No. 200 の粒径は No. 100 に近いようである。(7) のものは No. 50 でふるった全部のものについて測定した結果である。

第2の問題は同じ試料を測定ごとに再ふるいして見ると、そのたびごとに若干の通過量を見ることで、隣りの細かなふるいでふるうごとに若干量が通過している。すなわち、通過する微粉の大きさ、その量によつてその比表面積の測定値に差異を生ずる点である。いま、その例として浜砂について実験したものをあげると表-7 の通りである。この表の値は上から下へその測定のとど再ふるいした比表面積の実測値である。

表-7 浜砂 (No. 50~No. 100, 0.3~0.15 mm)

No	D(cm)	W ₀ (g)	ρ	ϵ	ϕ	K	T°C	S ₀ (cm ² /cm ³)	A ₀ (cm ² /g, $\rho=2.50$)
33	4.5	198.0	2.712	0.470	0.370	0.0426	25.0	437.2	174.5
34	"	194.0	"	0.445	0.290	0.0351	24.0	423.2	169.0
36	"	171.0	"	0.450	0.305	0.0442	25.5	393.2	157.0
37	"	144.7*	"	0.440	0.275	0.0507	28.0	356.2	142.0

* この分は再ふるい分の結果、通過した量と比重の再測定のために試料の一部をとつたために相当にその重量が減っている。

測定ごとのこの浜砂の No. 100(0.15 mm) のふるいを通過したものの平均径は次のようにして計算できる。すなわち、No. 33 と No. 34 の測定の際の砂の重量差は 3.3 g、また、No. 34 と No. 35 とのそれは 3.7 g であり、No. 33 の試料の全表面積は、 $174.5 \times 19.8 = 3455.1 \text{ cm}^2$ また、No. 34 および No. 35 のそれはそれぞれ、 $169 \times 194.7 = 32904.3 \text{ cm}^2$ および $157 \times 171 = 26847 \text{ cm}^2$ であるから、それぞれの表面積差は $499 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、 $1637 \text{ cm}^2/\text{g}$ で、これを $8/\rho d_m$ でその該当する d_m を求めると、最初、No. 100(0.15 mm) のふるいを通つた粒の平均径は $d_m = 0.0064 \text{ cm}$ 、その次の試料 No. 34 の実測の No. 100 ふるいを通つたものの平均径は $d_m = 0.0021 \text{ cm}$ であつて、次第にその粒径の細かくなつていくことに気がつく。

次に、砂の種類による比表面積の差、砂とふるいくず等の比表面積の差については、その試料を No. 30(0.6 mm) とか、No. 50(0.3 mm) とかのふるい別にしてやればほとんど差が認められない。これは比較的かどぼつている粗面のふるいくずはその比表面積の増すのが当然であるという常識から考えるとちよつと不思議なことであろう。この説明としては、ある一定のふるいを通つたふるいくずはそのかどぼつているため、その球としての径は丸味のある砂の同じふるいを通過できるものの球としての径に比べるとはるかに小さい。従つて、その比表面積はほとんど変わりが無いものと推測される。ただし、以上のことは大小いろいろの粒径からなるものの一連のふるいでふるい分けをしたものに限ることはいうまでもなく、九味浦、豊浦および小高砂等の粒ぞろいものに対してはおのずから別問題である。

以上、透水法による各測定値は毎回少なくとも $3 \times 4 = 12$ すなわち、浸透水量は少なくとも 4 組、透水時間は 3 回、つごう、12 回以上の測定値の平均であるから、実際の測定回数は相当なものである。

また、この透水法による表面積測定の実用として、小高標準砂のように、粒径がそろい、その表面積もほとんど一定の値を示すものを基材とし、これにこの測定法では測定不可能の碎石または砂利等の表面積測定には次の方法で試みた。

例-3 安山岩碎石 (No. 4~No. 8, 5~2.5 mm, $\rho=2.55$)

$$W_0 = 800 + 200 = 1000 \text{ g (200 g は碎石, 800 g は小高砂)}$$

$$D = 6.9 \text{ cm (円筒の面積 } F = 37.3 \text{ cm}^2), L = 15.55 \text{ cm}$$

$$h = 5.25 \text{ cm, } T = 28.0^\circ\text{C, } \nu = 0.0083$$

この混合骨材の比重は

$$\rho = \frac{1 \times 2.55 + 4 \times 2.65}{1 + 4} = 2.63$$

$$K = \frac{800 \times 15.55}{152 \times 37.3 \times 5.25} = 0.418$$

$$W = 2.63 \times 37.3 \times 15.55 = 1526 \text{ g}$$

$$1 - \varepsilon = \frac{W_0}{W} = \frac{1000}{1526} = 0.656$$

$$\varepsilon = 0.344$$

$$p = 0.0944$$

$$S_0 = 14 \sqrt{\frac{0.0944}{0.083 \times 0.418}} - \frac{2}{6.9 \times 0.656} = 72.66 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$A_0 = \frac{72.66}{2.50} = 29.06 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (\rho = 2.50)$$

いま、求めようとする碎石の表面積を $x \text{ cm}^2/\text{g}$ とし、また、小高標準砂のそれは表-6 から、その平均値 $32.87 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($\rho = 2.50$) を用い、

$$1 \times x = x, \quad 4 \times 32.87 = 131.48$$

$$\frac{x + 131.48}{1 + 4} = 29.06 \quad x + 131.48 = 145.30$$

$$\therefore x = 13.82 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (\rho = 2.50)$$

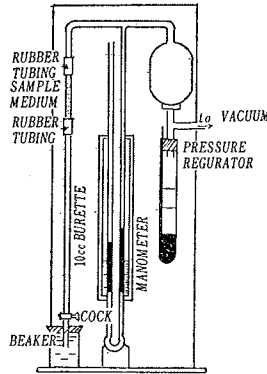
同じ測定法によつて、 $3/8'' \sim \text{No.4}$ (10~5 mm) の碎石の比表面積として、 $A_0 = 7.02 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($\rho = 2.50$) を得た。

空気のじやまを除くには水の代りにアルコール、アセトン等の薬品を使用する方法もあるが、経費の関係でこれを使用する実験はできなかつた。

図-5 粉体の表面積測定器 (Blaine 法)

(B) 空気浸透法

No. 200 (0.075 mm) 通過の石粉、セメントのような粉体の表面積は同じ浸透法で測定ができるが、その装置は図-5 のように変える必要がある。この場合は水の代りに空気を浸透させ、その空気量は水で測る等のいろいろの方法をとる。この測定は実験装置等の関係から、京都大学化学研究所教授水渡英二博士に依頼し平均値 $A_0 = 3250 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($\rho = 2.50$) を得た。ただし、この時の試料は 0.075 mm 通過の寒水石粉であつた (試料の上げきは 50 %前後)。



$$A_0 = K_2 \sqrt{\frac{t}{Q_2} \times \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2}}$$

$$K_2 = \frac{14}{\rho} \sqrt{\frac{a \times d P}{\eta L}}$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{W}{\rho a L}$$

$$A_0: \text{比表面積 cm}^2/\text{g}$$

$$Q_2: \text{試料中を時間 } t \text{ sec で通過した空気量 cc}$$

$$\rho: \text{試料の比重}$$

$$a: \text{試料筒の内断面積}$$

$$d P: \text{測定時の圧力 gr/cm}^2$$

$$\eta: \text{流体 (空気) の粘性係数}$$

$$L: \text{試料の厚さ cm}$$

$$W: \text{試料の重量 gr}$$

7. ステアリン酸単分子膜による細骨材の表面積測定

著者さきに 5. で、骨材の表面積測定の新しい方法として、ステアリン酸単分子膜によるものを述べた。

この時には、砂利および碎石のような粗骨材の表面積の測定であつたが、この度は、砂等の細骨材の表面積測定法にステアリン酸を使用したものについて述べる。

(1) 実験^{(11), (12)}:

試料: 九味浦標準砂 (No. 100~No. 200, 0.15~0.075 mm, $\rho = 2.66$)

測定法: 試料の砂を数回水洗いし、混在するじんあいを除去した後これを乾燥する。さらにこの試料をベンゾールで数回洗浄して、溶解してくる不純物を除いた後、真空中で 24 時間加熱処理して吸着実験の試料とする。

上記のように前処理した砂 100 g を共栓マイエルに量り、これに濃度既知のステアリン酸のベンゾール溶液を加え、ときどきふり動かして放置する。48時間後、上澄み液 20 cc をとり、ベンゾールを蒸発させ、残留ステアリン酸を計量する。

最初に加えたステアリン酸溶液濃度からの減少量で、砂の表面のまわりに吸着した量とする。

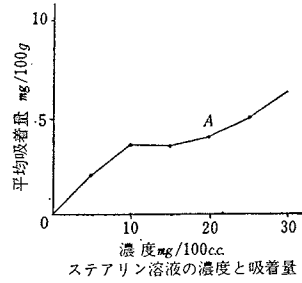
(2) 実験結果: はじめ、ステアリン酸溶液濃度をいろいろに変え、その吸着量を測定した結果は表-8 の通りである。これからの等温吸着線を描くと図-6 のようになる。

この図-6 でわかるように、初濃度の増加に従つて吸着量を増すが、ある限界にくると吸着平衡に達する部分になり、この部分がしばらく続いてから、また、この平衡が破れて濃度の増加につれ吸着量も増加する。この平衡部分で単分子吸着層が形成され、A 点で単分子膜が完成するとし、この時のステアリン酸平均吸着量の 4.0

表一B ステアリン酸溶液の濃度と吸着量

濃度 (mg/100 cc)	平均吸着量 (mg/100 g)
5	2.0
10	3.6
15	3.5
20	4.0
25	5.0
30	6.5

図一6 ステアリン酸溶液の濃度と吸着量



mg/100 g を用いて計算すると

$$A = \frac{22 \times 10^{-16} * 4.0 \times 10^{-5}}{\frac{284.3}{6.023 \times 10^{23} * *}} = 186.5 \quad (\rho = 2.66)$$

$\rho = 2.50$ の基準の比表面積に換算すると,

$$A_0 = \frac{2.66}{2.50} \times 186.5 = 198.4 \text{ cm}^2/\text{g}$$

(3) むすび:

(a) 吸着時間として、24 時間、48 時間および 72 時間と変化させたが、24 時間では吸着量はほとんどなく、48 時間後は吸着量に変化は認められなかつた。ただし、この測定後にみた文献ではシエーカーを使用して連続的にふり動かすと 30 分で十分だとある。

(b) 吸着温度に関しては、炭酸カルシウムに対する吸着実験によると、単分子膜吸着には温度の変化が影響しないようである。この実験では 15°C で行つた。文献によると 25°C が最適であるととなつている。

図一6 の A 点については、炭酸カルシウムの吸着実験によつて確認した。また、実験の結果から、九味浦砂のうち No. 50~No. 100 (0.3~0.15 mm) の分はその実験の成績は思わしくなかつた。これによつて見ると、この方法による表面積測定は 0.15 mm 以下の微砂、微粉のものに適しているようである。従つて、これ以上の大きさの粒子のものについては他の方法によつた方がよい。

8. 実測表面積と計算表面積との関係

以上のいろいろの測定結果をまとめ、これと計算表面積とを比較するために表一9をつくる。表一9の表面積はすべて比重 $\rho = 2.50$ の場合のものであるから、その骨材の実際の比重の実比表面積は $A_0' = \frac{2.50}{\rho'} \times A_0$ から求められる。

表一9 実測表面積と計算表面積との比較

番号	ふるい	ステアリン酸被膜法	浸透法 (cm ² /g)	平均表面積 A	$A' = \frac{8}{\rho a_m}$	$A'' = 9 \sqrt[3]{\frac{N}{\rho^2}}$	$A''' = \frac{3K}{\rho} \int \frac{e^{-kx}}{x} \cdot dx$	$\alpha = \frac{A}{A'}$	$\beta = \frac{A}{A''}$	$\gamma = \frac{A}{A'''}$
1	1 1/2~3/4"	1.43		1.43	1.75	1.54		0.82	0.93	
2	3/4~3/8"	2.16		2.16	3.28	3.07		0.66	0.70	
3	3/8"~No. 4	5.69	7.02	6.36	6.08	6.16		1.05	1.03	
4	No. 4~No. 8	11.49	13.82	12.66	11.19	12.20		1.13	1.04	
5	No. 8~No. 16		24.00	24.00	20.78	22.80		1.15	1.05	
6	No. 16~No. 30		48.12	48.12	38.55	44.70		1.25	1.08	
7	No. 30~No. 50		82.50	82.50	71.11	90.40*		1.16	0.91	
8	No. 50~No. 100		145.45	145.45	133.33	173.80		1.09	0.84	
9	No. 100~No. 200	198.4		198.40	246.15	306.00		0.81	0.65	
10	No. 200 以下		3 250.00	3 250.00	—	—	3 400.00	—	—	0.956
平均								1.013	0.914	0.956

* ふるい No. 30~No. 50 の砂粒の数は表一5 から $N = 6 118/\text{g} (\rho = 2.60)$ したがつてその比表面積は $A = 9 \sqrt[3]{\frac{6 118}{2.60^2}} = 87.2 \text{ cm}^2/\text{g} (\rho = 2.60)$

これを $\rho = 2.50$ の基準のものに換算すると $A = \frac{87.2 \times 2.60}{2.50} = 90.40 \text{ cm}^2/\text{g} (\rho = 2.50)$

この表によると、 $A'' = 9 \sqrt[3]{\frac{N}{\rho^2}}$ の方が粒子の比較的大きい時には実測値によく合う。しかし、骨材の微細のもの

* ステアリン酸単分子断面積

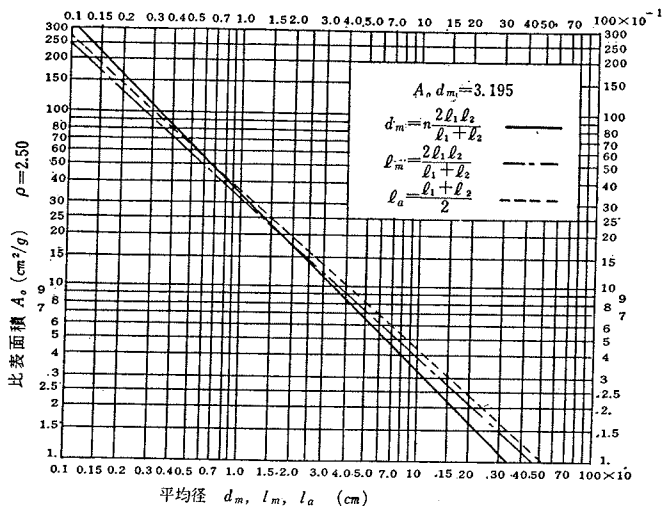
** Avogadro's number

の比表面積が径の大きいもののそれに比較して非常に大きな値であることから、著者はこの細かい方で割合に実測値に合い、しかも計算の容易な $A' = \frac{8}{\rho d_m}$ の方を採用して比表面積の計算に用いたい。この場合注意することは、ふるい目の大きさの一応の検査とそのふるい方をできるだけ正確に行う点である。

9. 表面積図表

以上、骨材の表面積測定の結果、 $A_0 = \frac{8}{\rho d_m}$ の式がよく実測値に合い、また、その計算が比較的容易であるとして、この式を採用することとし、さらに実用に便利に使用しようとして、以下記述する計算によつて 図-7 を作製した。

図-7 平均径と比表面積との関係



番号	ふるい (inch, 番号, mm)	平均径 d_m (cm)	比表面積 A_0 (cm^2/g , $\rho=2.50$)
1	1 1/2 ~ 3/4 (40 ~ 20)	1.84	1.74
2	3/4 ~ 3/8 (20 ~ 10)	0.99	3.24
3	3/8 ~ No. 4 (10 ~ 5)	0.53	6.06
4	No. 4 ~ No. 8 (5 ~ 2.5)	0.29	11.00
5	No. 8 ~ No. 16 (2.5 ~ 1.2)	0.15	21.30
6	No. 16 ~ No. 30 (1.2 ~ 0.6)	0.083	38.50
7	No. 30 ~ No. 50 (0.6 ~ 0.3)	0.045	71.20
8	No. 50 ~ No. 100 (0.3 ~ 0.15)	0.024	133.00
9	No. 100 ~ No. 200 (0.15 ~ 0.075)	0.013	246.00

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d_m	1.84	0.99	0.53	0.29	0.15	0.083	0.045	0.024	0.013
$\log d_m$	0.265	̄1.996	̄1.727	̄1.462	̄1.176	̄̄.919	̄̄.653	̄̄.380	̄̄.114
A_0	1.74	3.24	6.04	11.00	21.30	38.50	71.20	133.00	246.00
$\log A_0$	0.241	0.511	0.781	1.041	1.328	1.585	1.852	2.124	2.391

いま、式を $A_0 = m d_m^n$ と考え、

$$\log A_0 = \log m + n \log d_m$$

$$n \log d_m + \log m - \log A_0 = 0$$

これを $\alpha x + \beta y - l = 0$ の形としてやると、 $\alpha = \log d_m$, $\beta = 1$, $l = \log A_0$ となり、

α	β	l	α	β	l	α^2	$\alpha\beta$	αl	β^2	βl	α^2	$\alpha\beta$	αl	β^2	βl
+0.265	1	-0.241	-1.081	1	-1.585	0.070	+0.265	-0.064	1	-0.241	1.169	-1.081	+1.713	1	-1.585
-0.004	1	-0.551	-1.347	1	-1.852	0.004	-0.004	+0.002	1	-0.551	1.814	-1.347	+2.495	1	-1.852
-0.276	1	-0.781	-1.620	1	-2.124	0.076	-0.276	+0.216	1	-0.781	2.624	-1.620	+3.441	1	-2.124
-0.538	1	-1.041	-1.886	1	-2.391	0.289	-0.538	+0.560	1	-1.041	3.557	-1.886	+4.509	1	-2.391
-0.824	1	-1.328				0.679	-0.824	+1.094	1	-1.328	+10.728	-7.311	+13.966	9	-11.894

$$\therefore 10.728x - 7.311y + 13.966 = 0$$

$$-7.311x + 9y - 11.894 = 0$$

これを解いて、

$$x = -0.99195 \div -1, \quad y = 0.5092$$

$$-\log d_m + 0.5092 - \log A_0 = 0$$

$$\therefore A_0 d_m = 3.195$$

この $A_0 d_m = 3.195 \div 3.2$ によつて図-7 を作製した。実線で示したもののものがそれである。また、その他の平均径の $l_m = \frac{2l_1 l_2}{l_1 + l_2}$ 、あるいは $l_a = \frac{l_1 + l_2}{2}$ 等の実用的に便利な平均径による比表面積はそれぞれ鎖線および点線で示した。

この図-7 を使用するとき、他種のふるいの場合、または隣りのふるい目のどんな寸法の場合でも非常に簡単にそれに該当する比表面積を求めることができる。

10. Edwards の表面積値との比較

Edwards 氏の方法で骨材の表面積を求めたという、建設院第一技術研究所概報 No. 14, 1948 年所載のものと比較するため、図-7 から求めた当該ふるい目に相当する表面積は表-10 の通りである。

表-10 から明らかであるように、Edwards 氏の表面積 ($\rho \times 2.65$) と著者の表面積との間には大きな差異、すなわち、平均約 22% の開きがあるが、この 22% の誤差は特に骨材の表面積による混合物の研究上からは非常に重大なことであると思う。

表-10 著者の表面積と Edwards 氏の表面積との比較

番号	ふるい(mm)	平均径 l_m (cm)	Edwards の A'_0 (cm^2/g , $\rho=2.65$)	著者の A_0 (cm^2/g , $\rho=2.65$)	A'_0/A_0
1	25~20	2.22	1.30	1.84	0.71
2	20~15	1.71	1.70	2.36	0.72
3	15~10	1.20	2.40	3.20	0.75
4	10~5	0.66	4.40	4.60	0.96
5	5~3	0.37	7.60	8.40	0.91
6	3~No. 10	0.24	11.00	13.90	0.85
7	No. 10~No. 20	0.116	20.00	26.90	0.74
8	No. 20~No. 40	0.056	37.00	50.00	0.74
9	No. 40~No. 60	0.046	44.00	60.50	0.71
10	No. 60~No. 140	0.015	110.00	160.00	0.69
11	No. 140~No. 200	0.0086	176.00	—	—
平均					0.78

アスファルトコンクリートまたはモルタル等で、アスファルト適量を決定する場合は経験または仕様書等によつても与えられるが、これを理論的に研究し、または合理的に割り出そうとすれば、この骨材、ファイラー等の表面積の値は著者の表面積法では重大な基本的意義を持つことになる。すなわち、アスファルト量は純理論的にはその混合物のすき間をある程度満たす量と、その骨材、石粉のまわりに付着する被膜の量との合計であるが、いま、問題を簡単にするため、アスファルト量は骨材およびファイラーのまわりの被膜の合計としたとき、さらに特に著者の研究の結論として、この被膜の厚さはその骨材の比表面積によつて変化するとした場合には、骨材やファイラーの正確な表面積の決定は非常に大切なことになると思う。

従来の研究の発表のうちには、ファイラーの表面積には触れずに、Edwards による砂から碎石までの全表面積でアスファルト量を割つて、平均の被膜、たとえば、その厚さが 25μ であるのが適当であるという結論を出しているものがある。

著者はこの点に疑問を持ち、石粉のような微粉の表面積の測定については鋭意研究し、実用的測定法として、または計算法として前述のものを採用したが、これらはある程度成功したものと考えている。しかして、その石粉の比表面積の非常に大で、その少しの誤差も影響するところ顕著なものがあると考えから、将来いつその問題について研究を進めたい。

11. 結 言

以上述べた骨材の表面積の研究を総合すると、その結論として次のことがあげられる。

(1) 骨材、石粉等の表面積の測定の結果から、碎石、砂利および砂の比表面積には、 $A_0 = \frac{8}{\rho \cdot d_m}$ また、石粉、セメント等の微粉のものには、 $A_0 = \frac{8K}{\rho} \left[\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right]$ の式を用うべしとしたこと。

(2) 比表面積の計算式を図表にして、その使用を簡単にし実用的にしたこと。

(3) 碎石, 砂利の大粒のものにはその Person 径 $d_p = \sqrt[3]{abc}$ を計算し, これを 11 倍して近似的の表面積を求められるとしたこと。

(4) 骨材の種類がどのようなものでも, 一定のふるい間の骨材の比表面積には工學上変わりがないとしたこと。

(5) 著者の比表面積は Edwards 氏のそれに比較して約 22% 大であるとしたこと。

終りに, 著者のこの骨材, 石粉の表面積のねらいはあくまでも, 正確な比表面積の決定と, これを基としてのすべての混合物の合理的配合等の解明であることを特に強調したい。

第 2 章 骨材類の表面積によるアスファルト混合物の内容の検討

著者は骨材, 石粉等の比表面積をなるべく精密に計算, 測定をし, これによつてアスファルト混合物の内容を検討して, ここに従来の表面積法と違う太田の新表面積法 (Ohta's new surface area method) という新しい学説を発表するにいたつた。すなわち, $A_0 \rho^{2/3} x = c$ という式で解決ができアスファルト混合物のときは c は一定である。

骨材および石粉の比表面積の算式としては

$$A_0 = \frac{8}{\rho d_m} \dots \dots \dots (a)$$

$$A_0 = 9 \sqrt[3]{\frac{N}{\rho^2}} \dots \dots \dots (b)$$

$$A_0 = \frac{8K}{\rho} \left[\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right] \dots \dots \dots (c)$$

以上 3 つの式の使用上からは, (a) 式は砂, ふるいくず等の細骨材に, (b) 式は砂利, 碎石等の一定重量の粒数の勘定の容易なものに, また (c) 式は石粉, セメント等の微粉の比表面積の計算に良いとした。

しかして, 著者は実用的には (a) と (c) 式を採用し, なお, 計算上簡略にするために前掲の 図-7 を作製した。

米国製の一連のふるい間の骨材の比表面積の値として, 著者の与えたものは 表-11 である。表中, 比面率 (比表面積率 specific surface area factor) というのは著者の名付けたもので 1 kg 当りの骨材の表面積値を 1 m^2 すなわち $10\,000 \text{ cm}^2$ で割つたものである (ある骨材の総面率は粗粒率の代りに用いそのあらさを表わすによい)。

表-11 各ふるい間の骨材の比表面積 ($\rho = 2.50$)

	ふるい (inch, 番号, mm)	比表面積 A_0 cm^2/g	比面率 α $\alpha_0 = 10\,000 \text{ cm}^2/\text{kg} = 1 \text{ m}^2/\text{kg}$
1	1 1/2 ~ 3/4 (40 ~ 20)	1.8	0.2
2	3/4 ~ 3/8 (20 ~ 10)	3.3	0.3
3	3/8 ~ No. 4 (10 ~ 5)	6.1	0.6
4	No. 4 ~ No. 8 (5 ~ 2.5)	11.2	1.1
5	No. 8 ~ No. 16 (2.5 ~ 1.2)	20.8	2.1
6	No. 16 ~ No. 30 (1.2 ~ 0.6)	38.6	3.9
7	No. 30 ~ No. 50 (0.6 ~ 0.3)	71.0	7.1
8	No. 50 ~ No. 100 (0.3 ~ 0.15)	133.0	13.3
9	No. 100 ~ No. 200 (0.15 ~ 0.075)	246.0	25.0
10	No. 200 以下 (0.075 mm 以下)	3 250.0	325.0

以上の比表面積の値は Edwards のそれと比較して約 22% 増して, 碎石, 砂利, 砂およびふるいくずの骨材の種類や, 網ふるい, 板ふるいの別には工學上では無関係であるとしたことはすでに記述したところである。

1. アスファルト混合物の内容の基本的検討

アスファルト混合物のアスファルト, セメントコンクリートの混合水はともに骨材, 石粉およびセメント等の材料の表面のまわりに付着して被膜となり, ここにそれぞれの混合物をつくる。しかして, アスファルト, 混合水ともにその比重は約 1.0 である。

セメントコンクリートはこれに混合水を多量に用いると, 軟い混合物ができ, また, 反対に少量の水を加えると硬練りのものができるが, 強度の差こそあるが, 最後には固まつてコンクリート構造物となる。

しかし, アスファルト混合物ではアスファルトを多量にもまた少量にも混ざるわけに行かないもので, ここに一定の適正量がある。著者はこの適量のアスファルトに着目し, 米国の道路局, アスファルト協会および著者の過去における成績優秀な混合物をとりあげ, 以下示す 14 種の代表的混合物を決定した。表-12 はこれである。

以上のうち, いま研究している問題の資料としては, (1), (2) および (3) は空げき率の多いために, また (1),

(6), (13) および (14) はそれぞれアスファルトセメントと違う材料すなわち、カットバックアスファルトおよび乳剤を使用したものであるから、これを一応除いて考えた。

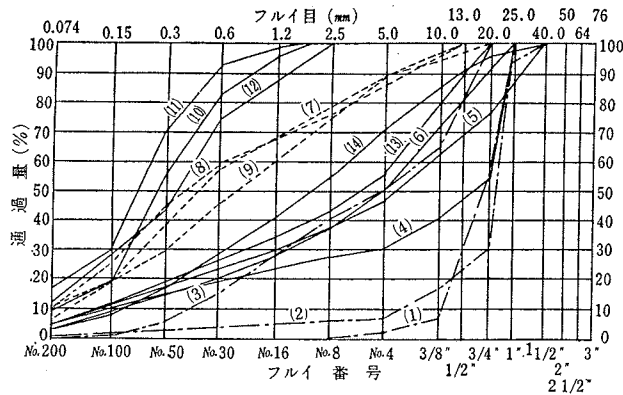
表-12 アスファルト混合物の代表的配合割合

ふるい	(1)	(2)	(3)	(4)°	(5)°	(6)	(7)°	(8)°	(9)°	(10)°	(11)°	(12)°	(13)	(14)
1 ¹ / ₂ ~3/4"	42	70	0	46	24	10	0	0	0	0	0	0	0	5
3/4~3/8"	51	14	37	13	14	20	4	4	6	0	0	0	20	10
3/8~No. 4	5	9	13	10	15	10	8	10	6	0	0	0	15	14
No. 4~No. 8	2	1	10	4	10	23	11	10	14	0	0	0	12	17
No. 8~No. 16	0	2	12	4	7	10	10	9	14	5	2	13	9	13
No. 16~No. 30	0	1	13	5	7	7	10	8	15	12	5	13	7	13
No. 30~No. 50	0	1	9	4	6	6	17	14	16	28	23	31	8	11
No. 50~No. 100	0	0	4	5	5	5	22	19	10	37	41	16	7	10
No. 100~No. 200	0	1	2	4	7	5	12	16	12	9	13	15	8	4
No. 200 以下	0	1	0	5	5	4	6	10	7	9	16	12	4	3
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
アスファルト% (P)	4.5	4.5	5.0	5.5	6.5	5.0	8.5	8.8	8.3	9.1	11.0	10.0	4.7	9.2

註: ○はこの研究の資料としたもの

- (1) 混合式マカダム (R.C)
- (2) マカダム型アスファルトコンクリート(A.C)
- (3) 粗配合アスファルトコンクリート (A.C)
- (4) 密配合アスファルトコンクリート (A.C)
- (5) " " " "
- (6) " " (R.C, M.C)
- (7) トベカ (A.C)
- (8) " " " "
- (9) トベカ (A.C)
- (10) シートアスファルト (A.C)
- (11) " " " "
- (12) " " " "
- (13) 密配合アスファルトコンクリート(R.C,M.C)
- (14) 密配合アスファルトコンクリート (エマルジョン)

図-8 アスファルト混合物の骨材のふるい分け



すなわち、番号の右肩の○印のあるものだけを採りあげて検討することにした。

これら 8つの混合物はいずれも骨材のもつ空げきは石粉、アスファルトセメントによつてある程度満たされ、最後に残る空げき率は舗装用アスファルトコンクリートでは 2~5%であるのが良いことになっている。

いま、以上の空げきの少ない混合物のアスファルト量は、骨材、石粉のまわりにそれぞれの厚さで付着した被膜の総量であると考え、ここに次の2つの考え方がうまれる。

- (1) アスファルトの被膜が均一の厚さである。
- (2) アスファルトの被膜の厚さは骨材、石粉の粒径の差異によつて変わる。

著者はまず最初に (1) の考え方で研究し、

- (a) アスファルトコンクリート 平均 3.29 μ
- (b) トベカ " 2.86 μ
- (c) シートアスファルト " 2.18 μ

の平均アスファルト被膜厚として発表⁽¹³⁾したことがある。そのとき、研究発表の席におられた故牧 彦七博士に興味ある問題であるから、このアスファルト被膜の厚さの研究を続けてやるように励まされ、その後研究の結果、

第2の考え方に移つた。すなわち、もし、被膜の厚さが骨材の粒径の大きさ、換言すれば、その比表面積によつて変化すると考えると、

$$p_1 \cdot A_{01} \cdot x_1 + p_2 \cdot A_{02} \cdot x_2 + \dots + p_n \cdot A_{0n} \cdot x_n = \sum p A_0 x = P \dots \dots \dots (19)$$

という式で、どんな種類のアスファルト混合物でもこれを満足しなければならない。式中 p は骨材をふるい分けしたときのそのふるい間の分量 (%), A_0 はそのふるい間の骨材の比表面積、また、 x はアスファルト被膜厚で、 P はその全量である。

さきに、採りあげた8つの代表的混合物の配合割合をこの(19)式に代入して試算したものは次に示した。

No. 4 アスファルトコンクリート

ふるい (mm)	$p\%$	$a_{2.65}$	$t \mu^*$	pat	pa
40~20	46	0.2	169	1554	9.2
20~10	13	0.3	124	484	3.9
10~5	10	0.6	76	456	6.0
5~2.5	4	1.0	48	192	4.0
2.5~1.2	4	2.0	30	240	8.0
1.2~0.6	5	3.7	19	352	18.5
0.6~0.3	4	6.9	12.5	335	26.8
0.3~0.15	5	12.5	7.7	481	62.5
0.15~0.075	4	23.6	4.7	444	94.4
0.075以下	5	307.0	0.66	1013	1535.0
	100			5551	1768.3

P 5.5
 P' (計算値) 5.6

$$P' = \frac{5551 \times 10000}{10 \times 1000 \times 1000} \div 5.6$$

$$P - P' = 5.5 - 5.6 = -0.1$$

$$\text{平均アスファルト被膜厚 } t = \frac{5.5 \times 10 \times 1000 \times 1000}{1768.3 \times 10000} \div 3.10 \mu$$

* 印は図-9の $\frac{t_{2.3} + t_3}{2}$ の線から求めた値である。

表中の p は骨材の隣り合いのふるい間の百分率で (%), $a_{2.65}$ は比重 $\rho=2.65$ の骨材の比面率で、 t は μ で表わしたアスファルト被膜厚である。

No. 5 アスファルトコンクリート

ふるい (mm)	$p\%$	$a_{2.65}$	$t \mu^*$	pat	pa
40~20	24	0.2	169	811	4.8
20~10	14	0.3	124	521	4.2
10~5	15	0.6	76	684	9.0
5~2.5	10	1.0	48	480	10.0
2.5~1.2	7	2.0	30	420	14.0
1.2~0.6	7	3.7	19	492	25.9
0.6~0.3	6	6.7	12.5	503	40.2
0.3~0.15	5	12.5	7.7	481	62.5
0.15~0.075	7	23.6	4.7	776	165.0
0.075以下	5	307.0	0.66	1013	1535.0
	100			6181	1870.8

P 6.5
 P' (計算値) 6.2

$$P' = \frac{6181}{1000} \div 6.2$$

$$P - P' = 6.5 - 6.2 = 0.3$$

$$\text{平均アスファルト被膜厚 } t = \frac{6.5}{1.87} = 3.48 \mu$$

$$\text{アスファルトコンクリートの平均被膜厚} = \frac{3.10 + 3.48}{2} = 3.29 \mu$$

No. 7 トペカ

ふるい (mm)	$p\%$	$a_{2.65}$	$t \mu^*$	pat	pa
20~10	4	0.3	124	149	1.2
10~5	8	0.6	76	365	4.8
5~2.5	11	1.0	48	528	11.0
2.5~1.2	10	2.0	30	600	20.0
1.2~0.6	10	3.7	19	703	37.0

0.6~0.3	17	6.7	12.5	1424	113.9
0.3~0.15	22	12.5	7.7	2118	275.0
0.15~0.075	12	23.6	4.7	1331	283.2
0.075 以下	6	307.0	0.66	1216	1842.0
	100			8434	2588.1

P 8.5

P' 8.4

$$P' = \frac{8434}{1000} \div 8.4$$

$$P - P' = 8.5 - 8.4 = +0.1$$

$$\text{平均アスファルト被膜厚 } t = \frac{8.5}{2.59} = 3.28 \mu$$

No. 8 トペカ

ふるい (mm)	$\phi\%$	$a_{2.65}$	$t \mu^*$	$\rho a t$	ρa
20~10	4	0.3	124	149	1.2
10~5	10	0.6	76	456	6.0
5~2.5	10	1.0	48	480	10.0
2.5~1.2	9	2.0	30	540	18.0
1.2~0.6	8	3.7	19	562	29.6
0.6~0.3	14	6.7	12.5	1173	93.8
0.3~0.15	19	12.5	7.7	1829	237.5
0.15~0.075	16	23.6	4.7	1775	377.6
0.075 以下	10	307.0	0.66	2026	3070.0
	100			8990	3843.7

P 8.8

P' 9.0

$$P' = \frac{8990}{1000} \div 9.0$$

$$P - P' = 8.8 - 9.0 = -0.2$$

$$\text{平均アスファルト被膜厚 } t = \frac{8.8}{3.84} = 2.29 \mu$$

No. 9 トペカ

ふるい (mm)	$\phi\%$	$a_{2.65}$	$t \mu^*$	$\rho a t$	ρa
20~10	6	0.3	124	223	1.8
10~5	6	0.6	76	274	3.6
5~2.5	14	1.0	48	672	14.0
2.5~1.2	14	2.0	30	840	28.0
1.2~0.6	15	3.7	19	1055	55.5
0.6~0.3	16	6.7	12.5	1340	107.2
0.3~0.15	10	12.5	7.7	963	125.0
0.15~0.075	12	23.6	4.7	1331	283.2
0.075 以下	7	307.0	0.66	1418	2149.0
	100			8112	2767.3

P 8.3

P' 8.1

$$P' = \frac{8112}{1000} \div 8.1$$

$$P - P' = 8.3 - 8.1 = +0.2$$

$$\text{平均アスファルト被膜厚 } t = \frac{8.3}{2.77} = 3.00 \mu$$

$$\text{トペカの平均アスファルト被膜厚} = \frac{3.28 + 2.29 + 3.00}{3} = 2.86 \mu$$

No. 10 シートアスファルト

ふるい (mm)	$\phi\%$	$a_{2.65}$	$t \mu^*$	$\rho a t$	ρa
2.5~1.2	5	2.0	30	300	10.0
1.2~0.6	12	3.7	19	844	44.4
0.6~0.3	28	6.7	12.5	2345	187.6
0.3~0.15	37	12.5	7.7	3561	462.5
0.15~0.075	9	23.6	4.7	998	212.4
0.075 以下	9	307.0	0.66	1824	2763.0
	100			9872	3679.9

P 9.1

P' 9.9

$$P' = \frac{9872}{1000} \div 9.9$$

$$P - P' = 9.1 - 9.9 = -0.8$$

$$\text{平均アスファルト被膜厚 } t = \frac{9.1}{3.68} = 2.48 \mu$$

No. 11 シートアスファルト

ふるい (mm)	p%	a _{2.65}	t μ*	pat	pa
2.5~1.2	2	2.0	30	120	4.0
1.2~0.6	5	3.7	19	352	18.5
0.6~0.3	23	6.7	12.5	1926	154.1
0.3~0.15	41	12.5	7.7	3946	512.5
0.15~0.075	13	23.6	4.7	1442	306.8
0.075 以下	16	307.0	0.66	3242	4912.0
	100				
				11028	5907.9

$$P = P' = 11.0$$

$$P' = \frac{11028}{1000} \div 11.0$$

$$P - P' = 11.0 - 11.0 = 0$$

$$\text{平均アスファルト被膜厚 } t = \frac{11.0}{5.91} \div 1.86 \mu$$

No. 12 シートアスファルト

ふるい (mm)	p%	a _{2.65}	t μ*	pat	pa
2.5~1.2	13	2.0	30	780	46.0
1.2~0.6	13	3.7	19	914	48.1
0.6~0.3	31	6.7	12.5	2596	207.7
0.3~0.15	16	12.5	7.7	1540	200.0
0.15~0.075	15	23.6	4.7	1664	354.0
0.075 以下	12	307.0	0.66	2431	3684.0
	100				
				9925	4519.8

$$P = 10.0$$

$$P' = 9.9$$

$$P' = \frac{9925}{1000} \div 9.9$$

$$P - P' = 10.0 - 9.9 = +0.1$$

$$\text{平均アスファルト被膜厚 } t = \frac{10.0}{4.52} = 2.21 \mu$$

$$\text{シートアスファルトの平均被膜厚} = \frac{2.48 + 1.86 + 2.21}{3} = 2.18 \mu$$

以上、アスファルト混合物の計算から求めたアスファルト量の使用アスファルト実量に対する過、不足その他の値は次のようになる。

番号	舗装種類	過不足%	アスファルト被膜厚 μ	Σ pa
No. 4	アスファルトコンクリート	-0.1	3.10	1768.3
No. 5	"	+0.3	3.48	1870.8
No. 7	トベカ	+0.1	3.28	2588.1
No. 8	"	-0.2	2.29	3843.7
No. 9	"	+0.2	3.00	2767.3
No. 10	シートアスファルト	-0.8	2.48	3679.9
No. 11	"	0	1.86	5907.9
No. 12	"	+0.1	2.21	4519.8

$$\text{過剰分量 } 0.3 + 0.1 + 0.2 + 0.1 = 0.7 (\%)$$

$$\text{不足分量 } 0.1 + 0.2 + 0.8 = 1.1 (\%)$$

次に、以上の計算によつて求めた最適のアスファルト被膜厚を表-13としてまとめる。この表-13の数値を用い、 $A_0^n \cdot x = c$ の式を考え、最小自乗法によつて、 $n=3/4$ 、 $c=0.0283$ を得た。ただし、このときのアスファルト被膜厚の x は cm で表わしたもので、このときの計算は次のようである。

表-13 骨材の比表面積とアスファルト被膜の厚さ

番号	ふるい (mm)	比表面積 A_0 (cm ² /g, $\rho=2.65$)	比面率 a ($a_0=10000 \text{ cm}^2/\text{kg}$, $\rho=2.65$)	被膜厚 t (μ)	ふるい (mm)	$A_0 \cdot 2.65$	x (cm)
1	40~20	1.7	0.2	169	40~20	2.0	0.0169
2	20~10	3.1	0.3	124	20~10	3.0	0.0124
3	10~5	5.8	0.6	76	10~5	6.0	0.0076
4	5~2.5	10.4	1.0	48	5~2.5	10.0	0.0048

5	2.5~1.2	19.6	2.0	30	2.5~1.2	20.0	0.0030
6	1.2~0.6	36.5	3.7	19	1.2~0.6	37.0	0.0019
7	0.6~0.3	67.0	6.7	12.5	0.6~0.3	67.0	0.00125
8	0.3~0.15	125.0	12.5	7.7	0.3~0.15	125.0	0.00077
9	0.15~0.075	236.0	23.6	4.7	0.15~0.075	236.0	0.00047
10	0.075 以下	3070.0	307.0	0.66	0.075 以下	3070.0	0.00066

$$n \log A_0 - \log c + \log x = 0$$

A_0	$\log A_0(\alpha)$	x	$\log x (l)$	α^2	$\alpha\beta$	αl	β^2	βl
2.0	0.301	0.0169	$\bar{x}.228(-1.772)$	0.091	-0.301	-0.533	+1	+1.772
3.0	0.477	0.0124	$\bar{x}.093(-1.907)$	0.228	-0.477	-0.910	+1	+1.907
6.0	0.778	0.0076	$\bar{x}.881(-2.117)$	0.605	-0.778	-1.649	+1	+2.119
10.0	1.000	0.0048	$\bar{x}.681(-2.319)$	1.000	-1.000	-2.319	+1	+2.319
20.0	1.301	0.0030	$\bar{x}.477(-2.523)$	1.693	-1.301	-3.282	+1	+2.523
37.0	1.568	0.0019	$\bar{x}.279(-2.721)$	2.459	-1.568	-4.267	+1	+2.721
67.0	1.826	0.00125	$\bar{x}.097(-2.903)$	3.334	-1.826	-5.301	+1	+2.903
125.0	2.097	0.00077	$\bar{x}.886(-3.114)$	4.397	-2.097	-6.530	+1	+3.114
236.0	2.373	0.00047	$\bar{x}.672(-3.328)$	5.631	-2.373	-7.897	+1	+3.328
3070.0	3.487	0.00066	$\bar{x}.820(-4.180)$	12.159	-3.487	-14.576	+1	+4.180
				31.597	-15.208	-47.264	+10	+26.886

$$31.597x - 15.208y - 47.264 = 0$$

$$-15.208x + 10y + 26.886 = 0$$

これを解いて、 $n=0.75(=3/4)$ 、 $c=0.0283$ となり、従つて、 $A_0^{3/4} \cdot x = 0.0283$ となる。

図-9 Relationship between film thickness and specific surface area of aggregate in various mixtures.

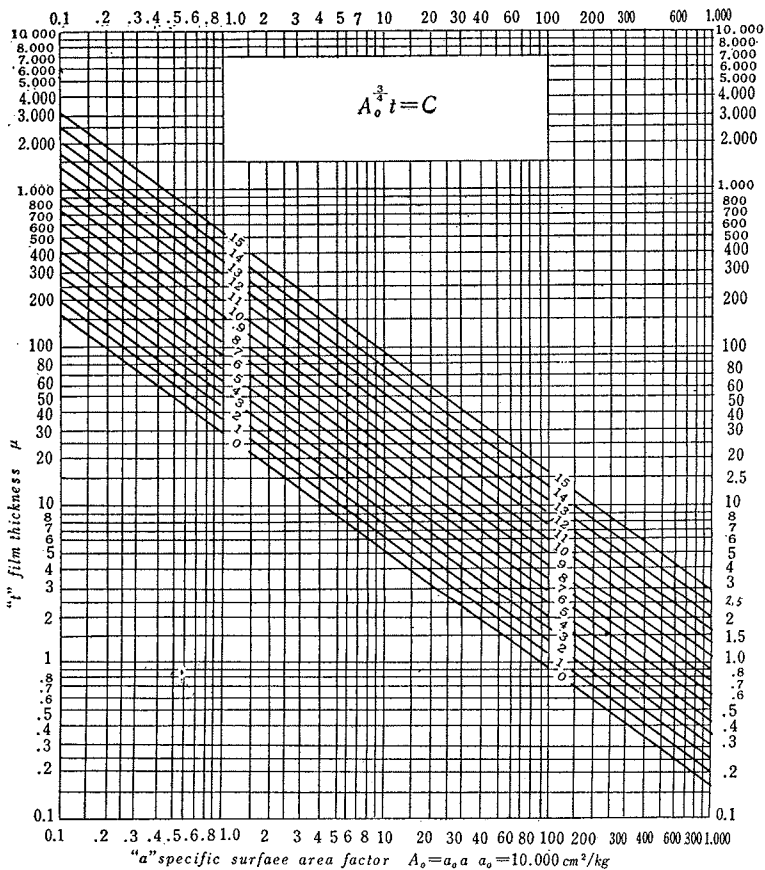


図-9 の No. 3 の斜線は $C=0.03$ の時を图示したもので、 $A_0^{3/4} x = 0.0283$ は No. 2 と No. 3 の平均と No. 3 との中間線すなわち $(t_{2-3} + t_3)/2$ である。

被膜厚を μ で表わしたものを t として縦軸にとり, A_0 を比面率の a として横軸にとつて作図したものが図-9である。

2. $A_0^{3/4}t=283$ の実験結果

実験によつて, この $A_0^{3/4}t=283$ ($A_0^{3/4}x=0.0283$) すなわち, $(t_{2-3}+t_3)/2$ の線で求めたアスファルト量がすべてのアスファルト混合物の最適適量であることを証明する。この実験に使用した機械, 材料は次のようなものである。

(1) マーシャル試験器一式:

(2) 碎石(雑碎石, $\rho=2.71$): そのふるいわけその他は

ふるい(mm)	$p\%$	$a_{2.71}$	t^μ	pat	pa
20~12(3/4~1/2")	40.7	0.28	128	1459	11.4
12~5(1/2"~No. 4)	58.7	0.49	86	2474	28.8
5~2(No. 4~No. 10)	0.6	1.11	46	31	0.7
	100			3964	40.9

以上の $a_{2.71}$ の値は 図-7 によつて, $\rho=2.50$ のときの A_0 を求め, これから $\rho=2.71$ のものに換算したものであり, また, t の値は 図-9 を用いて, t_2 と t_3 の値を求め, その4等分の t_3 に近い値である。

(3) 砂(神奈川県茅ヶ崎砂, $\rho=2.71$):

ふるい(mm)	$p\%$	$a_{2.71}$	t^μ	pat	pa
5~2 (No. 4~No. 10)	9.0	1.1	48	475	9.9
2~0.4 (No. 10~No. 40)	44.0	3.1	21	2864	136.4
0.4~0.2 (No. 40~No. 80)	42.3	10.1	8.8	3759	427.2
0.2~0.075(No. 80~No. 200)	4.3	20.8	5.25	469	89.4
0.075 以下 (No. 200 以下)	0.4	299.8	0.68	82	119.9
	100			7649	782.8

(4) 石粉(山形県下仁田産, $\rho=2.70$):

ふるい(mm)	$p\%$	$a_{2.70}$	t^μ	pat	pa
2~0.4 (No. 10~No. 40)	0.5	3.1	21	34	1.6
0.4~0.2 (No. 40~No. 80)	5.5	10.2	8.8	494	56.1
0.2~0.075(No. 80~No. 200)	18.0	20.8	5.25	1966	374.4
0.075 以下(No. 200 以下)	76.0	301.0	0.68	15555	22876.0
	100			18049	23308.1

(5) アスファルトセメント:

- (a) 性状 均質で水分を含まず, 175°C に加熱してもあわだたない。
- (b) 針入度 (25°C, 100 g, 5 sec) 39
- (c) 伸度 (25°C, cm) 130 以上
(15°C, cm) 100 "
(10°C, cm) 100 "
- (d) 引火点(クリーブランド °C) 290
- (e) 軟火点(環状式 °C) 45
- (f) 蒸発減 (163°C, 50 g, 5 hr, %) 0.02
- (g) 蒸発減後の針入度 37
- (h) 同上原針入度に対する百分率 94.8
- (i) 四塩化炭素可溶性分(%) 99.7

(a) シートアスファルト(砂:石粉=86:14): 前掲の 100 kg 当りの Σpat は砂では 7649, 石粉で 18049 であるから,

$$0.86 \times 7649 + 0.14 \times 18049 = 9106$$

従つて, 砂と石粉の 100 に対するアスファルト量は

$$P = \frac{9106 \times 10000}{10 \times 1000 \times 1000} = 9.1$$

混合物全体の百分率(重量)のアスファルト量は, 次の計算から 8.4% である。

砂	86.0	78.8
石粉	14.0	12.8
アスファルト	9.1	8.4
	<u>109.1</u>	<u>100</u>

適量 P の前後には $P \pm e$ の幅がある。いま、この許容量 e に対して P の 10% を考えて、 $P \pm e = 9.1 \pm \frac{10 \times 9.1}{100} = 10.0\%$ または 8.2% となり、従つて $P + e = 10.0\%$ のときは、

砂	86	78.2
石粉	14	12.7
アスファルト	10	9.1
	<u>110</u>	<u>100</u>

また、アスファルト量 $P - e = 8.2$ のときは、

砂	86	79.5
石粉	14	12.9
アスファルト	8.2	7.6
	<u>108.2</u>	<u>100</u>

以上、最適アスファルト量の 8.4% と $P \pm e$ のアスファルト量の 9.1% および 7.6% の 3 種のモルタルを温度 125°C で成型して試験した結果は次のようである。

No	アスファルト量 ($P-e$) $e=0.1P$	理論比重 D	実測比重 d	空げき率 %	フロー値 $1/100^{\circ}$	安定度 封度
1	7.6	2.397	2.073	13.5	18	760
2	"	"	2.058	14.1	14	815
3	"	"	2.060	14.1	15	705
4	"	"	2.050	14.5	15	755
5	"	"	2.045	14.7	14	765
平均				14.2	15.2	760.0

No	アスファルト量 (P)	理論比重 D	実測比重 d	空げき率 %	フロー値 $1/100^{\circ}$	安定度 封度
6	8.4	2.366	2.018	14.7	16	824
7	"	"	2.062	12.8	15	806
8	"	"	2.063	12.8	15	824
9	"	"	2.058	13.0	14	820
10	"	"	2.060	12.9	15	810
平均				13.2	15.0	817.0

No	アスファルト量 ($P+e$) $e=0.1P$	理論比重 D	実測比重 d	空げき率 %	フロー値 $1/100^{\circ}$	安定度 封度
11	9.1	2.344	2.067	11.8	16	673
12	"	"	2.051	12.5	15	644
13	"	"	2.044	12.8	16	798
14	"	"	2.070	11.7	17	705
15	"	"	2.065	11.9	16	710
平均				12.1	16.0	706.0

(b) シートアスファルト (砂 : 石粉 = 80 : 20) : 前同様に、最適アスファルト量の計算は

$$0.8 \times 7649 + 0.2 \times 18049 = 9730$$

$$\therefore P = 9.7$$

いま、 e の許容量として P の 20% を考えて、

$$e = P \times \frac{20}{100} = 9.7 \times 0.2 = 1.9$$

従つて $P + e = 11.6$, $P - e = 7.8$

最適アスファルト量の P , $P - e$ および $P + e$ の 3 種のアスファルトモルタルの内容は

(i) 砂	80	73.0	(ii) 砂	80	74.2	(iii) 砂	80	71.7
石粉	20	18.2	石粉	20	18.6	石粉	20	17.9
アスファルト	9.7	8.8	アスファルト	7.8	7.2	アスファルト	11.6	10.4
	<u>109.7</u>	<u>100</u>		<u>107.8</u>	<u>100</u>		<u>111.6</u>	<u>100</u>

No	アスファルト量 ($P-e$) $e=0.2P$	理論比重 D	実測比重 d	空げき率 %	フロー値 1/100 ²	安定度 度 封
16	7.2	2.433	2.066	15.1	16	1650
17	"	"	2.070	14.9	18	1580
18	"	"	2.068	15.0	15	1600
19	"	"	2.070	14.9	16	1640
20	"	"	2.060	15.3	17	1638
平均				15.0	16.4	1622

No	アスファルト量 (P)	理論比重 D	実測比重 d	空げき率 %	フロー値 1/100 ²	安定度 度 封
21	8.8	2.352	2.176	7.5	18	2024
22	"	"	2.175	7.5	16	2050
23	"	"	2.178	7.4	15	2045
24	"	"	2.180	7.3	16	2055
25	"	"	2.170	7.7	15	2025
平均				7.5	16	2040

No	アスファルト量 ($P+e$) $e=0.2P$	理論比重 D	実測比重 d	空げき率 %	フロー値 1/100 ²	安定度 度 封
26	10.4	2.326	2.176	6.4	17	1724
27	"	"	2.170	6.7	18	1700
28	"	"	2.165	6.9	16	1650
29	"	"	2.180	6.3	17	1620
30	"	"	2.180	6.3	18	1700
平均				6.5	17.2	1679

以上、2種のアスファルトモルタルの試験の結果を考察して、明らかに最適アスファルト量の時は他のどの場合よりも安定度が大きくマーシャル試験の規定のフロー値の16以下である。石粉の量の14%と20%のものを比較すると、20%のものはその空げき率は小で、またその安定度は大である。

かように、石粉の量を次第に増してゆけばその最適の配合の限界に達するが、一方その舗装体のひびわれや、特にシールコートとして用いられるアスファルトモルタルではその混合物のすりへり量もあわせ考えて、場合によつては安定度、フロー値を犠牲にしても、すりへり量を重視する必要のある場合もある。

(c) アスファルト コンクリート：碎石、砂および石粉は前記のものであるがアスファルトセメントは次のようなものを使用した。

アスファルトセメント

- | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|------|
| (a) 性状 均質で水分を含まず、175°Cに加熱してもあわだたない。 | (d) 引火点 (クリーブランド °C) | 282 |
| (b) 針入度 (25°C, 100 g, 5 sec) | (e) 軟化点 (環球式 °C) | 41 |
| (c) 伸度 (25°C, cm) | (f) 蒸発減 (163°C, 50 g, 5 hr, %) | 0.03 |
| (15°C, cm) | (g) 蒸発後の針入度 | 76.5 |
| (10°C, cm) | (h) 同上原針入度に対する百分率 | 94.4 |
| | (i) 四塩化炭素可溶性分 (%) | 99.8 |

このアスファルトコンクリートの碎石、砂および石粉の配合割合を60:33:7とすると、適量のアスファルトの計算は

$$0.6 \times 3964 + 0.33 \times 7649 + 0.07 \times 18049 = 6166$$

従つて、アスファルト量は

$$P = \frac{6166 \times 10000}{10 \times 1000 \times 1000} = 6.2$$

このPの15%は $6.2 \times \frac{15}{100} = 0.93$

$$P+e = 6.2 + 0.93 \div 7.1, \quad P-e = 6.2 - 0.93 = 5.3$$

以上3種のアスファルトコンクリートの材料の百分率は

(i) 碎石	60	57.0	(ii) 碎石	60	56.5	(iii) 碎石	60	56.0
砂	33	31.3	砂	33	31.1	砂	33	30.8
石粉	7	6.7	石粉	7	6.6	石粉	7	6.6
アスファルト	5.3	5.0	アスファルト	6.2	5.8	アスファルト	7.1	6.6
	105.3	100		106.2	100		107.1	100

これらのアスファルト コンクリートのマーシャル試験の結果は次のようである。

No	アスファルト量 ($P-e$) $e=0.15P$	理論比重 D	実測比重 d	空げき率 (%)	フロー値 1/100 ²	安定度 度 封
31	5.0	2.496	2.292	8.2	21	1959
32	"	"	2.300	7.9	19	1879
33	"	"	2.310	7.5	19	1950
34	"	"	2.280	8.7	18	1870
35	"	"	2.282	8.6	20	1858
平均				8.2	19.4	1903.2

No	アスファルト量 (P)	理論比重 D	実測比重 d	空げき率 (%)	フロー値 1/100 ²	安定度 度 封
36	5.8	2.485	2.314	6.9	16	1940
37	"	"	2.315	6.8	15	2064
38	"	"	2.320	6.6	16	2050
39	"	"	2.310	7.0	17	1948
40	"	"	2.314	6.9	15	1980
平均				6.8	15.8	1996.4

No	アスファルト量 ($P+e$) $e=0.15P$	理論比重 D	実測比重 d	空げき率 (%)	フロー値 1/100 ²	安定度 度 封
41	6.6	2.435	2.336	4.1	18	2037
42	"	"	2.340	3.9	19	1950
43	"	"	2.350	3.5	18	2015
44	"	"	2.355	3.3	17	2010
45	"	"	2.355	4.1	18	1975
平均				3.8	18.0	1997.5

(d) アスファルト コンクリート: この実験は日本舗道KKの技術研究所に依頼して行つたものである。使用した骨材, 石粉およびアスファルトは次のようなものである。ただし, このうち, アスファルトは前記(e)のものと同じである。

(1) 砕 石

ふるい	比重 ρ	p	a	t	pat	pa
1~3/4"	2.58	5	0.2	169	169	1.0
3/4~1/2"	"	30	0.3	124	1116	9.0
1/2"~No. 4	"	48	0.5	85	2040	24.0
No. 4~No. 10	2.62	17	1.1	50	935	18.7
		100			4280	52.7

(2) 砂

ふるい	比重 ρ	p	a	t	pat	pa
No. 10~No. 40	2.64	37	2.8	23	2383	103.6
No. 40~No. 80	2.71	26	9.2	9.5	2272	239.2
No. 80~No. 200	2.76	37	19.9	5.4	3976	736.3
					8631	1079.1

(3) 石 粉

ふるい	比重 ρ	p	a	t	pat	pa
No. 10~No. 40	2.70	0.5	3.1	21.0	34	1.6
No. 40~No. 80	"	5.5	10.2	8.8	494	56.1
No. 80~No. 200	"	18.0	20.8	5.25	1966	374.4
No. 200 以下	"	76.0	301.0	0.68	15555	22876.0
		100			18049	23308.1

アスファルト コンクリートの砕石, 砂および石粉の割合を63:30:7とすると,

$$0.63 \times 4280 + 0.30 \times 8631 + 0.07 \times 18049 = 6536$$

$$\therefore P = \frac{6536 \times 10000}{10 \times 1000 \times 1000} = 6.54$$

いま, $P \pm e$ の e の許容量を P の 10% とすると, $P+e=7.20$, $P-e=5.90$ となる。

従つて、各の混合物の配合割合の百分率は

(i) 碎石	63	59.4	(ii) 碎石	63	59.1	(iii) 碎石	63	58.8
砂	30	28.7	砂	30	28.2	砂	30	28.0
石粉	7	6.6	石粉	7	6.6	石粉	7	6.5
アスファルト	5.9	5.6	アスファルト	6.54	6.1	アスファルト	7.2	6.7
105.9 100			106.54 100			107.2 100		

No	アスファルト量 ($P-e$) $e=0.1P$	理論比重 D	実測比重 d	空けき率 (%)	フロー値 1/100"	安定度 度 封
1	5.6	2.41	2.37	1.7	11	1830
2	"	"	2.36	2.1	10	1920
3	"	"	2.37	1.7	9	1850
4	"	"	2.37	1.7	11	1790
5	"	"	2.36	2.1	11	1850
平均				1.9	10.4	1848

No	アスファルト量 (P)	理論比重 D	実測比重 d	空けき率 (%)	フロー値 1/100"	安定度 度 封
6	6.1	2.39	2.35	1.7	15	2030
7	"	"	2.36	1.3	13	2140
8	"	"	2.36	1.3	15	1890
9	"	"	2.36	1.7	12	1780
10	"	"	2.35	1.7	13	1920
平均				1.5	13.6	1952

No	アスファルト量 ($P+e$) $e=0.1P$	理論比重 D	実測比重 d	空けき率 (%)	フロー値 1/100"	安定度 度 封
11	6.7	2.37	2.34	1.3	18	1630
12	"	"	2.34	1.3	20	1570
13	"	"	2.33	1.7	17	1570
14	"	"	2.34	1.3	20	1590
15	"	"	2.34	1.3	20	1210
平均				1.4	19	1514

(e) アスファルト コンクリート：次に、日本舗道KKの研究所報（昭和 30 年 6 月）掲載の相原良雄氏の実験の結果をこの新表面積法で検討した。この実験に使用した碎石は福生河原産のものでその比重は 2.66、砂は神奈川県茅ヶ崎産でその比重はふるい別でこれを示し、次表のとおりである。また、石粉は山形県下仁田産のものでその比重は 2.70、その粒度は次に示した。

砂（神奈川県茅ヶ崎産）

ふるい (番号)	ρ
No. 10~No. 40	2.63
No. 40~No. 80	2.68
No. 80~No. 200	2.68

石粉（山形県下仁田産 $\rho=2.70$ ）

ふるい (番号)	%
No. 40~No. 80	3
No. 80~No. 200	20
No. 200 以下	77
	100

しかして、その配合割合は、碎石に対して砂と石粉の分量を 25 から 50% までとし、その内容を次のように計算してある。従つて、No. 40~No. 80 の粒度のものには細砂と荒い石粉とが混じ、その比重はわかりかねるが、その両者の平均の値を使用した。

表-14 最大碎石 1 1/4" を使用したもの

ふるい (inch, 番号)	25%	30%	35%	40%	45%	比重 ρ
1 1/4~1"	10.5	9.8	9.1	8.5	7.7	2.66
1~3/4"	12.0	11.2	10.4	9.7	8.8	"
3/4~1/2"	14.2	13.3	12.3	11.3	10.3	"
1/2"~No. 4	24.6	22.9	21.3	19.7	18.1	"
No. 4~No. 10	13.7	12.8	11.9	10.8	10.1	"
No. 10~No. 40	13.5	16.3	19.1	21.8	24.5	2.63
No. 40~No. 80	4.0	4.8	5.6	6.4	7.2	2.68
No. 80~No. 200	2.7	3.1	3.6	4.1	4.7	2.69
No. 200 以下	4.8	5.8	6.7	7.7	8.6	2.70

表-15 最大碎石1"を使用したもの

ふるい (inch, 番号)	25%	30%	35%	40%	45%	50%	比重 ρ
1~3/4"	14.2	13.1	12.2	11.3	10.3	9.4	2.66
3/4~1/2"	16.7	15.6	14.4	13.4	12.3	11.1	"
1/2"~No. 4	28.4	26.5	24.7	22.8	20.9	19.0	"
No. 4~No. 10	15.7	14.8	13.7	12.5	11.5	10.5	"
No. 10~No. 40	13.6	16.3	19.1	21.8	24.5	27.2	2.63
No. 40~No. 80	4.0	4.8	5.6	6.4	7.2	8.0	2.68
No. 80~No. 200	2.6	3.1	3.6	4.1	4.7	5.2	2.69
No. 200 以下	4.8	5.8	6.7	7.7	8.6	9.6	2.70

相原氏の実験の結果は下記のように発表している。ただし、表中の()のものは著者の新表面積法で算出した最適アスファルト量である。

表-16 碎石の最大寸法 1 1/4" の場合

砂, 石粉の百分率	25%				30%			
	(5.32)				(5.60)			
アスファルト量 (%)	5.0	5.5	6.0	6.5	5.0	5.5	6.0	6.5
フロー値 (1/100")	15.0	17.2	18.3	18.5	16.0	16.3	18.5	19.0
安定度 (封度)	679	1117	856	890	1144	1655	1280	920
d	2.33	2.32	2.32	2.31	2.35	2.36	2.38	2.34
D	2.46	2.44	2.42	2.40	2.46	2.44	2.42	2.40
空げき率 (%)	5.3	5.0	4.4	3.7	4.5	3.3	2.0	2.5

砂, 石粉の百分率	35%				40%			
	(5.90)				(6.12)			
アスファルト量 (%)	5.0	5.5	6.0	6.5	5.0	5.5	6.0	6.5
フロー値 (1/100")	13.3	14.0	16.0	17.2	15.2	15.9	17.8	18.0
安定度 (封度)	1276	1782	1217	1197	1120	1200	1258	954
d	2.34	2.35	2.33	2.33	2.30	2.30	2.33	2.30
D	2.46	2.44	2.42	2.40	2.46	2.44	2.42	2.40
空げき率 (%)	4.8	4.5	4.0	2.9	5.3	6.0	4.0	4.2

砂, 石粉の百分率	45%				
	(6.38)				
アスファルト量 (%)	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
フロー値 (1/100")	13.0	13.4	15.2	16.1	20.0
安定度 (封度)	1022	1310	1480	1582	1457
d	2.32	2.35	2.33	2.32	2.34
D	2.46	2.44	2.42	2.40	2.38
空げき率 (%)	5.7	3.5	3.5	3.3	1.7

砂, 石粉の百分率	25%				30%			
	(5.40)				(5.66)			
アスファルト量 (%)	5.0	5.5	6.0	6.5	5.0	5.5	6.0	6.5
フロー値 (1/100")	13.3	14.5	18.0	18.5	12.0	13.5	14.2	18.0
安定度 (封度)	880	1134	1063	914	818	1199	1052	1060
d	2.31	2.32	2.31	2.31	2.33	2.32	2.31	2.30
D	2.46	2.44	2.42	2.40	2.46	2.44	2.42	2.40
空げき率 (%)	6.1	5.3	4.5	3.7	5.0	5.2	4.8	4.2

砂, 石粉の百分率	35%				40%			
	(5.90)				(6.18)			
アスファルト量 (%)	5.0	5.5	6.0	6.5	5.0	5.5	6.0	6.5
フロー値 (1/100")	12.0	13.0	14.6	17.2	13.6	15.2	16.1	17.0
安定度 (封度)	987	1189	1093	693	992	1640	1303	1140
d	2.33	2.34	2.33	2.32	2.39	2.34	2.37	2.34
D	2.46	2.44	2.42	2.40	2.46	2.44	2.42	2.40
空げき率 (%)	4.9	4.2	3.9	4.3	2.8	4.0	2.0	2.7

砂, 石粉の百分率	45%				50%			
	(6.44)				(6.70)			
アスファルト量 (%)	5.0	5.5	6.0	6.5	5.5	6.0	6.5	7.0
フロー値 (1/100")	15.4	16.2	17.5	19.8	16.0	17.3	21.0	26.0
安定度 (封度)	1637	1224	1672	1452	1071	1172	1525	1282
d	2.34	2.33	2.35	2.34	2.31	2.33	2.33	2.35
D	2.46	2.44	2.42	2.40	2.44	3.42	2.40	2.38
空げき率 (%)	5.0	4.5	2.8	2.7	5.3	3.8	2.8	1.3

以上の実験の結果を検討するに、碎石の最大寸法 $1\frac{1}{4}$ " (30 mm) では、砂と石粉の分量が 35% のものがよくアスファルト量の 5.5 と 6.0% のものは安定度は大で、そのフロー値は 14, 16 で優秀なものであることがわかり、アスファルト適量の 5.9% がこの間に落ちる。次に、碎石の最大径 1"(25 mm) のものではやはり 35% のものがよく、40% のものは安定度は大であるが、そのフロー値に多少の難色がある。いま、砂、石粉の分量の 35% のものをとつて見ると、ともにその最適アスファルト量は 5.9% であつて、 e の許容量として P の 5% とすると $P-e=5.6\%$, $P+e=6.2\%$ となつて、安定度も大でフロー値も 16 以下となる。写真-3 はマーシャル試験機、写真-4, 5 は実験室内での供試体の製作である。

写真-3 マーシャル試験器

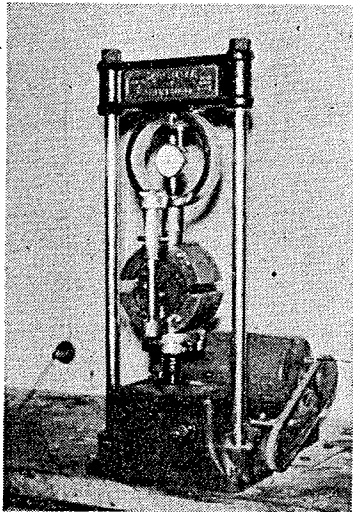


写真-4 供試体製作 (著者)

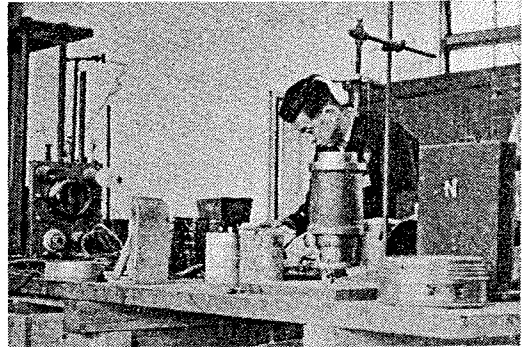
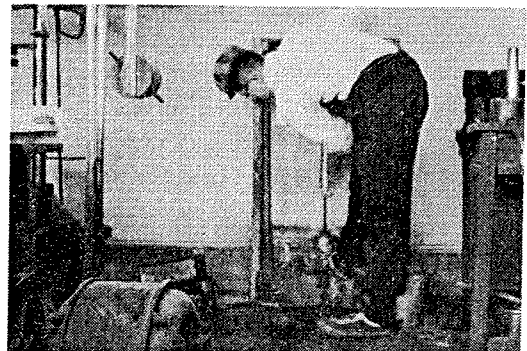


写真-5 供試体製作



3. むすび

以上、いろいろ説明したように、アスファルト混合物を著者の新表面積法で分析検討し、その最適アスファルト量を決定する方法をうみ出し、これをさらに実験によつて証明した。かつ、その上に e の許容量の限界についても検討した。すなわち、以上を要約すると、

(1) アスファルト混合物の最適アスファルト量は 図-9 の No. 2~3 と No. 3 との平均線、換言すれば、 $(f_{2-3}+f_3)/2$ 線で求められたものである。

(2) 最適アスファルト量の前後の許容量の限度としては $P \pm e$ で表わされるが、この e の値として場合によつては最大値として P の 10% までとつて良いと思うが、これにはその舗装の種類とか、または混合物の配合を研究すること等によつて更新されることで、無難なところは 5% で止めたい。

(3) アスファルト適量の計算はその混合物の内容のどのようなものでも計算ができるから、骨材の最大径の問題、その粒度との関係、配合割合および石粉(ファイラー)の分量等をいろいろと変えてやることによつて最優秀なアスファルト混合物を研究することができる基本的方法である。

(4) アスファルト舗装はその役割の立場から、主として磨耗、ひびわれおよび防水等の耐久力を必要とする表層(封緘層)と、主として安定度の強大でフロー値の小さいものを重点的要素とする下部の舗装体に分けて考えるときは、それぞれに適応したアスファルト量を計算することができる。すなわち、表層用のアスファルト量は 図-9 の No. 3 で、また下部の舗装体のそれは No. 2 と No. 3 との平均値 (f_{2-3}) で計算したものをを用いることもできる。

第3章 アスファルト混合物の最適アスファルト量の算定図表の作製

さきに述べたように、骨材、石粉等の表面積を計算して、これから 図-9 を用いてアスファルト混合物の最適アスファルト量を求めることができたが、やや複雑で工事現場向きでない嫌いがある。そこで現場で容易に使用される図表を作製して、相当に正確にアスファルト適量を求めることができる方法を述べることにする。著者は

さきに、この新表面積法の研究に当つて、その基本線を決定するためにとり上げた8つのアスファルト混合物がある。すなわち、

混合物の種類番号	総比面積率 $\sum pa=A$	アスファルト量 P	アスファルト被膜厚 $t\mu$
No. 4	1.77×10^3	5.5	3.10
No. 5	1.87×10^3	6.5	3.48
No. 7	2.59×10^3	8.5	3.28
No. 8	3.84×10^3	8.8	2.29
No. 9	2.77×10^3	8.3	3.00
No. 10	3.68×10^3	9.1	2.48
No. 11	5.91×10^3	11.0	1.86
No. 12	5.52×10^3	10.0	2.21

以上の数値から図表をつくるために $P=CA^n$ という式を考え、

$$n \log A + \log C - \log P = 0$$

あるいは $\alpha x + \beta y - l = 0$ として、次の計算から、 C と n を求める。

A	$\log A(\alpha)$	β	P	$\log P(l)$
1.770	3.248	1	5.5	-0.740
1.870	3.272	1	6.5	-0.813
2.590	3.413	1	8.5	-0.929
3.840	3.584	1	8.8	-0.944
2.770	3.442	1	8.3	-0.919
3.680	3.566	1	9.1	-0.959
5.910	3.772	1	11.0	-1.041
4.520	3.655	1	10.0	-1.000

α^2	$\alpha\beta$	αl	β^2	βl
10.550	3.248	-2.404	1	-0.740
10.706	3.272	-2.660	1	-0.813
11.649	3.413	-3.171	1	-0.929
12.845	3.584	-3.383	1	-0.944
11.847	3.442	-3.163	1	-0.919
12.716	3.566	-3.420	1	-0.959
14.228	3.772	-3.927	1	-1.041
13.359	3.655	-3.655	1	-1.000
97.900	27.952	-25.783	8	-7.345

$$97.900x + 27.952y - 25.783 = 0, \quad 27.952x + 8y - 7.345 = 0$$

この両式を解いて

$$x = \frac{0.12}{0.236} = 0.5082 \approx 0.5, \quad y = \frac{23.167}{27.952} = -0.829$$

従つて、

$$\log C = -0.829 = \bar{1}.171$$

$$\therefore C = 0.148, \quad P = 0.148 A^{1/2}$$

次に、アスファルト被膜の式は $A^n t = C$ として、 $n \log A + \log t - \log C = 0$ となり、

A	$\log A(\alpha)$	β	t	$\log t(l)$
1.770	3.248	-1	3.10	0.491
1.870	3.272	-1	3.48	0.542
2.590	3.413	-1	3.28	0.516
3.840	3.584	-1	2.29	0.360
2.770	3.442	-1	3.00	0.477
3.680	3.566	-1	2.48	0.394
5.910	3.772	-1	1.86	0.270
4.520	3.655	-1	2.21	0.344

α^2	$\alpha\beta$	αl	β^2	βl
10.550	-3.248	1.595	1	-0.491
10.706	-3.272	1.773	1	-0.542
11.649	-3.413	1.761	1	-0.516
12.845	-3.584	1.290	1	-0.360
11.847	-3.442	1.642	1	-0.477
12.716	-3.566	1.405	1	-0.394
14.228	-3.772	1.018	1	-0.270
13.359	-3.655	1.257	1	-0.344
97.900	-27.972	11.741	8	-3.394

$$97.900x - 27.952y + 11.741 = 0, \quad -27.952x + 8y - 3.394 = 0$$

この両式を解いて

$$x = \frac{0.118}{0.236} = 0.5, \quad y = 2.1712$$

$$\therefore C = 148.3 \approx 148$$

$$A^{1/2} t = 148$$

これらの式から作図したものが図-10である。

例 いま、この図-10の使用法を前述のマーシャル試験に用いたアスファルト コンクリートおよびシートアスファルトの例をとつて説明することにする。

1. アスファルト コンクリート

粗骨材：細骨材：石粉 = 63 : 30 : 7であつて、その各の比面積の合計は前に計算したとおり、

$$\text{粗骨材 (碎石)} \quad \sum pa = 52.7$$

細骨材(砂)	$\Sigma pa=1079.1$
石粉(ファイラー)	$\Sigma pa=23308.1$

であるから、総比面率の A は、

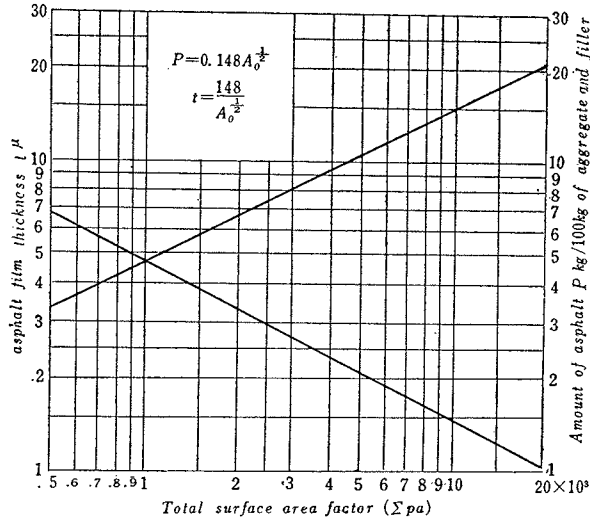
$$A = \Sigma pa = 0.63 \times 52.7 + 0.3 \times 1079.1 + 0.07 \times 23308.1 = 1988.5 \div 2.0 \times 10^3$$

図-10を用いて骨材、石粉の合計 100 に対するアスファルト適量は、 $P=6.6$ (前記の精密計算では $P=6.54$) となる。また、平均アスファルト被膜厚 $t=3.30 \mu$ となるから、

$$P = \frac{2000 \times 3.30 \times 10000}{10 \times 1000 \times 1000} = 6.6$$

となる。

図-10 アスファルト適量の算定図



2. シートアスファルト

砂の比面積率 $\Sigma pa=782.8$ であつて、いま、砂と石粉の混合割合を 86:14 とすれば、石粉は前コンクリートの石粉と同じであるから、

$$0.86 \times 782.8 + 0.14 \times 23308.1 = 3936.3 \div 3.9 \times 10^3$$

従つて、図-10 から、 $P=9.2$ 、 $t=2.35 \mu$ となり、

$$P = t \times \Sigma pa = 2.35 \times 3.9 = 9.16$$

となる。

第4章 太田の新表面積法によるセメントモルタル、コンクリートの研究

1. ま え が き

アスファルト混合物のアスファルトの代りに、水で換えると、No.0 から No.15 (図-9) の No.3 の線に平行のC値の違った線が引かれる。この番号の大きいものほど軟かいコンクリートで、普通は No.2 から No.4 の間におさまる。しかして、著者の考え方はこのモルタル、コンクリートの骨材の内容のどんなものでも、またセメントの分量に対する骨材の割合がいろいろ変わつても、それらの問題には関係なく、同一の番号の混合物はみな同じ軟かさであるというのである。

従つて、この新表面積の応用の研究はいろいろの配合割合のコンクリートを練り、強度その他の性質を検討して、コンクリートの用途等に応じて最優秀的、経済的なものをつくることができるわけで、特別の内容条件にはこの基準にある修正をすれば良いと思う。セメントコンクリートの (w/c) の値として最近では別として、以前のコンクリートの特に中、小工事にあつては50または60%とかに一応定めて、その材料の内容にはふれずに、ただそのもののウォーカビリティ、強度等と関連させる有様で合理的なものとはいわれない。例えば、コンクリート $1m^3$ 当り 300 kg のセメントの配合の中練り程度の水量として、その水セメント比を深い考えもなしに 55%に決めるという有様で、これになお、骨材の吸水率、表面水を考えて、より一層よい水量の決定のしかたであるとしていたようである。この程度の考えでコンクリートを練れば、普通のコンクリート工事ではまず問題がないだ

ろう。しかし、実験室で、モルタルやコンクリートの研究とか、また、現場でその工事に適する経済的なよい配合で、特に試験練りを省略したり、またはその試験練りにあまり手数と時間をかけたくないときには、ここに相当研究する問題が存することと思う。例えば、最近、京都大学教授近藤泰夫博士の米国の Concrete manual の訳本でも説明があるように、特にその細骨材の粒の大小によつて同じ配合、同じ軟かさのコンクリートでもその使用水量に相当の差異があることを知るのである。この辺の問題にある程度の関心を持つ人は別として、一般には読み流してあまり注意を払わない人が多いものと思う。

ここで著者は新表面積法を用いて、より一層正確な水量の決定という点に重きを置き、同じ軟かさのコンクリートでもその混合物の材料の総表面積の大きいものほど多量の水を必要とするということを従来の表面積法とは全く違う結論に達し、その基本的なものを得た。一例として、誰でも、砂、砂利等をふるい分けさえすれば相当精密な水量の決定ができる便利な図表を作製して、現場でも簡単に使用できるようにした。なお、重ねていうと、この新表面積法の理論を基として、新しいコンクリートの配合の設計や、その他いろいろの研究ができるものと確信するものである。

この論文では一応旧来の配合割合の $1:n:m$ を用いることにした。

2. セメントの比表面積

セメントもやはり、砂や砂利と同様に、大小いろいろの粒子の混合物である。その粉末度については、わが国では従来、 1cm^2 に 4900 孔すなわち、そのふるい目の大きさが 0.088mm にかけて、残量が 10% 以下であれば合格であると規定しているが、たいていのセメントはわずかに 3% くらいのもが多く、ほとんどみな合格である。この粉末度については、最近その 1g 当りの表面積すなわち、比表面積を測定して示す傾向となり、欧米ではすでにこの方法によつている。その測定法としては Wagner¹⁴⁾法、Blaine¹⁵⁾法等があり、わが国でもかなり以前から日本セメント会社の中条金兵衛氏¹⁶⁾の研究があり、風ひ法として発表し、その測定装置を製作、販売の域に達している。

しかし、このセメントのような微細な粉体の正確な表面積ということは、なかなかの難事で特にこれを工学的または工事現場向きの簡単な装置で精密値を得ようとするのは非常に困難である。これに関しては、京都大学化学研究所の教授水渡英二博士、東北大学教授大山正博士も鋭意研究中であり、その測定装置の考案もあるから、将来は精密なしかも簡単な測定法が次々と発表されるものと考えている。著者もまたステアリン酸単分子膜法によるものを研究中である。要するに、セメントの粉末度の値は Blaine 法のある一種のように既知の比表面積の粉体と比較してその値を決定するものであり、いきおい、その基材を何に選ぶか、また、その基材の表面積測定は何方法によつたものか、その値の精度がどのくらいであるかどうか等のいろいろの問題があり、基材の種類およびその比表面積値によつて、セメントの測定面積に相当の差異を生ずることになる。また、一方その測定の直接法もあつて、著者は前述の通りステアリン酸で研究中である。

Wagner 氏はセメントの比表面積の値として $1700\sim 2200\text{cm}^2/\text{g}$ とし、また、Blaine 氏はこれを $3300\sim 3900\text{cm}^2/\text{g}$ であると発表して、その間にかかなりの差がある。また、Wagner 法では $1600\text{cm}^2/\text{g}$ 以上の粉末度を持つセメントを合格とし、Blaine 法では $3200\text{cm}^2/\text{g}$ 以上と規定している有様である。わが国のポルトランドセメントは著者の測定では Blaine 法で平均 $3300\text{cm}^2/\text{g}$ のものが多いので、この度の問題として一応この粉末度を $3300\text{cm}^2/\text{g}$ としたが、将来セメントの表面積測定法の研究とか、そのときのセメントの種類、製造会社の製品別等によつて変化することは当然である。すなわち、セメントの比表面積の値によつてこの問題の正しい計算は将来に残されることになるが、しかし、この場合ではセメントの表面積の正しい値は一応伏せて考えることとし、この問題の根本的、実用的な考え方について重点的に検討のうえ十分批判し、この方法を使用することを望むものである。

さらに、著者の新表面積法の論拠の内容から掘り下げてこれを検討して見ると、比表面積値の大きな粉体すなわち、微細な粒子のまわりの水被膜の厚さは、それより小さい比表面積のものの水被膜の厚さに比べて薄いということになるので、この比表面積の差異からくる水量への影響はあまりないことになる。例えば、いま、比表面積の値が $3000\text{cm}^2/\text{g}$ のセメントと $2000\text{cm}^2/\text{g}$ のセメントの 2 種をとりあげて、その水量を比較してみると、図-9 の No.4 の線を用いて同一の軟かさのその所要水量はおのおの

$$\frac{3000 \times 0.90}{10 \times 1000} = 0.27 \text{ cc/g}, \quad \frac{2000 \times 1.25}{10 \times 1000} = 0.25 \text{ cc/g}$$

で、比表面積の差が 50% からあるこの 2 種のセメントの所要水量はわずか 8% の差しかないのである。

3. 骨材の比表面積

著者は第1章に述べた研究で、砂、砂利および砕石等の表面積を研究し、その結果、著者の与えた比表面積はこの方面の権威者の米国の Edwards 氏のそれと比較して、各ふるい間の粒子は平均約22%ほど大であると結論してその修正すべきことを述べた。表-11は著者の与えた比表面積の値と比面率である。ただし、これは比重 $\rho=2.50$ の場合のものであるから違った比重のときは換算しなければならない。すなわち、 $A' = \frac{2.50}{\rho} A_0$ で計算する。また、任意のふるい、またはあるふるいを飛ばしてふるった時のその間の骨材の比表面積の値は著者の作製した 図-7 で求められることもすでに記述した。

4. セメントおよび骨材の粒子のまわりの水被膜

セメントと骨材とを混ぜたものに必要量の水を加えてコンクリートを練る。このときのコンクリートの実際の姿は水はその混合物の軟かさによつてその空げきがある程度または十分に満たす一方、セメントおよび骨材のまわりに水被膜として附着する。このほかに多少の気泡が存在するが、いまの場合にはこれを無視して考えることにする。

著者は著者の新表面積法 (Ohta's new surface area method) という線から検討し、そのものが大小いろいろの粒子からなる混合物であることを前提とすれば、各粒子のまわりの水被膜の全量が所要水量であり(含水量、表面水の問題はあとで述べる)、その水被膜の厚さは同じ軟かさのものでもその粒子の大きさすなわち、比表面積値によつて変化するとし、それはアスファルト被膜と同じく次式で表わされるものとした。

$$A_0^{2/4} t = C \text{ あるいは } A_0^{3/4} x = C$$

式中、

A_0 : セメント骨材の比表面積, x, t : 水被膜の厚さ, C : ある係数

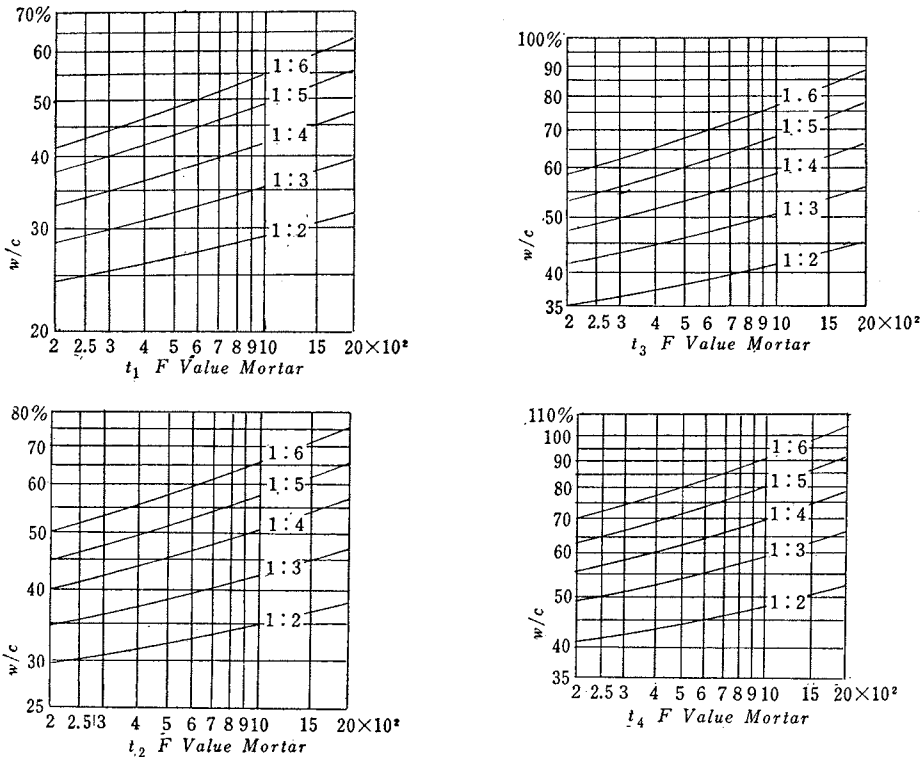
このうち、 C はそのコンクリートの軟かさによつて変化する値である。

5. 水量と総表面積との関係

以上述べた理論に従つて行くと、明らかにコンクリートの使用水量はそのコンクリートの内容のセメント、骨材の総表面積と、そのコンクリートの軟かさによつて決定され、図-9 の No.2 と No.3 の中間のものは硬練りのコンクリートであり、No.3 は中練り、また、No.3 と No.4 の中間のものは軟練りのものである。

これらのいろいろの軟かさのコンクリートとか、またはその他の番号のコンクリートの水量は図-9によつて、セ

図-11 w/c と F (総比面率) との関係 (モルタル用)



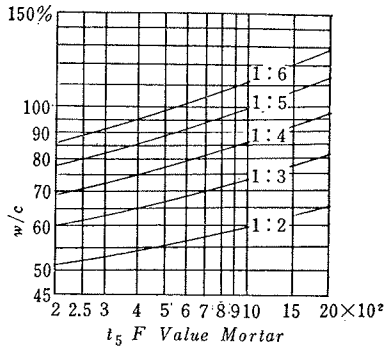
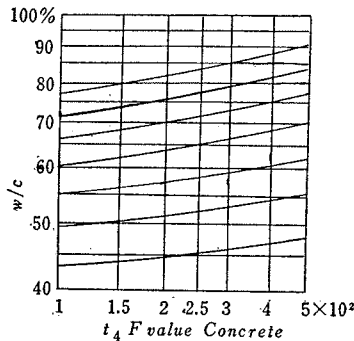
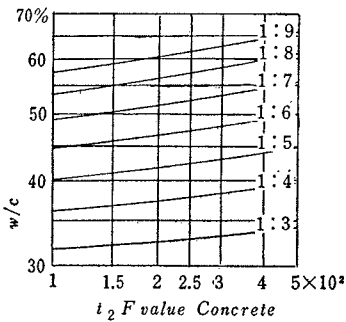
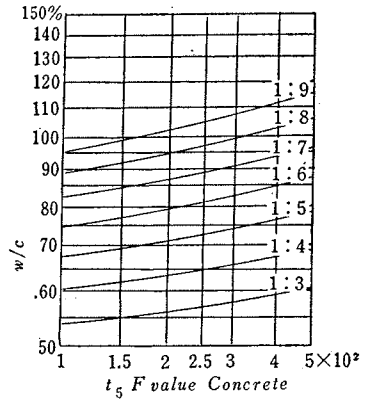
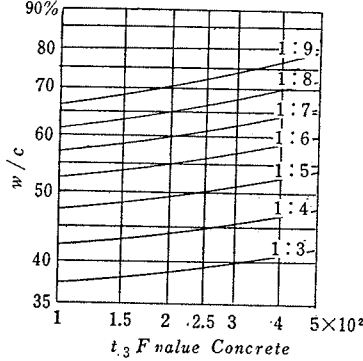
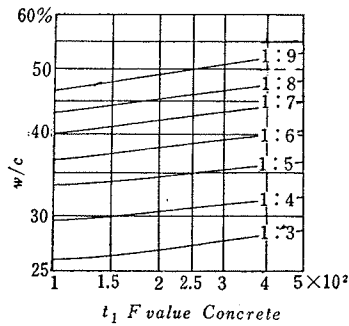


図-12 w/c と F (総比面積) との関係 (コンクリート用)



合理的であり、また正確でもあるし、前もつてこのもののスランプ等を測定して置けば、あとから試験練りなどしてスランプ等を調べる必要はない。

6. 例題

次に例題によつてこの新表面積法による水量の計算を説明することとする。

例-1 コンクリートの配合はセメント1に対し骨材6とし、G/S=1.6とする。ただし、使用材料は次のようなものである。No.3の軟かさとする。

砂利：(北海道旭ヶ岡産、 $\rho=2.68$ 、表面水=1.0%)

そのふるい分けその他は、

ふるい(mm)	$p\%$	$a_{2.68}$	$t_3\mu$	pat	pa
40~20	43	0.2	170	1462	8.6
20~10	36	0.3	125	1350	10.8
10~5	21	0.6	78	983	12.6
	100			3795	32.0

砂：(北海道幌別川産、 $\rho=2.62$ 、表面水=4.0%)

そのふるい分けその他は

メントと骨材との表面積から算出できる上に、同一の軟かさすなわち、同一番号の各混合物を検討することによつて、最も優秀なコンクリートの配合、その他のことを研究する基本線となるわけである。

また、別に骨材だけのふるい分けだけからも現場向きにいつそう簡単に水量を求める図-11,12をつくつた。これはセメントの比表面積を平均 3300 cm^2/g と仮定しての求め方であるから、セメントの比表面積を測定して図-9から求めるものに比べ、その正確さはある程度落ちるが、現場または実験室等でならんら根拠なしに漫然と水量を決めることから見ると、はるかに

ふるい(mm)	$p\%$	$a_{2.62}$	$t_3\mu$	pat	pa
10~5	5	0.6	78	234	3.0
5~2.5	5	1.1	50	275	5.5
2.5~1.2	11	2.0	32	704	22.0
1.2~0.6	29	3.7	20	2146	107.3
0.6~0.3	36	6.8	13	3182	224.8
0.3~0.15	13	12.7	7.5	1238	165.1
0.15~0.075	1	23.4	5	117	23.4
	100			7896	571.1

セメント：（小野田， $\rho=3.10$ ， $A_0=3329.8\div 3330$ ，ブレン法による）

いま， $G/S=1.6$ とし，表面水を考え，No.3 の線の中練りのコンクリート（スランプ=10 cm を予想して）の水量と w/c とを計算して見る。

セメント	$p\%$	$a_{3.1}$	$t_3\mu$	pat
	100	333	0.7	23310

コンクリートは 1:6 の配合で， $G/S=1.6$ であるから， $G=3.7$ ， $S=2.3$ となつて旧式配合割合では 1:2.3:3.7 となり，この百分率は 14.3:32.8:52.9 となる。

従つて，水量の計算は

$$0.143 \times 23310 + 0.328 \times 7896 + 0.529 \times 3795 = 7930.8$$

使用水量の w は，

$$w = \frac{7930.8 \times 10000}{10 \times 1000 \times 1000} = 7.93 \text{ l/100 kg}$$

これは表面乾燥飽和状態の骨材を使用した時の水量であつて，この場合の w/c は

$$w/c = \frac{7.93}{14.3} \times 100 = 55.5\% \text{ となる。}$$

砂利は 1.0% の表面水であるから，現場での計量する重量は，

$$52.9 \times (1 + 0.01) = 53.4 \text{ kg}$$

その時の表面水量は $52.9 \times 0.01 = 0.529 \text{ l}$ となる。また，砂の表面水が 4.0% であるから，前同様に，

$$32.8 \times (1 + 0.04) = 34.1 \text{ kg}$$

表面水は

$$32.8 \times 0.04 = 1.31 \text{ l}$$

ゆえに，実際の使用水量は，

$$7.93 - 0.53 - 1.31 = 6.09 \text{ l}$$

材料の現場での計量の値としては，

セメント	14.3 kg
砂	34.1 "
砂利	53.4 "
水	6.09 l ($w/c=55.5\%$)

以上のコンクリートを練つて，その正確なスランプ等を測定しておくことと将来の貴重な参考資料となる。この場合の実測スランプは 12 cm であつた。

例-2 1:3 のモルタルで No.4 の線でその水量を求める。

セメントは前例と同じく小野田であるが，いまこの比表面積を $3300 \text{ cm}^2/\text{g}$ とする。砂は小高標準砂で $\rho=2.65$ ， $A_0=31.0 \text{ cm}^2/\text{g}$ である。小高砂とか，豊浦標準砂はいずれも粒ぞろいであつて，これをふるつただけではその正確な比表面積は求め難い。透水法等で測定する必要があるが，幸いに，著者の測定したものがあつたのでこれを使用した（表-6）。

	$p\%$	a	t_4	pat
セメント	100	330	0.8	26400
小高砂	100	3.1	25.4	7874

1:3 のモルタルは百分率では 25:75 であるから，

$$0.25 \times 26400 + 0.75 \times 7874 = 12506$$

$$\therefore w = \frac{12\,506 \times 10\,000}{10 \times 1\,000 \times 1\,000} = 12.5 \text{ l}$$

$$w/c = \frac{12.5}{25} \times 100 = 50.0\%$$

小高砂はもちろん気乾のものである。

例-3 1:3 モルタル, No.4 を用いる。砂は豊浦標準砂で $\rho=2.64$, $A_0=157.0 \text{ cm}^2/\text{g}$

	$p\%$	a	t_s	pat
セメント	100	330	0.8	26 400
豊浦砂	100	15.7	8.0	12 560

$$0.25 \times 26\,400 + 0.75 \times 12\,560 = 16\,020$$

$$w = 16.02 \text{ l}$$

$$w/c = \frac{16.02}{25} \times 100 = 64.1\%$$

例-4 1:3 モルタル, 北海道幌別川砂, $t_s(\text{No.4})$ のときの水量

幌別川砂は例-1で示したとおりで, その比重 $\rho=2.62$ また, そのふるい分けその他の値は

ふるい(mm)	$p\%$	a	$t_s \mu$	pat	pa
10~5	5	0.6	90	270	3.0
5~2.5	5	1.1	60	330	5.5
2.5~1.2	11	2.0	40	880	22.0
1.2~0.6	29	3.7	23	2 468	107.3
0.6~0.3	36	6.8	15	3 672	244.8
0.3~0.15	13	12.7	9.3	1 535	165.1
0.15~0.075	1	23.4	5.8	136	23.4
	100			9 291	571.1
セメント	100	330	0.8	26 400	—

$$0.25 \times 26\,400 + 0.75 \times 9\,291 = 13\,568$$

$$\therefore w = 13.57 \text{ l}, w/c = \frac{13.57}{25} \times 100 = 54.3\%$$

以上, モルタルの例は砂はすべて気乾のものを使用した。コンクリートの例は別として, モルタルはすべて1:3 という配合で, しかも同じ軟かさのものすなわち, No.4 の線を使用した例である。ウォーカビリティを測る問題としては, フロー値, スランプ等を測つてこれを判断するのが普通であるが, これらの測定方法に多少の問題がある上に, その骨材の粒の大きさ, 粒度, 粒子の形状, 骨材の内容の変化の外に使用するセメントの分量の多少, 測定技術, 測定当時の気象等によつて多少その測定値が変化するが, 以上3種のモルタルはほとんど同一のフロー値の20 cmを示した。

この3種のモルタルの例をとりあげて見てもわかるように, これら同じ軟かさのモルタルでも, その水セメント重量比は50.0%, 64.1% および54.3% となつて相当の差異がある。

従つて, 同じ軟かさのモルタル, コンクリートをつくろうとする時には, 特にその砂の粒子の大きさすなわち, 砂の比表面積値によつて所要水量と w/c 比にかなりの差があることに気がつくと思う。

コンクリートの砂利の粒からの影響は割合に小さいからあまり問題とすることははないが, 砂のことについては表面水のことと共に大いに注意する必要がある。このほかに, 骨材の吸水率のことがあつて, 多少使用水量に影響するが, 練り立ての当時のものは吸水量が少なく, また, 実際に使用する骨材は相当に湿つたものが多く, 飽和状態のものであるから無視しても良い場合が多く, かえつて表面水の測定の精粗が重大である。

7. 骨材だけの総表面積による合理的な水セメント比の求め方

以上述べた通り, 著者の新表面積法で作製した図-9を用いてコンクリートの欲する軟かさによつて合理的にこれに要する正確な水量を計算することができるがやや複雑で現場向きでない嫌がある。そこで一応セメントの比表面積を一定の値すなわち, $3\,300 \text{ cm}^2/\text{g}$ とすれば, 砂, 砂利等の骨材だけの総表面積から必要な水, セメント比が求められる。図-11, 12はこれである。この作図のしかたは容易であつて, 骨材の総表面積のかなり違う少なくとも3種以上の混合物をとりあげ, 前に述べた新表面積法でその正確な w/c 値を計算する。別にそれらのコンクリートの骨材だけの総表面積すなわち, 総比面率を計算して, これらと w/c との関係をプロットすれば, 3点以上が求められるから, これらの点を曲線で結んでつくるのである。

この図-11, 12はモルタル用、コンクリート用の両曲線であつて、一本の曲線で求められないのは、砂の粒度分布曲線と砂利または碎石のそれは各2つの山をつくる。いま仮りにコンクリートにモルタル用の曲線を用いることになると、この2つの山をなす曲線を結んで1つの山を考えることになるので、その総表面積の値が大きくなるため、 w/c の値も大きくでてくる。換言すれば、いまもし、旧来の配合割合の表わしかたの1:2:4(1:6)の一般によく使われるコンクリートが1:6という同じ割合でも、その内容が1:4:2のようなコンクリートになるとこれはモルタルに近いものとなり、従つて、このコンクリートにはモルタル用の曲線を用いるのが良いことになる。要するに、この図-11, 12は普通よく使われる配合割合のモルタルおよびコンクリート用であることと、すべて重量比の w/c であることに留意して使用されたい。

例-5 さきの例-1のコンクリートをとりあげてその w/c を求めると、

砂利の $\Sigma pa=32.0$ 、砂のは $\Sigma pa=571.1$ で、砂利と砂の割合は3.7:2.3($G/S=1.6$)であるから、百分率では、61.7:38.3となり、No.3の軟かさのコンクリートの w/c は、

$$F=0.617 \times 32.0 + 0.383 \times 571.1 = 238.4 \div 2.4 \times 10^2$$

図-12のNo.3すなわち、 t_3 のものを用いて $F=2.4 \times 10^2$ 、1:6の配合のところのきり合いから、 $w/c=56.0\%$ が得られる。

例-6 1:3のモルタル、幌別川砂使用、幌別川砂の $\Sigma pa=571.1 \div 5.7 \times 10^2 = F$ 、 t_4 では、 $w/c=55.0\%$ 、また、 t_3 では47%で、 t_3 と t_4 との中間の軟かさのモルタルでは、

$$t_{3-4} = \frac{47.0 + 55.0}{2} = 51.0\%$$

8. 結 語

以上を要約すると、次に述べるように、骨材についての簡単な試験をすれば、非常に合理的な水、セメント重量比等が求められる。すなわち、

- (1) 砂、砂利等の比重を測定すること、もしこれを省略したいときは砂利、砂ともに比重 $\rho=2.65$ とする。
- (2) 砂、砂利等のふるい分けをすること。
- (3) 砂、砂利等の吸水率、表面水を測定すること、もしこれを省略したいときには砂の表面水だけは必ず測ること。
- (4) モルタル、コンクリートの材料はすべて重量で示すこと、もし容積で与えられたときには前もつて容積と重量との関係を検討し、換算して用いる。

なお、最後にセメントの比表面積のことであるが、これについては前述の通り、各方面で鋭意研究中であるから、簡単な装置でしかも正確な値が求められる時代が早晩くると思うが、いまのところではBlaine法でその比表面積を求めてこれを使用すると、図-9から正しい値が求められる。この求めた w/c は同じ番号の線で計算したものは厳格に同じスランプを示すという意味でなしに、同じ軟かさの混合物が得られる水量の計算であるということである。将来、このスランプ測定等に代るより一層精確なコンシステンシーの測定装置の現われることを切に望むものである。また、図-11, 12については、違つた比表面積のセメントによつて、数葉の図表をつくる必要があるであろう。例えば $A_0=2500 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、 $A_0=3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ または $A_0=3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ 等の図表である。しかし、現場用と限定すれば、図-11, 12程度のもので十分である。ただし、比表面積の値が20%以上も違う $2600 \sim 4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 以外のセメントについては一応の注意が要る。

次に、図-12を用いて普通使用する配合割合のコンクリートの w/c を求めるときの問題であるが、この場合に w/c を連算したいときは、その使用砂の百分率の比面率を求め、砂利の分はこの砂の比面率の10~20%平均15%を考え、この15%を加算した値を砂、砂利の総比面率として用いてもかなり正確な w/c が求められるものと考えている。

また、最近、特に舗装工事で、特別のミキサー、すなわち、アスファルト混合物を練るバグミキサー型の混合機で超硬練りのコンクリートを練りあげて、これを用意した路盤に敷き均らし、その上にローラーをかけて締めつける工事が行われるようになってきた。その実例は昭和28年北海道の千歳町付近の国道36号線の舗装工事である。この工事はトベカ舗装の基礎コンクリートであるが、やがて、この工法はミキサーの改良発達とともに、コンクリート舗装等に進展することも考えられたので、この論文でも超硬練りのコンクリート用の図表として二枚ほどつけ加えてある。図-12のNo.1およびNo.2線すなわち、 t_1, t_2 の水被膜のものがそれである。それ以上の硬練りには図-9を使用されたい。

著者の手もとで実験したものでは、各番号の線で表わされるコンクリートのスランプ値は次のようなものであ

る。このスランプ測定にはいろいろの問題があることは前述の通りであつてすなわち、(1)スランプ測定器具、(2)その測定技術、(3)毎回の混合物の骨材の内容の変化、(4)セメント量の多少、(5)気象の状態および、(6)特に砂の表面水量の正確な値等である。だいたいの目安としては、いま、 S をスランプ値とすると、 $S \pm e$ だけの变化がある。 e の値は同じ番号、同じ内容の混合物では S の 10% 以内で、また、同じ番号で、違った内容の混合物になると S の 30% までも変化するようである。

水被膜記号	t_{1-2}	t_2	t_{2-3}	t_3	t_{3-4}
S (スランプ cm)	0	$0.8 \pm e$	$6.0 \pm e$	$12.0 \pm e$	$18 \pm e$

9. 骨材の飛び上り粒度曲線のセメントモルタルおよびコンクリートの研究

著者の新表面積法の応用問題として、数多くのものが考えられるが、いま次に、骨材の飛び上り粒度曲線 (skip grading, jump grading) のモルタル、コンクリートについて研究したものを述べることにする。

飛び上り粒度曲線というのは、一連のふるいによつて骨材をふるつて作図した粒度曲線のうち、適當の箇所に平坦な階段を設けた曲線をもつ骨材のことで、この階段は数段を考慮することができるが複雑となるから、いまの場合是一段のものについて著者の研究を述べることにした。従来の混合物の考え方は Bolomey, Fuller および Talbot 氏等のいわゆる最大密度論から出発したものであるが、この飛び上り粒度曲線は結局は最大密度を理想とするが、主として、主骨材のかみ合いを最大限度に利用し、その主骨材の空げきをできるだけ細骨材で満たすという考え方であるから、場合によっては他の要求する性質によつてある程度の空げきをことさらに残すこともある。アスファルト混合物の夏期炎暑のとき膨張したアスファルトをこのすき間で調節し、その安定をはかる等は良い例である。

(A) セメントモルタルの場合

(1) セメントモルタルを No.3 すなわち、 t_3 の水被膜で練つた普通の場合：

材料：

ポルトランドセメント：小野田

比重 $\rho = 3.10$ 比表面積 $A_0 = 3\,329.8 \div 3\,330 \text{ cm}^2/\text{g}$

その比面率その他の値は

$p\%$	a	$t_3 \mu$	pat
100	333	0.7	23 310

砂：北海道富岸砂

比重 $\rho = 2.69$ ふるい分けその他の値は

ふるい(mm)	$p\%$	a	$t_3 \mu$	pat
5~2.5	19	1.0	52	988
2.5~1.2	32	2.0	32	2 048
1.2~0.6	25	3.7	20	1 850
0.6~0.3	15	6.6	13	1 287
0.3~0.15	8	12.4	8	794
0.15~0.075	1	30.7	4	123
	100			7 090

1:3 配合のモルタルの百分率はセメント 25 に対し、砂 75 となるから、その水量の計算は前述の通り、

$$0.25 \times 23\,310 + 0.75 \times 7\,090 = 11\,143$$

$$w = \frac{11\,143 \times 10\,000}{10 \times 1\,000 \times 1\,000} = 11.143 \text{ l/100 kg}$$

$$\therefore w/c = \frac{11.143}{25} \times 100 = 44.5\%$$

また、1:4 のモルタルでは 20:80 であるから、

$$0.2 \times 23\,310 + 0.80 \times 7\,090 = 10\,334$$

$$w = 10.334 \text{ l/100 kg}$$

$$w/c = \frac{10.334}{20} \times 100 = 51.7\%$$

(2) 富岸砂から 1.2~0.6 mm の粒をとり除いた飛び上り粒度曲線を使用したモルタルでやはり同じ軟かさの t_3 の水被膜の場合：

この富岸砂の内容は

ふるい(mm)	比 重	空げき率%
5~1.2	2.67	32
1.2~0.6	2.70	—
0.6~0.075	2.72	35

粗粒砂 (5~1.2 mm) のふるい分け百分率は

ふるい(mm)	p%	a	t ₃	pat
5~2.5	37	1.0	52	1924
2.5~1.2	63	2.0	32	4032
	100			5956

細粒砂 (0.6~0.075 mm) の百分率は

ふるい(mm)	p%	a	t ₃	pat
0.6~0.3	63	6.5	13	5324
0.3~0.15	33	12.2	8.2	3301
0.15~0.075	4	30.3	4.0	485
	100			9110

セメントは前記の通り小野田である。飛び上り粒度曲線の砂を用いたときの粗粒砂と細粒砂の配合割合としては、粗粒砂の100につき、その空げき率の32%からやや小さめの30%、28%および25%をとって実験した。例えば、1:3の配合のとき細粒砂を30%としたときの計算は次のようになる。

$$\begin{array}{r} \text{セメント} \qquad \qquad \qquad 25 \\ \text{粗粒砂 (5~1.2 mm)} \quad x \} \\ \text{細粒砂 (0.6~0.075 mm)} \quad y \} \end{array} \quad 75$$

$$y = 0.3x, \quad x + y = 75$$

$$\therefore x = 57.5, \quad y = 17.5$$

従つて、このモルタルの百分率を表わした配合割合は、25:17.5:57.5となつて、そのw/cの計算は、

$$w/c = \frac{0.25 \times 23310 + 0.175 \times 9110 + 0.575 \times 5956}{25} \times 100 = 43.4\%$$

また、1:4の配合割合のモルタルでは20:18.5:61.5の百分率となり、

$$0.2 \times 23310 + 0.185 \times 9110 + 0.615 \times 5956 = 10010$$

$$w/c = \frac{10.010}{20} \times 100 = 50.05\%$$

なお、1:3および1:4の配合割合の細粒砂の分量の28%、25%のw/cはそれぞれ次のようになる。

配 合	富岸砂そのまま	細粒砂30%	細粒砂28%	細粒砂25%
1:3	44.5%	43.4%	43.0%	42.7%
1:4	51.7%	50.1%	49.7%	49.5%

以上の配合の供試体の1週の圧縮強度試験の結果は、

モルタルの分量	1:3		1:4	
	フロー値 cm	圧縮強度 kg/cm ²	フロー値 cm	圧縮強度 kg/cm ²
富岸砂そのまま	19.0	255.8	18.0	236.9
細粒砂30%	18.8	272.5	18.6	238.4
富岸砂そのまま	18.5	223.0	17.3	174.3
細粒砂28%	19.0	257.1	18.3	193.4
富岸砂そのまま	19.0	276.0	17.5	168.0
細粒砂25%	19.2	279.9	17.0	174.2

以上の試験の結果を検討して見ると、細粒砂の分量が30%のもの、富岸砂そのままのものに比べ

$$\frac{272.5 - 255.8}{255.8} \times 100 = 6.5\% \quad \text{強}$$

また、28%のものでは

$$\frac{257.1 - 223.0}{223.0} \times 100 = 15.3\% \quad \text{強}$$

$$25\% \text{ のものは } \frac{279.9-276.0}{276.0} \times 100 = 1.4\% \quad \text{強}$$

次に、モルタル 1:4 では、細粒砂の分量 28% のものは

$$\frac{238.4-236.9}{236.9} \times 100 = 0.6\% \quad \text{強}$$

$$28\% \text{ のものは } \frac{193.4-174.3}{174.3} \times 100 = 11.0\% \quad \text{強}$$

$$25\% \text{ のものは } \frac{174.2-168.0}{168.0} \times 100 = 3.7\% \quad \text{強}$$

供試体は富岸砂そのままのものと、細粒砂の各分量のものを同一の条件、例えば、1:3 の配合の富岸砂そのままのものと、細粒砂の分量 30% のものを同じ日に製作し、同じ条件の湿気養生箱 (20°C, 95%) に納めて1週間養生後これを取り出し、その1週強度を以て両者を比較した。供試体は $\phi 5.0 \times 10.0$ cm のものを用い、その6個の平均値である。いま、以上の試験結果の平均をとつて見ると

$$\text{細粒砂 30\% では } \frac{6.5+0.6}{2} = 3.6\% \quad \text{強}$$

$$\text{細粒砂 28\% では } \frac{15.3+11.0}{2} = 13.2\% \quad \text{強}$$

$$\text{細粒砂 25\% では } \frac{3.7+1.4}{2} = 2.6\% \quad \text{強}$$

この実験からは、28% の細粒砂を用いたものが一番良いことがわかり、だいたいのところ 10% の強度の増加を期待することができる。すなわち、 $\frac{28}{32} \times 100 = 87.5\% \approx 90\%$ の計算から、粗粒砂 (主骨材) の空げき率の約 90% の細粒砂を用いた飛び上り粒度曲線の材料が良いものと考えられるが、使用セメントの分量、その他の内容を変えているいろいろ実験すると興味あるものがあると思う。

(B) セメントコンクリート

材料:

砂利、北海道登別海砂利 ($\rho = 2.73$, 20~5 mm, 洗砂利, 空げき率 = 38.5%)

ふるい (mm)	$p\%$	a	$t_3 \mu$	pat
20~10	67	0.3	130	2613
10~5	32	0.5	90	1440
5~2.5	1	1.0	54	54
	100			4107

砂、幌別富岸砂 ($\rho = 2.75$ 洗砂)

ふるい (mm)	p	a	$t_3 \mu$	pat
5~2.5	10	1.0	54	540
2.5~1.2	14	1.9	33	778
1.2~0.6	29	3.5	20	2030
0.6~0.3	29	6.5	13	2451
0.3~0.15	16	12.1	8.3	1607
0.15~0.075	2	22.7	5.0	227
	100			7733

細かい砂、幌別富岸砂 ($\rho = 2.75$, 2.5 mm 以下のもの)

ふるい (mm)	p	a	$t_3 (\mu)$	pat
2.5~1.2	16	1.9	33	1003
1.2~0.6	32	3.5	20	2240
0.6~0.3	32	6.5	13	2703
0.3~0.15	18	12.1	8.3	1808
0.15~0.075	2	22.7	5.0	227
	100			7982

セメント、前述のモルタルのときと同じ。

(1) 普通の配合のコンクリート (富岸砂は 5 mm 以下のもの):

$G/S = 1.2$, 配合割合は 1:6 とすると、旧来の配合割合では 1:2.7:3.3 でその百分率は、

セメント	14.3
砂	38.6
砂利	47.1

ゆえに w/c の計算は、

$$0.143 \times 23\,310 + 0.386 \times 7\,733 + 0.471 \times 4\,107 = 8\,252$$

$$w = 8.252 \text{ l/材料 } 100 \text{ kg につき}$$

$$w/c = \frac{8.252}{14.3} \times 100 = 57.7\%$$

(2) 飛び上り粒度曲線によるコンクリート配合は前のものと同じく 1:6 とする:

砂利(主骨材の空げき率は 38.5% で、この 90% 副骨材の量が前記のモルタルでは良い成績であつたから、

$$0.9 \times 38.5 = 34.65 \approx 35\%$$

この計算によつて、砂利量の 35% の砂(2.5~0.075 mm)を用いることにする。

その配合割合は旧来のものでは 1:1.56:4.44, $G/S=2.84$, 百分率の配合は、

セメント	14.3
砂(0.25~0.075 mm)	22.3
砂利	63.4

この w/c の計算は、

$$0.143 \times 23\,310 + 0.223 \times 7\,982 + 0.634 \times 4\,1107 = 7\,717$$

$$w/c = \frac{7.717}{14.3} \times 100 = 53.97\%$$

以上の試験の結果は、

(1) の普通の配合のコンクリート($G/S=1.2$, 配合 1:6, 旧来の配合割合では 1:2.7:3.3, $\phi 7.5 \times 15 \text{ cm}$ の型わくを使用, 養生は前記モルタルと同じでそのスランプが 15.5 cm (t_3))

1 週の圧縮強度(6 個の平均) $\sigma_7 = 152.3 \text{ kg/cm}^2$, 32 日目の圧縮強度(6 個の平均) $\sigma_{32} = 178.1 \text{ kg/cm}^2$
 (4 週の強度測定のところ電気の故障のため試験が延びた)。

次に、(2) の旧来の配合割合 1:1.56:4.44 の飛び上り粒度曲線のもので前と同じく 1:6 で No.3 の線によつた軟かさのコンクリート, そのスランプは 15.0 cm で多少荒々しい。

1 週の圧縮強度(6 個の平均) $\sigma_7 = 167.0 \text{ kg/cm}^2$, 32 日目の圧縮強度(6 個の平均) $\sigma_{32} = 208.1 \text{ kg/cm}^2$
 以上、(1), (2) のものを比較してその圧縮強度の増加率は、

1 週強度では
$$\frac{167.0 - 152.3}{152.3} \times 100 = 9.7\% \approx 10\%$$

32 日目強度では
$$\frac{208.1 - 178.1}{178.1} \times 100 = 16.8\% \approx 17\%$$

飛び上り粒度曲線のもの以上のような強度の増加のほかいろいろな点において優れたものが多々あるものと考えられ、この研究は興味ある問題である。

(C) むすび

この飛び上り粒度曲線の混合物の場合に、そのセメント量とか、細粒骨材の分量とをいろいろに変え、この圧縮強度のほか摩耗量、ひび割れの多少および凍結融解に対する抵抗等のコンクリートの耐久力に関する問題等について検討すると、非常に興味ある研究であると考えられる。ただこの粒度曲線によるものはその G/S が大きいため、ウォーカビリチーがわるく、荒々しいコンクリートができることである。しかし、これに対しては AE 材、分散材を加えるとか、施工法に工夫をこらすとか(例えばプレパクトコンクリートのように)、また、その工事の種類を考慮するとかのことで容易に解決のできることでありと考へている。また、この飛び上り粒度曲線の混合物はアスファルトの混合物やそのほかにも応用ができると思う。

第 5 章 砂の表面積とその透水係数との関係

透水係数の K は 1856 年、Darcy が Dijon での実験の結果から、 $K=(v \cdot l/h)$ を与え、この v には Hazen が 1892 年に $v=C \cdot d_e^2 (h/l)$ とし、 $K=C \cdot d_e^2$ の式を発表している。 d_e は Hazen の与えた砂粒の有効直径、また、 C は浸透に関するある定数である。透水の問題についての研究には、かなり多くの人々¹⁷⁾がいるが、結局はみな d の直径に関係させて K を求めている。著者ははじめて、砂の表面積から計算する式をつくつた。

$$K = \frac{835 p^{0.78}}{A^{1.8}} \{0.644(1+0.0337T+0.00022T^2)\} \dots\dots\dots (20)$$

$$K = \frac{835 p^{0.78}}{A^{1.8}} (0.55+0.03T) \dots\dots\dots (21)$$

式中、

K : 透水係数 cm/sec

ϵ : 砂の空けき率

A : 砂 1g 当りの表面積 ($\rho=2.50$)

T : 水温 °C (標準温度を 15°C とする)

$$p = \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2}$$

ρ : 砂の比重 (ここでは $\rho=2.50$ でまとめる)

1. 砂の表面積

著者は砂, 砂利および碎石の比表面積を研究して前述のように,

$$A_0 = \frac{8}{\rho \cdot d_m}, \quad d_m = \eta \cdot l_m, \quad \eta = \frac{1.025}{l_m^{1/3}}, \quad l_m = \frac{2 l_1 l_2}{l_1 + l_2}$$

l_1, l_2 は隣りあいのふるい目の寸法 (cm), また, 表面積の測定の一方法として, Carman⁸⁾ の透水法を用い, このときの $K(T^\circ\text{C})$ を 15°C および $\epsilon=0.40$ のものに換算統一してこれを K_0 とした。また, 砂の各空けき率との間で最小自乗法によつて実験式をつくり, さらに図表を作製した。

Carman の式は前述のように,

$$S_0 = 14 \sqrt{\frac{p}{K \cdot \nu}} - \frac{2}{D(1-\epsilon)} \quad A_0 = \frac{S_0}{\rho}$$

式中, ν : 水の動粘性係数 (stokes), D : 試験筒の直径 (cm)

透水試験の時のふるいは No.8(2.5 mm) からはじまり, その半分の寸法で細くなる一連のものを用いて砂をふるい分けした。

以上の実測値は少なくとも 50 回以上の平均値で, No.8~No.16 等の内容は, 宮城県名取川砂, 広瀬川砂, ふるいくず等の各種のものを含む。計算値と実測値の間には相当の差異が認められるが, これは主として, ふるい切れない細粉の混入のためであることはすでに述べた。

2. 透水係数におよぼす水温

Poiseuille によれば水の粘性係数 μ は

$$\mu = \frac{0.00001814}{1 + 0.0337 T + 0.00022 T^2} \dots\dots\dots (22)$$

また, その動粘性係数 ν は

$$\nu = \frac{0.01778}{1 + 0.0337 T + 0.00022 T^2} \dots\dots\dots (23)$$

図-13 水温と動粘性係数および更正係数 C_t との関係

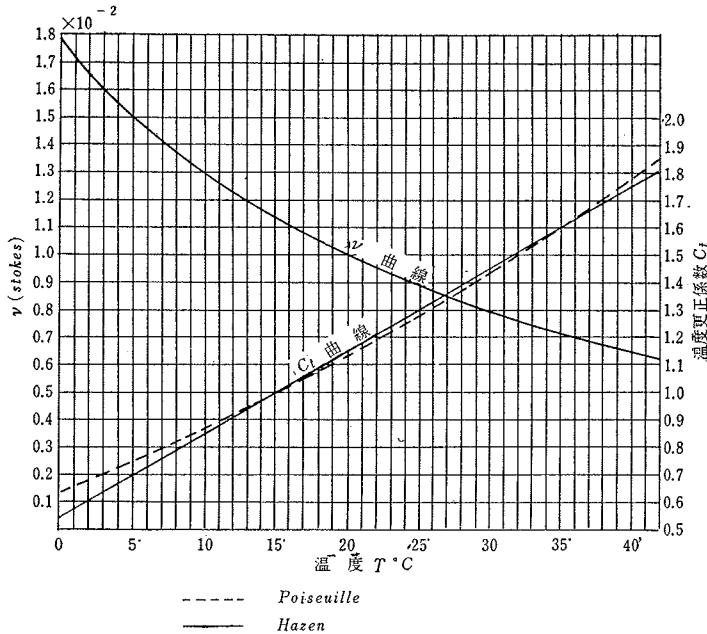


図-13 は水温 T と ν , および 15°C の標準水温の K に換算する更正 C_t の図表である。

$$C_t = 0.644(1 + 0.337 T + 0.00022 T^2) \dots\dots\dots (24)$$

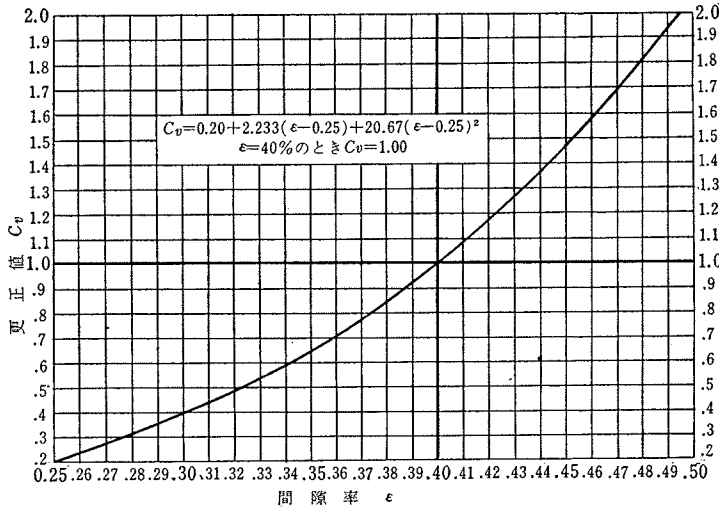
$$C_t = 0.55 + 0.03 T \dots\dots\dots (25)$$

(24) は Poiseuille の式, また, (25) は Hazen 式である。

3. 透水係数におよぼす砂の空げき率

これに関する研究は Slichter 氏および Terzaghi¹⁷⁾ 氏等がある。図-14 は Slichter のもので, 図表中の式は吉田弥七博士¹⁷⁾ のつくつたものである。

図-14 透水係数の間げき率更正曲線



4. K 式の誘導

砂の実測比表面積の A_0 とその空げき率の $\epsilon = 0.25, \epsilon = 0.30, \epsilon = 0.35, \epsilon = 0.40, \epsilon = 0.45$ および $\epsilon = 0.50$ の時の K を用いて著者は最小自乗法によつて次の式をつくつた。

$\epsilon = 0.25$	$KA_0^{1.8} = 46$	$\epsilon = 0.40$	$KA^{1.8} = 229$
$\epsilon = 0.30$	$KA^{1.8} = 95$	$\epsilon = 0.45$	$KA^{1.8} = 339$
$\epsilon = 0.35$	$KA^{1.8} = 145$	$\epsilon = 0.50$	$KA^{1.8} = 447$

また, これらの式から 図-15 をつくつた。水温と空げき率とを合わせ考えた式として前掲の (20) と (21) 式とがある。

5. 計 算 例

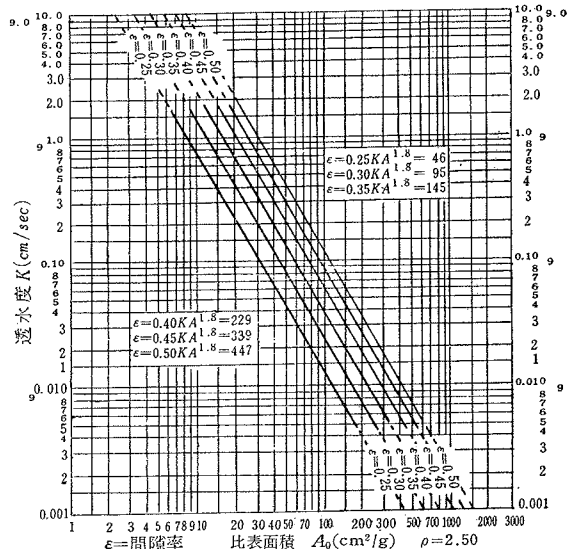
例-1 名取川砂 (No. 8~No. 100, 2.5~0.15 mm), $\rho = 2.50$ のときの比表面積 $A_0 = 92.5 \text{ cm}^2/\text{g}$ 空げき率 $\epsilon = 0.427$ のときの透水係数を求む。

この例は前記 Carman 法による 表面積測定 の資料の一部である。しかし, また, 砂をふるい分けして, 各ふるい間の分量からその砂の比表面積を求めても良い (例-2 参照)。空げき率 ϵ の値は 例-2 に示した方法その他のもので求められる。

図-15 から, $A_0 = 92.5 \text{ cm}^2/\text{g}$ を横軸にとり, この点から上にのぼり, $\epsilon = 0.40$ と $\epsilon = 0.45$ との中間辺から左へ折れて縦軸上に $K = 0.1120 \text{ cm}/\text{sec}$ ($T = 15^\circ\text{C}$) を求めることができる。

例-2 土壌の透水係数

図-15 表面積と透水係数との関係 ($T = 15^\circ\text{C}$)



砂の表面積と透水係数の関係を土壤の範囲まで延ばし、次の順序でその透水係数を求めることができる。土壤はその試験法¹⁸⁾でそのままの状態の乾燥土の空げき率 ϵ を求められる。

また、比表面積は乾燥土をふるい分けして、これを各ふるいごとにその分量を百分率で表わす。各ふるい間の表面積は前記のようであるから、この百分率の量に各表面積をかけてその合計を求め、100g または 100kg 当りの表面積を算出する。いま、これを $A_0=264.3 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($\rho=2.50$) とする。しかし、この土壤の比重が $\rho=2.60$ であればその実比表面積は $A_a=264.3 \times \frac{2.50}{2.60}=254.1 \text{ cm}^2/\text{g}$ となる。

図-15 の比表面積は $\rho=2.50$ のときのものを示し、これに関する K 値が求められるようにつくつたものであるから、この場合では $A_0=264.3 \text{ cm}^2/\text{g}$ を用いてさしつかえない。

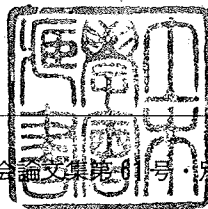
いま、 $\epsilon=0.275$ とすると、 $K=0.0028 \text{ cm}/\text{sec}$ ($T=15^\circ\text{C}$) で、また、他の水温のものは図-13 から C_i を求めてこれを K にかけて求めることができる。

また、土の最適含水量 (OMC) を決定することができる。すなわち、土を乾燥してふるい分けをやり、0.075 mm (No.200) 以下のものには Blaine 法でそれらの比面率を決定する。

図-9 の No.2 線すなわち t_2 を用いてその最適含水量を求めるのである。この実験は学生の卒論として行つた結果であるから、いずれ確かめた上で発表することにした。また、新表面積法によるコンクリートの配合設計法は“土木技術”(5月号, 1959) を参照されたい。

参 考 文 献

- 1) L.N. Edwards (A.S.T.M. Tech. Paper 1918)
- 2) Vieser (Zement, 35-41, 1926)
- 3) F. Pöpel (Der moderne Asphalt Strassen bau) (日本ポルトランドセメント業技術会報告 No.23, 1936)
- 4) F. Jung (Die Bautechnik 41-42, 1926) (工学研究 No.90, 1931)
- 5) 彦坂治一氏外 (日本ポルトランドセメント業技術協会 No.23, 1936)
- 6) H. Wolf (Z. Angew. Chem. 35, 1922), H.V. Euler (S. Electro Chem. 28, 1922), G.C. Schmidt, U.F. Duran (Z. Phip. Chem. 108, 1924), G. Martin (Trans. Ceram. Soc., 23, 1924)
- 7) Langmuir (Journal Am. Chem. Soc. 58, 1936), 太田誠一郎 (土木学会誌 Vol.36, No.8, 1951)
- 8) P.C. Carman (Journal of Soc. of Chem. Ind. 57-58, 1938-39), A. Pechukos, F.W. Gage (Ind. Eng. Chem. Anal. 19, 1948)
- 9) 藤井真透 (土木試験所報告第 27 号 1934)
- 10) 松尾新一郎 (セメント技術年報昭和 24 年)
- 11) A.S. Russel and C.N. Cochran, Alumina surface area measurements by Nitrogen, *n*-Butane, Propane and Stearic Acid Solution. (Ind. and Eng. Chem. 42, 1950)
- 12) C. Orr Jr. H.G. Blocker and S.L. Craig, Surface area of metals and Metal Compounds: A rapid method of Determination. (Jour. of Metals, Jan. 1952)
- 13) 太田誠一郎 (第6回土木学会年次大会 東京大学 昭和25年5月)
- 14) Wagner, A rapid method for determination of the specific surface area of Portland cement: (A.S.T.M. Proc. Part II, 1933)
- 15) Blaine, A simplified air permeability fineness apparatus, (A.S.T.M. Bull. No.123, Aug. 1943)
- 16) 中条金兵衛 (日本ポルトランドセメント業技術会報告第 23 号 1936)
- 17) C.S. Slichter (Annual Report of the U.S. Geological survey, 19², 1899)
Karl Terzaghi, (Erdbaumechanik, 1925)
吉田弥七 (土木学会誌 Vol.17, No.6, 1931)
- 18) 最新土質工学, 日本土質基礎工学委員会 (土質工学会発行 1949)



昭和 34 年 5 月 5 日 印刷

昭和 34 年 5 月 10 日 発行

土木学会論文集第61号・別冊(3-3) 定価 220 円 (〒20 円)

著 者 室蘭市水元町1・室蘭工大土木科 太田誠一郎
 編 集 者 東京都新宿区四谷1丁目 国分正胤
 印 刷 所 東京都港区赤坂溜池5番地 株式会社 技 報 堂

発 行 所 社 団 土 木 学 会
 法 人

東京都新宿区四谷1丁目 電話 (35) 5138 (代表) 振替東京 16828 番