



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



骨材の比表面積によるコンクリートの配合設計

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-05-27 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/10258/3155

骨材の比表面積によるコンクリートの配合設計

太田 誠一郎

Design of concrete mix proportioning by specific surface areas of aggregates

Seiichiro Ohta

Abstract

In recent years we have had various methods introduced for the design of concrete mix proportioning, and nowadays Dr. T. Yoshida's methods is used most extensively.

The present author has designed concrete mix proportioning by specific surface areas of aggregates; he would like to illustrate his own, comparing with Dr. Yoshida's.

概 要

従来、セメントコンクリートの配合設計にはいろいろの方法はあるが、最近では吉田徳次郎博士のものが多く使用される。著者は骨材の比表面積によるものを考え、吉田法と比較して例をあげて検討したい。

骨材の比表面積とはその骨材の表面積をその重量でわった値すなわち、 cm^2/g の値である。著者はステアリン酸による骨材の比表面積の測定法²⁾、Carmanの透水法、Blaineの空気浸透法によって実測してその結果下記のような値を与えた。(表—1)

表—1

ふるい (mm)	A_0 (比表面積) (cm^2/g , $\rho = 2.50$)	a (比面率, $A_0 = aa_0$, $a_0 = 10000 \text{ cm}^2/\text{kg}$)
40~20	1.8	0.2
20~10	3.3	0.3
10~5	6.1	0.6
5~2.5	11.2	1.1
2.5~1.2	20.8	2.1
1.2~0.6	38.6	3.9
0.6~0.3	71.0	7.1
0.3~0.15	133.0	13.3
0.15~0.075	246.0	25.0

表 2

($\rho = 2.65$)

ふるい (mm)	A' (Singh)*	A'' (Loudon)**	A_0 (Ohta)	Singh /Ohta	Loudon /Ohta
19.1~9.52 (20~10)	2	2	3	0.7	0.7
9.52~4.76 (10~5)	4	4	6	0.7	0.7
4.76~2.41 (5~2.5)	8	8	11	0.7	0.7
2.41~1.2 (2.5~1.2)	16	16	20	0.8	0.8
1.2~0.6	35	33	36	1.0	0.9
0.6~0.3	65	69	70	0.9	0.9
0.3~0.15	128	131	127	1.0	2.0
0.15~0.075	260	263	236	1.1	1.1

* 透水法と骨材の粒径の大きい上3つの値は推定による。

** No. 100~200 (0.15~0.075 mm) の球形の砂の比表面積を $210 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($\rho=2.65$) とし、これを基準としてこれに砂の角張り係数平均 $f=1.25$ (1.1~1.4) をかけこの値を 2, 4, 8……すなわち 2^n ($n=1, 2, 3, \dots$) でわって求めたもの。

著者の値は Edwards のそれと比較して約 22% 大で、京都大学の松尾新一郎博士²⁾ の砂の比表面積の実測値と比べてよく合う。また、Dr. B. G. Singh³⁾、および A. G. Loudon⁴⁾ の値と比較して大粒のものは表のように相当の差があるが径 1.2 mm 以下では大体よく合っている。大粒の Singh の値は推定値で実測値でないのに反し著者の値はステアリン酸法等による実測値で、より正確であると思う。

比表面積 A_0 または比面率 $a^{(1)}$ (著者の名付けたもの) とコンクリートの混合水の被膜 $t(u)$ との関係は著者の研究では $A_0^{3/4} \cdot t = C$ となり、図—1 にこれを示した。式中、 C はある係数。

これを簡単に説明すると骨材の粒の大きいものほどそのまわりの水被膜の厚さがあつてということであつて、これが著者の比表面積法でステアリン酸による骨材の表面積測定法¹⁾ とともに著者の独創的のものと考えている。

次に、コンクリートの consistency は普通 slump によって示すが、著者の経験ではこのスランプは測定ごとに多少の変化があり一定でないから、相当多くの実験の結果、図—2 のような水被膜記号 (t) とスランプとの関係図をつくった。この関係はセメント骨材比 (1:A) の如何によって多少違う。図中の t_3 とは図—1 の No. 3 の線 (基準線) のときの水被膜の記号である。

次に、例題によってその設計法を吉田徳次郎法と比較して説明することとする。

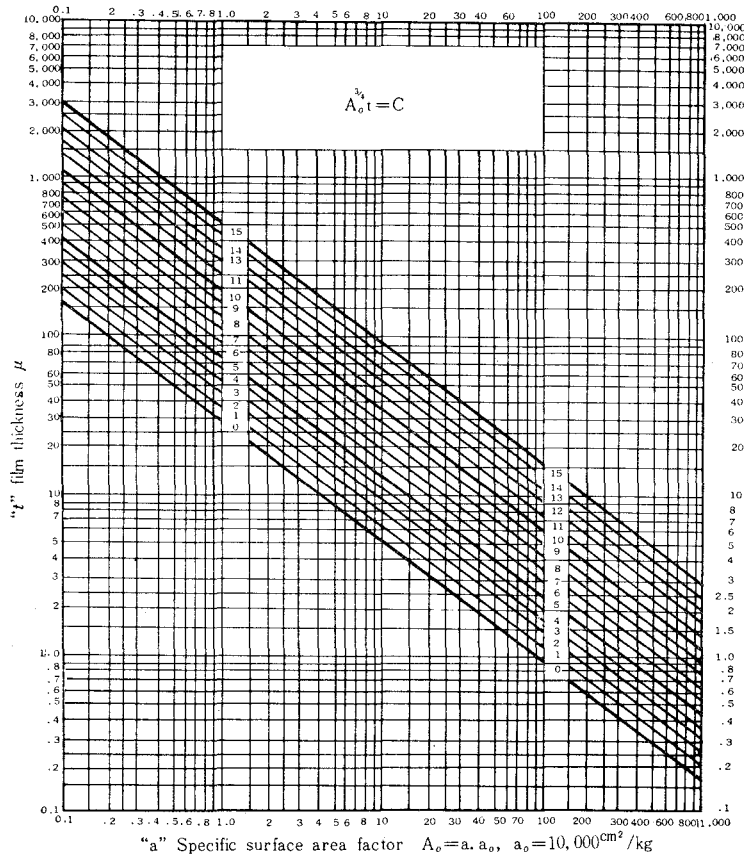
(1) スランプ $S=7 \text{ cm}$ 、1 週強度 $\sigma_7=80 \text{ kg/cm}^2$ 、15% の余ゆうを見て、 $80 \times 1.15=92 \text{ kg/cm}^2$ のコンクリートの配合の設計

ただし、このときの材料は、

セメント (浅野ポルトランドセメント、比重 $\rho=3.13$ 、比表面積 $A_0=3070 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、ブレン法にて実測)

砂 (北海道、幌別川、 $\rho=2.66$ 、 $FM=2.82$)

Relationship between film thickness and specific surface area of aggregate in various mixtures



図一

砂 利 (北海道, 鶴川, $\rho=2.75$, $FM=6.15$)

砂, 砂利のふるひ分けは,

砂 利 ($\rho=2.75$)

ふるい (mm)	p (%)	a 2.75	pa
20~10	21	0.3	6
10~5	73	0.6	44
5~2.5	$\frac{6}{100}$	1.0	$\frac{6}{50}$

砂 ($\rho=2.66$)

ふるい (mm)	p (%)	a 2.66	pa
5~2.5	3	1.0	3
2.5~1.2	20	2.0	40

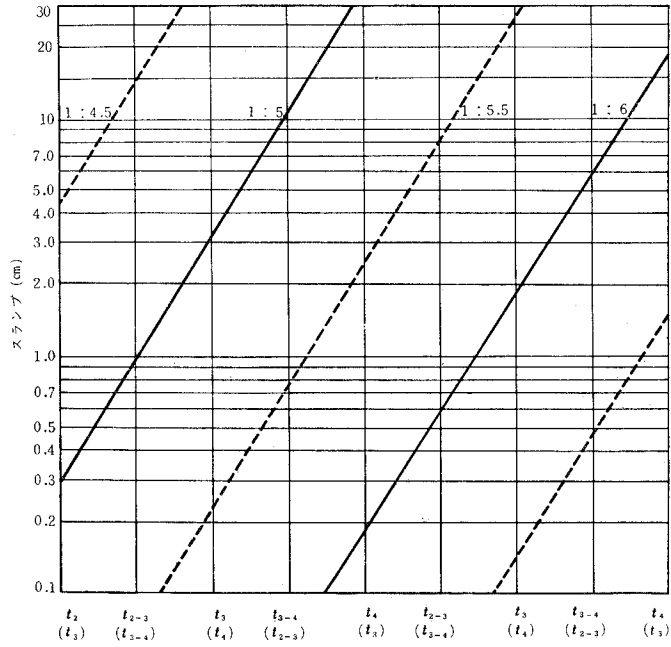


図 - 2 (A)

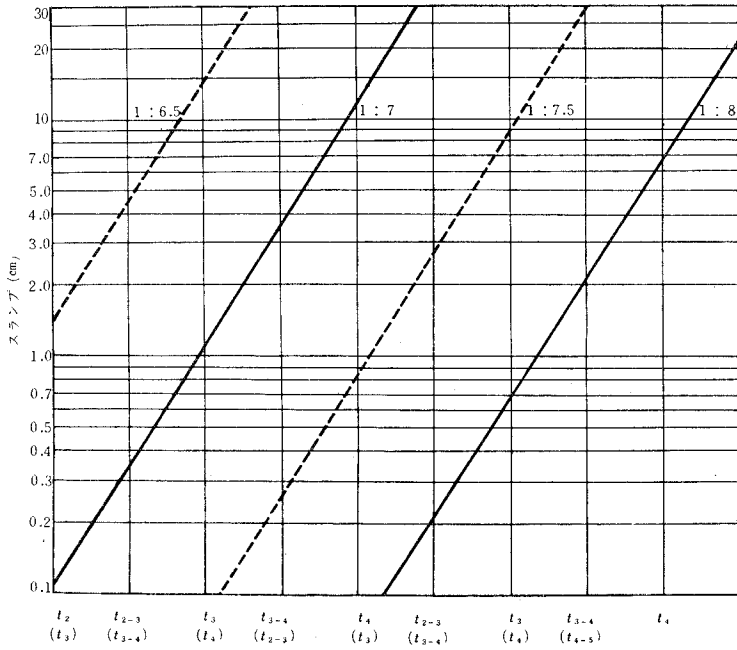


図 - 2 (B)

1.2~0.6	39	3.7	144
0.6~0.3	33	6.7	221
0.3~0.15	4	12.5	50
0.15~0.075	$\frac{1}{100}$	23.5	$\frac{24}{282}$

a の値は $\rho=2.50$ の基準のものからその材料の比重によって換算したもののすなわち、 $a_{2.66} = a_{2.50} \times \frac{2.50}{2.66}$

(A) 吉田徳次郎法 (コンクリートパンフレット No.7, 国分正胤著, 日本セメント技術協会, 昭和25年)⁵⁾

工事上期日の余ゆうがなく Lyse curve を画くための実験を省略したいときは, 土木学会の

式 $\sigma_{28} = -211 + 214 \frac{c}{w}$ ($S=7.5$ cm のとき) かその他の式のポルトランドセメント使用の

$$\sigma_{28} = -165 + 200 \frac{c}{w} \quad \text{舗装用}$$

$$\sigma_{28} = -78 + 191 \frac{c}{w} \quad \text{日本セメント技術協会}$$

$$\sigma_{28} = -105 + 199 \frac{c}{w} \quad \text{市販セメント}$$

等があるがスランプ等不明である。舗装用は $S=2.5$ cm, その他のものは 7 cm 位かと思う。

いま, 1週強度と4週強度との比 σ_{28}/σ_7 はセメントの種類その他で違うが, 大体 1.4~2.0 であるから, いま, これを 1.6 とすると, (このほかに計算式もある)

$$\sigma_7 = \frac{\sigma_{28}}{1.6} = -\frac{211}{1.6} + \frac{214}{1.6} \cdot \frac{c}{w}, \quad \sigma_7 = -132 + 134 \frac{c}{w}, \quad 92 = -132 + 134 \frac{c}{w}$$

$$\therefore w/c = \frac{124}{224} = 58.9\% (\approx 59\%)$$

コンクリートパンフレット No. 7 の表—4 を用うる ($S=7.5$ cm, 砂の $FM=2.75$, $w/c=57\%$) 骨材の最大径 20 mm のときは

$$G/S = \frac{1}{2}(0.96 + 1.25) = 1.1$$

$$\text{水量 } w = \frac{1}{2}(199 + 182) = 190.5 \text{ } \ell/\text{m}^3$$

この場合は $S=7$ cm, $w/c=59\%$ であるから, G/S 等の修正は

$$G/S = 1.1 + 0.08 \times \frac{0.57 - 0.59}{0.05} = 1.07$$

$$0.3 \times \frac{7.5 - 7.0}{2.5} = 0.006$$

$$w = 190.5 - 190.5 \times 0.006 = 189 \text{ } \ell/\text{m}^3$$

$$G/S = 1.07 + 0.04 \times \frac{2.75 - 2.82}{0.1} = 1.04$$

また, 細粗骨材の比重からの修正は

$$G/S = 1.04 \times \frac{2.75}{2.66} = 1.07$$

この場合、実験のときのスランプ測定の正確さ等を考え、 $G/S=1.0$ とするが、構造物の種類等によって、 $G/S=1.1\sim 1.2$ としてよいと思う。

$$G/S=1.0, \text{ とすると } G=S=50\%, w/c=59\%, 0.59=\frac{189}{c},$$

$$\therefore c=\frac{189}{0.59}=320 \text{ kg/m}^3$$

セメントの絶対容積の V_c は、

$$V_c=\frac{320}{3.13}=102 \text{ l/m}^3$$

コンクリートの 1 m^3 の骨材の絶対容積の V_A は、

$$V_A=1000-102-189=709 \text{ l/m}^3$$

また、骨材の比重の ρ_A は

$$\rho_A=\frac{2.75+2.66}{2}=2.70$$

骨材の重量の W_A は

$$W_A=2.70 \times 709=1914 \text{ kg/m}^3$$

よって、砂、砂利の重量は

$$W_G=W_S=957 \text{ kg/m}^3$$

以上の計算から

セメント (kg)	320	14.3	2.43	
砂 (kg)	957	42.8	7.28	
砂 利 (kg)	957	$\frac{42.9}{10.00}$	$\frac{7.29}{17.0}$	(スランプコーン一杯)
w/c (%)	59			
水 量 (cc)			1434	

(B) 太田の比表面積法¹⁾

スランプ $S=7 \text{ cm}$, $\sigma_7=92 \text{ kg/cm}^2$, 前記の計算から、 $w/c=59\%$, また、砂利の $\sum pa=56$, 砂の $\sum pa=482$ であるから、

$$\text{故に, } F=0.5 \times 56 + 0.5 \times 482 = 28 + 241 = 266 \approx 2.7 \times 10^2$$

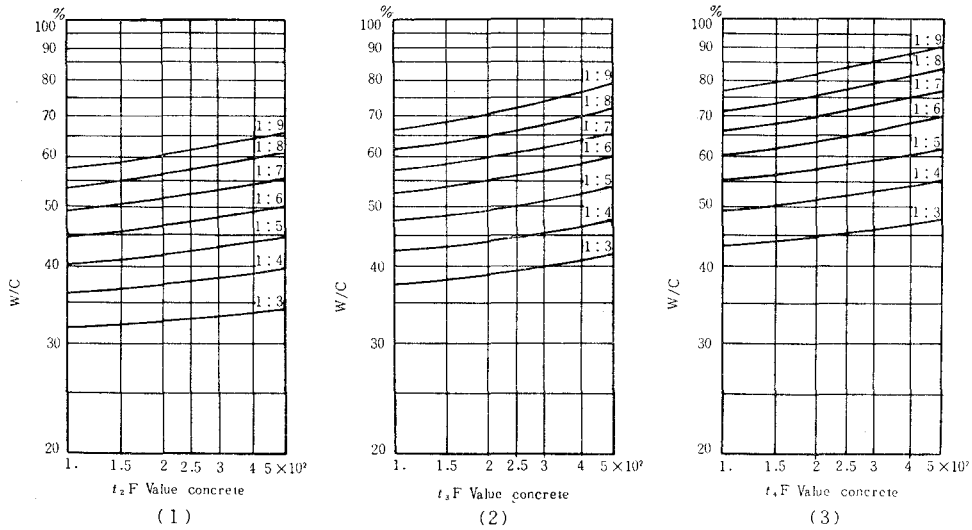
図—3 の水被膜記号の t_3 と t_4 から、

$$t_3 \dots \dots \dots 1 : 6.6$$

$$t_4 \dots \dots \dots 1 : 5.1$$

以上の内容は水被膜のうすい t_3 とするとセメント量は少ないが混和水量が少なくその強度は 92 kg/cm^2 を期待しうるが、スランプは 7 cm よりも小さいはずである。(図—2 参照)

また、 t_4 とこれよりも厚い水被膜すなわち、混和水量を多くすると、その強度を 92 kg/cm^2 とするためにはセメント量の多い $1:5.1$ となりスランプが 7 cm よりも大きいものであろう。この考えから、この中間のところでは $S=7 \text{ cm}$, $\sigma_7=92 \text{ kg/cm}^2$ の配合を考えると、いま、かりに



図一3

この配合を 1:6.5 とすると、図一2 から $S=7\text{ cm}$ は大体水被膜の t_{3-4} と t_4 との間で、また、1:5 とすると $S=7\text{ cm}$ で t_3 と t_{3-4} との間に相当する。従って、1:6.6 と 1:5.1 との間すなわち、まず 1:6 として試験して見ることにする。もし、試験の結果、不都合のときは 1:A すなわち、図一2 の斜線を右の方か左へ少しだけ移動して再検討する。このときの水被膜記号は上記の関係から、 t_{3-4} と推定できる。

1:A=1:6, $w/c=59\%$, $S=7\text{ cm}$, $G/S=1.0$, $G+S=6$, のコンクリートの旧式配合割合の表し方では、1:3:3 となるから、

セメント (kg)	$\frac{1}{1+6} \times 100 = 14.3$	2.43
砂 (〃)	$\frac{3}{1+6} \times 100 = 42.8$	7.28
砂 利 (〃)	$\frac{3}{1+6} \times 100 = \frac{42.9}{100.0}$	$\frac{7.29}{17.0}$
w/c (%)	59	
水 量 (cc)		1434

吉田(国分)法と太田法とを比較するとこのときは等しく、

	吉 田 法		太 田 法	
セメント (kg)	14.3	2.43	14.3	2.43
砂 (〃)	42.8	7.28	42.8	7.28
砂 利 (〃)	$\frac{42.9}{100}$	$\frac{7.29}{17.0}$	$\frac{42.9}{100}$	$\frac{7.29}{17.0}$
w/c (%)	59		59	
水 量 (cc)	1434		1434	

スランブ (cm)	7.0	7.2	(一回の測定)
σ_7 (kg/cm ²)	108.2	103.4	(3カルの平均)

(注) 圧縮機械の 20 ton の関係から、コンクリート型わくは $\phi 10 \times 20$ cm とした。以上両方ともスランブ $S \approx 7$ cm で 92 kg/cm² より大きい。

(2) コンクリートの材齢 7 日に於ける圧縮強度 $\sigma_7 = 160$ kg/cm², 20% の余ゆうを見て、
 $\sigma_7 = 160 \times 1.2 = 192$, kg/cm², スランブ $S = 3$ cm の舗装用コンクリートの配合の設計材料のセメント、砂および砂利は前記(1)と同様である。

道路舗装施工法 (山海堂発行) の p37 の表 2-3 を参考として、砂利の最大径 20 mm, $S = 2.5$ cm, $w/c = 55\%$, 砂の $FM = 2.75$ では $G/S = 1.33$ また $w = 168$ l/m³,

まず, Lyse curve を画くために次の 3 種の配合のコンクリートを考えた。このときの $G/S = 1.2$ と仮定した。(後述の G/S の修正値参照)

	I (1:5) (1:2.3:2.7)	II (1:6) (1:2.7:3.3)	III (1:7) (1:3.2:3.8)
セメント (kg)	17.7	14.3	12.5
砂 (ノ)	38.3	38.6	40.0
砂 利 (ノ)	$\frac{45.0}{100}$	$\frac{47.1}{100}$	$\frac{47.5}{100}$

$S = 3$ cm, のときの水量は $1:A = 1:5$ で t_3 の水被膜記号のときは図-2 からそのスランブは 3 cm であるから、図-1 と図-2 とを参考として $1:A$ の w/c を推定する。すなわち, $S = 3$ cm, $1:5, 1:6, 1:7$ の w/c は図-2 から大体後述の $F = 2.5 \times 10^2$ のときは%,

	w/c	
	t_3	t_4
1:5	50%	—
1:6	53%	65%
1:7	62%	72%

従って, $1:6$ のときは図-2 から

$$\frac{0.53 \times 8 + 0.65 \times 1.8}{8 + 1.8} = 0.55$$

$1:7$ のときは,

$$\frac{0.62 \times 8 + 0.72 \times 3.5}{8 + 3.5} = 0.65$$

以上の計算から, $1:5, 1:6, 1:7, S = 3$ cm のときの w/c は大体 50%, 55%, 65% であるからこれによって試験練りして検討し多少のところはその結果によって修正する。

	I (1:5) (1:2.3:2.7)	II (1:6) (1:2.7:3.3)	III (1:7) (1:3.2:3.8)
セメント (kg)	2.84	2.43	2.13

砂	(kg)	6.51	6.56	6.80
砂	利 (%)	7.65	8.01	8.07
水	量 (cc)	1457	1410	1400
w/c	(%)	51.30	58.02	65.73
c/w		1.95	1.72	1.52
スランプ	(cm)	3.0	3.1	2.9
σ_7	(kg/cm ²)	240.4	183.60	157.18

(注) 以上はスランプコーン一杯分の量でスランプは一回の試験、型わくはやはり $\phi 10 \times 20$ cm であって3個の平均である。

以上の実験の結果 $\sigma_7 = -135 + 190 \frac{c}{w}$ 式を得た。ただし Lyse curve を省く。

$$\sigma_7 = -135 + 190 \frac{c}{w} = 192 \text{ kg/cm}^2$$

これから、 $w/c = 58.1\%$ 、 $\frac{c}{w} = 1.72$

問題は $S = 3$ cm, 砂の $FM = 2.82$, 砂利の比重 $\rho = 2.75$, 砂の $\rho = 2.66$ であるから, G/S 等の修正は

$$w/c \text{ によるものは } \frac{0.58 - 0.55}{0.05} \times 0.07 \text{ (平均値)} = -0.042$$

$$G/S = 1.33 - 0.042 = 1.29$$

$$\text{砂の } FM \text{ によるものは } \frac{2.75 - 2.82}{0.1} \times 0.03 = -0.0021 \approx 0$$

$$\text{砂と砂利の比重差によるものは, } 1.29 \times \frac{2.75}{2.66} = 1.32$$

$$\text{スランプによる修正は } \frac{3.0 - 2.5}{1.0} \times \frac{1.2}{100} = \frac{0.6}{100}$$

$$w = 168 \times (1 + 0.006) = 169 \text{ g/m}^3$$

$$G/S \text{ はこの場合は } 1.2 \text{ とする。 } w/c = 0.581, \frac{169}{c} = 0.581 \quad \therefore c = 291 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{水, セメントの絶対容量の } V \text{ は, } V = \frac{291}{3.13 \times 100} + \frac{169}{1000} = 0.262$$

$$\text{骨材の絶対容積の } V_A \text{ は, } V_A = 1 - 0.262 = 0.738$$

$$\text{骨材の総合比重の } \rho_A \text{ は, } \rho_A = \frac{2.75 \times 1.2 + 2.66 \times 1}{2.2} = 2.72$$

$$\text{骨材の重量の } W_A \text{ は, } W_A = 2.72 \times 0.738 \approx 2007 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{砂の重量の } W_S \text{ は, } W_S = \frac{2007}{2.2} = 912.3 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{砂利の重量の } W_G \text{ は, } W_G = \frac{2007 \times 1.2}{2.2} = 1094.7 \text{ kg/m}^3$$

従って, コンクリート 1 m^3 の材料は

セメント (kg)	291.0	12.66	2.15
-----------	-------	-------	------

砂	(%)	912.3	39.70	6.75
砂	利 (%)	$\frac{1094.7}{2298.0}$	$\frac{47.64}{100}$	$\frac{8.10}{17.0}$
w/c	(%)		58.1	58.1

(B) 太田の比表面積法

前述のように、 $G/S = 1.2$, $w/c = 58.1\%$, $\sigma'_1 = 192 \text{ kg/cm}^2$

水被膜は大体 t_3 の付近と考えられるから、まず F の値の計算をする。

$$G/S = 1.2, G + S = 100, \quad \therefore S = \frac{100}{2.2} \approx 45\%, G \approx 55\%$$

$$F = 0.45 \times 482 + 0.55 \times 56 \approx 2.5 \times 10^2$$

図-3 から

$$t_3 \dots \dots \dots 1:6$$

1:A = 1:6, t_3 のときは図-2 からそのスランプが大体 2 cm となるから、今少し水量等をますず要がある。

$$t_4 \dots \dots \dots 1:5.5$$

この中間では、

$$\frac{6+5.5}{2} = 5.75$$

6 と 5.75 の中間すなわち、 t_3 と t_4 との $\frac{1}{4}$ のところ、 $\left(\frac{t_3+t_4}{2}\right)$ のところ)

$$\frac{6+5.75}{2} = 5.88 \approx 5.9$$

従って、いま、1:A = 1:5.9, $G/S = 1.2$ とすると 1:2.68:3.22 の配合で

セメント (kg)	14.5	2.47
砂 (%)	38.8	6.59
砂 利 (%)	$\frac{46.7}{100}$	$\frac{7.94}{17.0}$
w/c (%)	58.1	
水 量 (cc)		1435

以上両法を比較すると (太田法の 1:5.8 b は実験の結果から修正したもの)

	吉田法 (1:6.9)	太田法 (a) (1:5.9)	太田法 (b) (1:5.8)
セメント (kg)	2.15	2.47	2.50
砂 (%)	6.75	6.59	6.60
砂 利 (%)	8.10	7.94	7.90
w/c (%)	58.1	58.1	58.1
水 量 (cc)	1249	1435	1453
スランプ (cm)	0.3	1.3	2.8

σ_c	(kg/cm ²)	191.6	237.5	226.0
------------	-----------------------	-------	-------	-------

以上、考察すると、吉田法のもはこの場合はそのスランプがきわめて小さく、強度も小さいから、セメント量をますか、水量もまたますことが必要であろう。ただし、コンクリートのスランプ試験は相当不安定であると考えられるから、何かほかの適当な試験例えば硬練りには compacting factor test のようなそのコンクリートの正しいコンシステーンシーをもとめたい。太田法の (a) もまたスランプが小さい。しかし、(b) のものはそのスランプが約 3 cm であってその強度は $226.0 > 192.0 \text{ kg/cm}^2$ で設計の条件からまず満足できる。

すなわち、比表面積法ではコンクリートのどんな本にもあるその使用する砂利の最大径から、 G/S の大体の値がわかる。これとセメント骨材比の $1:A$ の A の値は前述のように比表面積法から算出ができるから、その内容で試験練りをやりその試験の結果から適正の設計ができ、吉田法と比較して割合に簡単であり、また、試験の結果修正を要するときも合理的にすすめられると思う。すなわち、スランプ値、強度の足りない前例 (a) のようなときは図-2 の斜線を左方へ少し動かして $1:A$ の A をへらしてやるとセメント量がますから同じ w/c でもそのスランプ値がますことになる。とにかく、最後は合理的に推定した配合によって試験練りをし実験によって最終的に決定するのであるから、推定値までの操作の比較的簡単な比表面積法が少しよいかと思う。

以上の材料の砂、砂利はすべて気乾のものを使用した。

この研究、実験には教室の田中功君 (室蘭短大機械科学生) の多大の御手伝いをうけた。ここに深く感謝の意を表するものである。

(昭和 36 年 4 月 27 日受理)

文 献

- 1) 太田誠一郎：土木学会論文集 61-(3-3) 1959
- 2) 松尾新一郎：セメント技術年報 (昭和 24 年)
- 3) B. G. Singh: Specific surface of aggregates applied to mix proportioning, Jour. of ACI, Feb. 1959
- 4) A. G. Loudon: A laboratory study of the permeability of sand, Geotechnique 3 (4), 165-185
- 5) 太田誠一郎, 江畑真佐留：土木技術, 新(比)表面積法によるコンクリートの配合設計法の一私案, 1959