

(V-36) 比重の異なる混合細骨材の比重測定による混合率の測定

足利工業大学工学部 ○黒井 登起雄

足利工業大学工学部 松村 仁夫

1. まえがき

比重の異なる混合細骨材の混合率推定試験には、細骨材の比重差を利用して重液によって粒子を分離する方法がある。ここで用いている重液は、四臭化エタン（純液比重 2.96/20℃）と四塩化炭素（同 1.58/20℃）を混合し、比重 2.75 ± 0.01 に調製したものである。この試薬は、有機化学物質であり、取扱、保管および廃棄処理において特別な注意が必要で、危険である。比重3程度のフェロニッケルスラグ（FNSと呼称）または3.5程度の銅スラグ（CUSと呼称）細骨材と2.5～2.6の普通細骨材との混合のように、比重差のある細骨材があらかじめ混合されている場合、JISのふるい分け試験によるその粒度分布は、比重差のために、正しくない。正しい粒度を知るためには、容積百分率による粒度分布を求めるか、混合率 m を試験によって算定し、式〔1〕の関係から粗粒率 FM_m を求める必要がある。しかし、絶対容積の測定は、実用上非常に難し

$$FM_m = m FM_s + (100-m) FM_n \dots\dots\dots [1]$$

ここに、 FM_m ：混合細骨材の粗粒率、 m ：混合率、 FM_s ：FNSまたはCUS細骨材の粗粒率、 FM_n ：普通細骨材の粗粒率

いので、細骨材の混合率を測定する方法が有効である。そこで、本研究では、新しい『比重測定』による混合率の算定方法を検討することにした。

2. 比重測定による混合率の算定方法

FNSおよびCUS細骨材の比重は、2.8～3.1および3.2～3.7程度、また、砂、砕砂などは、2.5～2.7程度の範囲に分布しており、それぞれの骨材の比重にかなりの差がある。『比重測定』による混合率算定は、このような比重に大きな違いのある砂が混合されている場合に有効な方法の一つと考えられる。

FNSまたはCUS細骨材と砂または砕砂が混合率 $m\%$ （容積百分率）で混合されているとき、FNSおよびCUS混合細骨材の比重は、式〔2〕から算定することができる。

$$\rho_{s+n} = \rho_s \cdot \frac{m}{100} + \rho_n \cdot \frac{(100-m)}{100} = \frac{(\rho_s - \rho_n)}{100} \cdot m + \rho_n = \Delta \rho \cdot \frac{m}{100} + \rho_n \dots\dots\dots [2]$$

ここに、 ρ_{s+n} ：混合細骨材の比重、 ρ_s ：FNSまたはCUS細骨材の比重、 ρ_n ：砂および砕砂の比重、 $\Delta \rho$ ：細骨材の比重の差（ $=\rho_s - \rho_n$ ）、 m ：混合率（容積百分率）%

細骨材の混合率 m' は、FNSまたはCUS細骨材の比重 ρ_s および砂または砕砂の比重 ρ_n が既知であれば、式〔3〕から求めることができる。

$$m' = \frac{\rho_{s+n} - \rho_n}{\Delta \rho} \cdot 100 = \frac{\rho_{s+n} - \rho_n}{\rho_s - \rho_n} \cdot 100 \dots\dots\dots [3]$$

3. 混合率算定における比重試験の問題点の検討

3.1 実験概要 細骨材は、普通細骨材4種類（鬼怒川産および大井川産川砂、長浜町海砂、六ヶ所村産洗砂）、FNS細骨材3種類（キルン水砕 A、電炉風砕 B'、電炉水砕 D）、CUS細骨材5種類（A、B、C、D、E）をとした。真比重の試験は、微粉碎細骨材50.0gの水の置換法（100mlピクノメータ使用）で行い、また、見掛けの真比重は、絶乾状態の試料500gを用い、JIS A 1109に準じた水の置換法によって試験した。

3.2 試料の含水状態および測定比重の種類 表-1は、各種細骨材の『真比重』およびJISに準じて求めた『見掛けの真比重』の試験結果を示す。表-1より、普通細骨材の絶乾比重は、2.56～2.60の範囲であるが、一般的には吸水率の大小および風化などの影響によってかなり広い範囲に分布している。また、FNSおよびCUS細骨材の絶乾比重も、それぞれ2.76～3.13および3.21～3.68の範囲にあり、吸水率の大小の影響によって広く分布している。これに対して、普通細骨材の真比重は、2.57～2.62で、値が若干小さい（測定における気泡の除去の影響と考えられる）が、一般的には砕石などの約80%が安山岩、砂岩、石灰岩の岩種で占められ¹⁾、その真比重が約2.69～2.70の範囲にあり、非常に狭い範囲の値になると考えられる。また、FNS

およびCUC細骨材の真比重も、それぞれ2.99～3.07および3.52～3.62（3.44のCUC Cの値は気泡除去の影響で若干小さくなった）の値であり、それぞれ非常に狭い範囲となっている。これらは細骨材の岩種あるいは成分がほぼ同じためと考えられる。

J I Sによる細骨材の比重試験では、含水状態として『表乾状態』が用いられるので、式〔3〕から求められる混合率の値は『表乾状態』の値を算定することになる。コンクリートの配合における混合率は、『表乾状態』の見掛けの比重によって設定されるので、混合率の算定における比重は、『見掛けの表乾比重』が当てはまる。しかし、FNSまたはCUS混合細骨材の場合の構成細骨材の比重に違いがあること、粒形が球形のものもあること、混合する砂および砕砂には0.15mm以下の微粒分が多く含まれるものも多いこと等から、『表乾状態の判定』が難しい。また、FNSまたはCUS混合細骨材は、コンクリートの練混ぜ時に混合される場合ばかりでなく、あらかじめ混合されていることも多い。このようなとき混合砂それぞれの単独細骨材の比重が解らないことも多くある。以上より、また表-1の結果より、細骨材の比重の変動範囲が小さくなる、すなわち、細骨材の空隙の多少（吸水率）による影響の大部分が消去される『真比重』は、混合率算定における比重として有効であると考えられる。混合率 m' は、式〔4〕に真比重の値を代入すれば、算定できる。

3.3 表乾状態における混合率への換算 細骨材の真比重 ρ_r は、表乾比重 ρ_s と式〔4〕に示すような関係にあるので、真比重の測定値から表乾比重に基づく細骨材の混合率 m' を算定する場合、細骨材の表乾比重を式〔4〕から求める必要がある。このとき細骨材の吸水率 Q （％）が分かっていることが換算の条件となる。

$$\rho_s = \frac{\rho_r (Q + 100)}{100 + \rho_r Q}, \quad \rho_r = \frac{\rho_s}{(1 - \rho_s) \cdot \frac{Q}{100} + 1} \quad \text{.....} \quad [4]$$

3.4 比重試験方法 表-2は、J I Sに準じた試験における見掛けの真比重に及ぼす吸水時間の影響を示す。表-2より、絶乾状態の細骨材は、24時間程度の吸水によって飽水状態になり、見掛けの真比重の値が一定を示すようである。しかし、微細な空隙を多く含む一部のFNS細骨材などは48～72時間以上の吸水時間を要するようである。このときの見掛けの真比重は、川砂が2.67、FNSおよびCUS細骨材がそれぞれ2.93、3.55の値であり、微粉砕の試料によって求めた真比重の値に近似するようである。これは、絶乾状態の細骨材によるJ I Sに準じた比重試験が細骨材の真比重の簡易的測定法として有効であることを示すものと考えられる。

4. まとめ

以上より、比重が異なる混合率算定は、真比重または見掛けの真比重の測定によって可能であることが明らかとなった。しかし、微粉砕した試料による真比重試験には、巻き込み気泡の除去の程度が真比重の測定精度に影響する傾向が表-1の結果から見受けられるので、試験時の試料量などについて更に検討する必要がある。また、比重試験による混合率の算定精度を各種の細骨材および混合率によって実験検証するとともに、適用範囲を検討することが今後の重要な課題である。

〔参考文献〕 日本建築学会：コンクリート用骨材に関する実態調査報告書，1990.12

表-1 各種細骨材の比重試験結果

細骨材の種類	真比重*1	見掛けの真比重*2	絶乾比重 (参考値)*3
川砂 (鬼怒川産)	2.62	----	2.58*4
〃 (大井川産)	2.61	2.67	2.58*4
海砂 (長浜町産)	2.57	----	2.56*4
洗砂 (六ヶ所村産)	2.63	2.69	2.60*4
FNS A	3.07	----	3.06～3.13
B	3.02	2.82	2.84～2.97
D	2.99	2.93	2.76～2.92
CUS A	3.55	----	3.48～3.63
B	3.52	----	3.45～3.63
C	3.44	3.55	3.54～3.67
D	3.54	----	3.30～3.68
E	3.62	----	3.21～3.51

*1 微粉砕試料による測定値(試料量：50.0g)
 *2 JIS A 1109に準じて絶乾試料で求めた値
 *3 製品の平均的な値(JIS A 1109に従って試験した値)の範囲を示す
 *4 JIS A 1109の規定に従って試験した値

表-2 各種細骨材の比重試験結果

細骨材の種類	吸水時間 / 見掛けの真比重*		
	24 h	48 h	72 h
川砂(大井川産)	2.67	2.67	2.68
	2.67	2.67	2.67
	2.67	2.67	2.67
FNS D	2.93	2.93	2.94
	2.94	2.94	2.94
	2.93	2.93	2.94
CUS C-25S	3.61	3.61	3.62
	3.61	3.61	3.61
	3.61	3.61	3.61

* 絶乾状態の試料500.0gを用い、JIS 1109に規定する方法に準じて求めた試験値