

中央大学理工学部 正員 ○西沢 紀昭

会 上 正員 堤 俊明

1 まえがき

人工軽量砂の粒形、表面の肌、等の粒状性質は、それらの砂の原料、製法、等によって相当に異なる。これらの性質が人工軽量骨材コンクリートの単位水量、ワーカビリティ、等に及ぼす影響ならびにセメント使用量と強度との経済的な関係に与える影響は相当に大きく、これらが人工軽量砂の選択のさいの目安となる場合がある。表1に示したように、原料製法および品質の異なる4種の人工軽量砂ならびに天然軽量砂（火山砂）、川砂および砕砂、計7種の砂を用いてモルタルを練り、モルタル中で砂の占める絶対容積の割合すなわち、実積率、単位水量、などを測定し、これらによって砂の粒状の優劣を判定する方法を検討するために実験を行なった。

2. 実験の方法

セメントと砂との絶対容積の比が1:20~1:3.5の4種のモルタルを練り、水量はフローが $180 \pm 5 \text{ mm}$ となるように試的に定めた。モルタルを内径82mm、高さ95mm（内容積502cc）の金属性円筒容器につめ、単位容積重量 ρ を測定し、これより次のようにモルタルの練り上り

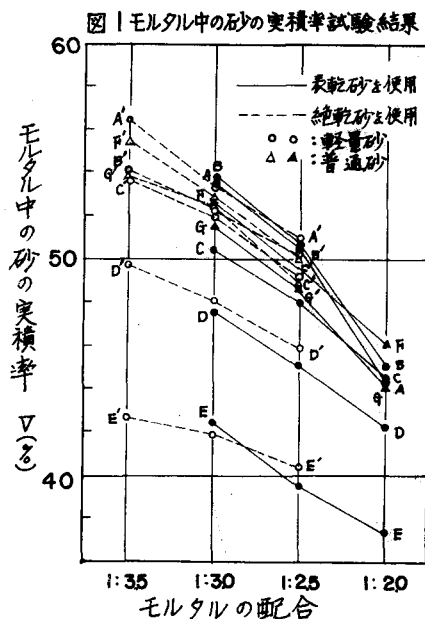


表1 実験に用いた砂の品質

細骨材の種類		表乾比重	絶乾比重	吸水量(%)	粗粒率
軽量砂	A 造粒後焼成型	1.94	1.79	8.82	2.69
	B 破碎後焼成型	1.86	1.59	16.63	2.82
	C 造粒後焼成と 焼成後破碎との混合型	1.96	1.93	2.05	2.91
	D 焼成後破碎型	1.95	1.90	2.40	2.25
	E 火山砂	1.84	1.73	6.50	2.73
普通砂	F 川砂	2.63	2.56	1.99	2.57
	G 砕砂	2.51	2.42	3.71	2.01

量 V 、モルタル中の砂の実積率 V 、使用水量 W を計算によって求めた。

$$V(\ell) = \frac{\text{セメント、砂および水の計量重量の合計 (kg)}}{\rho_s (\text{kg/m}^3)} \times 1000,$$

$$V(\%) = \frac{\text{砂の絶対容積}(\ell)}{V(\ell)} \times 100, \quad W(\text{kg}) = \frac{\text{計量した水量}}{V(\ell)} \times 1000$$

砂は、絶乾状態のものおよび24時間吸水表面乾燥状態のものの2種を用い、いずれの場合も1バツタのモルタルに用いる砂の量は絶対容積で0.6ℓ程度とした。

3. 実験結果

図1は、実積率の試験結果を示したもので、これによると表乾砂、絶乾砂、いずれを用いた場合でも、同種の砂の実積率は大体等しいことが認められる。これは、絶乾砂がモルタル中で吸水しても砂の絶対容積は不変であること、絶乾砂はモルタル中でも相当に吸水するので、そのときのモルタルの練り上り量は、予め水中で吸水させた表乾砂を用いた場合とあまり差がないこと、によるものと思われる。しかしながら、吸水量が大きい砂（たとえばB）を用い、比較的砂量の多いモルタルの場合には、砂の吸水の影響が大きいので、砂の含水状態による実積率の差が認められる。

粒形が比較的良好な砂（A,B）ほど実積率が大きく、破砕によって製造した粒形の悪い人工軽量砂（C,D）あるいは火山砂（E）は、それらの実積率の小さいことが、また図1から認められる。粒形が良好である砂の実積率は、1:30のモルタル中で50%以上となると考えてよく、さらに、実積率が52%以上の砂が粒形の実からのぞましいといえることができるようである。

図2は、モルタルのフローを $180 \pm 5 \text{ mm}$ とするに必要な使用水量の試験結果である。これらの結果には、絶乾砂を用いた場合、砂がモルタル中で吸収する水量が含まれているので、吸水量の大きい砂（たとえばB,E）ほど使用水量が大きい傾向が認められる。これらの使用水量の大小は、砂の吸水の程度のほか、粒形の良否がコンシステンシーに及ぼす影響の大小にもよっている。

図2 各種の砂を用いたモルタルの使用水量
(フロー $180 \pm 5 \text{ mm}$ のとき)

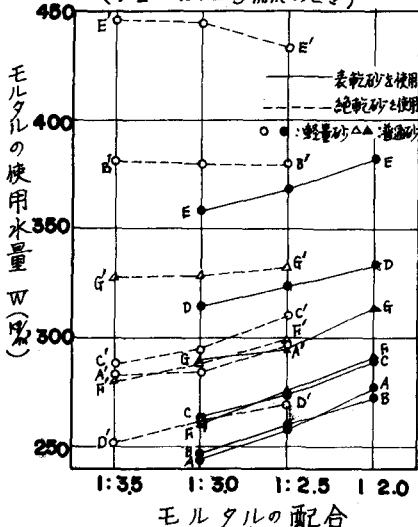
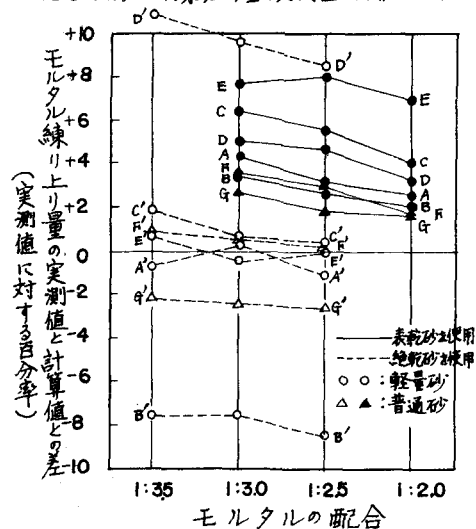


図3 モルタルの練り上り量の実測値と計算値との差



モルタル中で砂が吸水する程度は一般に測定することが困難であるから、絶乾砂を用いた場合、使用水量によって粒形の優劣だけを判定することはむづかしい。表乾砂を用いれば、この難点を除くことができ、図2に認められるように、粒形がよく、表面が比較的なめらかな砂(A,B)を用いた場合、単位水量がもっとも少なく、表面が多孔質でしかも粒形の悪い砂(D,E)ほど単位水量が大きかった。

図3に示すように、モルタルの練り上り量の、実測値と計算値との間に差が認められた。これは、モルタル中で砂が吸水する程度およびエントラップドエヤの多少によるものである。絶乾砂を用いた場合、練り上り量の実測値が計算値より小さい(B,E)場合があるのは、砂のモルタル中での吸水の程度が大きく、これがエントラップドエヤの量より大きかったためと考えられる。表乾砂を用いた場合、砂はモルタル中で実用上吸水しないから、図3の結果はエントラップドエヤ量(%)に相当すると考えてよく、この空気量は、骨材の種類によって異なることが認められる。これは、砂粒の表面の凹凸など、肌の状態の差によるものと思われる。また、砂の含水状態によっても空気量が相当に異なる場合が認められ、砂口などはその例である。

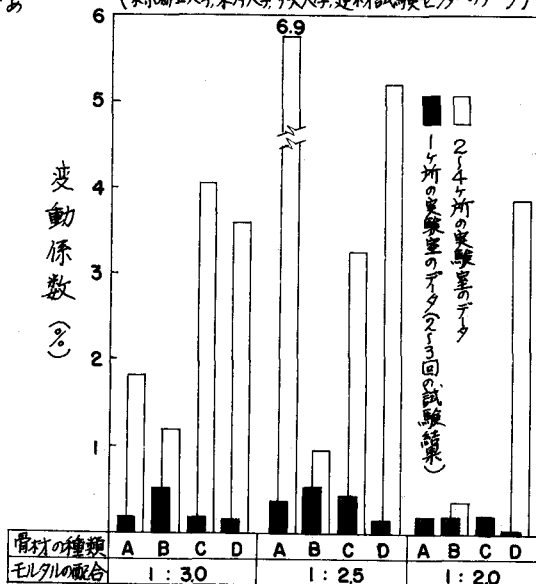
図4は、モルタル中の砂の実積率の測定結果のばらつきを示したものである。1ヶ所の実験室で試験した場合、そのばらつきは変動係数で示して0.5%以下、平均0.2~0.3%程度であって、ばらつきが極めて小さいと言える。異った実験室で行なった試験結果の変動係数は1~7%平均3~4%程度で、1ヶ所の実験結果の10倍以上のばらつきであった。このようにばらつきが大きいのは、実積率の計算に必要な砂の比重の測定結果が各実験室によって異なっているためであると思われる。この実は、表2の誤差式の計算結果からも認められるところであり、実積率試験のばらつきを小さくするためには、コーンによる軽量砂の表面乾燥状態の判定など、比重試験の操作を十分に慎重に行ない、比重試験のさいの誤差をなるべく小さくすることが大切である。一般に、3バッチのモルタルにより求めた、砂の実積率(%)の最大値と最小値との差が0.5以上のときは、試験をやり直すことが必要であると思われる。

4. 結論

(1) モルタル中の砂の実積率の大小によって、砂の粒形の良否の判定ができる。原料や製法の異なる人工軽量砂を用い、セメントと砂との絶対容積比が1:3.0のモルタル(フロー180 $\pm$ 5mm)を造った場合、その中で砂の実積率が50%以上の砂は、粒形がよいと判断できる。

(2) 実積率のほか、モルタルの使用水量およびモルタルの練り上り量の実測値と計算値との差を求めれば、これらの大小によって、コンシステンシーおよび空気量に影響する、砂の粒形、粒の肌などの粒状性

図4 モルタル中の砂の実積率試験結果のばらつき
(京都大学、東洋大学、筑波大学、建材試験センターのデータ)



質をもある程度知ることができる。モルタル中で吸水しない、表乾砂を用いれば、これらの測定値は、それぞれモルタルの単位水量および空気量に相当するものであるから、絶乾砂を用いる場合よりも、この場合都合がよい。

(3) 実積率の試験結果のばらつきを小さくするには、砂の比重の測定結果のばらつきを小さくすることが大切であり、比重試験のばらつきが比較的大きい、軽量砂の場合には、とくにこのことが重要である。

表2 モルタル中の砂の実積率の試験結果の誤差

$$\text{実積率の計算式: } V = \frac{S}{S+C+W} = \frac{S}{S+C+W} \cdot \frac{M}{g} = \frac{S}{g_s} \cdot \frac{M}{S+C+W} = \frac{SM}{g_s(S+C+W)} \quad (1)$$

g : 型わく容積, M : 型わく内のモルタルの重量, g_s : 砂の比重
 S, C, W : 砂, セメント, 水の計量重量

$$\text{実積率の誤差式: } \Delta V = \frac{\partial V}{\partial g_s} \Delta g_s + \frac{\partial V}{\partial S} \Delta S + \frac{\partial V}{\partial C} \Delta C + \frac{\partial V}{\partial W} \Delta W + \frac{\partial V}{\partial g} \Delta g + \frac{\partial V}{\partial M} \Delta M \quad (2)$$

$$\text{あるいは } \frac{\Delta V}{V} = \left| \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta M}{M} - \frac{\Delta g_s}{g_s} - \frac{\Delta g}{g} - \frac{\Delta S + \Delta C + \Delta W}{S + C + W} \right| \quad (3)$$

$S = 1200g$ $g_s = 2.00$ $C = 630g$ $W = 300g$ $M = 350g$ $g = 200cc$	$\Delta S = 1g$ $\Delta g_s = 0.02$ $\Delta C = 1g$ $\Delta W = 1g$ $\Delta M = 1g$ $\Delta g = 1cc$	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \text{とすると}$	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta V}{V} = -0.012716 \\ V = 50\% \text{とすると} \\ \Delta V = 0.64\% \end{array} \right. \quad (4)$
$\frac{\Delta g_s}{g_s} = 0 \text{とすると}$			$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta V}{V} = -0.002716 \\ \Delta V = 50\% \times 0.003 = 0.15\% \end{array} \right. \quad (6) \quad (7)$