

(V-1) 比重試験によるスラグ混合率の測定方法の提案

足利工業大学工学部 正会員 ○松 村 仁 夫
同 上 正会員 黒井 登起雄

1. まえがき

2.7～3.6程度の比重を持つフェロニッケルスラグ（FNSと呼称）および銅スラグ（CUSと呼称）などがコンクリート用細骨材としてJIS化された。これらの細骨材と比重2.6程度の普通細骨材（砂および砕砂）を混合して使用する場合、FNSあるいはCUSの混合率（容積百分率）を簡便に試験する方法が骨材の品質管理上要望されている。そこで、本研究では、細骨材の比重に着目し、混合率測定のための比重試験方法および比重試験方法による混合率の算定精度などを検討するとともに、『比重試験』によるスラグ混合率測定に関する新しい試験方法を提案した。

2. 使用材料および実験概要

使用細骨材は、普通細骨材5種類（鬼怒川産 KRおよび大井川産川砂 OR、長浜町海砂 DR、六ヶ所村産洗砂 B'R、葛生産砕砂）、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、F）とした。混合細骨材は、FNSあるいはCUS細骨材と普通細骨材との混合とし、設定混合率mは、主に30、50、70%とした。比重試験は、水の置換法によるJIS A 1109に準ずる方法とし、『見掛けの真比重』を24、48、72時間吸水後に測定した。試料は、絶乾状態にした約500gの細骨材とした。

3. 比重試験による混合率算定の問題点とその測定精度

3.1 真比重の測定方法 表-1は、JISに準じた試験によって求めた見掛けの真比重の測定値に及ぼす吸水時間の影響を示す。表-1より、絶乾状態の細骨材を用いた比重試験の場合、比重の測定値は、24時間程度の吸水により飽水状態となり、一定値を示す『見掛けの真比重』を表すものと考えられる。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および2.70、FNSおよびCUS細骨材がそれぞれ2.90～2.93および3.59～3.60の値である。

表-2は、各種細骨材の比重試験結果を示す。大部分の普通細骨材は、岩種として安山岩、砂岩、石灰岩で構成されていることが多いため、真比重が約2.69～2.70と、非常に狭い範囲にあると云われている。表-2より、細骨材の見掛けの真比重の測定値は、2.66～2.71（平均値2.69）の範囲にあり、真比重に近似しているようである。また、FNS細骨材およびCUS細骨材の見掛けの真比重も、それぞれ2.92～2.96（平均値2.94）および3.48～3.71（平均値3.58）の範囲にある。これは、絶乾状態の細骨材によるJISに準じた比重試験が、真比重の簡易的な測定法として有効であることを示すものである。

3.2 比重試験による混合率の算定方法 FNSおよびCUS細骨材の比重と普通細骨材の比重との間には、かなり差があるので、混合細骨材のFNSおよびCUS混合率の算定は、『比重試験』が有効な方法と考えられる。

FNSまたはCUS混合率m%（容積百分率）の混合細骨材の比重は、式〔1〕で表すことができる。

キーワード； フェロニッケルスラグ、銅スラグ、混合細骨材、混合率、見掛けの真比重

連絡先； 〒326 足利市大前町268-1 TEL 0284-62-0605 FAX 0284-64-1061

表-1 細骨材の比重と吸水時間との関係

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
川砂(鬼怒川産)	2.71	2.71	2.71
	2.70)	2.70)	2.70)
	2.70	2.70	2.71
海砂(長浜町産)	2.69	2.71	2.70
	2.69)	2.70)	2.70)
	2.69	2.69	2.69
FNS B'	2.88	2.90	2.92
	2.88)	2.90)	2.91)
	2.90	2.91	2.92
FNS D	2.93	2.93	2.94
	2.94)	2.94)	2.94)
	2.93	2.93	2.94
FNS D	2.94	2.95	2.95
	2.95)	2.96)	2.96)
	2.94	2.96	2.96
CUS C-25S	3.61	3.61	3.62
	3.61)	3.61)	3.61)
	3.61	3.61	3.61
CUS C-12S	3.59	3.60	3.60
	3.59)	3.59)	3.59)
	3.60	3.60	3.60

* 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

$$\rho_{s+n} = \rho_s \cdot \frac{m}{100} + \rho_n \cdot \frac{(100-m)}{100}$$

$$= \frac{(\rho_s - \rho_n)}{100} \cdot m + \rho_n \dots\dots\dots [1]$$

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 ：普通細骨材の比重、 m ：混合率（容積百分率）%

式[1]より、細骨材の混合率 m' は、FNSまたはCUS細骨材の比重 ρ_s および普通細骨材の比重 ρ_n が既知であれば、式[2]より求めることができる。

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

細骨材の表乾比重 ρ_s と真比重 ρ_r との間には、式[3]に示すような関係がある。したがって、式[2]によって混合細骨材の混合率を算定する場合、FNSまたはCUS細骨材および普通

$$\rho_s = \frac{\rho_r (Q + 100)}{100 + \rho_r Q}, \quad \rho_r = \frac{\rho_s}{(1 - \rho_s) \cdot \frac{Q}{100} + 1} \dots\dots [3]$$

細骨材の『真比重』を、それぞれの表乾比重と吸水率から式[3]で計算する方法が適用できる。

3.3 比重試験によるFNSまたはCUS混合率の算定精度 表-3は、見掛けの真比重の測定値から算定したFNS混合細骨材（B' + B'R、D + DR）およびCUS混合細骨材（C-1.2S + KR、C-2.5S + OR）のFNSまたはCUS混合率とその値と設定値との比を示したものである。表より、見掛けの真比重の測定値から算定した各混合細骨材の混合率 m' は、単独細骨材の真比重として「表乾比重、吸水率による計算値を用いる場合（ m'_1 ）」、「試験値を用いる場合（ m'_2 ）」、「概略値を用いる場合（ m'_3 ）」のいずれにおいても、かなり高精度の結果が得られ、CUS混合率においては±5%程度の正確さが期待できる。

表-3 比重試験により求めた混合細骨材のFNSまたはCUS混合率

種 類	F N S または C U S 混 合 率						
	m (設定値)	m'_1 (測定値)*1	m'_1/m	m'_2 (測定値)*2	m'_2/m	m'_3 (測定値)*3	m'_3/m
F N S	30%	29.1%	0.97	39.3%	1.31	36.0%	1.20
B' + B'R	50	41.6	0.83	61.1	1.22	52.0	1.04
	70	57.3	0.82	82.8	1.18	60.0	0.86
F N S	30%	40.0	1.33	32.3%	1.08	36.0%	1.20
D + DR	50	65.0	1.30	55.4	1.11	56.0	1.12
	70	90.0	1.29	74.7	1.07	76.0	1.09
C U S	30%	30.0	1.00	29.8%	0.99	31.8%	1.06
C-1.2S + KR	50	50.9	1.02	51.0	1.02	53.0	1.06
	70	67.7	0.97	70.1	1.00	71.0	1.01
C U S	30%	29.9	1.00	32.7%	1.09	30.6%	1.02
C-2.5S + OR	50	50.9	1.02	55.4	1.11	53.0	1.06
	70	72.9	1.04	77.0	1.10	76.6	1.09

*1 表乾比重、吸水率から求めた単独骨材の真比重を用いて算定した混合率

*2 試験によって求めた単独骨材の見掛けの真比重を用いて算定した混合率

*3 単独骨材の真比重の概略値（FNS細骨材 2.94、CUS細骨材 3.58、普通細骨材 2.69）を用いて算定した混合率

表-2 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	表乾／絶乾比重 (参考値)* ³
川砂（鬼怒川産）	2.62	---	2.60／2.56* ⁴
“（大井川産）	2.61	2.71	2.62／2.58* ⁴
“（ “ ）		2.67	
海砂（長浜町産）	2.57	2.66	2.60／2.54* ⁴
洗砂（六ヶ所村産）	2.63	2.70	2.62／2.58* ⁴
砕砂（葛 生 産）		2.69	
		2.70	
F N S	A	3.07	---
	B'	3.02	2.92
			3.06～3.13
			2.84～2.97
			2.94／2.91* ⁴
	D	2.99	2.76～2.92
			2.88／2.86* ⁴
		2.96	
C U S	A	3.55	3.56
	B	3.52	3.48～3.63
	C	3.44	3.45～3.63
		3.55	3.54～3.67
	C-2.5S	---	3.61／3.60* ⁴
	C-1.2S	---	3.61／3.60* ⁴
		3.61	
	D	3.54	3.30～3.68
	E	3.71	3.21～3.51
	F	3.62	3.45～3.60
		3.45	
		3.48	

*1 微粉碎試料による測定値（試料量：50.0g）

*2 JIS A 1109に準じて絶乾試料で求めた値

*3 製品出荷時の平均的な絶乾比重（JIS A 1109の規定による試験値）を示す。

*4 JIS A 1109の規定に従って求めた表乾比重/絶乾比重

4. 「比重試験による混合率の測定方法(案)」の提案

(1) 比重試験方法 比重試験は、JIS A 1109に準じて行うものとする。ただし、試料は、「絶乾状態」とし、測定は、24あるいは48時間吸水後に行う。

(2) 混合率の算定 式[2]を用いて、FNSあるいはCUS混合率を算定する。FNS細骨材あるいはCUS細骨材および普通細骨材の見掛けの真比重は、式[3]の関係によって、それぞれの単独の細骨材の表乾比重から求めた値を用いる。単独細骨材がすべて入手できるときは、(1)の方法によって見掛けの真比重を測定する。また、単独細骨材が入手できないときは、細骨材の見掛けの真比重として、表-2の概略値を用いてもよい。