

正会員 岸 谷 孝 一 (東京大学工学部)

正会員 ○友 沢 史 紀 (建設省建築研究所)

正会員 沼 田 晋 一 (新日本製鐵株式会社)

1. はじめに

現在、コンクリート用細骨材としては、良質の川砂が資源的に払底し、山砂、海砂等が多用されている。これらの細骨材には、泥分・有機不純物あるいは海水中の塩分が含まれているとか、石質の悪いものが多いなど品質上種々の問題があり、コンクリートの品質信頼性にも大きな影響を及ぼしていることが指摘されている。このため、新しい、品質の良い細骨材の開発が保たれているところであるが、その一つとして水砕スラグ細骨材の適正利用を促進することは、単にスラグの有効利用という面からのみならず、構造成用コンクリートの品質確保の面からも非常に有益である。

高炉スラグのコンクリート用骨材への利用研究は、すでに昭和49年度から51年度にかけて、日本鉄鋼連盟の委託により、財団法人建材試験センターにおいて「コンクリート用高炉スラグ骨材の標準化に関する研究」として行なわれたが、その中で水砕スラグ細骨材についても、その品質基準、使用規準作成のための研究がなされ、その成果は、「コンクリート用高炉スラグ砕砂JIS案」、「高炉スラグ砕砂コンクリート施工マニュアル(案)」として報告された。

しかし、当時はコンクリート用骨材としての安定した品質の水砕スラグの製造技術に改善の余地があり、各製鉄所の対応も十分でなく、また構造成用コンクリートに用いる骨材として一般に使用するためには、コンクリートの耐久性、施工性、構造成能、取扱い方法など検討を要する課題が多く残されていた。そこで、各高炉メーカーでは、上記の建材試験センターにおける研究に平行して、硬質水砕スラグの製造技術の確立とコンクリート用骨材としての性能の把握についての実験、研究を続けてきたのであるが、コンクリート用細骨材として十分使用可能と考えられる硬質の水砕スラグが安定的に得られる見通しがついてきたので、上記の残された問題について広範な研究を行うことにした。

本研究は、昭和52年度建設省建設技術研究補助金研究の要望課題である「コンクリート用水砕スラグ細骨材の使用規準作成に関する研究」に対して日本鉄鋼連盟が同補助金の交付を受け、連盟内に4つの研究部会からなる研究委員会を設けて、昭和52年6月～53年3月にかけて行つたものである。研究内容は、次項に示すように、多岐にわたり、その成果はすでに報告書としてまとめられているが、その概要をここに紹介することとした。なお研究組織は、末尾に示すとおりである。

2. 研究内容

本研究の研究内容は、以下の(1)～(4)に示すとおりであり、それぞれについて研究部会を設けて実施した。

(1) 水砕スラグ細骨材を用いたコンクリートの標準調合方法〔標準調合作成研究部会〕

各種調合の水砕スラグ細骨材コンクリートの基本的な性質を把握し、所定の性能のコンクリートを得るための調合方法を標準化する。また、水砕スラグ細骨材の品質とコンクリートの性質との関連についても検討し、水砕スラグ細骨材の品質基準作成のための資料を得る。

(2) 水砕スラグ細骨材を用いたコンクリートの品質、性能試験〔コンクリート品質・性能試験研究部会〕

水砕スラグ細骨材を用いたコンクリートの耐久性・施工性・構造成能を把握するため、下記a～cのワーキンググループを設け、実験研究を行なう。

a. 施工性能ワーキンググループ

コンクリートポンプ工法における圧送性、打込み、養生方法の問題点、施工に関連するコンクリートの

熱的性質，コンクリートプラントでの水砕スラグ細骨材の貯蔵方法に関する問題点に関し，実験研究を行なう。

b. 耐久性研究ワーキンググループ

中性化に対する抵抗性，凍結融解作用に対する抵抗性，温熱繰り返しに対する安定性，内部鉄筋の防錆性などについて試験する。

c. 構造研究ワーキンググループ

コンクリートの圧縮応力-歪関係，鉄筋コンクリート部材のひびわれ特性及び曲げせん断耐力特性を実験的に検討し，構造設計上の指針を得る。

(3) 水砕スラグ細骨材の品質基準案の作成に関する研究〔水砕スラグ細骨材品質基準作成研究部会〕

製造方法，製造場所の異なる多種の水砕スラグ細骨材の品質およびそれを用いたモルタル・コンクリートの品質を試験により把握し，骨材としての品質基準を作成するための資料を得る。

(4) 水砕スラグ細骨材の使用規準案の作成〔水砕スラグ細骨材コンクリート使用規準作成研究部会〕

上記(1)～(3)の調査・試験・研究の結果を総括し，コンクリート用水砕スラグ細骨材の品質基準案・性能判定基準案および水砕スラグ細骨材を用いたコンクリートの設計・施工に関する規準案を作成する。

3. 研究成果の概要

表1 水砕砂の物理試験結果

3.1 水砕スラグ細骨材の品質

研究対象とした10製鉄所で生産される水砕スラグ細骨材（以下，水砕砂という）の骨材としての品質試験結果例を表1に示す。その他の多くの試験結果を含めて，硬質の水砕砂は，絶乾比重2.5以上，吸水率3.5%以下程度である。化学成分は，JISA5011（コンクリート用高炉スラグ粗骨材）の規定値をいずれも満足している。

また，2銘柄について約3ヶ月間にわたって，その品質変動を調査した結果，品質の変動はきわめて少なく，安定した品質の製品を生産できることが確かめられた。

試験項目 砂の種類	比重		吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/m³)	ふるいを通過するものの重量百分率(%)						粗粒率	洗い試験で失われる量(%)
	表乾	絶乾			5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15		
C B	2.55	2.51	1.49	1.412	100	97	73	34	14	7	275	6.6
K M	2.67	2.60	2.90	1.500	100	99	83	40	17	8	256	3.7
N G	2.78	2.76	0.68	1.670	100	100	90	48	23	11	228	4.0
H R	2.81	2.75	0.93	1.798	100	97	74	39	17	7	2.66	3.1
Y H	2.63	2.59	1.67	1.472	100	100	85	45	21	11	2.40	4.0
O O	2.69	2.58	2.38	1.500	100	100	92	51	21	8	2.29	2.8
S K	2.82	2.79	1.00	1.790	100	98	59	35	23	13	2.72	3.8
K B	2.75	2.69	2.20	1.640	100	96	67	34	15	7	2.81	3.9
F K	2.65	2.62	1.00	1.510	100	98	84	46	11	4	2.55	1.0
F N	2.67	2.61	2.16	1.540	100	92	64	34	18	9	2.83	3.9
平均値	2.70	2.65	1.64	1.583	100	98	77	41	18	9	2.59	3.7
試験方法	JIS A 1109	JIS A 1109	JIS A 1109	JIS A 1104 (樺突)	JIS A 1102						—	JIS A 1103

3.2 コンクリートの調合（配合）の方法及び各種物性

所定のワーカビリティ（スランプ）と強度のコンクリートを得るための調合の定め方およびコンクリートの基礎的な物性を求めるため，水セメント比50～70%，スランプ8～18cmのAEコンクリートについて，代表的な水砕砂4銘柄を用いて広範な実験を行なった。その主要な結果を川砂コンクリートに対比させて以下に述べる。

- (1) 調合（配合）に関しては，単位水量を2～5%多く必要とし，単位粗骨材かさ容積を若干減少させる必要がある。空気を連行しやすい性質があるのでAE剤量を少なくする必要がある。
- (2) ブリージング量はやや多くなるが，その終結は早くなる傾向がある。凝結も若干早くなるようである。
- (3) 運搬中の空気量やスランプの変化は，同程度と考えてよい。
- (4) 圧縮強度は，同一水セメント比でみると，材令28日以前で

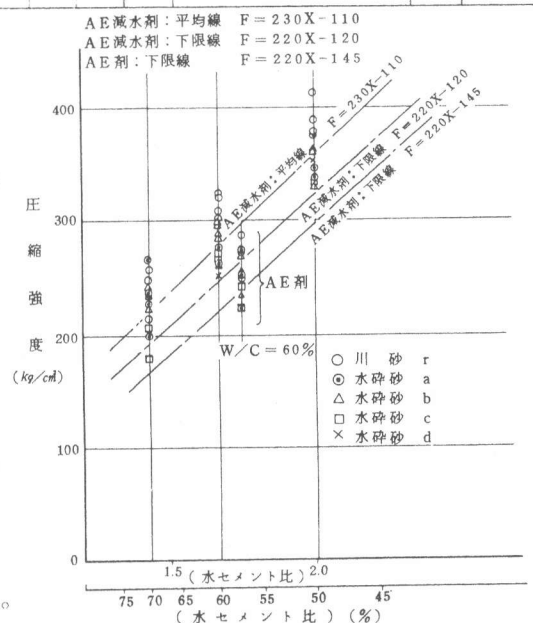


図1 水セメント比と圧縮強度の関係

は若干低いようであるが、材令91日では同等以上となる。

- (5) 曲げ, 引張, 付着強度, 圧縮静弾性係数については, 圧縮強度との関係で示すことにより, 川砂コンクリートと同じと考えてよい。またポアソン比も同じである。
- (6) 乾燥収縮率は川砂コンクリートよりやや小さいといえる。クリープ量, クリープ係数はやや大きくなる傾向がある。
- (7) コンクリートの比熱, 線膨張係数は同等であるが, 熱拡散係数は川砂コンクリートの70%程度である。
- (8) 一般の普通細骨材との混用は, コンクリートの諸物性に影響しない。

3.3 耐久性・安定性

- (1) 中性化の速さは, 通常の川砂コンクリートと同等である。
- (2) 凍結融解試験における動弾性係数は, 川砂にくらべてやや低下する傾向がある。凍結融解作用を受ける場所を使用する時は, 空気量をやや多くする必要があると思われる。
- (3) 蒸気養生による熱サイクル(5回)試験では, 圧縮強度, 長さ変化とも悪影響はなかつたが, オートクレーブによる熱サイクル(5回)試験では強度低下がみられた。
- (4) 鉄筋腐食促進試験の結果, 海砂と混用する以外は問題ないことがわかつた。材令3年の実構造物の調査でも問題はなかつた。

3.4 施工上の問題点

- (1) コンクリートポンプ工法における圧送性, 圧送によるコンクリートの品質変化は, 天然砂を用いた場合とほとんど変わらない。
- (2) 打ち込み方法, 養生方法, 気温(養生温度)の強度に及ぼす影響についても, 天然砂の場合と同様である。
- (3) コンクリートの熱拡散係数が小さいため, 大断面部材における内部温度上昇は, 天然砂の場合より若干高くなる。
- (4) 高温で含水率の高い状態に水砕砂を貯蔵すると固結するおそれがあり, また固結しないまでも, 水砕砂表面に水和物の生成が生じ, 比重・吸水率・洗い試験で失なわれる量などが変化することがある。したがって長期にわたる貯蔵は避けるべきであるといえる。

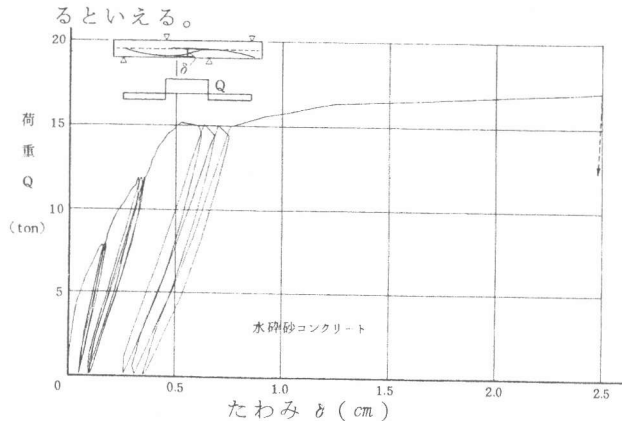


図5 荷重Q-たわみ δ 曲線

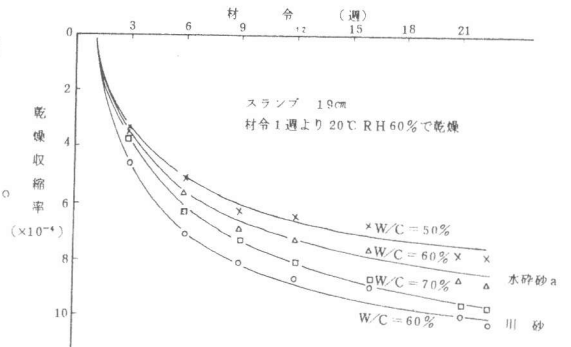


図2 水砕砂コンクリートの乾燥収縮率

供試体の状況				鉄筋		腐蝕率(%)						
セメント	粗骨材	位置	長さ	位置	長さ	10	20	30	40	50	60	70
普通 ポルトランド セメント	川砂	上	3	上	3							
		中	2	中	2							
	水砕砂 A	上	3	上	3							
		中	2	中	2							
	水砕砂 B	上	3	上	3							
		中	2	中	2							
	水砕砂 C	上	3	上	3							
		中	2	中	2							
	水砕砂A 海砂	上	3	上	3							
		中	2	中	2							
高伊 (B種) セメント	川砂	上	3	上	3							
		中	2	中	2							
	水砕砂 A	上	3	上	3							
		中	2	中	2							
	水砕砂A 海砂	上	3	上	3							
		中	2	中	2							
	海砂	上	3	上	3							
		中	2	中	2							

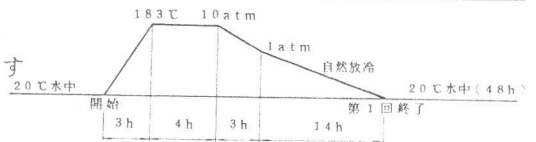


図3 オートクレーブ養生5回繰返しによる
コンクリート中の鉄筋発錆促進試験

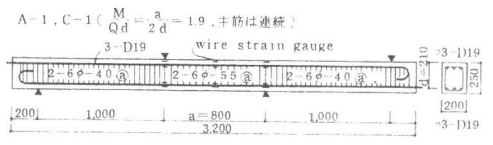
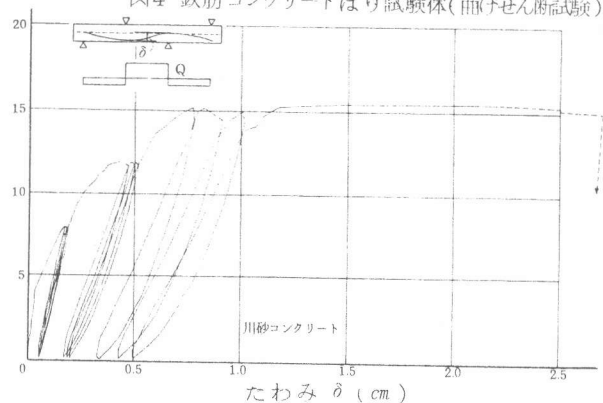


図4 鉄筋コンクリートはり試験体(曲げせん断試験)



3.5 鉄筋コンクリートとしての構造性能

- (1) ホグネスタド法により応力歪関係を求めた結果、水砕砂コンクリートは最大強度時歪、破壊時歪とも川砂コンクリートにくらべてやや小さく、歪能力に関してはややぜい性的であるといえる。
- (2) RC曲げ材引張側を想定した両引き付着試験の結果、水砕砂コンクリートは川砂コンクリートにくらべ、平均ひびわれ間隔がやや大きく、最大ひびわれ巾も大となる傾向があった。
- (3) RCはりの曲げせん断特性を試験した結果、水砕砂コンクリートは川砂コンクリートにくらべ、せん断ひびわれ荷重、せん断破壊荷重がやや高く、一方主筋が降伏する場合は同等の耐力性状を示し、また降伏にいたるまでの剛性はやや高く、最大荷重後の粘りはやや劣るといえる。また、主筋の付着性状は同等であるとみられ、総じて水砕砂コンクリートによる鉄筋コンクリートは、川砂を用いたそれと同等ないしそれ以上の構造性能を有すると考えられる。

表2 水砕スラグ細骨材の品質基準案

項目	規定値	
化学成分(%)	酸化カルシウム(CaOとして)	45.0以下
	全硫黄(Sとして)	2.0以下
	三酸化硫黄(SO ₃ として)	0.5以下
	全鉄(FeOとして)	3.0以下
絶対乾比重	2.5以下	
吸水率(%)	3.5以下	
単位容積重量(kg/ℓ)	1.45以下	
洗い試験で失われるもの(%)	7以下	

表3 水砕スラグ細骨材の標準粒度案

ふるいの呼び寸法(mm)	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
ふるいを通るものの重量百分率(%)	100	90~100	80~100	50~90	25~65	10~35	2~15

4. 水砕砂の品質基準案・性能判定基準案および水砕砂コンクリート設計施工規準案

研究を総括して、標記の基準類を作成し、提

案した。主要内容を表に示す。

表4 水砕スラグ細骨材の性能判定のためのコンクリートの調合(案)

調合記号	単位セメント量(kg/cm ³)	スランプ(cm)	空気量(%)
A	350 ± 5	8 ± 1	5 ± 1
B	270 ± 5	8 ± 1	5 ± 1
C	400 ± 5	18 ± 1	5 ± 1
D	300 ± 5	18 ± 1	5 ± 1

* 凍結融解に対する抵抗性を試験する場合は6 ± 0.5%とする。

表5 水砕スラグ細骨材の性能判定基準(案)

試験項目	調合記号	A	B	C	D	備考
ブリージング量(cc/cm ³)		-	-	0.5以下	0.5以下	
材令28日圧縮強度(kg/cm ²)		300以上	200以上	300以上	200以上	
材令28日引張強度(kg/cm ²)		25以上	20以上	25以上	20以上	
長さ変化率(乾燥収縮率)保存期間1.5週		-	-	9×10 ⁻⁴ 以下	9×10 ⁻⁴ 以下	
凍結融解に対する抵抗性(凍下率:%)		-	20以下	-	20以下	必要に応じて行う

(研究組織)

