



骨材の表面積について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-05-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 太田, 誠一郎 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3009

骨材の表面積について

太田 誠一郎

Study on the Specific Surface of the Aggregate

Seiichiro Ota

Abstract

Author believes that the specific surface area of the aggregate is very important for the determination of the rational proportionings of the cement concrete and the asphaltic mixture and also the coefficient of permeability of the sand. Therefore, author, measured accurately the specific surface of the aggregate by several methods and then made the following formulae:

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

碎石, 砂利, 砂および石粉 (填充材) 等の表面積に關して研究することは, その粒度を調べることに以上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壤の分野等において應用の範圍が廣いと考えられる。

従來, この問題に關して研究した人も多く, またその結果も發表されているが, その表面積の値は著者の測定したものより小さく, たとえば従來この方面の權威者の Edward 氏¹⁾の値は約 22% ほど小さい。

著者はこの點に留意して以下述べるような表面積についての研究の結果,

$$A_0 = \frac{8}{\rho d_m}$$
$$A_0 = 9 \left(\frac{N}{\rho^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$A_0 = \frac{8Kn}{\rho} \int \frac{x^{n-1} e^{-Kx^2}}{x} dx$$

の式で計算した値がよく實測値に合致するものとし, 米國型篩を用いたときの値を次のごとく與えた。

篩 目	比表面積 $A_0(\rho=2.50)\text{cm}^2/\text{g}$
$1\frac{1}{2}\sim 3/4"$ (38.1~19.1mm)	1.8
$3/4\sim 3/8"$ (19.1~9.55mm)	3.3
$3/8\sim \text{No. 4}$ (9.55~4.76mm)	6.1
No. 4~No. 8 (4.76~2.38mm)	11.2
No. 8~No. 16 (2.38~1.9mm)	20.8
No. 16~No. 30 (1.9~0.59mm)	38.6
No. 30~No. 50 (0.59~0.30mm)	71.0
No. 50~No. 100 (0.30~0.15mm)	133.0
No. 100~No. 200 (0.15~0.074mm)	246.0
No. 200 以下 (填充材)	3,250.0

他種の篩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表を作り、これによつて容易に比表面積を求めるようにした。

I. 表面積を求めるときの篩の平均径

骨材の表面積をあらわすには、相隣れる篩間のものについて 1g 當りまたは 1kg 當りいくらと示するのが普通である。この場合かならずその相隣る篩目の平均径が問題となつて来る。換言すればその篩間の骨材の實表面積をあらわすのにいかなる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挙げると、

(1) Edward 氏⁽¹⁾

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

式中、 l_1, l_2 は相隣れる篩目の大きさ。

(2) Vieser 氏⁽²⁾

篩目の関係が $l_1 = 2l_2$ のときはその粒径の半数は $\frac{7}{8}l_1$ の径を有し、残り半数は $\frac{5}{8}l_1$ の径を持つものとして、その平均径 d は、

$$d \left(\frac{7}{8} + \frac{5}{8} \right) l_1 = \frac{3}{4} l_1 \dots \dots \dots (2)$$

(3) Pöpel 氏⁽³⁾

相隣る篩間の骨材の表面積は l_1 径の篩目に相當する表面積 A_1 と、 l_2 径の篩目に相當する表面積 A_2 との平均値であるとして、

(1) L. N. Edward (A. S. T. M. Tech. Paper, 1918)

(2) Vieser (Zement, 35-41, 1926)

(3) F. Pöple (Der Moderne Asphalt Strassenbau)

(日本ポルトランドセメント業技術會報告 No. 23, 1936)

$$A_1 = \frac{\lambda}{\rho l_1}, \quad A_2 = \frac{\lambda}{\rho l_2}$$

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2} = \frac{\lambda}{2\rho} \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_1 l_2}$$

$$d = \frac{2l_1 l_2}{l_1 + l_2} \dots\dots\dots (3)$$

今、 $l_1 = 2l_2$ のときは、

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

式中、 λ ：骨材に関するある定数

ρ ：骨材の比重

(4) Jung 氏⁽⁴⁾

d_m を實測表面積に相當する平均徑として、

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

角目篩のときは、

$$\eta = \frac{a}{d^n} = \frac{1.025}{d^{1/9}} \dots\dots\dots (5)$$

丸目篩のときは、

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

II. 表面積の計算式

従來、表面積を計算する式に種々あるが、それらはその式を誘導するときの假定が多少違ふ。

(1) 粒形を球と考えるもの、

ρ ：粒の比重

N ：1g 中に含まれる粒數

d ：粒の平均直徑

とすれば、1g の粒群の總容積 $V(\text{cm}^3/\text{g})$ は粒を球と假定すると、

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

また、その總表面積 $A_0(\text{cm}^2/\text{g})$ は、

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

この2つの式から、

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

(4) F. Jung (Die Bantechnik, 41-42, 1926)
(工學研究 No. 90, 1931)

この d の値を V 式に代入すると,

$$V = \frac{\pi}{6} \left(\frac{6V}{A_0} \right)^3 N, \quad \text{また} \quad A_0^3 = 36\pi V^2 N, \quad V = \frac{1}{\rho}$$

であるから,

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

立方体および四面体を考えるとそれぞれ,

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

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

一般に、碎石、砂等の不規則な形のものには,

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

式中の C_1 は実験によつて決定する。

(2) 粒形を實表面積を有する規則形と假定する方法,

ρ : 粒の比重

N : 1g 中の粒の數

v : 各粒の容積

d : 各粒の直径

a : 各粒の表面積

とすれば、初め球形と假定して,

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

$$\therefore v = \frac{ad}{6} \quad \text{したがつて,} \quad a = \frac{6v}{d} = \frac{6}{\rho d N}$$

1g 當りの表面積即ち比表面積の A_0 は,

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

Pöpel 氏⁽³⁾ は $l_m = d = \frac{2l_1 l_2}{l_1 + l_2}$ を用い、一般粒形のものには,

$$A_0 = \frac{6}{\rho l_m}$$

とした。

Jung 氏⁽⁴⁾ は實測表面積と $A_0 = \frac{6}{\rho l_m}$ との間には、或る程度の差があるとして、實測表面積に相當する平均径の d_m と l_m との比、 $\eta = \frac{d_m}{l_m} = \frac{1.025}{l_m^{1/9}}$ で計算すべきであるとした。これは角目篩である。

砂利、碎石には丸目篩を使用する場合が多い。このときは $\eta_r = \eta - 0.136$ 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碎石の占める表面積の割合はきわめて小さく、したがつて表面積に関する限り、角目篩又は丸目篩の區別の問題は採るに足らない。

(3) 粒形の相似性を有する假定による方法。

骨材の粒形が相似性をなし、しかもその粒子の分布状態が特別のものでなければ、その残渣の $R_{(x)}$ は、

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

式中、 $R_{(x)}$: x 径の篩に残る量、

K, n : 骨材によるある定數

(12) 式を變形して、

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

よつて、この式の R に 2 種以上の篩上に残る骨材の量を代入して計算すれば K と n とが求まる。

この式は填充材、セメント等の粉体の表面積の計算に用いられ、いま、一般の填充材についてそのときの K と n とを算出すると n は 1 に近い値であつて、實用的には $n=1$ として差支えがない。したがつて以下この略式を用いる。

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

比表面積 A_0 は、

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

これは不定積分である。

$$A_0 = \frac{C_3 K}{\rho} \left[\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} - \dots \right]_{x_1}^{x_2} \dots\dots\dots (14)$$

C_3 の値は球形のものとするれば、 $C_3=6$ となり、また積分の範圍は填充材では No. 200 (0.0075 cm) 以下を考へ 7.4×10^{-3} cm から微粉の最小のものまでにする。鑛物を粉碎したときは鑛物の種類、粉碎機の種類で多少異なるが、最小粒徑は石灰岩粉では 1.0×10^{-7} cm を用いて良いと云われる。

以上述べた表面積の計算式をまとめると、

$$\left. \begin{aligned} \text{(i)} \quad A_0 &= C_1 \left(\frac{N}{\rho_2} \right)^{\frac{1}{3}} \\ \text{(ii)} \quad A_0 &= \frac{C_2}{\rho d_m} \\ \text{(iii)} \quad A_0 &= \frac{C_3 K}{\rho} \left[\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} - \dots \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

III. 骨材の表面積の測定法

骨材の表面積を測定する方法に、

- (1) 方眼紙を砂利又は碎石の表面に貼つてその方眼紙の目を勘定して測定するもの⁽⁵⁾,
- (2) 水および油が骨材の表面に附着する被膜によるもの⁽⁴⁾⁽⁶⁾,
- (3) ステアリン酸被膜によるもの⁽⁷⁾,
- (4) 水および空気等の滲透によるもの⁽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) 及び (4) を採用し、計算値と実測値とを比較研究して、實用上簡便でしかも正確な結果を與える式を検討した。その結果 (15) 式の C_1, C_2, C_3 等の定数はそれぞれ $C_1=9, C_2=8, C_3=8$ となり、

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

すなわち、骨材の比表面積は (16) 式で計算すべきであると結論した。

IV. 重油の被膜による骨材の表面積測定

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 はその附着する被膜の厚さが実験の結果一定でない事が判明したため、その実験資料は採用しなかつた。

重油によつたものは、最初表面積の既知の立方体の安山岩および頁岩 (圖-1 イ, ロ) によつた。一定の室温 (約 30°C) のとき石を重油に浸してからこれを取り出し、1 時間そのまま静置 (釣る) して余分の重油の滴らし、前後の重量差によりその膜の厚さを計算した。その結果頁岩に對しては 18.3 μ , 安山岩に對しては 24.9 μ の値を得た。

- (5) 彦坂治一氏外 (日本ポルトランドセメント業技術協會報告 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 (土木學會誌 Vol. 36, No. 8, 1951)
- (8) P. C. Carman (Journal of Soc. of Chem. Ind. 57-58, 1938-39.)
A. Pechukas, F. W. Gage (Ind. Eng. Chem. Anal. 19, 1948)
- (10) 松尾新一郎氏 (セメント技術年報 昭和 24 年)

圖-1 (イ)

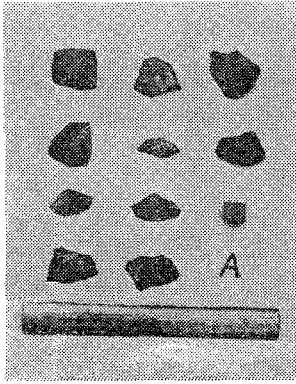
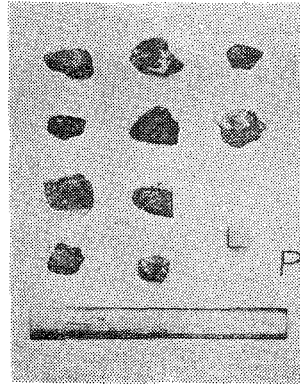


圖-1 (ロ)



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

表-I 重油被膜法による骨材の表面積

(1) 安山岩碎石 ($\rho=2.63$)

番號	室温 (°C)	W_0 (g)	W_1 (g)	$W=W_1-W_0$ (g)	被膜厚 t (cm)	表面積 A (cm ²)	球としての 半徑 r (cm)	半徑 r の球の 表面積 A_r (cm ²)	$\frac{A}{A_r}$
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	"	19.23	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 ($\rho=2.74$)

番號	室温 (°C)	W_0 (g)	W_1 (g)	$W=W_1-W_0$ (g)	被膜厚 t (cm)	表面積 A (cm ²)	球としての 半徑 r (cm)	半徑 r の球の 表面積 A_r (cm ²)	$\frac{A}{A_r}$
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	19.335	19.433	0.031	"	26.23	1.191	17.83	1.47
平均									1.88

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被膜以上に余分量が充たされ、したがつて粗面の安山岩は頁岩の碎石よりも比較的少量の重油が附着されているものと推測される。この理由と多数の小孔を有している2つの理由から、その表面積の比 A/A_0 の値の平均値は安山岩の方が大きいのが當然である。圖-1 はこの試験の供試体で A は安山岩、 P は頁岩である。

V. ステアリン酸単分子層の被膜による表面積測定

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にはじめて應用した新しい方法で獨創的のものであると考える。

この測定に必用な器物および藥品は、

(1) 寫真現像用四つ切バット	1
(2) 高さ約 60 cm の櫓	1
(3) プラ=メーター	1
(4) 1 cc の注射器	2
(5) ステアリン酸	約 10 cc
(6) オレイン酸またはヒマシ油	" "
(7) ベンゾール	約 50 cc
(8) パラフィン	約 20 g

いま、この測定の要點を述べる。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、その内側に注射器により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擴散してある程度糸の輪を押し擴げ圓形とする。つぎ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擴散が出來、その表面壓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單分子膜、外側はオレイン酸（ヒマシ油とともにこれをピストン油と云う）の複分子層の被膜で充たされ、糸はこの2種の油の釣合で靜止する。ピストン油の方は少し多い目に擴散させる。この間溶劑のベンゾールは揮發してしもう。

つぎに、サンプルの碎石を糸で釣り、靜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單分子膜で附着し、それに相當する水面のステアリン酸被膜が失われて表面壓が低下する。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りを崩して糸を押しつけるため輪の形を變える。碎石を水中に沈めたまゝの輪の形を紙に寫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。實際の測定では、碎石を一度水から引きあげいま

一回ステアリン酸被膜を重ね、糸の輪には2倍の面積の變形をやらせ、その前後の面積差を2で除して骨材の表面積とする。もし數回にわたつ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。要は糸の輪の變形をにらんでその測定の上げ下げの回数を決める。また、前後の糸の輪の形を寫眞に撮せば、實驗後ゆつくりその面積の測定および計算等が出来る外に記録を保存するに都合が良い。

要するに、この測定を行えばきわめて高精度の結果が得られ到底重油被膜その他の測定に比でない、たゞその操作にかなり微妙なものがあるから十分注意を要する。

圖-2

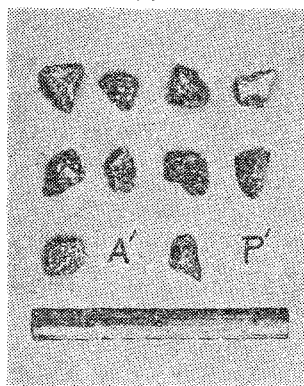


圖-3

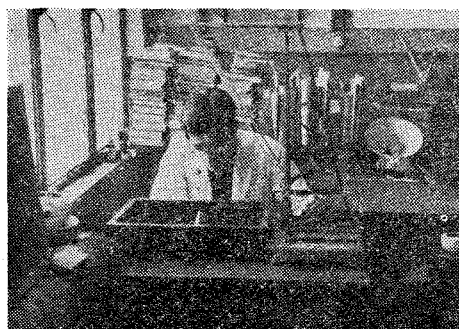
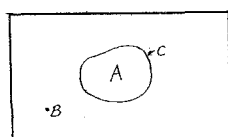
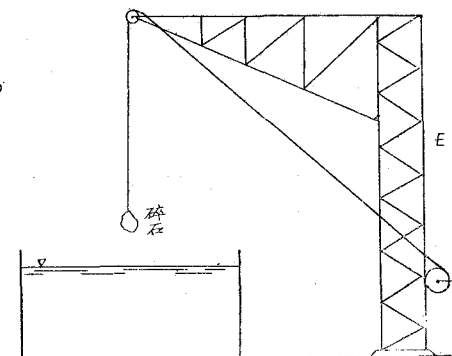


圖-4



- A ステアリン酸被膜
- B オレオン酸被膜
- C 糸
- D 寫真現像バット
- E 槽



ステアリン酸被膜による
表面積測定装置

いま、著者の経験からその注意すべき諸点をあげると、

(1) 實驗室は清浄で、埃など飛散せず、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實驗した。

(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)が適當であつた。

(3) パットの中の水は pH=6.8 の蒸留水を使用すること,

(4) 試験器物は測定ごとによく掃除し, 糸は毎回新しいものと取り換えること,

著者は以上の注意のもとに実験を行つて表-II の結果を得た。このとき供試体は前記重油のときのを再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變化を確かめた。

表-II ステアリン酸被膜による表面積測定

(1) 安山岩碎石 ($\rho=2.63$)

番號	W_0 (g)	A_r (cm^2)	A (cm^2)	$\frac{A}{A_r}$
1	37.8	26.64	47.59	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 ($\rho=2.74$)

番號	W_0 (g)	A_r (cm^2)	A (cm^2)	$\frac{A}{A_r}$
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

(註) A =ステアリン酸法による表面積, A_r =半徑 r の球 (ρ, W_0) の表面積

重油被膜法による實測表面積と, ステアリン酸被膜法のそれとの間にはかなりの差があり, また $\frac{A}{A_r}$ の値にも同じように相當の差違が認められる。

つぎに、安山岩碎石と頁岩碎石の表面の状態から見て、兩碎石を比較すると、 $\frac{A}{A_r}$ の値には相當のへだたりがあると思われるが、實際の測定の結果からはあまり差違は認められない。これは重油の塗布で碎石の表面の小孔および凹凸が塞がれ、ステアリン酸測定の際の供試体の表面の状態が變つているためと思われる。したがつて著者はまつたく新しい他の碎石をとり出し、これについて再びステアリン酸法を行い、その結果を表-III に示した。このとき使用した碎石は圖-2 である。

表-III ステアリン酸法による表面積測定

(3) 安山岩碎石 ($\rho=2.649$)

番號	W_0 (g)	d (cm)	A_r (cm^2)	A (cm^2)	$\frac{A}{A_r}$
1	22.70	2.54	20.30	38.34	1.89
2	17.40	2.32	16.85	27.97	1.66
3	14.40	2.18	15.00	27.67	1.85
4	13.80	2.15	14.50	24.67	1.70
5	14.40	2.18	15.00	30.24	2.01
平均					1.822

(4) 流紋岩碎石 ($\rho=2.544$)

番號	W_0 (g)	d (cm)	A_r (cm^2)	A (cm^2)	$\frac{A}{A_r}$
1	19.20	2.43	18.54	29.74	1.60
2	15.10	2.24	15.73	28.66	1.83
3	14.10	2.19	15.10	25.53	1.69
4	13.70	2.17	14.77	21.24	1.44
5	12.70	2.11	14.00	19.23	1.37
平均					1.586

(3) の安山岩碎石は (1) のものとは産地が違ひ、表面に多數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。

この試験で留意することは、表-III の結果は、重油試験法を行わないまつたく新しい碎石であるが、ステアリン酸の附着を良くするために供試体にはあらかじめパラフィン溶液の塗布をやつてる關係上、やはりある程度表面の小孔が塞がれていることである。したがつて、表面積値に多少の誤差を生ずる。これをなるべく輕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。

以上の測定結果を觀察するに、その測定表面積は實表面積に比較して、重油法によるものは大なる値が得られ、重油被膜試験済みものにステアリン酸法を用いたものは反對に小なる値を與える。また、最後のまつたく新しい碎石をステアリン酸法で測定したものは、その實測表

面積の値が少しく小さくあらわれていると推察される。

以上のごとく、それぞれ多少の修正を必要とするがその誤差は±の符號であるから、いま、以上の測定の $\frac{A}{A_r}$ 値の平均をもつて最後の公値とすれば、

$$\frac{A}{A_r} = \frac{1.98+1.88+1.70+1.70+1.82+1.59}{6} = 1.78$$

つぎに、表-IV は表-I および表-III の安山岩、頁岩および流紋岩の碎石について調べた細長率、扁平率等であつて、これらの値で判るようにこれらの供試体は比較的形の良いものであり、ひどい扁平のものまたはごく細長いものはない。

しかし、一般に使用する碎石には、相當扁平のものまたは細長いもの等種々であつて、この點を考えると $\frac{A}{A_r}$ の比は 1.40~2.30 の間を往來し、普通の場合の平均値は 1.80~1.90 位と思われる。したがつて著者はそのまた平均値の 1.85 をもつて表面積計算の基準とした。

表-IV 碎石の扁平率、細長率其他

(1) 安山岩碎石 ($\rho=2.63$)

番號	長サ a (cm)	巾 b (cm)	厚サ c (cm)	容積 V (cm ³)	容積 係數 K	球形 率 R	細長 率 e	扁平 率 f	方形 率 S	Person 徑 d _p (cm)	表面積 A 重油 (cm ²)	表面積 A' ステ アリン 酸 (cm ²)	平均表 面積 A _m (cm ²)	$\frac{A_m}{d_p}$
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
													平均	12.76

(註) $K = \frac{V}{abc}$, $R = \frac{6V}{\pi abc}$, $e = \frac{a}{c}$, $f = \frac{ab}{c}$

$S = \frac{a}{b}$, Person 徑 $d_p = \sqrt[3]{abc}$, $A_m = \frac{A+A'}{2}$, $V = \frac{W_0}{\rho}$.

(2) 頁岩碎石 ($\rho=2.74$)

番號	長サ a (cm)	巾 b (cm)	厚サ c (cm)	容積 V (cm ³)	容積 係數 K	球形 率 R	細長 率 e	扁平 率 f	方形 率 S	Person 徑 d _p (cm)	表面積 A 重油 (cm ²)	表面積 A' ステ アリン 酸 (cm ²)	平均表 面積 A _m (cm ²)	$\frac{A_m}{d_p}$
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
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
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
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
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

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
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
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
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
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	29.6
													平均	11.73

(3) 安山岩碎石 ($\rho=2.65$)

番號	長サ a (cm)	巾 b (cm)	厚サ c (cm)	容積 V (cm^3)	容積 係數 K	球形 率 R	細長 率 e	扁平 率 f	方形 率 S	Person 徑 d_p (cm)	表面積 A ステファン 酸 (cm^2)	$\frac{A}{d_p}$
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
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
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
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
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
											平均	10.76

(4) 流紋岩碎石 ($\rho=2.54$)

番號	長サ a (cm)	巾 b (cm)	厚サ c (cm)	容積 V (cm^3)	容積 係數 K	球形 率 R	細長 率 e	扁平 率 f	方形 率 S	Person 徑 d_p (cm)	表面積 A ステファン 酸 (cm^2)	$\frac{A}{d_p}$
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
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
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
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
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
											平均	9.50

$\frac{A}{d_p}$ の平均は

$$\frac{A}{d_p} = \frac{12.76 + 11.73 + 10.76 + 9.5}{4} = 11.19 \approx 11.2$$

次に、一定重量の骨材の個数については藤井眞透氏⁽⁹⁾の研究の結果から、

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

碎石, 篩屑, $N=696, 626 \cdot d^{-3}$ $\rho=2.50$

N : 1 kg 當りの骨材の個數

d : 骨材の平均徑 (mm)

いま、この式により、各篩間の個数を計算すると表-V になる。

表-V 各篩間の骨材の個數と表面積

番號	篩目	$d = \frac{l_1 + l_2}{2}$ (mm)	$N = \frac{696,626}{d^3}$ /kg	$N = \frac{521,195}{d^3}$ /g	$a_0 = 1$ 個の骨材 の球としての 表面積 (mm^2)	$1.85a_0$ (mm^2)	1kg當りの表面積 $1.85a_0 N \text{ cm}^2/\text{kg}$ ($\rho=2.50$)
1	$1\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ "	28.6	29.78	2,659	5,052	1,563(1.563 cm^2/g)	
2	$\frac{3}{4} \sim \frac{3}{8}$ "	14.3	238.23	667	1,268	3,150(3.150 cm^2/g)	

(9) 藤井眞透氏 (土木試験所報告, 第 27 號, 1934)

3	3/8"~No.4	7.2	1,866.39	168	320	6,200(6,200%)
4	No.4~No.8	3.6	14,931.11	42	80	12,400(12,400%)
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	—	6,118.00	—	—
8	No.50~No.100	0.23	—	42,838.00	—	—
9	No.100~200	0.112	—	376,976.00	—	—
10	No.200以下	—	—	—	—	—

(註) 不明の個所——のところは他の方法による。

VI. 透水法による表面積測定

Carman 氏⁽⁸⁾は Kozeny 氏の式から表面積を計算する式を誘導し、

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

式中 S_0 : 1 cm³ あたりの表面積 (cm²/cm³)

A_0 : 1 g あたりの表面積 (cm²/g)

K : 透水係数 (cm/sec)

ν : 水の動粘性係数 (cm²/sec)

ε : 間隙率

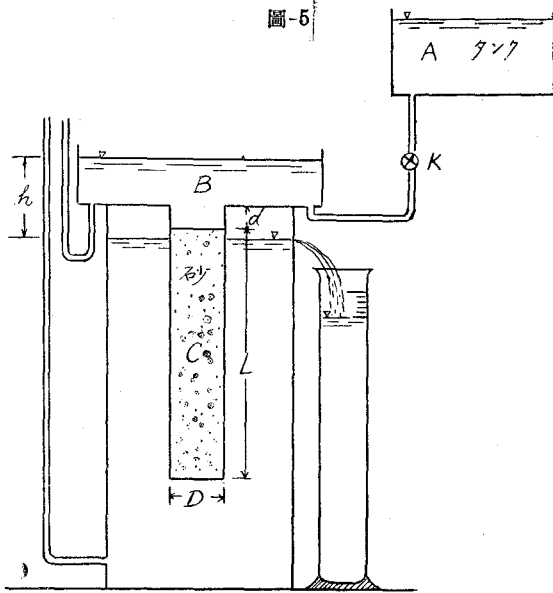
D : 試験筒の直径 (cm)

ρ : 骨材の比重

測定器具としては、

透水試験器 (圖-5, 6)	1
寒暖計 100°C	1
秒時計	1
メスシリンダー 100, 250, 500, 1,000 cc	1
突きかため棒	1
d なる深さを測る目盛桿	1
スケール (mm 目盛)	1

充分篩い分けした各粒につき乾燥重量を測り、これを少量ずつ C なる容器の中に入れて、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空洞がないようにする。この突き固めのときは突き棒でかき廻しながら締め固め、なるべく砂の間の空気を追い出すよう注意が要る。砂の粒の大きさにより d の深さを加減して試料を



透水法による表面積測定装置



圖-6

つめ、表面を平にしてから目盛桿（先端に圓板をとり付けたもの）でその深さ d を測る。次に水槽 A から水を送り、余分の水は B から溢流するようにして、 h を一定の水位に保つ。一定の水量が何秒間で滲透するかを秒時計で數回測定を試みる。その測定時間がだんだんに増すのは、砂のまわりに空氣の附着増進していることを示し、このことは滲透時間の測定でわかる。例-1 はこの場合を示す。

この空氣の附着を防ぐ意味において、水槽 A の水は一旦温め、また試料は温水に浸し、その冷却するのを待つて攪拌した後、試験筒 C に投入すれば、砂の周りに附着する空氣は認められない。しかしそ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 は後者の例である。

例-1 廣瀬川砂 (No.16~No.30)

$\rho=2.60$, $W_0=800$ g, $h=5.2$ cm, $L=15.55$ cm, $D=6.9$ cm(面積 $F=37.3$ cm²)

水温 $T=26.8^\circ\text{C}$, $\nu=0.0085$ (圖-7)

Q cc	滲透時間 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
1,000	130.0	148.0	173.0

第一回目の測定を調べると、200 cc から 1,000 cc までは滲透時間の變化が認められないから、このときの時間 t を採用して、

$$K = \frac{v \cdot L}{h} = \frac{1,000 \times 15.55}{130 \times 37.3 \times 5.2} = 0.610.$$

試験筒内の砂の容積 V は、

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

間隙なしに砂が填充されたときの重量を W とすれば、

$$W = \rho V = 2.60 \times 581 = 1,510 \text{ g}$$

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

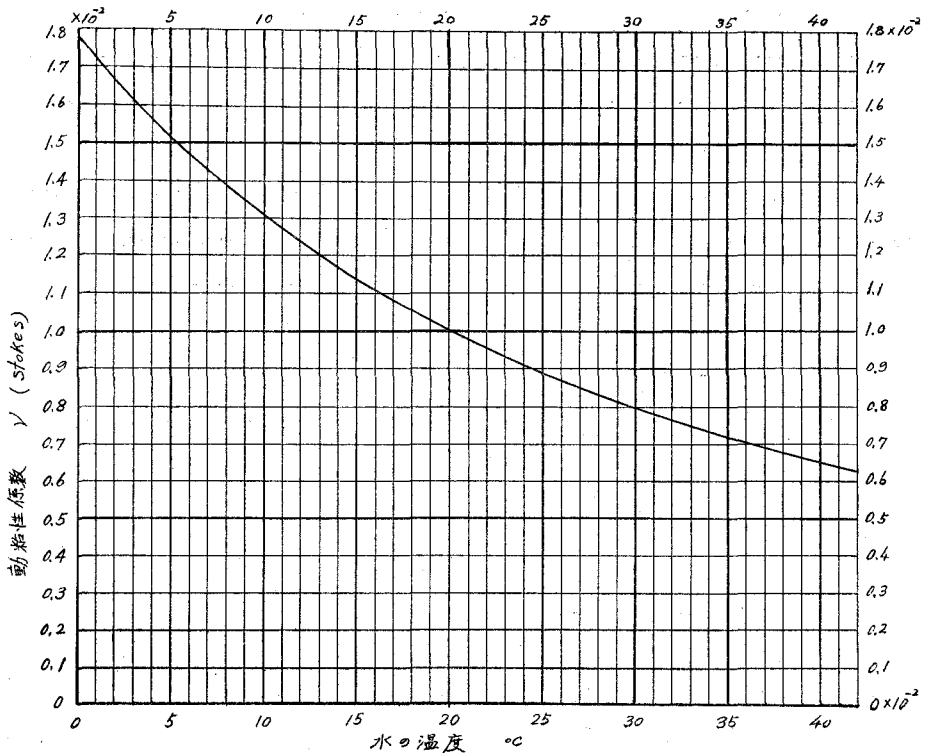
$$\therefore \varepsilon = 0.47.$$

$$p = \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2} = 0.370 \quad (\text{圖-8})$$

$$S_0 = 14 \times \sqrt{\frac{p}{KV} - \frac{2}{D(1 - \varepsilon)}} = 14 \times \sqrt{\frac{0.370}{0.0085 \times 0.610} - \frac{2}{6.9 \times 0.53}}$$

圖-7

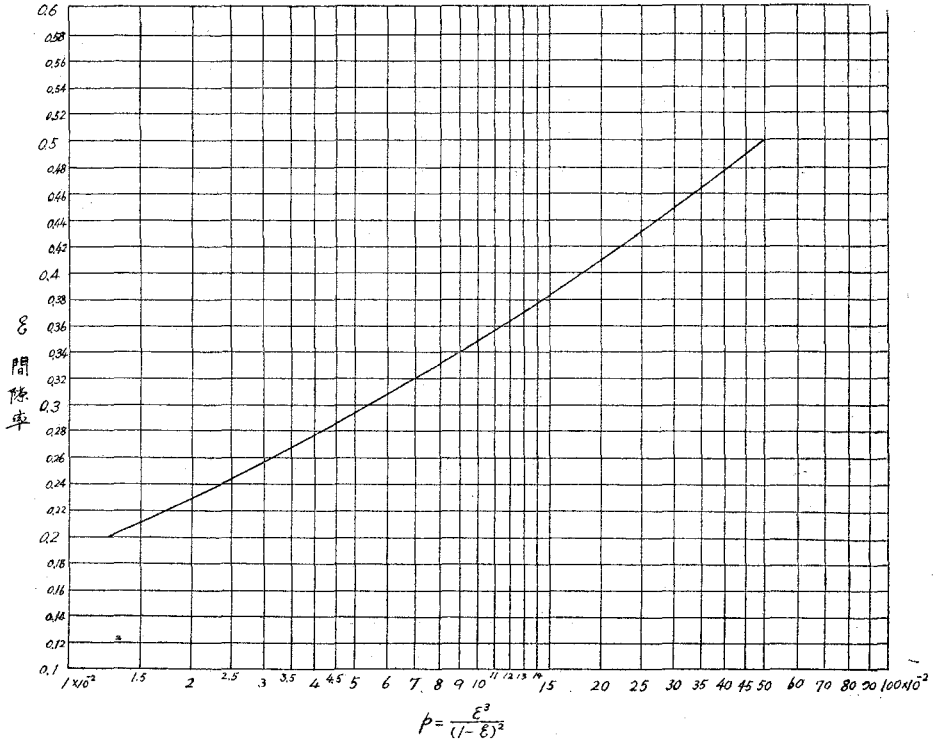
水温と動粘性係数



$$=117.85 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

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

圖-8



例-2 小高標準砂 (No.16~No.30 のもの)

$\rho=2.65$, $W_0=600 \text{ g}$, $h=5.3 \text{ cm}$, $L=9.65 \text{ cm}$, $D=6.9 \text{ cm}$ ($F=37.3 \text{ cm}^2$)

$T=29.2^\circ\text{C}$, $\nu=0.008$

Q cc	t sec		
	1回	2回	8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

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

$$S_0 = 83.6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3, \quad A_0 = \frac{83.6}{2.50} = 33.4 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (\rho=2.50)$$

表-VI は川砂、濱砂及び篩等についての測定結果である。この表の中には空氣の附着が認められた測定値は除いた。また、各回の測定値は少くとも 12 回の平均である。

表-VI 透水法による表面積の測定結果

(1) No. 8~No. 16

No.	骨材種類	D cm	W_0 g	ρ	ϵ	p	K	$T^\circ\text{c}$	S_0 cm ² /cm ³	A_0 cm ² /g($\rho=2.50$)
5	廣瀬川砂	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	2.45	0.431	0.246	1.49	26.5	60.7	24.2
50	篩屑(流紋岩)	"	372.0	2.667	0.517	0.500	2.04	19.2	63.7	25.4
平均										24.0

(2) No. 16~No. 30

No.	骨材種類	D cm	W_0 g	ρ	ϵ	p	K	$T^\circ\text{c}$	S_0 cm ² /cm ³	A_0 cm ² /g($\rho=2.50$)
1	廣瀬川砂	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	篩屑(流紋岩)	4.5	312.6	2.56	0.498	0.500	0.689	23.5	123.7	49.4
平均										48.12

(3) No. 30~No. 50

No.	骨材種類	D cm	W_0 g	ρ	ϵ	p	K	$T^\circ\text{c}$	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	2.63	0.457	0.323	0.218	28.1	187.2	75.0
11	廣瀬川砂	4.5	300	2.63	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	2.60	0.445	0.317	0.154	27.8	217.2	86.8
35	"	6.9	500	2.60	0.436	0.260	0.106	21.5	222.0	88.8
48	篩屑(流紋岩)	4.5	194	2.52	0.508	0.500	0.254	28.2	216.4	86.7
平均										82.6

(4) No. 50~No. 100

No.	骨材種類	D cm	W_0 g	ρ	ϵ	p	K	$T^\circ\text{c}$	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	"	4.5	212	2.65	0.446	0.239	0.0472	27.8	380.2	152.0
37	濱砂	4.5	144.7	2.712	0.440	0.275	0.0507	28.0	356.2	142.1
47	篩屑(流紋岩)	4.5	67.5	2.57	0.458	0.330	0.0605	27.4	356.2	142.7
平均										145.45

(5) 小高標準砂 (No. 16~No. 30 のもの)

No.	砂種類	D cm	W_0 g	ρ	ϵ	p	K	$T^\circ\text{c}$	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	0.433	29.2	83.5	33.4
14	"	6.9	1000	"	0.373	0.132	0.432	29.3	86.0	34.4

15	"	6.9	1000	"	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	"	10.1	2400	"	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	"	6.9	800	"	0.366	0.120	0.434	27.1	79.1	31.6
22	"	6.9	800	"	0.380	0.143	0.463	27.1	84.5	33.8
23	"	6.9	800	"	0.363	0.117	0.476	28.5	76.5	30.6
									平均	32.67

(6) 九味浦標準砂 (No. 50~No. 100 のもの)

No.	砂種類	D cm	W ₀ g	ρ	ϵ	p	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	"	4.5	199.7	2.66	0.392	0.165	0.033	28.6	345.3	138.0
27	"	4.5	199.8	2.66	0.392	0.165	0.032	29.0	351.3	140.4
									平均	140.2

(7) 九味浦標準砂 (No. 50 以下)

No.	砂種類	D cm	W ₀ g	ρ	ϵ	p	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
									平均	163.58

(註) 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 に篩い分けられ、そのうち No. 100 から No. 200 の粒径は No. 100 に近いようである。後者 (7) の測定は、No. 50 で篩ったもの全部について測定した結果である。

以上の結果を検討すると、一定の篩間の骨材の測定表面積にある程度の差を見る。まず第1は特にこの表中に掲載されなかつた缺番はその測定表面積の差がはなはだしく、大きな誤差を示し空気の附着が認められ、したがつてこの測定値は除いた。第2の問題は、同じ試料を測定ごとに再篩して見ると、そのつど若干の通過量を見ることで、細かな方の篩で篩う度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表面積の測定値に差を生ずる点である。いま、その適例として、瀝砂について実験したものを挙げると表-VII の通りである。この表の値は上から下へその測定をつど再篩いしたものの表面積の實測値である。

表-VII 濱砂 (No. 50~No. 100)

No.	D cm	W_0 g	ρ	ϵ	p	K	$T^\circ\text{c}$	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	4.5	194.7	"	0.445	0.290	0.0351	24.0	423.2	169.0
36	4.5	171.0	"	0.450	0.305	0.0442	25.5	393.2	157.0
37	4.5	144.7*	"	0.440	0.275	0.0507	28.0	356.2	142.1

* この分は再篩分の結果通過した量と、比重の兩測定のために試料の一部をとつたため、相當その重量が減つている。

測定ごとにおけるこの濱砂の No. 100 を通過したものの平均径は次のごとくして計算出来る。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、また、No. 33 の試料の全表面積は $174.5 \times 198 = 34,511 \text{ cm}^2$ 、また、No. 34 および No. 35 のそれらはそれぞれ、 $169 \times 194.7 = 32,904.3 \text{ cm}^2$ および $157 \times 171 = 26,847 \text{ cm}^2$ であるから、それぞれの表面積差は $499 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、 $1,637.1 \text{ cm}^2/\text{g}$ で、これを $\frac{8}{\rho d_m}$ でその該當する d_m を求めると、最初 No. 100 の篩を通つた粒の平均径は $d_m = 0.0642 \text{ cm}$ 、その次の試料 No. 34 の實測の No. 100 篩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くなつていくことに気がつく。

つぎに、砂の種類による比表面積の差、砂と篩屑等の比表面積の差については、その試料を No. 30 とか No. 50 とかの篩別にしてやればほとんど差が認められない。これは比較的角張つて粗面の篩屑等は、その比表面積の増すのが當然であると云う常識から考えると一寸不思議なことであろう。この間の説明としては、ある一定の篩を通つた篩屑はその角張つてのためにその球としての径は、丸味のある砂の同じ篩を通過し得るものの球としての径に比べると遙かに小さい。したがつてその比表面積にはほとんど變化がないものと推測される。ただし、以上のことは大小種々の粒径から成る骨材を一連の篩で篩い分けをしたものに限ることは云うまでもなく、丸味浦砂、小高砂等の粒揃えのものに對してはおのずからまた別問題である。

以上透水法による各測定値は毎回少くとも $3 \times 4 = 12$ すなわち透過水量は少くとも 4 組、および透水時間は 3 回、都合 12 回以上の測定値の平均値であるから、實際の測定回数は相當なものである。

また、この透水法による表面積測定的应用として、小高標準砂のごとくその粒径が揃い、その表面積もほとんど一定の値としてあらわれるものを基材とし、これにこの測定法で測定不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, $\rho=2.55$)

$$W_0 = 800 + 200 = 1,000 \text{ g} \quad (200 \text{ g} \text{ は碎石, } 800 \text{ g} \text{ は小高砂})$$

$$D = 6.9 \text{ cm} \quad (F = 37.3 \text{ cm}^2)$$

$$L = 15.55 \text{ cm}$$

$$h=5.25 \text{ cm}$$

$$T=28.0^{\circ}\text{C} (\nu=0.0083)$$

$$\text{この混合材の比重 } \rho = \frac{1 \times 2.55 + 4 \times 2.65}{5} = 2.63$$

Q cc	t sec		
	1 回	2 回	3 回
200	38	38	38
400	76	76	76
600	114	114	113.5
800	152	152	152

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

$$W = 26.3 \times 37.3 \times 15.55 = 1,526 \text{ g}$$

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

$$\epsilon = 0.344$$

$$p = 0.0944 \text{ (圖-8)}$$

$$S_0 = 14 \sqrt{\frac{0.0944}{0.0083 \times 0.418}} - \frac{2}{6.9 \times 0.656} = 72.66 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$A_0 = \frac{72.6}{2.50} = 29.06 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (\rho = 2.50)$$

いま、求めん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前表-VI からその平均値 $32.87 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($\rho = 2.50$) を用い、

$$1 \times x = x$$

$$4 \times 32.87 = 131.48$$

$$\frac{x + 131.48}{5} = 29.06$$

$$x + 131.48 = 145.30$$

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

同じような測定方法により、3/8''~No.4 の碎石の表面積として、 $A_0 = 7.02 \text{ cm}^2/\text{g}$ を得た。空気の邪魔を除去するには、水の代りにアルコール、アセトン等の薬品を使用すれば良いのであるが、経費の関係でこれを使用した実験は出来なかつた。

また、No.200 通過の石粉(填充材)の表面積は同じ滲透法で測定出来るが⁽⁸⁾、その装置は圖-9のごとく變える必要がある。この場合は空気を滲透させ、その空気の量は水で測る等のいろいろの方法をとる。

圖-9

石粉の表面積測定

$$A_0 = K_0 \sqrt{\frac{t}{Q_0}} \times \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2}$$

$$K_0 = \frac{4}{\rho} \sqrt{\frac{a \times a \rho}{\eta L}}$$

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

A_0 : 比表面積 cm^2/g

Q_0 : 試料中時間 t 秒で通過した空気の量 cc

ρ : 試料の比重

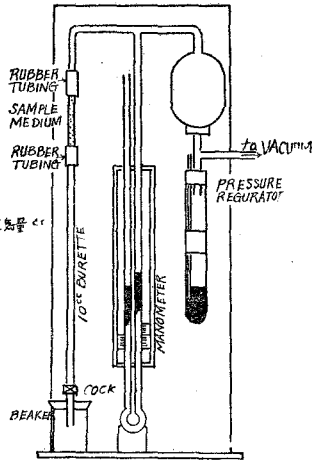
a : 試料筒の内側断面積 cm^2

$a\rho$: 測定時の圧 g/cm^2

η : 空気の粘柱係数

L : 試料の深 cm

W : 試料の重量 g



この実験は、実験装置の関係から京都大學化學研究所の理學博士水渡英二氏に依頼し、平均 $A_0 = 3,250 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($\rho = 2.50$) を得た。

以上の測定結果をまとめて表-VIII をつくる。

表-VIII 實測表面積と計算表面積との比較

番 號	篩 目	ステアリン被膜法 cm^2/g	滲透法 cm^2/g	平均測定表面積 Acm^2/g	$A' = \frac{8}{\rho d_m}$ cm^2/g	$A'' = 9^3 \sqrt{\frac{N}{\rho^2}}$ cm^2/g	$A''' = \frac{8K}{\rho} \int \frac{e^{-Kx}}{x} dx$ cm^2/g	$\alpha = \frac{A}{A'}$	$\beta = \frac{A}{A''}$	$\gamma = \frac{A}{A'''}$
1	1½ ~ ¾"	1.56	1.56	1.75	1.54			0.89	1.01	
2	¾ ~ ⅝"	3.15	3.15	3.28	3.07			0.96	1.03	
3	⅝" ~ No.4	6.20	7.02	6.61	6.08			1.09	1.07	
4	No.4 ~ 8	12.40	13.82	13.11	11.19			1.17	1.07	
5	No.8 ~ 16'	24.00	24.00	20.78	22.80			1.15	1.05	
6	No.16 ~ 30	48.12	48.12	38.55	44.70			1.25	1.08	
7	No.30 ~ 50	82.50	82.50	71.11	90.40*			1.16	0.91	
8	No.50 ~ 100	145.45	145.45	133.33	173.80			1.09	0.84	
9	No.100 ~ 200	—	—	246.15	306.00			—	—	
10	No.200 以下	3,250.00	3,250.00	—	—	3,400.00				0.96
平均								1.095	1.008	0.96

* 篩 No.30 No.50 の砂粒の数は表-V から、

$$N = 6,118.4/\text{g} \quad (\rho = 2.60)$$

したがってその比表面積は

$$A = 9 \sqrt{\frac{6,118.4}{2.60^2}} = 87.2 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (\rho = 2.60)$$

これを $\rho = 2.50$ のものに換算すると、

$$A = \frac{87.2 \times 2.60}{2.50} = 90.4 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (\rho = 2.50)$$

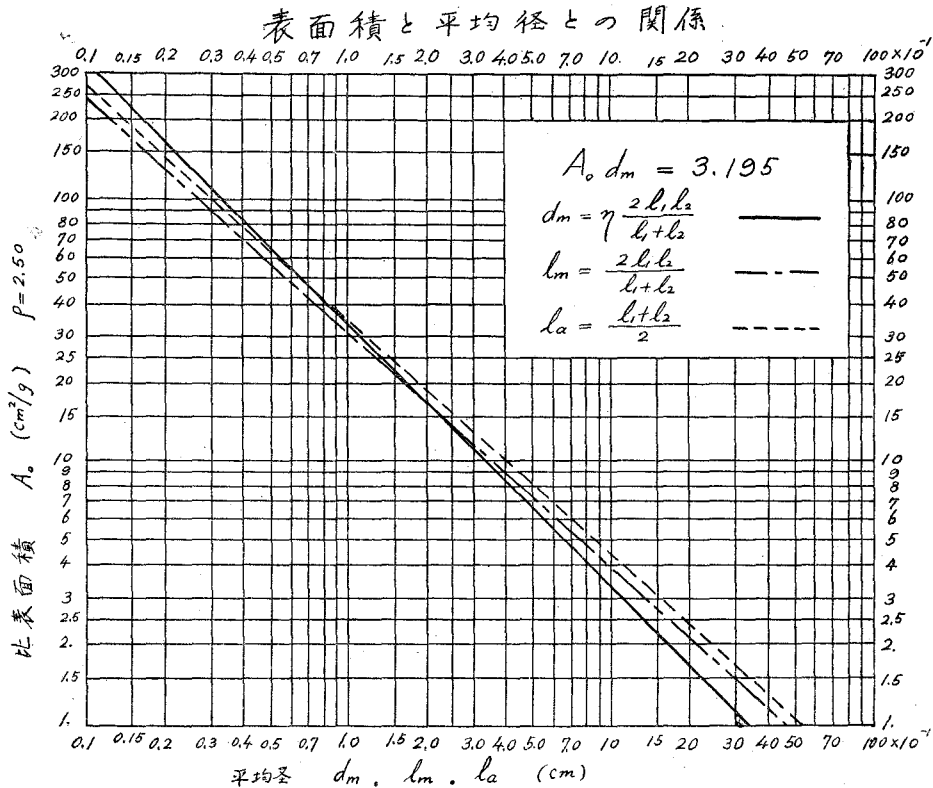
他の値も同様にして求められる。

表-VIII の比表面積はすべて $\rho = 2.50$ の場合のものである。この表によると $A'' = 9 \sqrt[3]{\frac{N}{\rho^2}}$ の方が粒の比較的大なるときは実測値によく合う。しかし、骨材の微細なものの比表面積が、径の大なるもののそれに比較して非常に大なる値であることから、著者はこの細かい方で割合に実測値に合う而も計算の容易な $A' = \frac{8}{\rho d_m}$ の方を採用した。この場合注意することは、篩目の大きさの一應の検査とその篩い方を出来るだけ正確に行う点とである。

VII. 表面積 圖 表

以上骨材の測定の結果 $A_0 = \frac{8}{\rho d_m}$ の式がよく実測値と合致し、またその計算が比較的便利であるとしてこの式を採用することとし、さらに實用に便利に使用せんとして以下記述する計算によつて圖表 (圖-10) を作製した。

圖-10



番 號	篩 目	平均徑 $d_m(\text{cm})$	比表面積 $A_0(\text{cm}^2/\text{g})\rho = 2.50$
1	$1\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}''$	1.84	1.74
2	$\frac{3}{4} \sim \frac{3}{8}''$	0.99	3.24
3	$\frac{3}{8}'' \sim \text{No.4}$	0.53	6.04
4	No.4 ~ No.8	0.29	11.00
5	No.8 ~ No.16	0.15	21.30
6	No.16 ~ No.30	0.083	38.50
7	No.30 ~ No.50	0.045	71.20
8	No.50 ~ No.100	0.024	133.00
9	No.100 ~ No.200	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	1.724	1.462	1.176	2.919	2.653	2.380	2.114
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、實驗式を $A_0 = m d_m^n$ と考え、

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

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

$$\alpha x + \beta y - l = 0 \quad \text{の形としてやると、}$$

$$\alpha = \log d_m \quad \beta = 1 \quad l = \log A_0$$

α	β	l	α^2	$\alpha\beta$	αl	β^2	βl
+0.265	1	-0.241					
-0.004	1	-0.551					
-0.276	1	-0.781					
-0.538	1	-1.041					
-0.824	1	-1.328					
-1.081	1	-1.585					
-1.347	1	-1.852					
-1.620	1	-2.124					
-1.886	1	-2.391					

α^2	$\alpha\beta$	αl	β^2	βl
0.070	+0.265	-0.064	1	-0.241
0.000	-0.004	+0.002	1	-0.551
0.076	-0.276	+0.216	1	-0.781

0.289	-0.538	+0.560	1	-1.041
0.679	-0.824	+1.094	1	-1.328
1.169	-1.081	+1.713	1	-1.585
1.814	-1.347	+2.495	1	-1.852
2.624	-1.620	+3.441	1	-2.124
3.557	-1.886	+4.509	1	-2.391
10.728	-7.311	13.966	9	-11.894

$$\therefore 10.278x - 7.311y + 13.966 = 0$$

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

これを解いて、

$$x = -0.991949 \div -1 \quad y = 0.5092$$

$$\text{したがって } -1 \log d_m + 0.5092 - \log A_0 = 0$$

$$A_0 \cdot d_m = 3.195 \dots\dots\dots (18)$$

この $A_0 d_m = 3.195$ によつて-10 圖を作製した。實線で示したものがそれである。

また、その他の平均径、すなわち $l_m = \frac{2l_1 l_2}{l_1 + l_2}$ あるいは $l_a = \frac{l_1 + l_2}{2}$ 等實用的に便利な平均径による表面積はそれぞれ鎖線および點線で示した。

この圖-10 を使用するとき、他種の標準篩目の場合、または隣り合いの篩目のいかなる寸法の場合でも、きわめて簡単にそれに該当する表面積が求められる。

次に、Edward 氏の方法で表面積を求めたと云う建設院第一技術研究所概報 No. 14, 1948 所載の表面積と比較せんがため、この圖表から求めた當該篩目の表面積は表-IX の通りである。

表-IX 著者の表面積と Edward 氏の表面積の比較

篩目	平均径 l_m (cm)	Edwardの表面積 A' (cm ² /g) $\rho=2$	著者の表面積 A_0^* (cm ² /g) $\rho=2.65$	A_0'/A_0
25~20 mm	2.22	1.30	1.84	0.71
20~15 mm	1.71	1.70	2.36	0.72
15~10 mm	1.20	2.40	3.20	0.75
10~5 mm	0.66	4.40	4.60	0.96
5~3 mm	0.37	7.60	8.40	0.91
3mm~No.10	0.24	11.00	13.90	0.85
No.10~No.20	0.116	20.00	26.90	0.74
No.20~No.40	0.056	37.00	50.00	0.74
No.40~No.60	0.046	44.00	60.50	0.71
No.60~No.140	0.015	110.00	160.00	0.69
No.140~No.200	0.0086	176.00	—	—
			平均	0.78

* 圖-10 は $\rho=2.50$ の表面積であるから、これを 2.65 のものに換算する。すなわち、 $A_{2.65} = \frac{2.50}{2.65} A_{2.50}$

表-IX であきらかなごとく、Edward 氏の表面積 ($\rho=2.65?$) と著者の表面積との間には大なる差違、すなわち平均 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きわめて重大なことである。

アスファルトコンクリートまたはモルタル等において、アスファルトの適量を決定する場合は経験または仕様書等によつても與えられるが、これを理論的に研究しまたは合理的に割り出さんとすれば、この骨材、填充材の表面積の値は表面積法では重大なる基本的の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間隙のある程度充す量と、その骨材、填充材の周りに附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填充材の周りの被膜の合計であるとしたとき、さらに特に著者研究の結論として、この被膜の厚さはその骨材の比表面積によつて變化するとした場合には、骨材、填充材の正確な表面積の決定はこの問題のようなきにはきわめて大切なことになると思う。

従來の研究の發表のうちには、填充材の表面積には觸れずに、Edward 氏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厚、たとえばその厚さが 25 μ であるのが適當であると云う結論を出しているものがある。著者はこの點に疑問を持ち、石粉のごとき微粉の表面積の測定について鋭意研究し、實用的測定法として、または計算の方法として前述のごときものを採用した、これらはある程度一應成功したものと考へている。しかして、その石粉の比表面積のきわめて大でその少しの誤差も影響するところ顯著なものがあると思うから、著者は實用的と云う見地から、その鋪裝の種類によりアスファルトに適當な量の石粉を混和したアスファルトマステックを考へ、その合理的な被膜厚からアスファルト量を計算出来る圖表を作製した。(次の著者の論文参照)

しかし、著者のこの骨材、石粉およびセメント等の表面積の研究の狙いは、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な解決であつて、2,3 その研究を完了したが、後日これが發表を約束してこの稿を終りたい考へである。

VIII. 結 語

以上述べた骨材の表面積の研究を綜合するとその結論として次の事柄が擧げられる。

1. 骨材 セメントおよび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、 $A_0 = \frac{8}{\rho d_m}$ 、また、石粉、セメント等の微粉のものには $A_0 = \frac{8K}{\rho} \left[\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right]$ を用うべしとしたこと。
2. 比表面積の計算式を圖表にし、その使用を簡便にして實用的としたこと。
3. 碎石、砂利のごとき大粒のものには、その Person 徑 $d_p = \sqrt[3]{abc}$ を計算し、これを 11 倍して近似的な表面積が求められるとしたこと。

4. 骨材の種類のかんに拘らず、一定の篩間の骨材の比表面積には變りがないとしたこと。
5. Edward 氏の比表面積より 22% 大であるとしたこと等である。

なお、この研究につづいて下に示す研究にうつりその結論を得た。すなわち、

- (i) アスファルト混合物のアスファルトの被膜の厚さおよび合理的配合割合の決定。
- (ii) 砂の表面積と透水係数との關係、

等である。

また研究中のものは、

- (i) セメントコンクリートに於ける水被膜の厚さと流動性との關係、
およびその配合割合の検討、
- (ii) 上の表面積と最適含水率との關係、
- (iii) セメントコンクリートの水セメント比と骨材の表面積との關係、
- (iv) セメントの表面積を考えた軟練りモルタルの試験法の再検討、

著者のこの表面積の研究が他の種々な分野において應用されることがあならば幸である。

この研究には一部文部省の科學研究費の交付をうけ、故牧彦七博士の御教示、また東北大學教授富永齊博士（化學）、同教授絹卷丞氏（化學）および東京大學教授星埜和博士、早稻田大學教授西垣久實博士（數學）等の御指導に負うところが多い。つぎに、實驗に當つては、東北大學理學部大學院學生佐々木圭文氏の多大の御手傳をうけた。

以上の方々に對して深甚の謝意を表します。