

正会員 ○ 原田久光 (神戸製鋼所)
 浦川勇一 (神戸製鋼所)
 河端 薫 (神戸製鋼所)

水砕スラグ細骨材(以下水砕砂という)を用いたコンクリートについては、これまでに多くの報告がなされており、最近では昭和52年度建設省建設技術研究補助金研究の結果が、「コンクリート用水砕スラグ細骨材の使用標準の作成に関する研究」として日本鉄鋼連盟より報告され、水砕砂の品質基準案も述べられている。これまでの報告の多くは、細骨材の全量を水砕砂と置換したものを中心にしているが、水砕砂は粒形が砕砂に類似しており、全量置換をすればコンクリートの単位水量が増加するため、最近では天然砂との混合使用に関する研究が行なわれるようになり、また実際に使用する場合は殆んどが混合使用によっている。一方水砕砂は鋭角に破砕され易く、ガラス質で保水性が悪いためコンクリートのブリージング水量が多くなるとも考えられる。今回、ガラス質を少なくすることによって粒形を改善した水砕砂を製造することが可能となったので、この水砕砂を用いて置換率を変えて各種コンクリート試験を行った結果、改質した水砕砂は全量置換が可能となった。以下に従来水砕砂、新水砕砂を天然砂と混合使用する場合の好ましい混合割合、配合修正方法等を中心として、コンクリートの性質についても報告する。

1. 使用材料

セメントは普通大阪ポルトランドセメント、混和剤はヴァインソルを使用した。粗骨材は砕石20mmを使用した。従来水砕砂の試験では宝塚産を、新水砕砂の試験では茨木産を使用した。その試験結果を表-1に示す。水砕砂はい

表-1 各試験で使用した粗骨材の性質

項目	表 乾 重 比	吸 水 率	単 位 容 積 質 量 (kg/m ³)	実 積 率 (%)	粗 粒 率 F. M.
従来水砕砂の試験	2.60	0.8	1510	5.81	6.63
新水砕砂の試験	2.70	0.5	1580	5.88	6.81

ずれも神戸製鉄所・炉外方式水砕砂であるが、ガラス化率はそれぞれ従来水砕砂が90%、新水砕砂が80%である。天然砂は愛知川産粗目川砂と細目海砂を混合したものを使用した。細骨材の試験結果を表-2に示すが、新水砕砂は従来水砕砂より実積率が約4%大きい。

表-2 各試験で使用した細骨材の性質

項目	従来水砕砂の試験			新水砕砂の試験					
	天然砂	混合砂 (水砕砂 50%)	水砕砂	天然砂	混合砂 25%	水砕砂 50%	水砕砂		
表乾比重(1)	2.58	-	-	2.60	-	-	-		
表乾比重(2)	-	2.64	2.70	-	(2.62)	(2.63)	2.66		
吸水率(1) (%)	2.0	-	-	1.5	-	-	-		
吸水率(2) (%)	-	3.1	4.1	-	(2.0)	(2.6)	3.6		
単位容積質量 (kg/m ³)	1690	1650	1610	1650	1650	1660	1690		
実積率 (%)	65.5	62.5	59.6	63.6	63.1	63.2	63.2		
安定性(損失重量) (%)	-	1.2	2.4	-	-	-	-		
洗い試験で失なわれるものの量 (%)	2.2	3.6	5.0	1.8	(3.2)	(3.2)	4.6		
塩分(NaClとして) (%)	0.000	0.000	0.000	0	(0)	(0)	0		
有機不純物	良	良	良	良	良	良	良		
粗 粒 率 F. M.	ふる 百分 率 (%)	5 mm	97	98	100	100	(100)	(100)	100
		2.5 mm	87	92	96	91	(93)	(95)	97
		1.2 mm	73	72	72	74	(73)	(72)	70
		0.6 mm	52	44	36	48	(44)	(39)	35
		0.3 mm	16	16	16	13	(14)	(15)	16
	0.15 mm	3	6	8	3	(4)	(6)	8	
粗 粒 率 F. M.		2.70	2.72	2.72	2.71	(2.72)	(2.73)	2.74	

() 内数値は、天然砂、人工砂から計算によって求めたもの

(1) : JISA-1109「細骨材の比重および吸水量試験方法」による

(2) : JISA-1134「構造用軽量細骨材の比重および吸水量試験方法」による

2. 実験概要

従来水砕砂と新水砕砂の天然砂との置換率はそれぞれ表-3に示すように0, 25, 50, 75, 100%である。この組合せで経済的な使用範囲を探ることを主目的にまだ固まらないコンクリート

表-3 水砕砂の置換率

水 砕 砂 の 種 類	置 換 率 (%)
従来水砕砂のコンクリート試験	0, (25), 50, (75), 100
新水砕砂の "	0, 25, 50, (75), 100

() 内は、今回報告を省略する

について試験し、各置換率ごとに標準配合表を作成した。コンクリート試験項目はそれぞれ表-4に示す通りとし、ブレンコンクリート、AEコンクリート、AE減水剤使用コンクリートについて行った

が、コンクリート試験に入る前にモルタルによる一連の試験を行った。

3. コンクリートの配合

従来水砕砂を用いたコンクリートでは、プレーン、A Eともに各使用砂間でW/Cおよびスランプが一定になるように定めた。配合の数はW/Cとスランプの組合せで、一般に使用されているコンクリートの範囲を含む意味で4点を選んだ。A Eコンクリートの空気量は5%を目標とした。配合を表-5に示す。

新水砕砂を用いたコンクリートでは、プレーン、A E、A E減水剤ともに各使用砂間でW/C、スランプが一定になるように定めた。配合の数はW/Cおよびスランプをそれぞれ40~70%、8

表-4 コンクリート試験項目

区 分	試 験 項 目	コンクリートの種類
まだ固まらない コンクリート	スランプ、空気量	プレーンコンクリート
	単位容積質量	A Eコンクリート
	ブリージング	(A E減水剤コンクリート)
硬化した コンクリート	圧縮強度	プレーンコンクリート
	曲げ強度	A Eコンクリート
	弾性係数	A E減水剤コンクリート
	長さ変化	
	凍結融解 透水性	

注 ()内は今回の報告を省略する。

表-5 従来水砕砂を用いたコンクリートの配合

砂の種類	W/C (%)	スラ ンプ (cm)	プレーン		A E		A E剤 使用量 (C×%)
			S/A (%)	水量 (Kg/m ³)	S/A (%)	水量 (Kg/m ³)	
天然砂	4.9	8	4.3.5	1.7.4	4.1.5	1.5.8	0.0.3.2
	5.7	12	4.4.7	1.8.5	4.2.7	1.6.9	0.0.3.0
	6.4	18	4.5.8	1.9.5	4.3.8	1.7.8	0.0.3.0
	7.1	21	4.8.8	2.1.0	4.6.8	1.9.8	0.0.3.0
混合砂	4.9	8	4.3.4	1.8.1	4.1.9	1.6.2	0.0.2.8
	5.7	12	4.5.2	1.9.0	4.3.2	1.7.3	0.0.2.6
	6.4	18	4.6.5	2.0.1	4.4.5	1.8.2	0.0.2.6
	7.1	21	4.9.5	2.2.1	4.7.5	2.0.4	0.0.2.6
人工砂	4.9	8	4.4.3	1.8.9	4.2.3	1.7.2	0.0.2.3
	5.7	12	4.5.9	1.9.8	4.3.4	1.8.2	0.0.2.1
	6.4	18	4.7.1	2.1.0	4.5.1	1.8.7	0.0.2.1
	7.1	21	5.0.1	2.2.8	4.8.1	2.1.1	0.0.2.1

表-6 新水砕砂を用いたコンクリートの配合

水砕砂の 使用量	W/C (%)	スラ ンプ (cm)	プレーンコンクリート		A Eコンクリート			A E減水コンクリート			
			S/A (%)	水量 (Kg/m ³)	S/A (%)	水量 (Kg/m ³)	ブイナル (C×%)	S/A (%)	水量 (Kg/m ³)	Pz.No. 5L (C×%)	Pz.No. 303 (C×%)
天然砂 100%	4.0	8	3.9.5	1.8.0	3.9.1	1.6.6	0.0.1.5	3.8.9	1.6.0	0.2.5	0.0.0.4
	4.5	8	4.1.0	1.8.0	4.0.3	1.6.6	0.0.1.5	4.0.2	1.6.0	"	0.0.0.4
	5.0	8	4.2.0	1.8.0	4.1.3	1.6.6	0.0.1.7	4.1.2	1.6.0	"	0.0.0.3
	5.5	12	4.4.0	1.8.5	-	-	-	-	-	-	-
	6.0	15(18)	4.5.0	1.9.5	4.6.2	1.9.3	0.0.1.7	4.5.7	1.8.7	"	0.0.0.3
	6.5	18	4.7.0	2.1.0	-	-	-	-	-	-	-
	7.0	21	5.0.0	2.2.5	4.9.6	2.0.7	0.0.1.7	4.9.4	2.0.0	"	0.0.0.3
水砕砂 25%	同	同	3.9.5	1.8.0	3.9.1	1.6.6	0.0.1.5	3.8.9	1.6.0	0.2.5	0.0.0.3
	上	上	?	?	?	?	?	?	?	?	?
水砕砂 50%	同	同	4.0.5	1.8.0	4.0.2	1.6.6	0.0.1.5	4.0.0	1.6.0	0.2.5	0.0.0.3
	上	上	?	?	?	?	?	?	?	?	?
水砕砂 100%	同	同	4.1.5	1.7.5	4.1.3	1.6.1	0.0.1.5	4.0.0	1.6.0	0.2.5	0.0.0.1
	上	上	?	?	?	?	?	?	?	?	?

()内のスランプはA E、A E減水剤の場合の数値である。

~2.1cmの範囲の組合せで7点、A EおよびA E減水コンクリートでは5点とし、空気量は4%とした。配合の概要を表-6に示す。

4. まだ固まらないコンクリートの品質とコンクリートの配合に関する試験結果

(1) 単位水量： 比較的良質な水砕砂を全量置換したコンクリートでは、良質な川砂を使用したコンクリートに比べて2~5%単位水量が多くなるといわれている。今回の実験では、比較対象用天然砂として関西地区で実用されているものに近い砂の中から良質のものを選定した。その結果、従来水砕砂、新水砕砂を使用したコンクリートの単位水量は図-1のとおりである。従来水砕砂の使用では、50%使用で約3%の単位水量増となるが、30%使用の場合は、実使用の経験から1%の単位水増でよい。一方、新水砕砂を使用すると、100%使用においても単位水量は天然砂コンクリートと同量でよく、スランプ8~12cm、W/C40~50%のプレーン、A Eコンクリートの場合は、逆に3%の単位

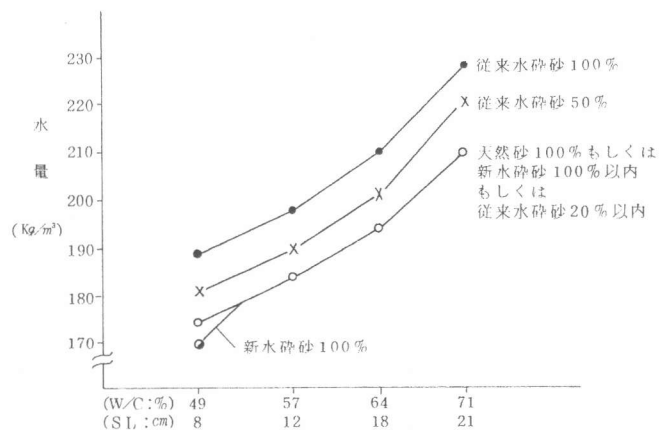


図-1 水砕砂を使用したA Eコンクリートの単位水量

水量減となる。この結果から、従来水砕でまえがきの項で述べた品質基準案に合格する水砕砂は、30%以内の置換率であれば1%前後の単位水量増加で混合使用できるものと思われる。

(2) 細骨材率： 従来水砕砂、新水砕砂いずれの水砕砂の場合も、100%置換すると、良好なワーカビリティを得るための細骨材率は、天然砂コンクリートより1~2%多くするのがよい。この結果は水砕砂の粒形と表面形状がやや悪いことに原因していると考えられる。しかし図-2に示すように水砕砂の置換率を30%以内にすれば、いずれの水砕砂でも天然砂コンクリートと同一細骨材率でよい。このことはブレン、AE、AE減水コンクリートのいずれも同じである。

(3) 空気量及び混和剤使用量： 新水砕砂を用いたコンクリートの空気量試験結果の1例を図-3に示した。ブレンコンクリートの空気量は、水砕砂使用量の多少に関係なくほぼ一定であるが、AEコンクリートにおいては水砕砂の使用量が増加すると、同一AE剤量における空気量は多くなる。この傾向は、図-3以外の他の配合のコンクリートでも同じであり、従ってAEコンクリートにおいて同一空気量を得るに要するAE剤量は、水砕砂コンクリートでは少なくしてよい。この使用量は混和剤の種類によって異なるが、今回の実験結果では新水砕砂を100%使用すると天然砂コンクリートに比しAE剤で約1/2、AE減水剤で約1/3となった。また従来水砕砂を100%使用するとAE剤で約2/3、AE減水剤で1/3~1/4となった。しかしいずれの水砕砂の場合も、水砕砂の使用量が30%以内であれば、天然砂コンクリートとほぼ同量でよいと考えられる。

(4) プリージング： 試験結果を表-7に示す。新水砕砂を用いたコンクリートでは天然砂コンクリートとほぼ同じである。また従来水砕砂を用いたコンクリートでも、単位水量が大きくなったにもかかわらず、プリージング量は天然砂コンクリートとほぼ同じである。従ってプリージング量に関しては、いずれの水砕砂を用いても置換率に関係なく天然砂コンクリートと変りないものと考えられる。

(5) 水砕砂コンクリートの配合： 水砕砂の使用量を変えたコンクリートの、天然コンクリートに対する配合修正方法を表-8に示した。今回の試験結果とその後の実使用経験より、まえがきの項で述べた品質基準案に合格する粗粒率が2.7程度の水砕砂を使用する砕石コンクリート(W/C40~70%)では、同天

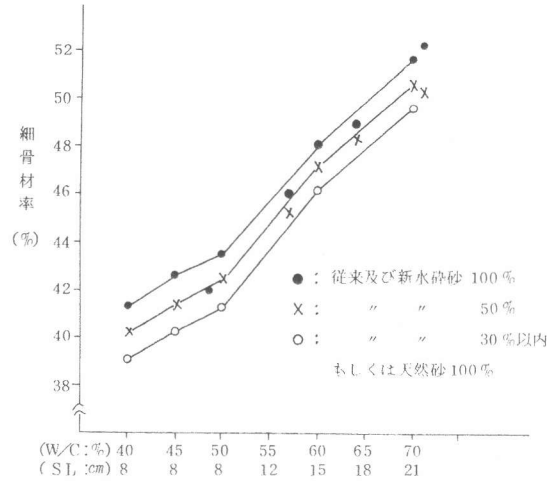


図-2 水砕砂を使用したAEコンクリートの細骨材率

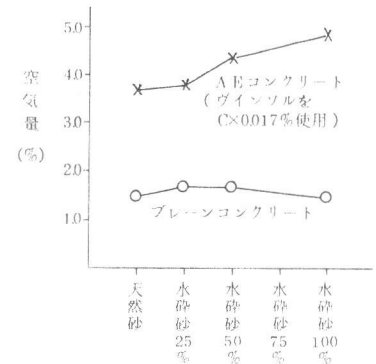


図-3 水砕砂コンクリートの空気量

表-7 水砕砂コンクリートのプリージング量 (CC/cm²)

	従来水砕砂使用の場合				新水砕砂使用の場合			
	W/C=4.9%		W/C=6.4%		W/C=5.0%		W/C=6.0%	
	SL=8cm		SL=1.8cm		SL=8cm		SL=1.8cm	
	ブレン	AE	ブレン	AE	ブレン	AE	ブレン	AE
天然砂 100%	0.18	0.18	0.49	0.41	0.23	0.18	0.58	0.33
水砕砂 25%	-	-	-	-	0.18	0.17	0.54	0.32
水砕砂 50%	0.20	0.19	0.54	0.38	0.22	0.19	0.57	0.49
水砕砂 100%	0.20	0.20	0.49	0.41	0.21	0.19	0.54	0.33

表-8 水砕砂コンクリートの配合修正法

砕石：20mm 砂のFM：2.70
W/C：80~49% SL：21~8cm

	天然砂を使用したコンクリート	基準値	従来水砕砂を使用する場合			新水砕砂を使用する場合		
			25%	50%	100%	25%	50%	100%
			使用	使用	使用	使用	使用	使用
AEコンクリート	単位水量	基準値	+1%	+2%	+4%	+0	+0	数値+0.5kg
	単位セメント量		+0	+1%	+2%	+0	+1%	+2%
AE減水剤コンクリート	単位水量	基準値	+1%	+2%	+4%	+0	+0	+0
	単位セメント量		+0	+1%	+2%	+0	+1%	+2%

然砂コンクリートに比較して、従来水砕砂では単位水量を1～4%、細骨材率を1～2%、それぞれ大きくする必要はある。しかし水砕砂の使用量を30%以内にすれば天然砂コンクリートに対し、新水砕砂ではまったく同一配合、従来水砕でも単位水量を約1%増すだけの配合でよい。

5. 硬化したコンクリートの品質
 試験結果の1例を表-9にまとめた。既応の報告に比して特徴的な点は、A E減水剤コンクリートの材令6ヶ月以降の強度の伸びが特に大きく、その値が水砕砂の量が多いほど大きいことと、蒸気養生した場合の初期強度が天然砂コンクリートより大きいことと曲げ強度では特にその値が大きく、かつ水砕砂の量が多いほど大きいことである。水砕砂コンクリートの長さ変化は1年経過後も天然砂コンクリートより小さく、凍結融解もA Eコンクリートにすれば天然砂コンクリートと同じであり、また材令2年の圧縮強度も天然砂コンクリートより大きく、現段階では安定性もよいものと考えられる。

6. まとめ

まえがきで述べた品質基準案に合格する炉外方式で粗粒率2.7程度の水砕砂は、結晶質部の量を20%含ませることによって、天然砂コンクリートに比し同等以下の単位水量で、細骨材率を2%以下の範囲で大きくするだけで100%置換が可能である。また置換率を30%以内にすれば、上述の新水砕砂は天然砂コンクリートと同じ配合で、結晶質部が約10%で実積率が60%程度の上従来水砕砂では、天然砂コンクリートに比し、単位水量を1%増すだけでよい。コンクリートの強度、安定性についても、これまでの結果によればA Eコンクリートにすることによって、天然砂コンクリートと同等と考えられる。このようなことから、経済的で使い易い水砕砂の範囲は、本実験に使用した水砕砂に限っていえば約30%になる。しかし蒸気養生製品の場合は、水砕砂の量を多くする程大きな強度が得られる。また長さ変化が小さいこと及び、工業製品であって粒度が安定していることから、左官モルタル砂としても適していると考えられる。

(参考文献)

- 1) 「コンクリート用水砕スラグ細骨材の使用標準の作成に関する研究」 昭53・3 日本鉄鋼連盟
- 2) 「コンクリート用天然砂に代る高炉水砕砂」 セラミックデータブック 1977/78 原田久光
- 3) 「大阪セメント技報」 第40号、第43号 大阪セメント(株)

表-9 天然砂コンクリートに対する水砕砂コンクリートの圧縮、曲げ、引張強度比
 (従来水砕砂使用、数値は天然砂使用コンクリートを100とした時の割合-%)

養生方法	W/C (%)	SI (cm)	砂の種類	ブレンコンクリート								A Eコンクリート				A E減水剤コンクリート						
				圧縮強度		曲げ強度		圧縮		引張		圧縮強度		曲げ強度		圧縮強度		曲げ強度				
				7日	28日	1年	2年	7日	28日	63日	91日	7日	28日	7日	28日	7日	28日	砂月	1年	7日	28日	91日
標準養生	49	8	天然砂	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
			水砕砂 5.0%	96	101	98	97	96	103	104	102	100	101	101	98	96	95	108	114	97	91	117
			水砕砂 10.0%	86	91	98	100	95	97	99	101	95	99	93	93	97	99	106	112	89	97	120
養生	64	18	天然砂	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
			水砕砂 5.0%	89	92	100	103	109	89	99	98	97	101	117	105	95	95	106	109	105	88	105
			水砕砂 10.0%	91	93	108	109	113	97	107	110	94	104	99	104	100	103	115	126	103	87	120
蒸気養生	49	8	天然砂	100	100	-	-	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			水砕砂 5.0%	105	104	-	-	111	105	109	108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			水砕砂 10.0%	102	101	-	-	114	109	106	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

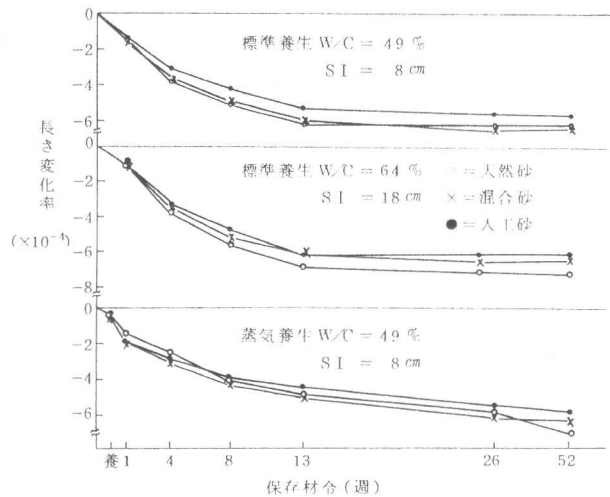


図-4 従来水砕砂を使用したブレンコンクリートの長さ変化

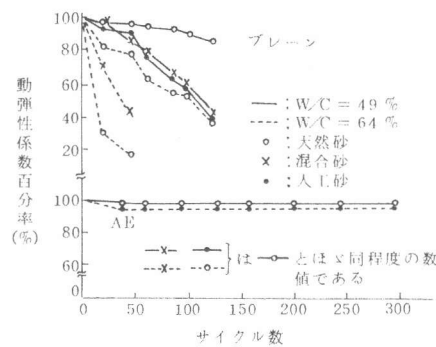


図-5 従来水砕砂を使用したコンクリートの凍結融解試験による耐久性