



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



骨材類の表面積によるセメントコンクリートおよび アスファルト混合物の配合割合の研究

| | |
|-------|--|
| 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/10258/3010 |

骨材類の表面積によるセメントコンクリート およびアスファルト混合物の配合割合の研究

太田 誠 一 郎

Study on the Proportionings of the Cement Concrete and the Asphaltic Mixture by the Surface Areas of Aggregate, Cement and Stone Dust

Seiichiro Ota

Abstract

Author succeeded to measure the specific surface areas of aggregate, cement and stone dust accurately concerning their sieve analysis, and then discussed the rational proportionings of the cement concrete and the asphaltic mixture by the new surface area method.

かつて、著者は骨材、填充材たる石粉およびセメント等の比表面積を精密に測定し、これを算出する式を定めかつ實際的に簡便な圖表を作製して發表した。⁽¹⁾

この骨材、石粉およびセメント等の表面積の値は、これを用いることにより、セメントコンクリート、アスファルト混合物等の一般混合物の合理的配合割合の研究とか、または土壤の研究たとえばその最適含水量の解決等その應用範圍が廣いものがあると考えられる。

著者は種々の方法により骨材類の比表面積の測定の結果、その計算式は従來のものを修正して、次式によつて計算されるものとした。

$$A_0 = \frac{8}{\rho d_m} \dots\dots\dots(1)$$

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

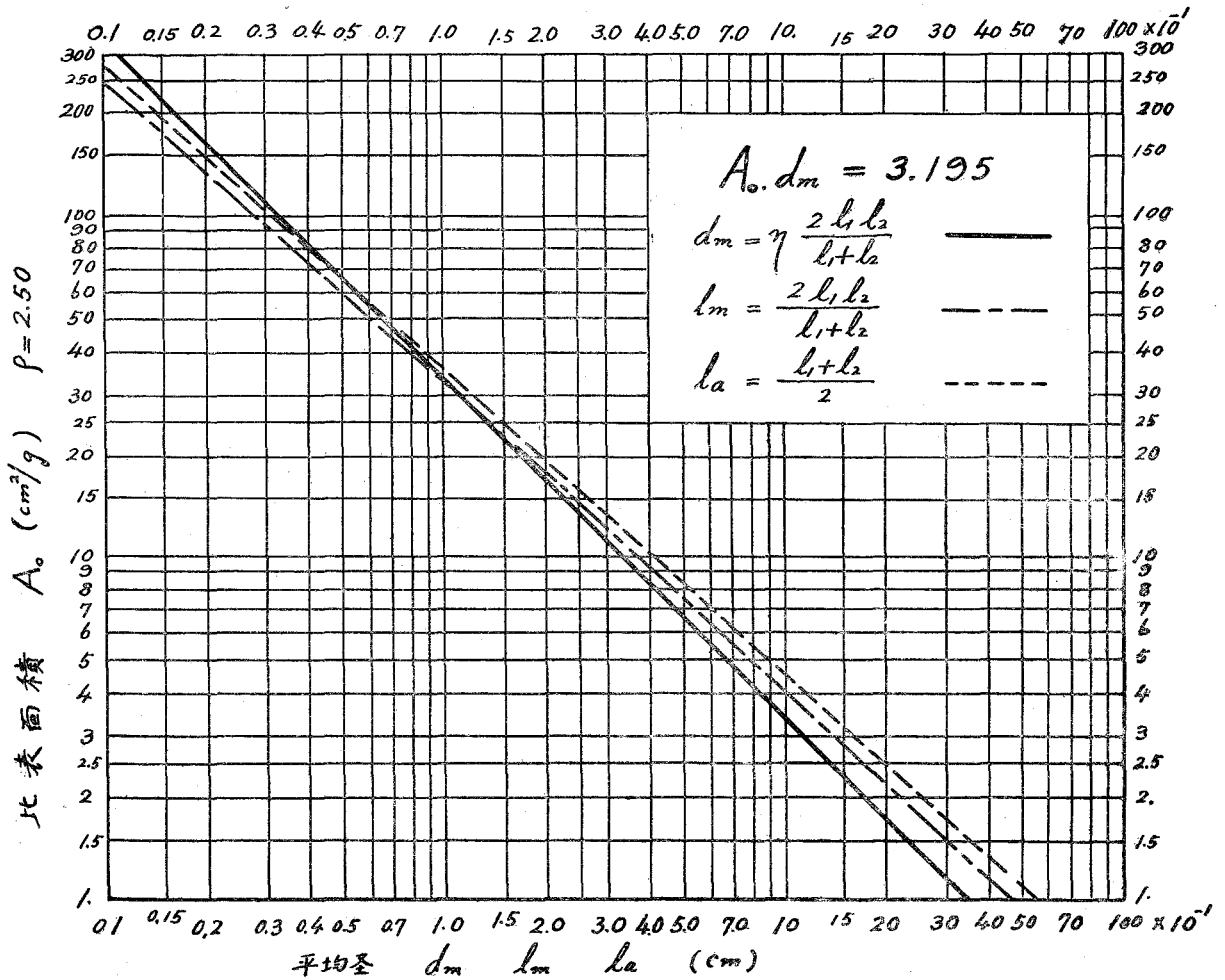
$$A_0 = \frac{8Kn}{\rho} \int \frac{x^{n-1} e^{-Kx^n}}{x} dx = \frac{8K}{\rho} \left[\log_e x - Kx + \frac{K^2 x^2}{4} \right] \dots\dots\dots(3)$$

(1) 太田誠一郎 室蘭工業大學研究報告 第1巻第3號 (昭和27年)

以上 3 つの式の使用上からは、(1) 式は砂、篩屑等の細骨材に、(2) は砂利、碎石等の一定重量の個数の勘定の容易なものに、また、(3) は石粉、セメント等の微粉のものに良い。

しかし、著者は実用的には (1) および (3) 式を採用し、なおかつ計算上簡便にせんが爲に圖-1 を作製した。

比表面積と平均径との関係



第 1 圖

米國型の一連の篩間の骨材の比表面積の値として著者の與えたものは表-1 である。

表-1. 各篩間の骨材の比表面積 ($\rho=2.50$)

| 篩 目 | 比表面積 A_0 cm^2/g ($\rho=2.50$) | 比 面 率 a $a_0=10,000$ cm^2/kg ($\rho=2.50$) |
|---|--|---|
| $1\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ " (38~19mm) | 1.8 | 0.2 |
| $\frac{3}{4} \sim \frac{3}{8}$ " (19~9.5mm) | 3.3 | 0.3 |
| $\frac{3}{8}$ " ~No. 4 (9.5~4.8mm) | 6.1 | 0.6 |
| No. 4~No. 8 (4.8~2.4mm) | 11.2 | 1.1 |
| No. 8~No. 16 (2.4~1.2mm) | 20.8 | 2.1 |
| No. 16~No. 30 (1.2~0.6mm) | 38.6 | 3.9 |
| No. 30~No. 50 (0.6~0.3mm) | 71.0 | 7.1 |
| No. 50~No. 100 (0.3~0.15mm) | 133.0 | 13.3 |
| No. 100~No. 200 (0.15~0.074mm) | 246.0 | 25.0 |
| No. 200 以下 (0.074mm 以下) | 3,250.0 | 325.0 |

これらの比表面積の値は Edward 氏のそれに比較し 22% 増しで、碎石、砂利、砂および篩屑等の骨材類の種別には無関係であると結論した。

I. セメントコンクリート、アスファルト混合物の 内容の基本的考え方

セメントコンクリートの混合水、アスファルト混合物のアスファルトはともに骨材、セメントおよび石粉等の材料の周りに附着して被膜となり、ここにそれぞれの混合物を造る。しかしと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用水を多量に用いると軟かい混合物が出来、また反対に少量を加えると硬練りのコンクリートが出来るが、強度の差こそあれともに最後はかた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するわけに行かない。ともにこれらは実際には用に立たない。著者はこの適量のアスファルトに着目し、米國の道路局、アスファルト協會および著者の過去において成績の優秀なアスファルト混合物をとりあげ、以下に示す 14 種の代表的混合物を決定した、表-2 はこれを示す。

表-2. アスファルト混合物の代表的配合割合

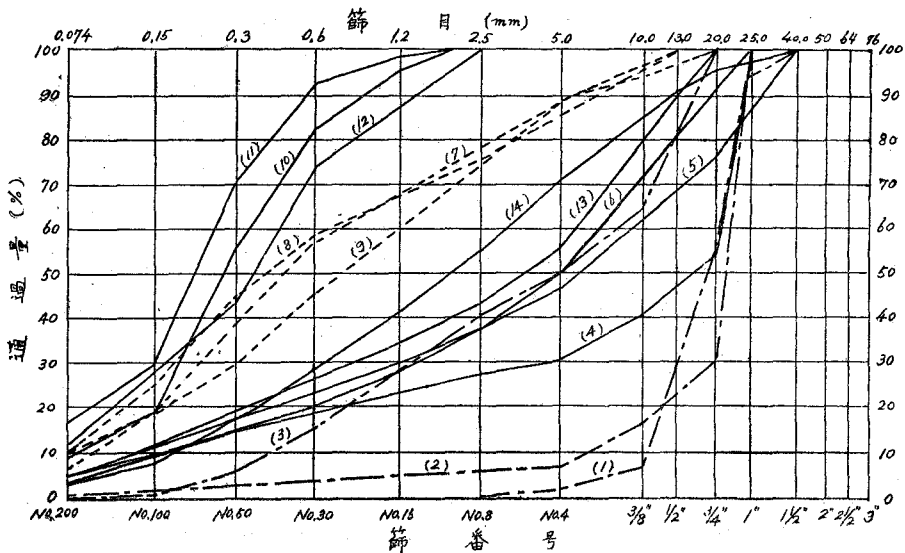
| 篩 目 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) | (14) |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| $1\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ " | 42 | 70 | 0 | 46 | 24 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| $\frac{3}{4} \sim \frac{3}{8}$ " | 51 | 14 | 37 | 13 | 14 | 20 | 4 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 20 | 10 |
| $\frac{3}{8}$ " ~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 % | 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 |

- (1) 混合式マカダム (RC)
 - (2) マカダム型アスファルトコンクリート (AC)
 - (3) 粗配合アスファルトコンクリート (AC)
 - (4) 密配合アスファルトコンクリート (AC)
 - (5) 密配合アスファルトコンクリート (AC)
 - (6) 密配合アスファルトコンクリート (RC, MC)
 - (7) トベカ (AC)
 - (8) トベカ (AC)
 - (9) トベカ (AC)
 - (10) シートアスファルト (AC)
 - (11) シートアスファルト (AC)
 - (12) シートアスファルト (AC)
 - (13) 密配合アスファルトコンクリート (RC, MC)
 - (14) 密配合アスファルトコンクリート (エマルジョン)
- (註) ○印はこの研究の資料としたもの

表-2 を圖-2 に示した。

アスファルト混合物の骨材篩分図



第 2 圖

以上のうち、今研究している問題の資料としては (1), (2) および (3) は間隙率の多い爲に、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異なる材料すなわちカットバックおよび乳劑を使用したものであるからこれは除いて考えた。すなわち、番號の右肩に○印のあるものだけを採り上げて検討することにした。

これら 8 つの混合物ではいずれも骨材の有する間隙は石粉及びアスファルトセメントによつて充分填充され、最後に残る間隙率は 5% 以下である。いま、以上の間隙の少い混合物のアスファルト量は骨材、石粉の周りにそれぞれの厚さで附着した被膜の總量と考えると、ここに次のような 2 つの考え方が産まれる。すなわち、

- (1) アスファルト被膜は均一の厚さである。
- (2) アスファルト被膜の厚さは骨材の粒徑のいかんによつて變化する。

まず第一に著者は (1) の考え方で研究し、

- (a) アスファルトコンクリート 3.78 μ (平均被膜厚)
- (b) トベカ 3.25 μ (")
- (c) シートアスファルト 2.67 μ (")

として發表した事がある⁽²⁾。

そのとき研究發表の席上に居られた故牧彦七博士に興味ある研究であるから續けてこの被膜の厚さを研究するよつと勵まされ、その後研究の結果第二の問題に移つた。すなわち、もし被膜の厚さが骨材等の粒徑の大きさ換言すればその比表面積によつて變化すると、

$$p_1 A_{01} x_1 + p_2 A_{02} x_2 + \dots + p_n A_{0n} x_n = P \dots\dots\dots(4)$$

なる基本式において、いかなる種類のアスファルト混合物もこれを満足しなければならない。式中 p は骨材を篩い分けしたときのその篩間の骨材の百分率、 A_0 はその篩間の比表面積、又 x はアスファルトセメントの被膜の厚さである。

先に採り上げた 8 個の代表的混合物の平均配合割合の値を (4) に代入し、最小自乗法によつて x すなわち被膜厚さ (表-3 では $t\mu$) を計算出来るわけで早稻田大學の西垣博士の御好意により目下計算中である。表-3 の値は試算で求めたものである。

表-3 比表面積と被膜の厚さ

| 篩 目 | 比表面積 A_0 cm ² /g ($\rho=2.50$) | 比面率 a $a_0=10,000$ cm ² /kg ($\rho=2.50$) | 被膜厚サ $t\mu$ |
|-----------------------------------|--|---|-------------|
| 1 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{3}{4}$ " | 1.8 | 0.2 | 175 |
| $\frac{3}{4}$ ~ $\frac{3}{8}$ " | 3.3 | 0.3 | 130 |
| $\frac{3}{8}$ ~No. 4 | 6.1 | 0.6 | 80 |
| No. 4~No. 8 | 11.2 | 1.1 | 52 |

(2) 太田誠一郎 第 6 回土木學會年次大會 東京大學 昭和 25 年 5 月

| | | | |
|-----------------|---------|-------|-----|
| No. 8~No. 16 | 20.8 | 2.1 | 32 |
| No. 16~No. 30 | 38.6 | 3.9 | 19 |
| No. 30~No. 50 | 71.0 | 7.1 | 13 |
| No. 50~No. 100 | 133.0 | 13.3 | 8 |
| No. 100~No. 200 | 246.0 | 25.0 | 5 |
| No. 200 以下 | 3,250.0 | 325.0 | 0.7 |

次に表-3 の被膜厚さ $t(\mu)$ すなわち $x(\text{cm})$ と $A_0(\text{cm}^2/\text{g})$ との関係を $A_0 x = c$ なる形と考へ、10 組の数字を代入して最小自乗法で解けば、

$$n = \frac{3}{4}, \quad c = 0.03$$

A_0 の代りに比面率 a , また x の代りに $t(\mu)$ を用いて圖-3 を作製した。

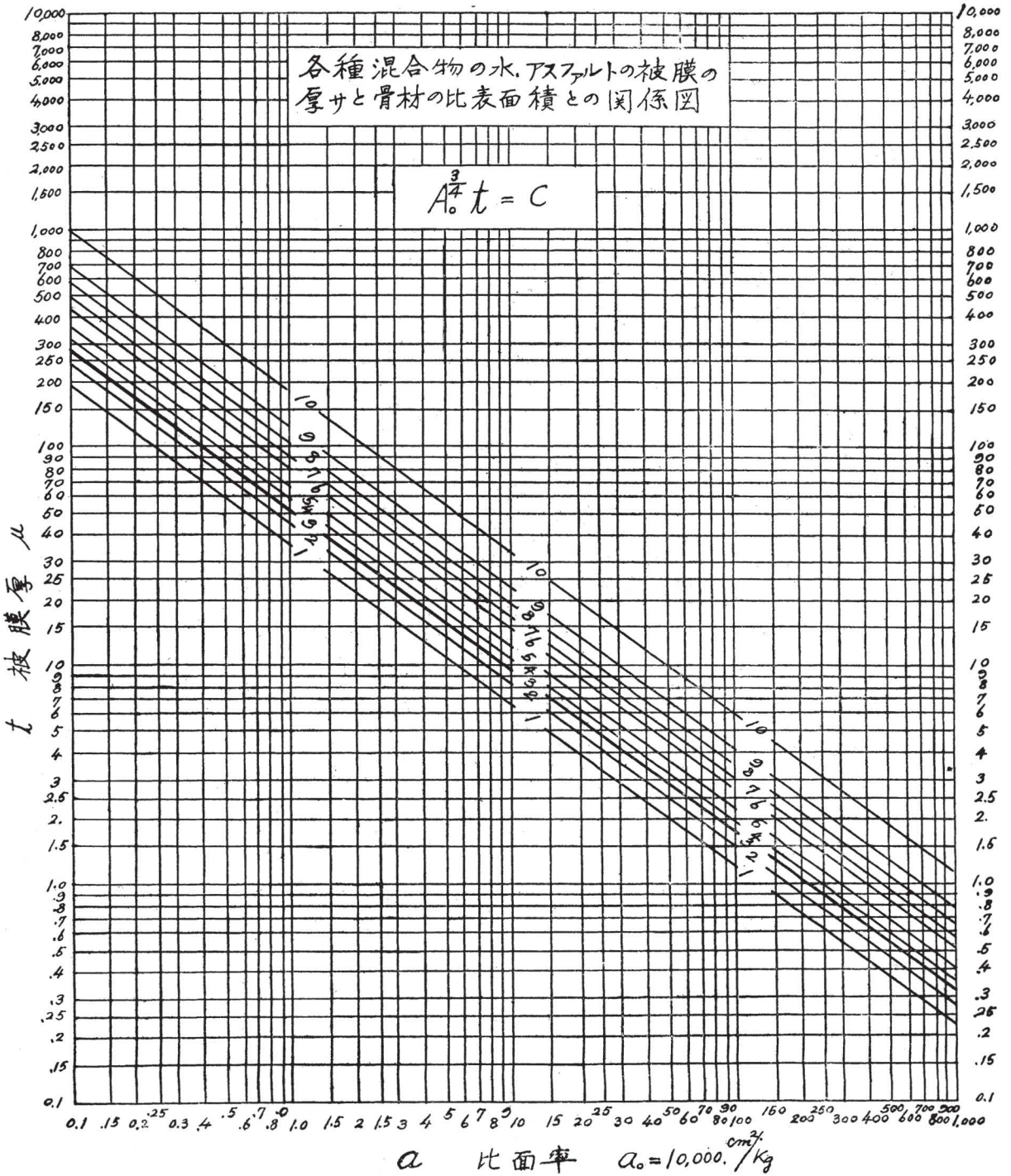
この場合は圖中の No. 3 の線となる。

この $A_0 x = 0.03$ なる No. 3 の式は、以上 8 個の混合物の結論として歸納的に到達した理想的の線であるが、實際問題として工事現場では、この線の上下に一本ずつの上限、下限の線で囲まれだある巾を持つたものすなわち $C = 0.03 \pm e$ なる式で示された混合物でも成功するはずである。

また $A_0 x = 0.03$ で示される混合物は三軸安定度試験器 (triaxial stability tester) あるいはハバード氏安定度試験器 (Hubbard stability testing apparatus) 等で今一度その混合物を試験して再検討すべきであつて、場合によつては多少の修正が加えられることも考えられるが、その修正がもしあつてもきわめて微々たるものであり、基本的考へには豪も變りがない。すなわちその基本的考へとは粒径の大なるものにはアスファルト被膜は厚くつき、反対に粒径の小なるものには薄い被膜であると云う事である。なおここで注意することは間隙を埋める多少のアスファルト量または水量はすべて被膜として取扱われることであつて、しかもこの研究ではあくまでも混合物に限定され、個々の骨材の周りの被膜の厚さの問題はまた別であると云うことである。

この問題で除かれた混合物のうちマカダム式、粗配合アスファルトコンクリート等においては上限の線はなお一層遠ざかり、 $C = 0.03 + e_1$, $C = 0.03 - e_2$ のとき $e_1 > e_2$ なる関係となることは當然うなずかれる。

要するに、將來安定度試験の結果および現場でのその鋪装の成績結果等によつて、No. 3 の線は今一度再検討を必要とするが、著者としてはセメントコンクリートの内容の検討すなわちその混合物の軟度試験によつてある線であらわされた種々の混合物の軟さはみな同じであると云う點には自身が持てる。



第 3 圖

II. セメントコンクリートの水被膜厚さと現場軟度

アスファルト混合物のアスファルトの代りに水で置き換えると、No. 1 から No. 10 の No. 3 の線に平行する C の値の違つた線が引かれる。この番號の數の大なるもの程軟いコンクリートで普通の場合には No. 3 から No. 8 間に納まる。しかしてそのコンクリートの骨材の内容にいかなる粒徑またはいかなる粒度でも同一の番號のしかもセメントに對する骨材の割合が同じでも同じでなくともそれに関係なくそれらのコンクリートはみな同じ軟度の混合物である。したがつてこの研究はこれを應用することにより種々の配合割合のコンクリートを練り、強度その他の性質を檢討してコンクリートの用途、目的に應じ最も良い骨材の粒徑、配合割合を定めるのに役立つものがあると思う。

いま、その實例を擧げて説明したい。

例、

材料：豆碎石（仙台三瀧安山岩，No. 8 以上）

空隙率 $\epsilon=49\%$ （壓縮のとき），比重 $\rho=2.53$

砂（名取川砂，No. 16 以下）

$\epsilon=38\%$ （壓縮のとき）， $\rho=2.63$

セメント（常陸セメント）

$\epsilon=55\%$ （壓縮のとき）， $\rho=3.10$

以上の材料を用い、セメント、骨材の比を 1 : 6.15 とした同じ軟度のコンクリートについて検討して見る爲 No. 5 の線で被膜厚を考えることとする。

(1) 従來の考え方すなわち粗骨材と細骨材の比を $\frac{G}{S}=1.7$ とし、配合割合を 1 : 6.15 のコンクリートとすれば、

| | | | |
|------|------|------|--------|
| 碎石 | 54 % | 3.86 |) 6.15 |
| 砂 | 32 | 2.29 | |
| セメント | 14 | 1.00 |) 1.00 |
| | 100 | | |

(a) 碎石の篩分その他の値は、

| 篩 目 | p | $a_{2.53}$ | $\frac{t_{25}}{t_0}$ | pat |
|-------------------------|-------------------------|------------|----------------------|-------|
| $\frac{3}{8}$ " ~ No. 4 | $44 \times 0.54 = 23.8$ | 0.59 | 100 | 1,450 |
| No. 4 ~ No. 8 | $53 \times 0.54 = 28.6$ | 1.09 | 62 | 1,935 |
| No. 8 ~ No. 16 | $3 \times 0.54 = 1.6$ | 2.08 | 38 | 126 |
| | 100 | 54.0 | | 1,511 |

(b) 砂の篩分その他

| 篩 目 | p | $a_{2,63}$ | t_5^p | pat |
|-----------------|---------------------------|------------|---------|-------|
| No. 8~No. 16 | $2.0 \times 0.32 = 0.6$ | 2.0 | 40 | 48 |
| No. 16~No. 30 | $14.8 \times 0.32 = 4.7$ | 3.7 | 25 | 435 |
| No. 30~No. 50 | $46.0 \times 0.32 = 14.5$ | 6.75 | 16.5 | 1,645 |
| No. 50~No. 100 | $32.0 \times 0.32 = 10.2$ | 12.65 | 11.0 | 1,420 |
| No. 100~No. 200 | $5.0 \times 0.32 = 1.6$ | 23.8 | 6.3 | 239 |
| No. 200 以下 | $0.2 \times 0.32 = 0.06$ | 308.0 | 0.95 | 18 |
| | 100 | | | 3,805 |

(c) セメント

| p | $a_{3,10}$ | t_5^p | pat |
|-----|------------|-----------------------|--------|
| 14 | 246 | 1.20 | 4,130 |
| | | $\Sigma \text{pat} =$ | 11,446 |

故に混合用水は

$$\frac{\Sigma \text{pat} \times a_o}{1,000 \times 10 \times 1,000} = \frac{11,446 \times 10,000}{1,000 \times 10 \times 1,000} = 11.45 \text{ l/100kg}$$

したがつて、水セメント比, $w/c = \frac{11.45}{14} = 81.7\%$

また、著者の創案の

$$\text{軟度表示水セメント比 } w_o/c = \frac{4.130}{14} = 29.5\%$$

すなわち、コンクリートの軟度を表わす、たとえばフローとこの $\frac{w_o}{c} = 29.5\%$ のセメントペーストのフローとは等しく同一の軟度を示す。したがつて従来使用される水セメント比は同じ配合割合でもその粒径、粒度によつてその軟度は變化し、たゞ單に大体の目安としかならない。

(2) 著者の試作せる主として鋪装用のセメントコンクリートの配合割合。

著者は Bolomey または Füller で示す骨材の粒度曲時は再検討すべきものであると考え、所謂著者の名付けた“飛び上り粒度曲線”すなわちその曲線は途中において一段または數段の平坦な階段をなすものが良いとして、粗骨材、細骨材を篩い分けしてその結果から、たとえば粗骨材は No. 8 (2.5mm) 以下の分は取り去り、一方細骨材 (砂) は No. 8 を通過せる分のみを採用すれば、この兩骨材を混じたものは、No. 8~No. 16 間の粒径は皆無であつて粒度曲線はこの部分で平らとなり階段をつくる。

以上のごとき粒度曲線に合致するように骨材を用意し、一方それらの骨材の有する (壓縮したときの) 間隙率を測定し、これを考慮して次の配合割合のものを試作した。

| | | |
|--------------------------|----------------------|---|
| 碎石 ($\epsilon=0.49\%$) | 100 | |
| 砂 ($\epsilon=0.38$) | $49 \times 0.9 = 44$ | (碎石の ϵ の 10% 減) 100 |
| セメント | 23 | $38 \times 1.4 = 53$ |
| | 167 | (砂の ϵ の 1.3~1.5 倍 平均 1.4 倍) |

したがつてこのコンクリートの配合割合は、

| | | | | |
|------|-----|------|--------|---|
| 碎石 | 60 | 4.30 |) 6.15 | $\frac{G}{S} = \frac{4.30}{1.85} = 2.3$ |
| 砂 | 26 | 1.85 | | |
| セメント | 14 | 1.00 | | |
| | 100 | | | |

以上のコンクリートを (1) のものと同じ軟度のもに練り合わす爲に t_0 の被膜厚として、

$$\begin{aligned} \text{碎石} \quad \text{pat} &= \frac{3511 \times 60}{54} = 3,900 \\ \text{砂} \quad \text{pat} &= \frac{3805 \times 26}{32} = 3,090 \\ \text{セメント} \quad \text{pat} &= 4,130 \\ \hline \Sigma \text{pat} &= 11,120 \end{aligned}$$

故に混合用水は 100^{kg} につき 11.12^{l} となり、

$$w/c = \frac{11.12}{14} = 79.5\% \quad (\text{前混合物と } w/c \text{ が違つても同じ軟度})$$

$$w_0/c = 29.5\% \quad (\text{前混合物と同じ軟度})$$

以上は骨材の吸水率を無視し、材料は氣乾のものを使用した計算である。これに吸水率を考慮すれば一層正確な混合物が得られ、また現場で水を含み表面水のある骨材のときはこの表面水を測定して混合に要する水量が計算出来る。

以上 2 種の配合割合のコンクリート供試体をつくり、その壓縮強度を試験した結果は、

| | | |
|-----|-------------------------------------|--|
| (1) | 90.4 ^{kg} /cm ² | } 5 ^{cm} ϕ × 10 ^{cm} 高さ |
| (2) | 97.4 " | |

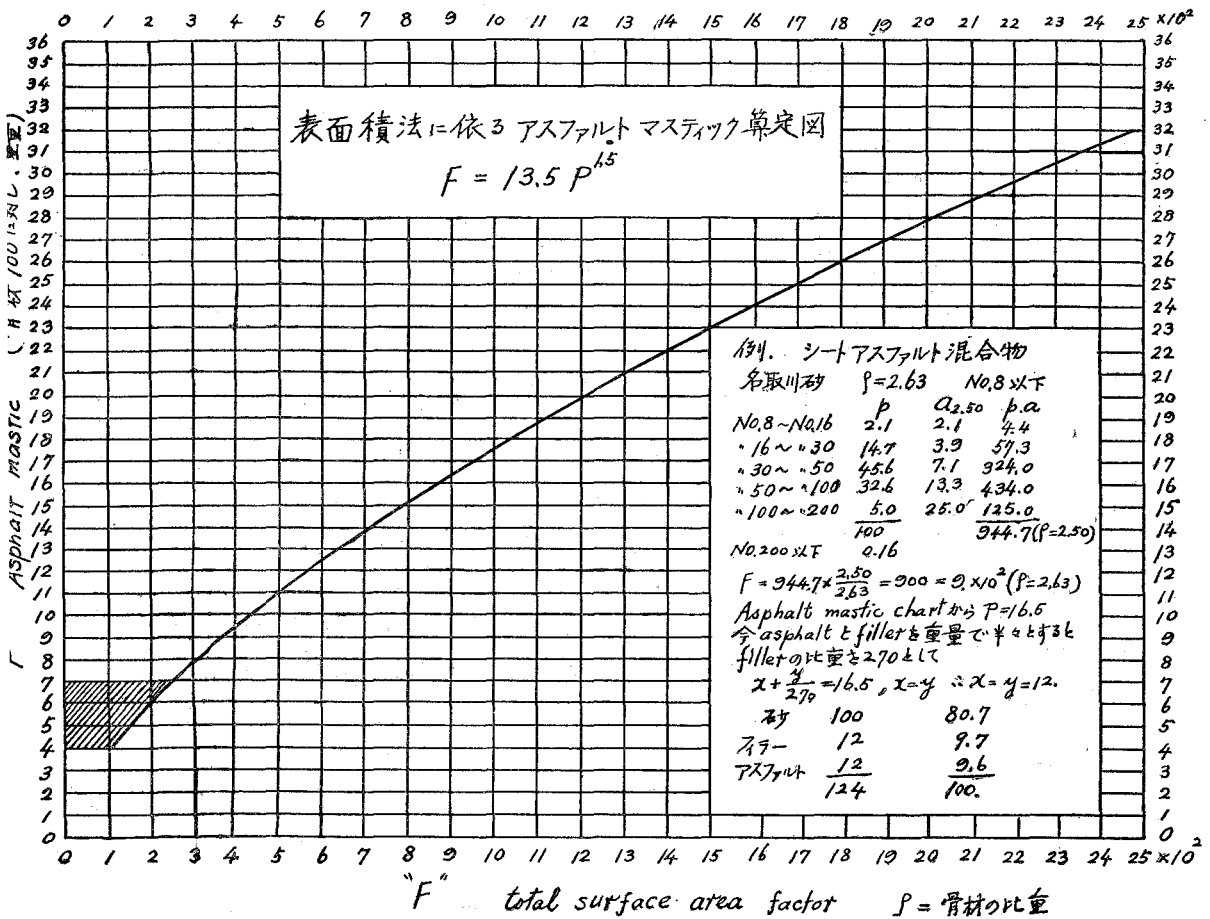
すなわち、(2) と (1) を比較して 1.08 倍、約 1 割の強度の増加である。

なお、この外にコンクリートの龜裂の試験、磨耗の程度等につき検討して行けば興味ある研究が出來、さらに AE コンクリート、土壤等の問題にこの線を延ばして行くなどその應用範圍がきわめて廣いものがあると思う。

III. アスファルト混合物の實用的一考案

前述のごとく、No. 200 を通過した填充材の比表面積は約 $3,000\text{cm}^2/\text{g}$ でその表面積の値が他の骨材のそれと比較して問題にならない程大である。したがつてその填充材の混入量または篩い分けの際の少しの誤差もその表面積に影響すること甚大である。

ここにおいて、著者はアスファルトセメントに填充材を混じたアスファルトマスティックを考え、このアスファルトマスティックの被膜の厚さをなわちその必要量からアスファルトの量を決定する方法について研究を進めた。この事はまた實用的にもきわめて便利であるからである。



第 4 圖

著者は別の研究問題として（未発表）アスファルトの性質におよぼす填充材の影響と云う問題から結論として、

- | | | |
|--|---|----------|
| (1) シートアスファルト, 填充材の量アスファルトの重量に対する百分率 q | | 100~130% |
| (2) トペカ | " | 50~70% |
| (3) 密配合式アスファルトコンクリート | " | 10~30% |
| (4) マカダム式アスファルトコンクリート | " | 0~5% |

と云う線を出した。

この研究の結果から、アスファルトマステイツクの量が決定されると、ついでアスファルトおよび填充材の量が計算出来る。

以上述べた研究の結果、アスファルトマステイツクの量を見出す 圖-4 を作製した。その使用法の例は圖中に示してある。

IV. 結 論

以上の研究の結果結論として、

(1) すべての混合物において、骨材、石粉およびセメント等の比表面積の大小により、その周りの水およびアスファルトの被膜の厚さが異なる。

(2) 骨材の比表面積と被膜の厚さとの関係から、混合物の配合割合等の理論的研究が出来る。

(3) 実用的にはアスファルト混合物のアスファルトマステイツク量を算出して、次にスファルト量を決定した方が正確かつ便利である。

(4) 水セメント比 ($\%$) は厳格な意味からはそのコンクリートの軟度の指針とはならない。すなわちセメントのみの水被膜量の $\%$ がそのコンクリートの軟度を正確に示す。

なお、以上の研究の外に表面積法の應用として、

(1) コンクリートのセメントペーストの濃度および被膜厚さと強度その他の性質の関係。

(2) 土壌の研究たとえば最適含水量と水被膜厚との関係。

等、混合体に關する限りこの表面積法によつて研究が出来るものと確信し、將來その方面の研究に進むと同時に、さらに種々の方法によつてこの研究の根本問題たる填充材、セメントおよび骨材等の比表面積を測定の上検討し、その値を再確認したい考えである。

この研究の費用の一部は文部省科學研究費によつたものである。

(昭和 26 年 11 月 8 日受付)