



太田式表面積法によるセメント・モルタルおよびコンクリートの水，セメント比の検討

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/10258/3021

太田式表面積法によるセメント・モルタルおよび コンクリートの水、セメント比の検討

太 田 誠 一 郎

A Study on the Water-Cement Ratio of the Cement Mortar and Concrete by the Ôta's Surface Area Method

Seiichiro Ôta

Abstract

In this paper, the author explains that the accurate water-cement ratio of the concrete is simply obtained by the author's surface area method, assuming that the mean specific surface area of the ordinary portland cement is $2,460. \text{ cm}^2/\text{g}$.

ま え が き

一般に、セメント、モルタルおよびコンクリートの水、セメント重量比 (w/c) の値としては、普通慢然と 35% とか、55% とかに定めて、その材料の内容にはふれずに、ただそのもののウオーカビリチーと関連させ一定の値と考えている有様で、合理的方法とは云われない。例えば、コンクリート 1 m^3 當り 300 kg のセメント (約 1:2:4) の配合の中練り程度の水量として、その水、セメント比を何の疑いももたずに $w/c = 60\%$ にきめるという状態で、これになお、スランプテストをやつたり、また、骨材の吸水率とか、表面水とかを考えると、一層合理的な水量の決定のしかたであるとしている。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。しかし、實驗室で、モルタルやコンクリートの研究とか、また、現場でより一層合理的なウオーカビリチーの決定とかいう場合、特に試験練りを省略したいときには、ここに相當考えねばならぬ問題が介在するということは、最近、京都大學教授の近藤泰夫博士の米國の Concrete Manual の譯本に於ても説明されてるように、特にその細骨材の粒子の大小によつて、同じ稠度のコンクリートでも、その使用水量に相當の差があるということを知るのである。

この邊の問題にある程度の關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拂わない人が多いものと思う。

ここに於て著者は、日頃研究をしている、著者の表面積法 (Ohta's surface area method) を用いより一層適確な水量の決定という點に重きを置き、學生の卒業論文と關連させて検討を續け、同じ稠度のコンクリートでもその混合物の材料の總表面積の大なるものほど、多量の水を必要とするという合理的結論に達し、最後に、誰でも、砂、砂利等をふるい分けさえすれば相當正確な水量の決定ができる便利な圖表を作製して、現場でも簡便に使用ができるようにした。なおこの論文では一應舊來のコンクリートの配合比の線で研究をすすめることにした。

I セメントの比表面積

セメントもやはり、砂、砂利等と同様に、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、我國では、 1 cm^2 に 4,900 孔、すなわち、その目の大きさが 0.088 mm のふるいにかけて、殘渣量が 12% 以下であれば合格であると規定しているが、大抵のセメントはわずかに 3% 位のものが多く、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 當りの表面積、すなわち比表面積を測定して示す傾向となり、歐米ではすでにこの方法によっている。そして、その測定法としては、Wagner¹ 法、または Blaine² 法があり、我國でもかなり以前から、日本セメント會社の中條金兵衛氏³ の研究があつて、風簾法として發表し、その測定装置も製作、販賣の域に達している。

しかし、このセメントのような微細な粉体の表面積の測定ということは、なかなかの難事で特にこれを工學的、または現場向きの簡単な装置で精密値を得ようとすることは非常に困難であろう。これに關しては、京都大學の化學研究所の水渡英二博士、東北大學の大山教授も鋭意研究中であり、またその測定装置の考案もある。著者もまた、ステアリン酸單分子膜による測定法を研究している。

要するに、セメント粉末の比表面積の値は、ある既知の表面積の粉体と比較してその値を決めるのであつて、いきおい、その基材を何に選ぶか、また、その基材の表面積が正確なものであるかどうか等のいろいろの問題があり、その基材の種類およびその比表面積によつて、セメントの測定表面積に相當の差を生ずる。

Wagner 氏はセメントの比表面積の値として、 $1,700\sim 2,200\text{ cm}^2/\text{g}$ とし、また Blaine 氏はこれを $3,300\sim 3,900\text{ cm}^2/\text{g}$ であると發表して、その間にかなりの差がある。また一方、Wagner 法では、 $1,600\text{ cm}^2/\text{g}$ 以上の粉末度をもつセメントを合格とし、Blaine 法では $3,200\text{ cm}^2/\text{g}$

1 Wagner; A rapid method for determination of the specific surface area of portland cement; A. S. T. M. Proceedings, Part II. (1933)

2 Blaine; A simplified air permeability fineness apparatus, A. S. T. M. Bull. No. 123. Aug. (1943)

3 中條金兵衛; 日本ポルトランドセメント業技術會報告 第 23 號 (1936)

と規定している有様である。いま、これらの2つの値と、著者の 0.074 mm (No. 200) ふるい通過の石灰岩粉の平均比表面積値の $2,620 \text{ cm}^2/\text{g}$ ($\rho=3.10$ に換算) とにらみ合わせ、一應、普通のセメントの平均粉末度を $2,460 \text{ cm}^2/\text{g}$ としたが、この値は、将来に於て、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、製造会社製品別等によつて變化する値であることは當然のことである。すなわち、セメントの比表面積の値の如何によつて、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、この場合のような問題に於ては、セメントの正しい値は一應伏せて考えることとし、このような問題の根本的な考え方について重點的に検討のうえ充分批判のうえ、この方法を使用されることを望むものである。

さらに、著者の表面積法の論據の内容からほり下げてこれを検討してみると、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、この比表面積の違いからくる水量え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 $3,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ のセメントと $2,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ のセメントの2種のものをとりあげて、その水量を比較してみる。

第2圖の No. 5 線を用いて、その所要水量は各々、 $\frac{3,000 \times 1.2^4}{10 \times 1,000} = 0.36 \text{ cc/g}$, $\frac{2,000 \times 1.6^4}{10 \times 1,000} = 0.32 \text{ cc/g}$ 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に 12.0% の差しかないのである。

II 骨材の比表面積

著者は過去 3,4 年間の研究に於て、砂、砂利および碎石等の骨材の表面積測定を行ない、その結果、著者の與えた表面積はこの方面の權威者の米國 Edward⁴ 氏のそれに比較して、各ふるい間の粒子とも平均約 22% ほど大であるという結論に達した。すなわち、第1表の値がそれである。

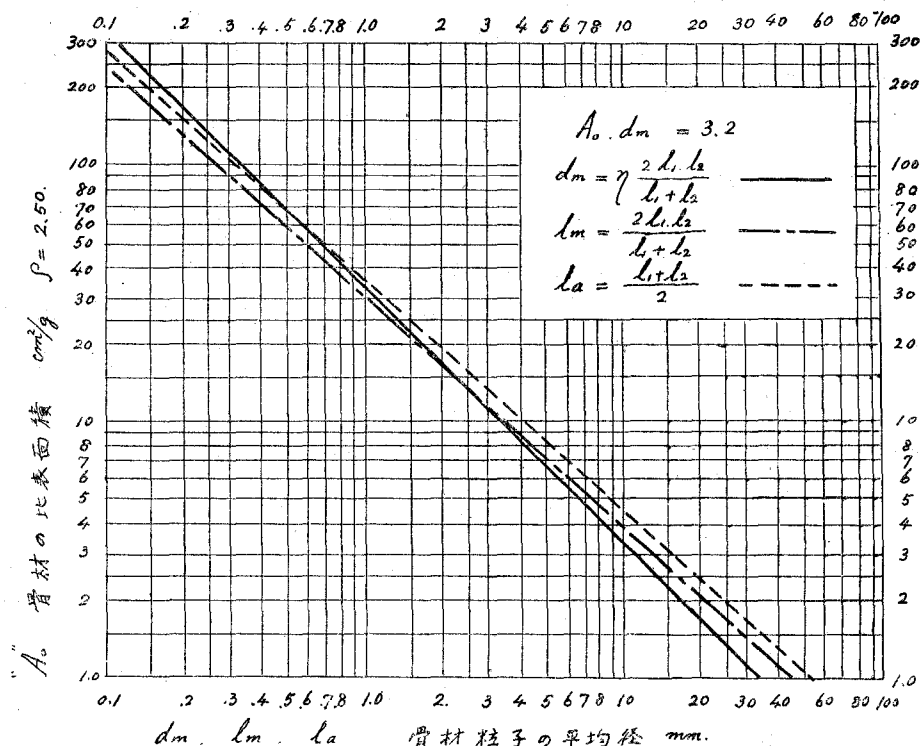
第1表 骨材の比表面積⁵

ふるい目	A ₀ 比表面積 (cm^2/g , $\rho=2.50$)	a 比面率 ($\frac{1\text{kg 當りの表面積 cm}^2}{10,000 \text{ cm}^2}$)
$1\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ " (38.1~19.1 mm)	1.8	0.2
$\frac{3}{4} \sim \frac{3}{8}$ " (19.1~9.55 mm)	3.3	0.3
$\frac{3}{8}$ " ~ No. 4 (9.55~4.76 mm)	6.1	0.6
No. 4 ~ No. 8 (4.76~2.38 mm)	11.2	1.1
No. 8 ~ No. 16 (2.38~1.19 mm)	20.8	2.1
No. 16 ~ No. 30 (1.19~0.59 mm)	38.6	3.9
No. 30 ~ No. 50 (0.59~0.3 mm)	71.0	7.1
No. 50 ~ No. 100 (0.3~0.15 mm)	133.0	13.3
No. 100 ~ No. 200 (0.15~0.074 mm)	246.0	24.6
No. 200 以下 (0.074 mm以下)	3,260.0	326.0

4 L. N. Edward; A. S. T. M. Tech. paper, (1918)

5 太田誠一郎; 室工大 研報 第一卷 第3號 (1952)

また、任意のふるいでふるい分けしたときの値は、著者の作製にかかる第1圖で求められる。



第1圖 骨材粒子の平均径とその比表面積との関係

以上はすべて比重 $\rho = 2.50$ で纏めたものであるが、骨材の比重を測定して、その骨材の比表面積を求めるには、

$$A' = \frac{2.50}{\rho'} \cdot A_0 \dots\dots\dots (1)$$

の式で求めることができ、骨材の種類、形状等には無関係であるとした。

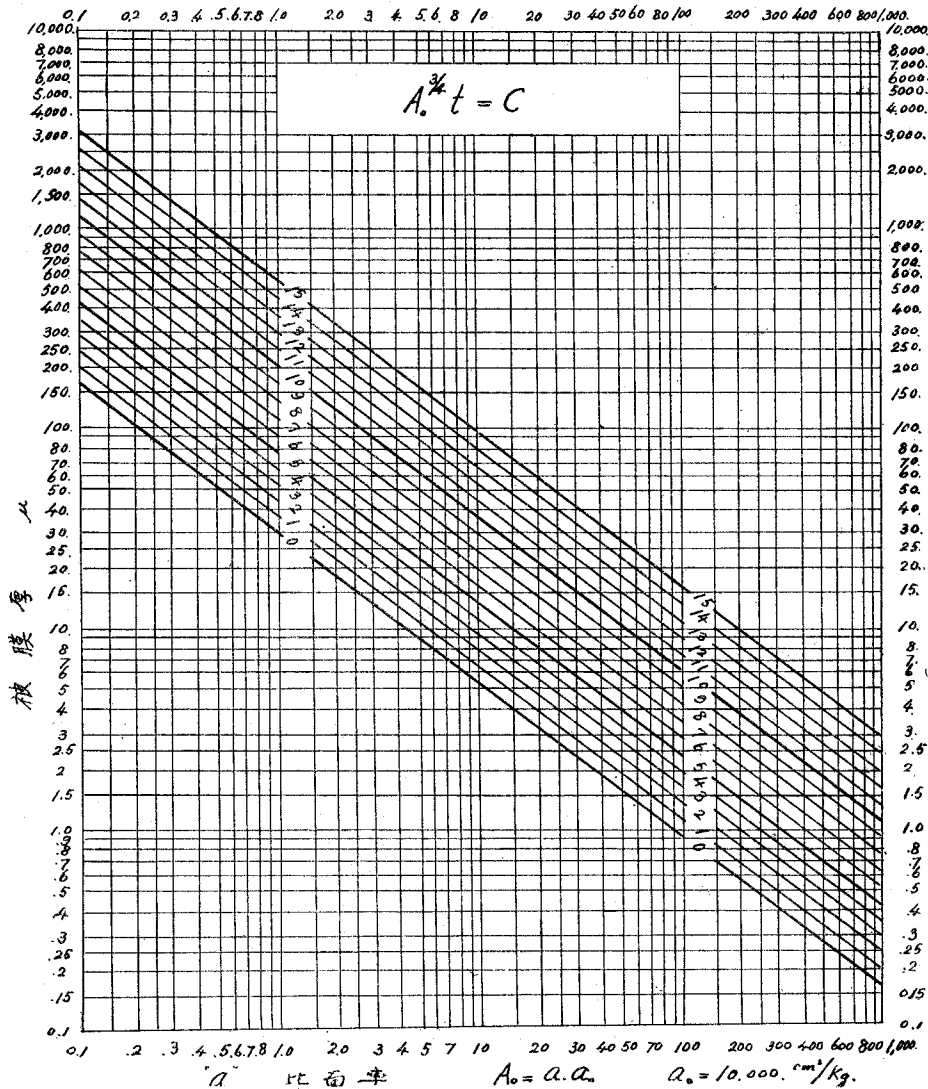
III セメントおよび骨材の粒子のまわりの水被膜

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。そのときのコンクリートの実際の状態は、水はその混合物の軟かさによつて、間隙をある程度または充分に充たす一方、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、今の場合にはこれを見捨てて考えることにするが、将来、AEコンクリートといつしよに検討のうえ發表したいと思つてゐる。著者はこれを著者の“表面積法”(Ohta's 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成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ふれる。）、その水被膜の厚さは、その粒子の大きさ、すなわち、比表面積値によつて變化するとし、それは次式で表わされるとした。すなわち、これは著者の考えた新學説である。

$$A_o^{3/4} t = C^6 \dots \dots \dots (2)$$

式中 A_o : セメント、骨材の比表面積, t : 水被膜の厚さ, C : 係数。



第2圖 各種混合物の骨材の比面率と骨材のまわりに附着するアスファルトまたは水被膜の厚さとの關係

このうち、 C はそのコンクリートの軟かさによつて變わる値である。(第2圖参照)

IV 水量と總表面積との關係

以上述べた理論に従つて行くと、明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、骨材の總表面積と、そのコンクリートの稠度によつて決定され、第2圖のNo. 3の線で表わされるものは硬練りのコンクリートであり、また、No. 3.とNo. 4線の間あたりは中練り、No. 4線からNo. 5線までは軟練りのものである。これらいろいろの軟かさのコンクリートとか、または、その他の番號のコンクリートの水量は、第2圖によつて、セメントの表面積と骨材の表面積の合計した總表面積から算出ができ、また別に、骨材のふるい分けだけからも、現場向きに一層簡便に水量を求める第3圖をも作つた。これは、セメントの比表面積を平均、 $2,460 \text{ cm}^2/\text{g}$ と假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第2圖から求めるものに比べ、その正確さはある程度落ちるが、現場または實驗室等で根據なしに慢然と水量を決めることからみると、はるかに合理的であり、また正確でもあるし、前以てこのもののスランプ等を測定して置けば、あとは試験練りなどしてスランプを調べる必要はない。

V 例 題

次に、例をあげて説明することにする。ただし、材料はすべて實驗室内にある氣乾のものである。また配合割合は舊式のものによつた。

(例-1) 重量比で $1:2.5:3.5$ のコンクリートすなわちセメント1に對し、骨材6の割合のコンクリートのNo. 5線の水量を求めてみる。ただし、セメントの比重 $\rho=3.10$ 、その比表面積 $A_0=2,460 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、また、砂、砂利のふるい分けおよび比重等は次の通りである。

砂 利 : $\rho=2.50$		砂 : $\rho=2.65$	
ふるい目	p 各ふるいに残る百分率	ふるい目	p 各ふるいに残る百分率
40~20 mm	36	10~5 mm	5
20~10 mm	42	5~2.5 mm	5
10~5 mm	19	2.5~1.2 mm	11
5~2.5 mm*	3	1.2~0.6 mm	29
	100.	0.6~0.3 mm	36
		0.3~0.15 mm	13
		0.15~0.074 mm	1
			100.

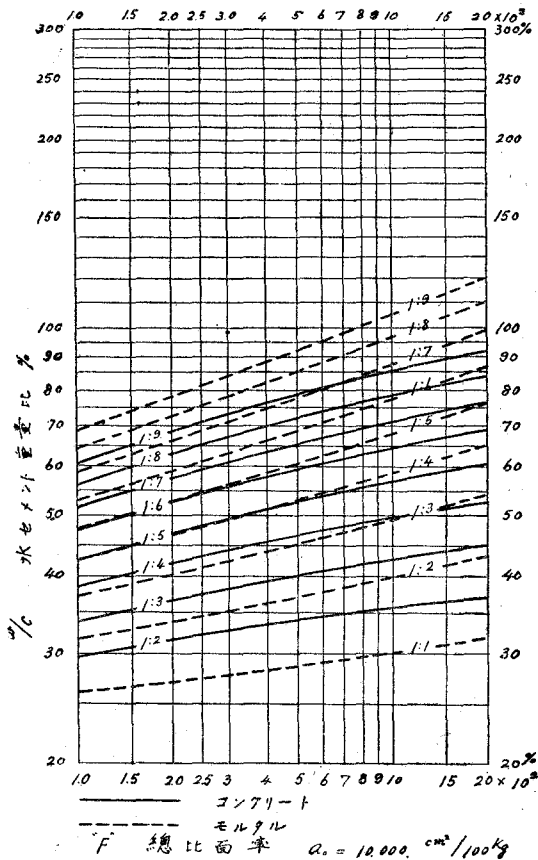
このコンクリートのセメント、砂および砂利の配合割合を百分率で示すと、 $14.3:35.7:50.0$ であるから、従つて、總表面積その他の計算は次のようにする。ただし、第2圖のNo. 5の示すコンクリートの水量についてであることは前述の通りである。

砂 利 :	$\rho=2.50$	a 比面率	t_5^a 水被膜厚	$p'at$
ふるい目	$p'=p \times 0.5$			
40~20mm	36×0.5	0.2	270	970

20~10mm	42×0.5	0.3	190	1200
10~5mm	19×"	0.6	115	656
5~2.5mm	3×"	1.1	74	122
				2,948

砂： $\rho = 2.65$

ふるい目	$p' = p \times 0.357$	a 比面率	t_s^* 水被膜	$p'at$
10~5mm	5×0.357	0.6	115	123
5~2.5mm	$5 \times "$	1.1	74	145
2.5~1.2mm	$11 \times "$	2.0	47	369
1.2~0.6mm	$29 \times "$	3.8	28	1,100
0.6~0.3mm	$36 \times "$	6.9	18	1,600
0.3~0.15mm	$13 \times "$	12.8	12	714
0.15~0.074mm	$1 \times "$	24.0	7.0	60
				4,111



第3圖 (It.) 總表面積と水セメント重量比

セメント： $\rho = 3.10$

p'	a	t_s^*	$p'at$
14.3	246	1.2	4220

$$\therefore \sum p'at = 2,948 + 4,111 + 4,220 = 11,279$$

$$\text{所要水量 } w = \frac{11,279 \times 10,000}{10 \times 1,000 \times 1,000} = 11.3\text{L (材料 100 kg 當り)}$$

$$\text{従つて, } \frac{w}{c} = \frac{11.3}{143} \times 100 = 79.0\%$$

この例題のように細かく篩い分けをしないときは、第1圖からその平均徑を求め、第2圖からその平均徑に相當する比表面積を求める。例6にこれを示した。

(例-2) 1:3 モルタル, 小高標準砂,
 小高砂： $\rho = 2.65$ $A_0 = 31.0 \text{ cm}^2/\text{g}$
 小高砂とか、豊浦標準砂はいずれも粒揃いであつて、これをふるつたのでは、その正確な比表面積は求め難い。さいわいに、著者は他の研究の必要上、その表面積の測定したものがあつたの

で、これを用いることにした。

このモルタルを百分率で表わすと 25 : 75 であるから、前例と同じように、

	p	a	t_s^*	pat
セメント	25	246	1.2	7,370
小高砂	75	3.1	34	<u>7,900</u>
				15,270

$$\therefore w = 15.3 \text{ l (材料 100 kg 當り)}, \text{ 従つて, } w/c = \frac{15.3}{25} \times 100 = 61.2\%$$

(例-3) 1 : 3 モルタル, 豊浦標準砂, 豊浦砂: $\rho = 2.64$, $A_0 = 157.0 \text{ cm}^2/\text{g}$

	p	a	t_s^*	pat
セメント	25	246	1.2	7,370
豊浦砂	75	15.7	10	<u>11,760</u>
				19,130

$$\therefore w = 19.13 \text{ l (材料 100 kg 當り)}$$

豊浦砂は小高砂に比べ、ある程度の吸水量が認められ、これを測定したものによると、0.38% であつた。いま、吸水量を考えに入れた例として、この豊浦砂について述べてみるが、他の骨材についても、その吸水量を求めて同じような方法で計算ができる。

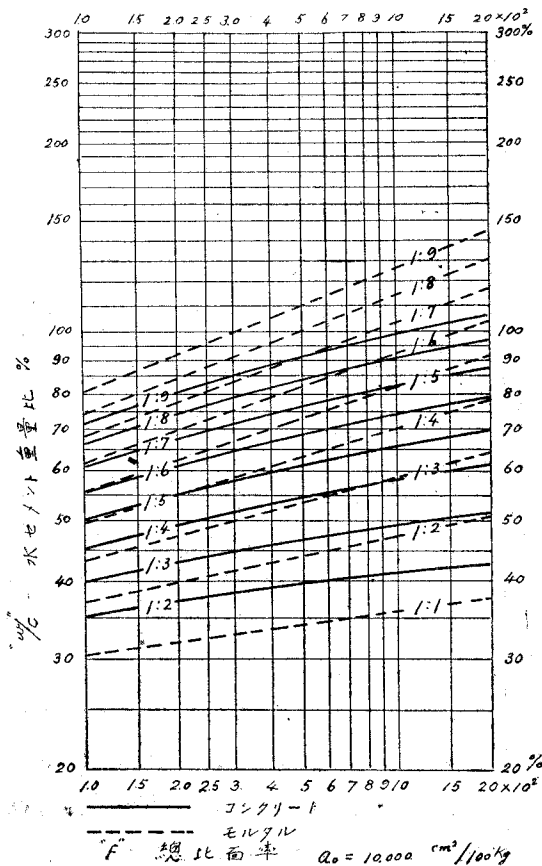
豊浦砂は 75 kg を使用しているからその吸水量としては、

$$\frac{75 \times 0.38}{100} = 0.3 \text{ l}$$

$$\text{従つて全所要水量は, } w = 19.13 + 0.3 = 19.43 \text{ l}$$

$$\text{故に, } \frac{w}{c} = \frac{19.43}{25} \times 100 = 77.6\%$$

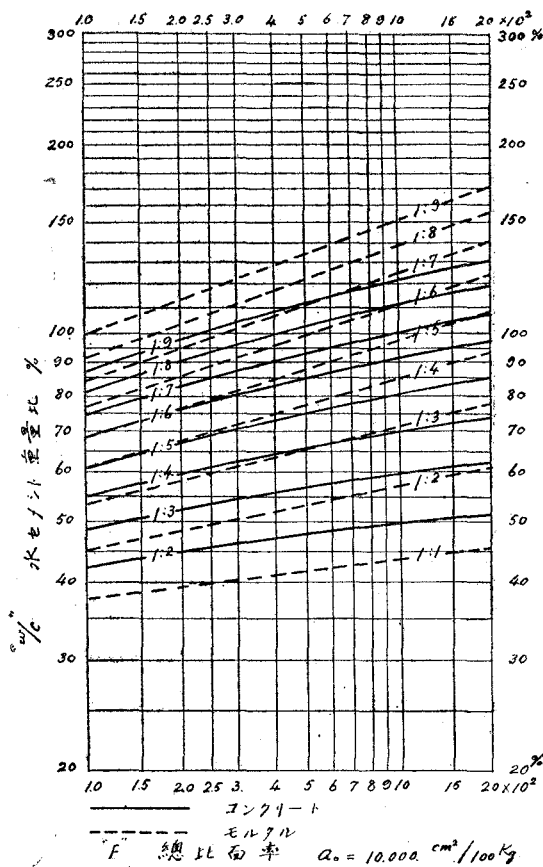
(例-4) 幌別川砂の 1 : 3 モルタル砂のふり分けおよびその他の値は



第3圖 (II t_4) 總比面積と水セメント重量比

ふるい目	$p' = p \times 0.75$	a	t_s^a	$p'at$
10~5 mm	5×0.75	0.6	115	260
5~2.5 mm	5×0.75	1.1	74	304
2.5~1.2 mm	11×0.75	2.0	47	775
1.2~0.6 mm	29×0.75	3.8	28	2,320
0.6~0.3 mm	36×0.75	6.8	18	3,320
0.3~0.15 mm	13×0.75	12.8	12	1,490
0.15~0.074mm	1×0.75	24.0	7.0	$\frac{126}{8,595}$
セメント	25	246	1.2	$\frac{7,370}{15,965}$

$$\therefore w = 16.0 l \text{ (材料, 100 kg 當り)}, \frac{w}{c} = \frac{16.0}{25} \times 100 = 64.2 \%$$



第3圖 (III t_s) 總表面積と水セメント重量比

以上4つの例はすべて同一の軟かさのコンクリートおよびモルタルである。ただし、ウオーカビリチーという点になると、その測定法自体に問題があるうえに、骨材粒子の大きさ、その形状および粒度等による内部摩擦等のために、問題があつて同じだとはいわれれないが、しかし従來の水、セメント比で判断するウオーカビリチーとは相當の違ひがあつて、この方法で求めるとかなり確實な見當がつけられ、はるかに合理的である。上述の1:3のモルタルをとりあげてみても判るように、同じ軟かさのモルタルをつくるときは、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、所要水量にかなりの差があることに氣がつく。この所要水量をさらに正確に求めようとするには、例-3で觸れた通り、その骨材の吸水量と表面水をもあわせて考えてやらねばならない。

VI 骨材だけの総表面積による水、セメント比の求め方

前述のような計算によつて、正確な所要水量を合理的に求めることができたが、やや現場向きでない嫌いがある。そこで一應セメントの比表面積の値を一定の値すなわち $2,460 \text{ cm}^2/\text{g}$ とすれば、砂、砂利等の骨材だけの表面積から、必要な水、セメント比が求められる。第3圖でこれを説明する。

この第3圖ではモルタル用、コンクリート用の兩曲線があつて、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。いま假りに、コンクリートにモルタル用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

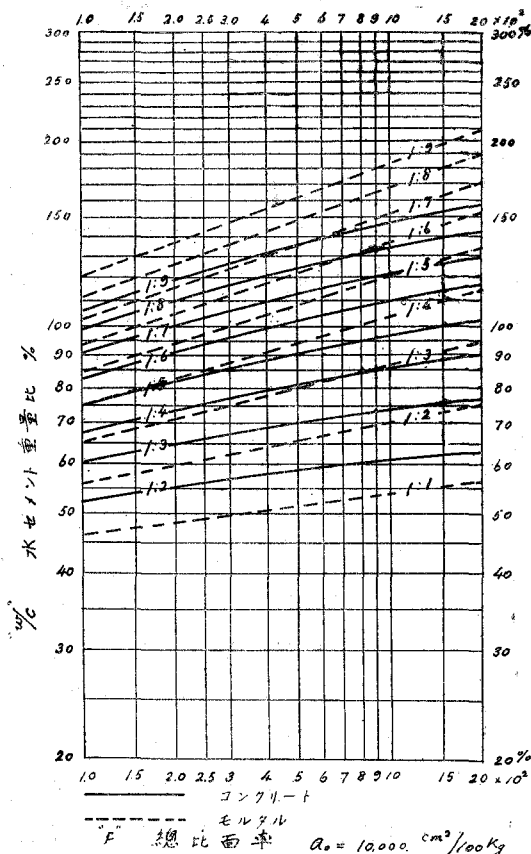
と考えることになるので、その表面積の値が大きくなるため、 $\frac{w}{c}$ の値も大きくでてくる。換言すれば、いままし、 $1:2:4$ ($1:6$) のような一般によく使われる配合割合のコンクリートが、 $1:6$ という同じ割合のものでも、その内容が $1:4:2$ のコンクリートになるとモルタルに近いものとなり、従つてこの後者のコンクリートにはモルタル用の曲線が良いということになる。

要するに、この第3圖は、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のものであること、すべて重量比であることに留意して使用されたい。

(例-5) コンクリート $1:2.5:3.5$
($1:6$) の水、セメント比を求む。

(例-1 と同じもの)

砂と砂利の比が $2.5:3.5$ はこれを百分率で示すと、 $41.7:58.3$ であるから、まず、骨材の 100 kg 當りの總表面積を計算する。



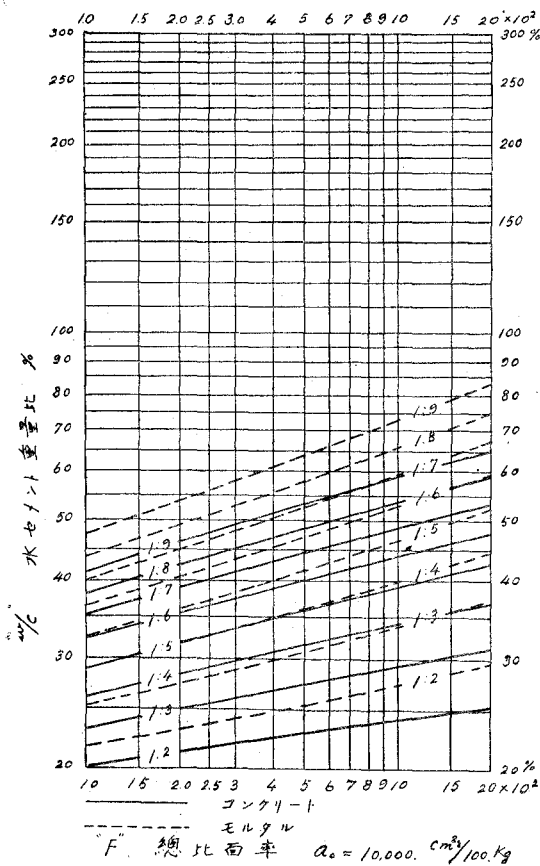
第3圖 (IV t₀) 總表面積と水セメント重量比

砂利： $\rho = 2.50$

ふるい目	p'	a 2.50	$p'a$
40~20 mm	36×0.583	0.2	4.2
20~10 mm	$42 \times "$	0.3	7.3
10~5 mm	$19 \times "$	0.6	6.7
5~2.5 mm	$3 \times "$	1.1	1.9
			<u>20.1</u>

砂： $\rho = 2.65$

ふるい目	p'	a 2.65	$p'a$
10~5 mm	5×0.417	0.6	1.3
5~2.5 mm	$5 \times "$	1.1	2.3
2.5~1.2 mm	$11 \times "$	2.0	9.2
1.2~0.6 mm	$29 \times "$	3.8	46.0
0.6~0.3 mm	$36 \times "$	6.8	102.0
0.3~0.15 mm	$13 \times "$	12.8	69.5
0.15~0.074 mm	$1 \times "$	24.0	10.0
			<u>240.3</u>



第3圖 (V t₁) 總表面積と水セメント重量比

$$\therefore \sum p'a = 20.1 + 240.3 = 260.4$$

$$= 2.6 \times 10^2 \text{ (骨材, 100 kg 當り)}$$

第3圖のIII, (t₅) の圖面で、横軸に 2.6×10^2 をとり、これから上に昇り、1:6 の實線で示したコンクリート曲線と交わるところから、横に進んで、縦軸に $\frac{w}{c}$ の値をよめば、78.5% が得られる。

(例-6) 幌別川砂, 1:3 モルタル砂のふるい分け, 比面率は前記の通りであるが、いま篩のいくつかを省いて粗く篩い分けしたものについて説明する。

ふるい目	p	a 2.65	pa
10~5 mm	5	0.6	3
5~1.2 mm	16	1.35	22
1.2~0.3 mm	65	5.3	345
0.3~0.15 mm	13	14	182
0.15 以下	1	30	30
			$\frac{579}{579} \doteq 5.8 \times 10^2$

第3圖の III, (t_3) のモルタル用曲線 (1:3) から, $\frac{w}{c} = 65.2\%$

VII む す び

以上要約すると、次に述べるように、骨材について簡単な測定さえやれば、非常に合理的な水、セメント比（重量比）が求められる。すなわち、

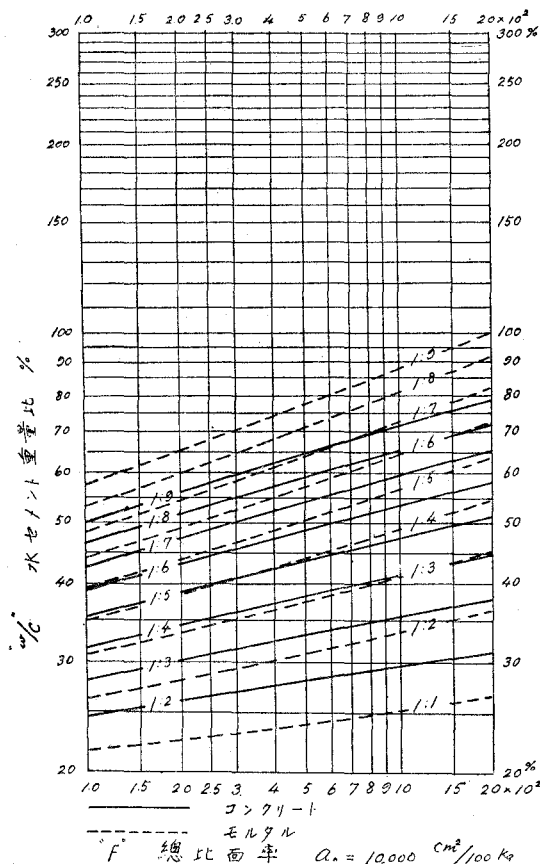
(1) 砂、砂利の骨材をふるい分けすること、

(2) 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、ともに $\rho = 2.65$ とする。

(3) 骨材の吸水率、表面水を測定すること、もしこれを略したいときでも、砂だけについては必ず測定する。

(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、砂、砂利を容積で計りたいときは容積と重量との関係をあらかじめ検討して、換算して用いる。

なお、最後に、セメントの比表面積のことについてであるが、これは實驗室なり、現場等で、ある比較的簡便な



第3圖 (VI t_2) 總表面積と水セメント重量比

装置で、かなり正確な値の測定法の出現はあまり遠いことではないと思う。そのときは、第2圖を用いてより一層正しい水、セメント比が求められることになる。しかし、これは同じスランブを示す水量という意味ではなく、同じ軟かさの混合物が得られる所要水量だということである。

また、第3圖に對しては、セメントの違つた比表面積値によつて數葉の圖表をつくる必要となる。例えば $A_0=2,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ のもの、 $A_0=2,500 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、 $A_0=3,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 等の圖表である。

しかし、現場用と限定すれば、第3圖の程度のもので良いと思う。

なお、第3圖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 $\frac{w}{c}$ を速算したいときは、その使用砂の百分率の表面積だけを求め、砂利の分はこの砂の表面積の 10%~20% 平均 15% を増した値を用いてもかなり正確な w/c の値が求められると考えている。

また、ごく最近、特に道路工事で、特別のミキサーすなわちアスファルト混合物を練るパツグミキサー型の混合機で超硬練りコンクリートを練つて、これを路盤の上に敷き均し、その上にローラーをかけてしめつける工事が行なわれるようになって來た。その實例は北海道の千歳町附近の國道の舗装工事である。ここのは、アスファルト舗装の基礎コンクリートであるが、やがてこの工法はコンクリート舗装工事まで進展することも充分考えられるので、この論文でも、超硬練りコンクリート用の圖表として二枚ほどつけ加えた。第3圖の V、VI がこれである。

實驗資料はあまり多くないが、私の手許で實驗したものでは次のようなスランブを示している。コンクリートを練るときを目安となるものと考えてこれも附記した。

水被膜記號	t_1	t_2	t_2 と t_3 の中間	t_3	t_3 と t_4 との中間	t_4
スランブ (cm)	0.	0.3~0.5	1.5~2.5	3~5	14~16	20~22

最後に、この論文の作製には、土木科教室の牧野正友君、學生の佐藤昌君外二名の御手傳をうけた。ここに謝意を表する。

(昭和 28 年 5 月 21 日受付)