

# [ 9 ] 高炉スラグ粗骨材の簡易表面水率試験方法について

田代 恭一 ( 神戸製鋼所・利材部 )

正会員 ○ 山崎友二 ( 神戸製鋼所・利材部 )

吉川勇一 ( 神戸製鋼所・利材部 )

橋本 実 ( 神戸製鋼所・利材部 )

## 1 まえがき

高炉スラグ砕石は昭和52年「コンクリート用高炉スラグ粗骨材」としてJISに制定され、土木、建築用骨材として巾広く使用できるようになった。また土木、建築学会では、「高炉スラグ砕石コンクリート設計施工指針(案)」、「高炉スラグ砕石コンクリート施工指針案・同解説」を発行し、高炉スラグ砕石の適切な使用方法を提示している。上記両指針では、高炉スラグ砕石は使用前に十分散水して使用するよう指導している。これは高炉スラグ砕石の吸水特性が普通骨材と若干異なるからである。

散水することによって、高炉スラグ砕石には表面水が付着する。従ってこの表面水を正確に測定することは、高炉スラグ砕石コンクリートの品質管理上重要なことである。このたび、生コンクリート製造現場で簡単にかつ迅速に測定できる「簡易表面水率試験方法」を考案したので報告する。また、この試験方法を用いて打設した、高炉スラグ砕石コンクリートの品質についても併せて報告する。

## 2 高炉スラグ砕石の吸水特性

コンクリート用粗骨材の吸水率は、通常0.5～1.5%である。これは骨材粒子内部に若干の空げきがあるためである。この空げきの状態、すなわち空げきの大小、連続的な空げきか独立した空げきかによって、吸水性状は異なる。

高炉スラグ砕石(以下スラグ砕石という)粒子内部には気泡状の空げきがある。しかもその気泡には連続気泡と独立気泡がある。これらの気泡の存在により、普通骨材とくらべて若干異なる吸水特性がある。スラグ砕石の種類別空げき率と理論吸水量について調査した結果を表-1に示す。種類別空げき率は図-1-aに示す通り、骨材粒子が大きくなる程空げき率は大きくなる。

また、絶乾状態から(24時間)吸水させた場合と気乾状態から吸水させた場合の吸水率は図-1-bに示す通り、絶乾状態からの吸水率は2～3%とほぼ一定しているのに対し、気乾状態から吸水させた場合、骨材粒子が大きくなる程吸水率が大きくなる。これは空げき率に比例している。

一方、スラグ砕石は時間の経過と共に吸水する性質がある。絶乾状態および気乾状態から吸水させた場合の吸水率経時変化を表-2に示す。また、長時間吸水率経時変化を図-2に示す。吸水率の経時変化は、比較的急げきな短時間吸水と、ゆるやかな長時間吸水とに分けられる。

短時間吸水は連続気泡によるものであり、長時間

表-1 高炉スラグ粗骨材の空げき率と吸水量

スラグ粗骨材種類	真比重	絶乾比重	空げき率	空げき中の水の重量	骨材実積部分×真比重	理論的吸水量
4005B	3.02	2.48	17.9%	0.179 g/cm <sup>3</sup>	2.479 g/cm <sup>3</sup>	7.2%
2505B	3.00	2.50	16.7%	0.167	2.450	6.8%
2005B	3.00	2.55	15.0%	0.150	2.550	5.9%
1505B	2.99	2.58	13.7%	0.137	2.580	5.3%

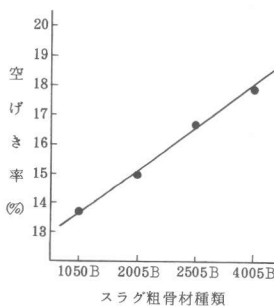


図-1-a

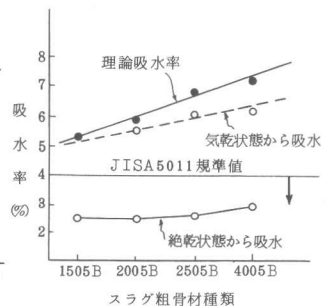


図-1-b

図-1 空げき率と吸水率の関係

表-2 高炉スラグ粗骨材吸水率経時変化 (単位 %)

試験方法	経時	0H	2H	4H	6H	8H	10H	1日	2日	3日	7日	14日
気乾状態から吸水		4.3	-	-	-	-	-	4.96	5.21	5.35	5.75	6.30
絶乾状態から吸水		0	2.25	2.61	2.64	2.78	2.86	3.04	3.35	3.63	3.82	4.58

吸水は独立気泡によるものと思われる。絶乾状態と気乾状態から吸水させた場合、吸水率の差は約2%程度であることが図-2より推定される。

コンクリートの配合設計および施工管理上問題となるのは乾燥しやすい、連続気泡による吸水現象である。現場（生コンプラント，ミキサー船）に納入されるスラグ碎石は、気乾状態および湿潤状態であり、使用前短時間吸水させることにより、練り混ぜから打込みまでの、まだ固まらないコンクリートの性質におよぼす影響はあまりないものと判断される。

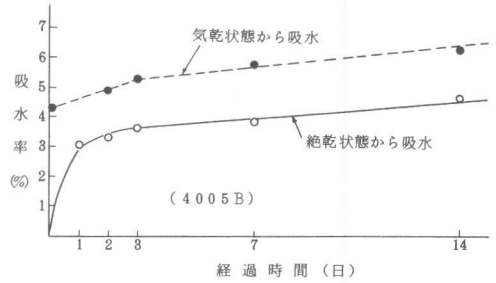


図-2 長時間吸水経時変化

### 3 高炉スラグ碎石の簡易表面水率試験方法について

高炉スラグ碎石は普通骨材より吸水率が大きく、乾燥状態で用いるとコンクリートの練り混ぜ、運搬、打込み中に品質が変動しやすいので、事前散水を行なって十分吸水した状態で使用するのがよい。このため、スラグ碎石の貯蔵設備には含水率を均等に保ち、ある程度の事前散水を行なうよう、土木、建築両学会の指針では指導している。散水することにより骨材表面には表面水が付着している。この表面水を現場で簡便に測定することがコンクリートの品質管理上望まれる。筆者らが考案した、簡易表面水率試験方法は図-3の通りであり、その試験方法と試験結果について述べる。

#### 3.1 簡易表面水率試験方法

現場（生コンプラント，ミキサー船）に納入されたスラグ碎石の代表試料を、約3～5kg採取し、吸湿性のよいタオルで骨材をころがすようにして、表面に付着した水分を拭きとる。（この操作はJIS A 1110の表乾状態の作り方と同様でよい。）初期重量（湿潤重量）を(A)とし、タオルで拭きとった後の重量（表乾重量）を(B)とすれば、現場表面水量(C)は1式で表わされる。

$$\text{現場表面水量 } C = A - B \quad \dots\dots\dots 1 \text{ 式}$$

1式で求めた現場表面水量中には、タオルに付着した微粉量も含まれている。タオルに付着した微粉量(E)を求めるため容器中で水洗いし、しばらく沈澱させた後、上ずみ水を捨て底に沈澱した微粉を105℃で恒温重量となるまで乾燥し、絶乾重量(I)を測定する。絶乾状態の微粉重量を表乾状態に換算するため、スラグ碎石の2.5 m/m以下の微粉を約1kg採取し、細骨材の表乾判定方法（JIS A 1109）に基づいて吸水率を測定する。表乾状態の微粉重量(E)は2式で表わされる。

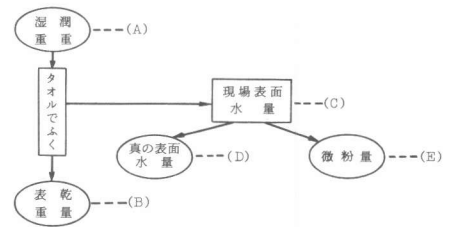


図-3 簡易表面水率測定方法

$$\text{表乾状態の微粉重量 } E = I \times (1 + \text{吸水率}) \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 式}$$

タオルに付着した微粉付着率(K)は、表乾状態の微粉重量(E)をタオルで拭きとった後の表乾重量(B)で除して求められ、3式で表わされる。

$$\text{微粉付着率 } K = E/B \quad \dots\dots\dots 3 \text{ 式}$$

現場表面水率(H)は現場表面水量(C)をタオルで拭きとった、表乾重量(B)で除して求められ4式で表わされる。

$$\text{現場表面水率 } H = C/B \quad \dots\dots\dots 4 \text{ 式}$$

簡易表面水率(J)は現場表面水率(H)より微粉付着率(K)を引くと5式で表わされる。

$$\text{簡易表面水率 } J = H - K \quad \dots\dots\dots 5 \text{ 式}$$

表-3 表面水率測定結果の平均

粗骨材の種類	項目 試料	湿潤重量	表乾重量	現場表面水量	微粉量	$I \times (1 + \text{吸水率})$	真の表面水量	現場測定表面水率	微粉付着率	簡易表面水率
		A	B	C	I	E	D	H	K	J
最大寸法	現状	$\bar{X}$ 2,744	2,270	24.0	9.97	10.14	18.82	0.884	0.372	0.512
		$\sigma$	119	120	2.5	2.38	2.42	2.40	0.102	0.105
	有姿	$\bar{X}$ 4,874	4,845	29.0	11.7	11.89	17.11	0.627	0.256	0.371
		$\sigma$	1,181	1,180	3.6	2.6	2.65	3.01	0.154	0.068
m/m 40	10mm以上	$\bar{X}$ 1,175	1,152	22.2	15.8	15.61	6.58	2.086	1.488	0.653
		$\sigma$	369	366	5.2	5.0	5.10	3.14	0.681	0.401
最大寸法 m/m 20	現状	$\bar{X}$ 8,065	8,038	26.9	13.74	13.82	18.12	0.887	0.455	0.482
	有姿	$\sigma$	229	224	7.4	2.58	2.60	5.59	0.210	0.090

注 (1) 本試験結果は試料数10個の平均値を記入した。  
(2) 表乾重量はタオルで拭きとったものを表乾状態と判定した。

前述の試験方法により、高炉スラグ砕石（4005B）の現状有姿と10 m/mふるいで、10 m/m以上と、以下にふるい分けた試料、および（2005B）の現状有姿の試料について測定した、試験結果を表-3に示す。

### 3.2 試験結果の考察

(A) 簡易表面水率を現場（生コンプラント，ミキサー船）で試験する場合、タオルに付着する微粉付着率を試験室で求めておく必要があり、これは試験する試料の状態によって微粉付着率は異なる。試験する試料の状態を4つのケースで、各々10回試験した結果は下記の通りであった。また、 $\bar{x}$ 管理図で示すと図-4の通りである。

- (1) (4005B) 現状有姿の場合 微粉付着率は0.37%
- (2) (4005B) 10m/m以上の場合 微粉付着率は0.26%
- (3) (4005B) 10m/m以下の場合 微粉付着率は1.43%
- (4) (2005B) 現状有姿の場合 微粉付着率は0.46%

スラグ砕石（4005B）現状有姿の場合試料重量が平均2.7Kgであり、バラツキが小さく比較的安定した値が得られた。また、10 m/mふるいで、ふるい分けた場合10 m/m以下が約20%あり、10 m/m以上が80%とであった。その結果10 m/m以下の微粉付着率は図-4からもわかるように非常に大きな値となり、10 m/m以上は逆に小さな値であった。

(B) 簡易表面水率試験方法を現場で実施する場合、微粉付着率を定数としておく必要がある。上記4つの方法から判断して10 m/mふるいで、ふるい分けることは手間がかかり実用的でない。従って現状有姿で試験することが望ましい。しかし、10 m/m以下が20%あり作業上の精度がよくないため、真の微粉付着率を求めるには10 m/mふるいで分割して求めた微粉付着率を、10 m/mふるいで分割した割合の加重平均値0.5%を定数とした方が理想的である。

$$\left. \begin{aligned} & (10\text{ m/m 以上微粉付着率})\ 0.26 \times 0.8\ (10\text{ m/m ふるいで分割した割合}) = 0.21 \\ & (10\text{ m/m 以下微粉付着率})\ 1.43 \times 0.2\ (10\text{ m/m ふるいで分割した割合}) = 0.29 \end{aligned} \right\} \text{合計 } 0.5\%$$

(C) スラグ砕石（2005B）の現状有姿で試験した場合、試料重量の平均が3Kgであり、バラツキが少なく比較的安定した値が得られた。

### 4 簡易表面水率試験方法の実施例

運輸省第三港湾建設局管内の防波堤築造（ケーソン上部工）工事において、上記試験方法を適用した。工事現場は海上であり、ミキサー船を使用した。このため、骨材貯蔵量に制限があり、骨材の納入は夜間および早朝に行なわれた。骨材の表面水率管理は、コンクリート練り混ぜ直前で測定しなければならず本試験方法が適用された。なお今回の微粉付着率は前述の検討結果を踏まえ0.5%とした。以下に、コンクリートの品質管理状況について報告する。また施工は2社で実施された。（A社、

B社）

#### 4.1 スラブの管理状況

本試験方法を適用した、コンクリートのスラブ管理状況を図-5に示す。施工日々のバラツキはあるがレミコン（JISA5308）の許容範囲内であった。また、全体を平均するとA社の平均は7.2cm、標準偏差は1.2cm、B社の平均は8.0cm、標準偏差は1.1cmであり、A社は目標スラブ8cmに対し硬めで管理され、B社は目標スラブ値で管理された。今回打込ま

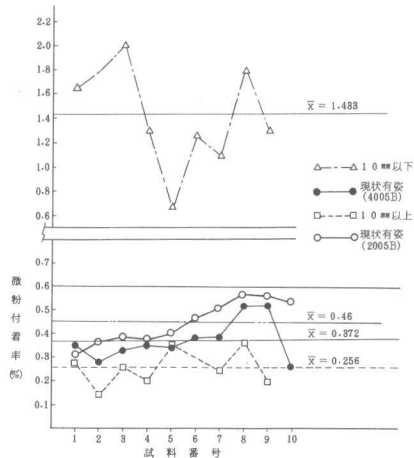


図-4 微粉付着率 $\bar{x}$ 管理図

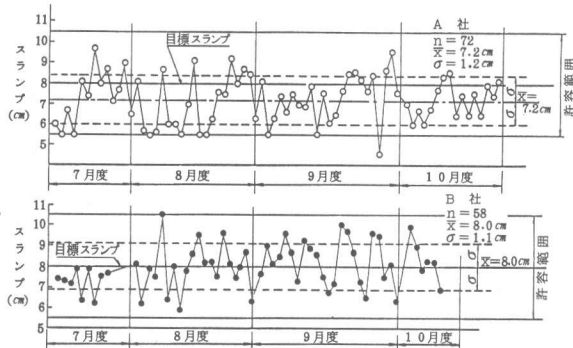


図-5 スラブ測定結果

れた、スラグ砕石コンクリートのスランプ管理は良好であったと思われる。

#### 4.2 硬化コンクリートの品質管理状況

今回打込まれたコンクリートの圧縮強度は設計基準強度 180 kg/cm<sup>2</sup> を全て満足した。A社、B社の圧縮強度を過去（天然砕石コンクリート）の実績と比較すると表-4の通りである。

(A) 材令28日の圧縮強度は天然砕石コンクリートと同等か若干高いものであった。

(B) 圧縮強度の標準偏差は13～16 kg/cm<sup>2</sup>であり、過去の実績17～38 kg/cm<sup>2</sup>に対して小さく、今回打込まれたコンクリートの品質管理は良好であったと思われる。

(C) 変動係数は4.6～6.4%であり、過去の実績6.6～15.0%より小さい。また、レミコン（JISA5308）工場の場合、変動係数が10%以下であれば品質管理の良好な工場といわれている。以上より、高炉スラグ砕石は事前吸水を十分行ない、表面水率を測定し補正することによって、バラツキの少ない均質なコンクリートが得られることが実証された。

表-4 年度別圧縮強度特性

年度別 施工業者 σ <sub>28</sub> 圧縮 強度特性	54年度 (スラグ砕石)		53年度 (天然砕石)		52年度 (天然砕石)	
	A社	B社	A社	C社	D社	C社
試料数(n)	58	49	53	42	26	19
平均値(kg/cm <sup>2</sup> )	276	241	247	254	261	239
標準偏差(σ)	12.7	15.5	29.8	38.1	17.3	23.2
変動係数(v)	4.6	6.4	12.1	15.0	6.6	9.7

(注) 約120㎡に1回の割合で供試体を作成した。

#### 5 試験結果のまとめ

本実験で得られた結果を要約すると、下記のようなことが言える。

1. 空げき率と理論吸水率の関係は、スラグ砕石の粒子が大きくなる程大きく、小さくなる程小さくなった。
2. 絶乾状態からと気乾状態からの吸水率の相違は、約2.0～3.0%となった。また現場に納入される、スラグ砕石は湿潤状態であるため、理論吸水率に近い状態である。
3. スラグ砕石の湿潤重量(A)と表乾状態(B)を測定し、4式で求めた微粉付着率(K)で補正することにより表面水率が簡単に測定出来る。
4. タオルに付着する、微粉付着率(K)は約0.5%として実用上支障ない。
5. 簡易表面水率測定に用いる試料は3～5kgとした方がよい。
6. 簡易表面水率試験方法を適用した、コンクリートのスランプは変動が小さく、JISA5308の許容範囲を十分満足した。
7. 圧縮強度は設計基準強度180 kg/cm<sup>2</sup>に対し、240～270 kg/cm<sup>2</sup>と大きい。また、標準偏差は13～16 kg/cm<sup>2</sup>であり、工事現場練りコンクリートの場合、その工事現場における標準偏差がわからない場合の35 kg/cm<sup>2</sup>より小さい。
8. 変動係数についてはJISA5308で推奨されている10%以下に対し4.6～6.4%と小さく、コンクリートの品質管理は良好であった。

#### 6 あとがき

高炉スラグ砕石は、JIS制定後約3年を経過した。現在、使用実績は徐々に拡大しつつある。民間需要のみならず、官公庁において、工事仕様書に明記して高炉スラグ砕石を使用していこうという機運が高まりつつある。このたび、運輸省第三港湾建設局において、管内港湾構造物に高炉スラグ砕石が使用されたことは、その機運の高まりを端的にあらわしている。

高炉スラグ砕石は、本文に述べた吸水特性に留意すれば、普通骨材とほとんど同様の扱いができると考えられる。今後、高炉スラグ骨材がより広範に利用されることを願うものである。

最後に、本試験に関して、貴重な御指導を賜った運輸省第三港湾建設局尼崎工事事務所に深甚の謝意を表わすとともに、種々の御協力を惜まれなかったヤマト工業(株)に対し心より御礼を申し上げる次第である。

#### 参考文献

- (1)高炉スラグ砕石コンクリート設計施工指針(案)(土木学会)。(2)高炉スラグ砕石コンクリート施工指針案・同解説(建築学会)。(3)コンクリート標準示方書(土木学会)。(4)工業規格便覧(セメント、コンクリート)(材料学会)。