

戻りコンクリートの完全リサイクル「IWA システム編」

1. はじめに

大阪兵庫生コンクリート工業組合（以下、大阪兵庫工組）では、平成 22 年 3 月に回収骨材の有効利用検討ワーキンググループを立ち上げ活動を行っている。

その一環として、平成 26 年 3 月に、「回収骨材の有効利用マニュアルーIWA システム編ー」を発行した。IWA システムは、戻りコンクリートを一般的な洗浄設備により処理する方法とは異なり、直接ミキサー車に特殊混和材を投入するため、生コン工場で処理した際に発生するスラッジ水、脱水ケーキおよびコンクリート塊などを大幅に抑制することができる。

マニュアルには、特殊混和材による処理方法、IWA 骨材を使用したコンクリートの実験結果、配合設計および日常管理を項目別に記載し、生コンクリート用代替骨材として有効利用できるようにまとめたものである。

本報告書は、IWA システムを有効活用してもらうため、当ワーキンググループが発行した「回収骨材の有効利用マニュアルーIWA システム編ー」（以下、マニュアル）に従い、戻りコンクリートから IWA 骨材を作製し、コンクリート用骨材として生コンクリートの製造を行い、現場に納入する実証実験を実施した。

実証実験で得られた新たな方法、改善点およびコンクリートの性状などをまとめ、マニュアルのフォローアップを目的としている。

2. IWA 骨材の作製

(1) IWA 骨材の作製方法の追記

IWA 骨材の作製方法は、戻りコンクリートに特殊混和材を投入し高速攪拌すると、粗骨材にモルタルが積層する。その後、ミキサー車から排出しながら薄く敷き均し 6~12 時間経過すると、パワーショベルまたはペイロード等で踏み均し IWA 骨材が完成する。最大骨材寸法 20 mm の場合には約 25~00 mm の粒度分布状態となる。

マニュアルに従い、戻りコンクリートに特殊混和材を投入し改質および解砕作業を行い、コンクリート用 IWA 骨材を作製した。今回得られた新たな方法を表-2.1 に示す。

表-2.1 新たな方法

項目	方法	理由
改質	2.1 (2) 特殊混和材の投入方法 特殊混和材の投入はミキサドラムを反転しドラム口までコンクリートを戻すことが重要である。 <u>なお、練り玉などができる場合は、ミキサドラムを高速攪拌しながら特殊混和材を投入すると改善される。</u>	ミキサドラムを反転しドラム口までコンクリートを戻すと、特殊混和材を確実にコンクリートに投入することができるが、練り玉などの発生やミキサドラムの羽根に付着しやすくなる。これは、高速攪拌しながら投入すると改善された。ただし、特殊混和材の投入は確実にコンクリートに届くように行う。

項目	方法	理由
改質	<p>2.1 (2) 特殊混和材の投入方法</p> <p>④追記：<u>改質過程で骨材にモルタルの付着が不十分な場合は、再度中速攪拌し骨材にモルタルを付着させる。なお、ミキサー車の攪拌羽根にコンクリートの固着が多い場合は、特殊混和材が吸着されやすいため、予めハツリ落とすことを推奨する。</u></p>	<p>特殊混和材投入後の攪拌が不十分な場合およびミキサー車のドラム内に付着コンクリートが多くなると、粗骨材にモルタルが巻き付きにくくなる場合がある。再攪拌しモルタルを粗骨材に付着させないとドラム内の固着コンクリートに特殊混和材が吸着されてしまう。</p>
改質	<p>2.1 (3) 排出および養生方法</p> <p>① 排出は高速ではなく、中速もしくは低速で行い、排出する地面はできるだけ乾燥している所を選び薄く敷き均す。<u>なお、排出時にはペイローダなどのバケットに受け、薄く敷均すと作業性が向上する。</u></p>	<p>改質後の IWA 骨材は、ミキサー車から排出しながら敷きならすと、厚さが不均一になりやすい。また、ミキサー車の移動などにより作業時間を要する。</p>
解砕	<p>2.1 (4) 解砕方法</p> <p>解砕は、排出後 6～12 時間経過すると、パワーショベルまたはペイローダ等で踏み均し、かき混ぜることが可能となる。<u>なお、2～4 時間経過後、既に完成している IWA 骨材と混合し、再び薄く敷均しておくとその後の解砕作業性が向上する。</u></p>	<p>解砕は、排出後 6～12 時間経過すると、パワーショベルまたはペイローダ等で踏み均し、かき混ぜることが可能となるが、一部に固結力が強い小さな塊が発生する。コンクリートに利用するためには小さな塊も砕く必要がある。</p> <p>新たな方法を採用すると小さな塊の発生などを大幅に抑制することができ、作業時間が短縮できる。</p>

(2) IWA 骨材の試験結果

IWA 骨材の試験結果について、マニュアルに掲載している結果（前回）および今回得られた結果を比較するため、細骨材を表-2.2 に、粗骨材を表-2.3 に示す。なお、IWA 骨材 25～00 mm のうち 5 mm のふるいを通過する過小粒の割合は、前回同様に約 30% であった。

IWA 骨材を原骨材と比較すると、吸水率が非常に大きく密度が小さくなり、粗骨材の実積率は大きくなるのが特徴である。前回と今回の試験結果で傾向が異なった試験項目は微粒分量だけで、その他の試験項目は前回と同傾向であった。微粒分量については、今回は実出荷のために大量の IWA 骨材が必要となり、改質後の固結状態の違いにより重機を用いた解砕作業を入念に行ったことや、IWA 骨材作製後 3～5 ヶ月程度堆積場に貯蔵していたため、雨水などが微粒とともに流れ込み、微粒分量が大きくなったと考えられる。

表-2.2 細骨材の試験結果の比較

種類	試験	粒の大きさの範囲 (mm)	微粒分量 (%)	単位容積質量 (kg/L)	実積率 (%)	粗粒率	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
原細骨材	前回	5 以下	3.8	1.69	65.2	2.70	2.59	1.26
IWA 細骨材			1.2	1.29	61.8	3.41	2.08	10.14
原細骨材との比			0.32	0.76	0.95	1.26	0.81	8.02
原細骨材	今回	5 以下	3.3	—	—	2.77	2.59	1.27
IWA 細骨材			5.3	—	—	3.99	2.01	10.41
原細骨材との比			1.61	—	—	1.44	0.78	8.20

表-2.3 粗骨材の試験結果の比較

種類	試験	粒の大きさの範囲 (mm)	微粒分量 (%)	単位容積質量 (kg/L)	実積率 (%)	粗粒率	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	すりへり減量 (%)
原粗骨材	前回	5~20	0.88	1.51	57.5	6.75	2.62	0.77	9.30
IWA 粗骨材		5~25	0.23	1.47	64.5	6.80	2.27	6.14	17.73
原粗骨材との比			0.26	0.97	1.12	1.01	0.87	7.97	1.91
原粗骨材	今回	5~20	0.60	1.54	58.7	6.68	2.62	0.77	—
IWA 粗骨材		5~25	1.60	1.48	63.8	6.85	2.32	4.96	—
原粗骨材との比			2.62	0.96	1.09	1.03	0.89	6.48	—

3. 試し練り

3.1 実験 1

(1) 実験概要

実験 1 では、マニュアルに掲載しているシリーズⅡの実験において決定したかさ容積が、今回作製した IWA 骨材においても適用可能であるのか、また実出荷における要点を把握するために室内試し練りを行った。

試し練りを実施する配合の設定は、呼び強度 13.5、21、および 27 の 3 水準とし、スランプは 15cm とした。それぞれの水セメント比は、シリーズⅡの実験結果より求めた値を採用した。また、目標とするスランプは、スランプロス(1.5cm)を見込んだ 16.5cm とした。なお、実験の手順は、マニュアルに基づいて行い平成 26 年 7 月 9 日に実施したが、スランプが過大となったため配合修正が必要となった。

(2) 配合修正および単位量

シリーズⅡの実験において決定した単位水量では、スランプが目標値より過大となったため、マニュアルからさらに単位水量を 5kg/m³ 減じた。

配合修正の内容を表-3.1 に示す。

表-3.1 配合修正の内容

No.	配合	W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)		かさ容積(L/m ³)		単位量(kg/m ³)				
			マニュアル	実験 1	マニュアル	実験 1	C	W	S1	S3	G3
①	13.5-15-25N	66	175	170	610	610	258	170	347	403	941
②	21-15-25N	54	173	168	610	610	311	168	309	403	941
③	27-15-25N	46	176	171	610	610	372	171	252	403	941

(3) フレッシュコンクリート

室内試し練りの結果を表-3.2に示す。

配合①および②の呼び強度 13.5 および 21 については、修正した単位水量の減少に伴い単位セメント量も減少し、フレッシュ性状がやや分離傾向となったため、さらに配合修正が必要となった。

表-3.2 室内試し練り結果

No.	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	塩化物含有量 (kg/m ³)	単位水量測定結果		スランプ性状
						W(kg/m ³)	W/C (%)	
①	18.5	30.3×29.7	5.1	21	—	175.9	68.3	やや分離
②	18.0	32.0×31.5	4.0	22	—	173.7	55.8	やや分離
③	18.0	30.6×29.7	3.9	23	0.06	177.8	47.8	良好

(4) 硬化コンクリート

圧縮強度試験の結果を表-3.3に示す。

圧縮強度試験の結果はマニュアルで示した実験式の値と同等であった。

実験1では、単位水量を 5 kg/m³ 減じたが、水セメント比およびかさ容積を修正していないため、圧縮強度の再現性が確認された。

表-3.3 圧縮強度試験の結果

No.	配合	圧縮強度 (N/mm ²)			
		7日	平均	28日	平均
①	13.5-15-25N	13.5	13.4	19.2	18.8
		13.2		18.5	
		13.6		18.8	
②	21-15-25N	20.2	19.9	27.9	27.6
		19.9		27.5	
		19.5		27.5	
③	27-15-25N	25.3	25.8	34.3	34.6
		26.5		35.9	
		25.7		33.7	

3.2 実験 2

(1) 実験概要

実験 2 では、実験 1 で実施した呼び強度 13.5 および 21 のフレッシュ性状がやや分離傾向となったことから、かさ容積を減じると共に単位水量をマニュアルの推奨値に戻した配合にし、平成 26 年 8 月 26 日に室内試し練りを実施した。

実験 1 での圧縮強度の結果がマニュアルと同等であったこと、および低強度域での出荷が想定されるため、呼び強度 21 および 27 は省くこととした。また、配合において実打設によるポンプ圧送性および施工性を考慮し、スランプ 15cm では呼び強度 16 および 18 の配合を追加し、呼び強度 16 についてはスランプ 18cm を追加した。

なお、今回の実験も目標とするスランプは、実験 1 と同様にスランプロス(1.5cm)を見込んでいる。

(2) 配合修正および単位量

マニュアルおよび実験 1 から変更した配合修正の内容を表-3.4 に示す。

実験 1 で減じた単位水量をマニュアルの推奨値に戻し、かさ容積をマニュアルから 30L/m³減じた配合に修正し、フレッシュ性状の改善を図った。なお、水セメント比は修正していない。

表-3.4 配合修正の内容

No.	配合	W/C (%)	単位水量(kg/m ³)			かさ容積(L/m ³)			単位量(kg/m ³)				
			マニュアル	実験 1	実験 2	マニュアル	実験 1	実験 2	C	W	S1	S3	G3
①	13.5-15-25N	66	175	170	175	610	610	580	265	175	392	387	903
②	16-15-25N	60	174	—	174	610	—	580	288	173	378	387	903
③	18-15-25N	57	173	—	173	610	—	580	304	173	365	387	903
④	16-18-25N	60	184	—	184	580	—	550	307	184	455	354	825

(3) フレッシュコンクリート

室内試し練りの結果を表-3.5 に示す。

配合修正によりフレッシュ性状が改善され、良好な結果が得られた。また、スランプフローに対するスランプの比 (F/S) も、平均すると 1.69 から 1.74 とやや大きくなった。

表-3.5 室内試し練りの結果

No.	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	スランプ性状
①	17.5	30.8×29.7	4.6	23	良好
②	17.5	30.5×29.6	4.4	23	良好
③	16.0	28.2×27.4	4.9	23	良好
④	19.5	34.3×33.2	4.9	23	良好

(4) 硬化コンクリート

圧縮強度試験の結果を表-3.6に示す。

圧縮強度試験の結果はマニュアルで示した値と同等であった。

3.3 圧縮強度の検証

実験1および実験2のセメント水比と圧縮強度の関係を図-3.1に示す。

マニュアルでは IWA 骨材を使用する場合の配合設計は、室内試し練りを実施し単位水量および適正なかさ容積を決定する必要がある。また、かさ容積と圧縮強度の関係は、かさ容積が減少することで骨材中に含まれる IWA 細骨材の量も減少し、減少した細骨材を補うために原細骨材の割合が増加し、圧縮強度が高くなることが示されている。

圧縮強度の結果は、実験1より実験2の方が高い結果となり、全ての強度結果は採用式より安全側であった。実験1はマニュアル通りのかさ容積を採用したがフレッシュ性状がやや分離傾向となったため、実験2では、マニュアルのかさ容積から

30L 減じた修正を行い、良好な性状を得ることができた。かさ容積を減じたことで原細骨材の割合が高まり強度は若干増加したと考えられる。ただし、かさ容積を大きく設定する場合または過小粒の割合が大きい場合は圧縮強度の低下に注意が必要である。

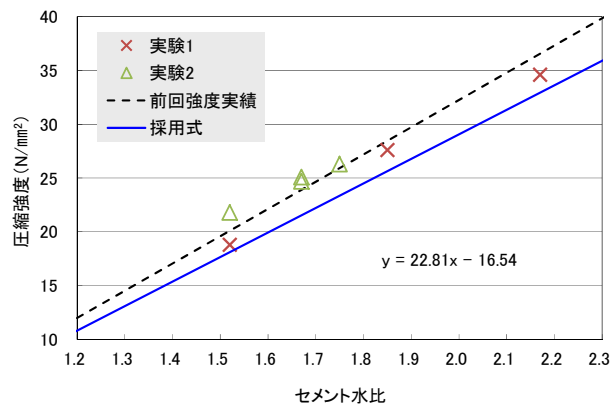
4. IWA コンクリートの性状確認

実出荷に採用した IWA コンクリートの配合は、呼び強度 16-18-25N (W/C60%) AE 減水剤、空気量 4.5%とし、納入したコンクリートは延べ7日間で合計約 400m³となった。品質管理としてフレッシュおよび圧縮強度の試験を1日1回以上且つ 50m³毎に実施し、試験は練上がり時および現場到着時とした。なお、搬入に要する運搬時間は 40~50 分である。また、捨てコンクリートに採用したこともあり、スランプおよび空気量は JIS 範囲内となるように努力目標とした。

4.1 フレッシュコンクリート

表-3.6 圧縮強度試験の結果

No.	配合	圧縮強度 (N/mm ²)			
		7日	平均	28日	平均
①	13.5-15-25N	15.8	15.8	22.0	21.8
		16.0		21.6	
		15.5		21.8	
②	16-15-25N	18.5	18.6	25.2	25.1
		18.6		24.8	
		18.6		25.2	
③	18-15-25N	19.9	19.6	26.6	26.3
		19.5		26.2	
		19.5		26.2	
④	16-18-25N	18.6	18.5	24.3	24.7
		18.5		25.1	
		18.5		24.7	



(1) スランプ

スランプの試験結果を表-4.1に示す。また、練上がり時と現場到着時のスランプの変化量を図-4.1に示す。

スランプの低下が大きくなることが想定されるため、暑中期に採用するスランプロス値2.5 cmよりもやや大きく設定し製造を開始した。現場指定スランプ18 cmに対して、練上がり時のスランプは21~24 cmとバラツキが大きくなり、平均で22.1 cmとなった。現場到着時のスランプは17.5~20.5 cmの範囲で全て目標を満足した。

スランプロスは0.5~5.5 cmの範囲で平均でも約2.5 cmとなり、スランプロスおよびバラツキも大きくなった。ただし、コンクリート温度25℃を境として層別すると、25℃超のスランプロスは2.0~5.5 cm、平均で3.6 cmとなり、25℃以下では、スランプロスは0.5~3.0 cm、平均で1.5 cmとなった。

外気温が高くなる時期にはスランプロスが大きくなる傾向が認められた。また、練上がり時のスランプのバラツキは、IWA骨材を25~00 mmで貯蔵し使用しているため、骨材粒度のバラツキが練上がりスランプおよびスランプロスのバラツキに影響を与えたと考えられる。

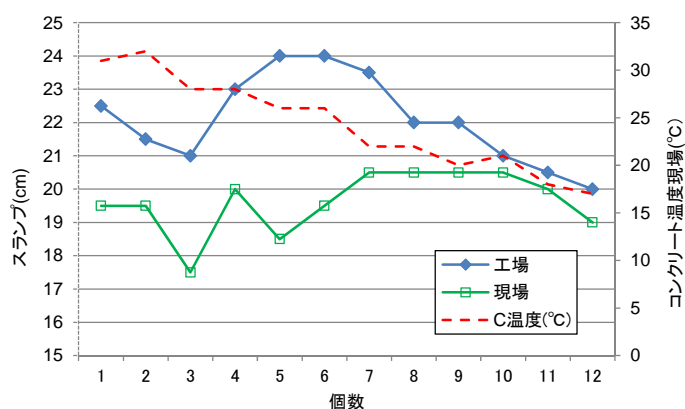


表-4.1 試験結果

No	日付	添加率	スランプ(cm)			C温度(°C)		打込量(m ³)
			工場	現場	ロス値	工場	現場	
1	2014年9月5日	0.95	22.5	19.5	3.0	28	31	81
2	"	1.00	21.5	19.5	2.0	31	32	
3	2014年9月24日	1.00	21.0	17.5	3.5	28	28	
4	"	1.00	23.0	20.0	3.0	28	28	54
5	2014年10月10日	1.00	24.0	18.5	5.5	26	26	
6	"	1.00	24.0	19.5	4.5	26	26	84.5
7	2014年10月23日	0.95	23.5	20.5	3.0	22	22	
8	"	0.95	22.0	20.5	1.5	22	22	67.5
9	2014年11月4日	0.95	22.0	20.5	1.5	22	20	
10	"	0.95	21.0	20.5	0.5	21	21	75
11	2014年11月17日	0.90	20.5	20.0	0.5	18	18	
12	2014年11月25日	0.90	20.0	19.0	1.0	17	17	39.5
	平均	0.96	22.1	19.6	2.5	24.1	24.3	—
	打込量合計	—	—	—	—	—	—	408.0

(2) 空気量

空気量の試験結果を表-4.2に示す。また、練上がり時と現場到着時の空気量の変化を図-4.2に示す。

空気量の低下も大きくなること
が想定されるため、目標も大きく
設定し製造を開始した。指定空気
量 4.5%に対して、練上がり時の空
気量は 4.4~7.0%とバラツキが大
きくなり、平均で 5.6%となった。
現場到着時の空気量は 3.3~4.9%
の範囲で全て目標を満足した。

空気量ロスは一0.2~3.2%で平
均でも 1.5%となり、空気量ロスお
よびバラツキも大きくなった。

練上がり時の空気量が高い場合
にはロス値が大きくなっているこ
とから、エントラップドエアによ
る影響が考えられ、ロス値の平均
に見合う空気量ロスを見込まなく
ても、現場での空気量は目標範囲
内に収まると考えられる。

なお、空気量もバラツキは大き
くロス値の範囲も大きくなってい
ることから、スランプ同様に IWA
骨材を 25~00 mmで貯蔵し使用し
ているため、骨材粒度のバラツキ
が空気量に影響を与えたと考えら
れる。

表-4.2 空気量の結果

No	日付	空気量 (%)		
		工場	現場	ロス値
1	2014年9月5日	4.9	4.5	0.4
2	"	5.6	4.5	1.1
3	2014年9月24日	7.0	3.8	3.2
4	"	6.0	3.3	2.7
5	2014年10月10日	4.5	3.3	1.2
6	"	5.5	3.9	1.6
7	2014年10月23日	6.5	3.9	2.6
8	"	5.6	4.3	1.3
9	2014年11月4日	4.5	3.9	0.6
10	"	6.8	4.2	2.6
11	2014年11月17日	5.9	4.9	1.0
12	2014年11月25日	4.4	4.6	-0.2
	平均	5.6	4.1	1.5

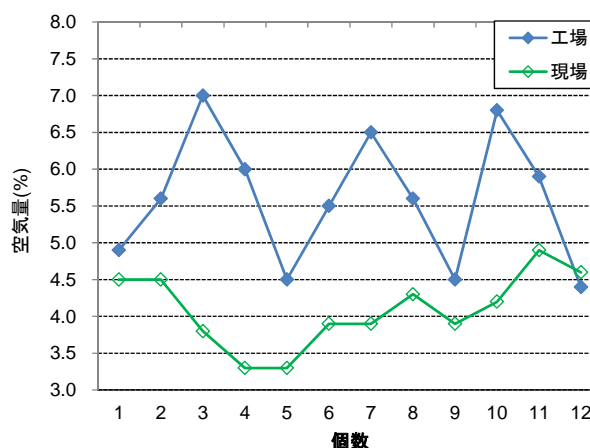


図-4.2 空気量の変化

4.2 硬化コンクリート

(1) 圧縮強度

工場および現場で採取した供試体の圧縮強度の結果を表-4.3に示す。また、工程および製品検査における圧縮強度の対比を図-4.3に示す。

工場および現場で採取した強度結果は、材齢 7 日では現場の供試体の方がやや高く、標準偏差および変動係数ともに大きくなった。

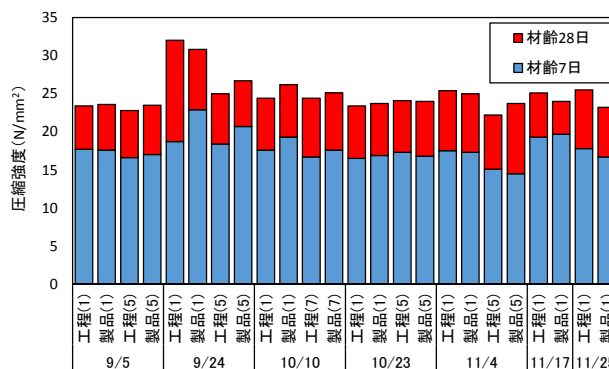
材齢 28 日の工程および製品検査では平均値もほとんど差がなく傾向などは見

表-4.3 圧縮強度の結果

No	7日		28日	
	工場	現場	工場	現場
1	17.7	17.6	23.4	23.6
2	16.6	17.0	22.8	23.5
3	18.7	22.9	32.0	30.8
4	18.4	20.7	25.0	26.7
5	17.6	19.3	24.4	26.2
6	16.7	17.6	24.4	25.1
7	16.5	16.9	23.4	23.7
8	17.3	16.8	24.1	24.0
9	17.5	17.3	25.4	25.0
10	15.1	14.5	22.2	23.7
11	19.3	19.7	25.1	24.0
12	17.8	16.7	25.5	23.2
平均	17.4	18.1	24.8	25.0
標準偏差	1.12	2.22	2.49	2.15
変動係数	6.4	12.3	10.1	8.6

受けられなかった。また、材齢 7 日から材齢 28 日の圧縮強度の平均伸びは、1.4 倍程度で安定している。

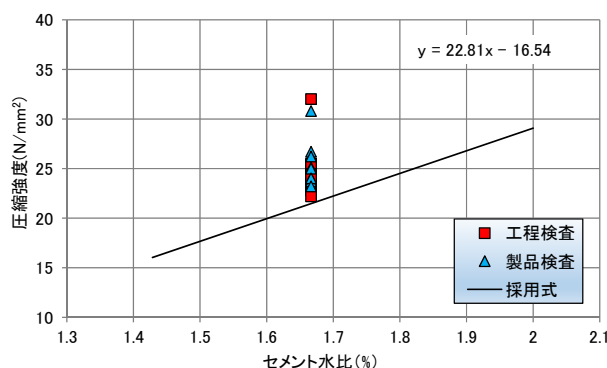
強度発現では、No.10 以外は材齢 7 日で呼び強度 16 を上回り、材齢 28 日では全て呼び強度を満足したが、標準偏差および変動係数がやや大きくなる結果となった。なお、材齢 28 日の強度結果の平均を呼び強度比に換算すると 1.56 となる。



(2) 強度関係式の検証

工程および製品検査における採用式と圧縮強度の関係を図-4.4 に示す。

呼び強度 16 を満足するために、マニュアルで示した配合強度 $m=21.2\text{N/mm}^2$ および水セメント比 60%を採用した。今回の実証実験で得られた工程および製品検査の圧縮強度の結果は、何れの打点も採用式より安全側に推移した。また、製品検査での圧縮強度の結果は、最大値 30.8N/mm^2 (配合強度比 1.45)、最小値 23.2N/mm^2 (配合強度比 1.09) の範囲となり、平均値でも 25.0N/mm^2 (配合強度比 1.18) となった。



マニュアルで示した採用式は、実験回帰式から 10%安全率を乗じており、今回の実験結果からもマニュアルで示した採用式で配合設計を行っても、呼び強度を保証できることが確認された。

5. IWA 骨材の粒度分布実験

IWA コンクリートの性状は、普通コンクリートよりもバラツキが大きく性状変化も大きくなる結果となった。その要因として IWA 骨材は 25~00 mm の粒度分布で貯蔵し使用しているため、貯蔵および排出する際に粒度の偏りが大きくなる傾向にあると考えられる。

そこで、IWA 骨材をプラント貯蔵ビンに貯蔵し、計量および排出する際に骨材粒度がどの程度偏るかを検証するため実験を実施した。実験は、代表となる IWA 骨材約 12 t をプラント貯蔵ビンに貯蔵した場合および約 3 t 貯蔵した場合の粒度分布について確認した。なお、実出荷工場と粒度分布実験工場は異なる。

5.1 実験概要

(1) サンプルング

粒度分布試験についての要因と水準を表-5.1に示す。

既に作製されストックヤードに野積みしている IWA 骨材約 12 t から、代表となる試料を 2 回採取する。次に、プラント貯蔵ビンへ直送ホップからベルトコンベア用いて約 12 t 引き揚げ、最初に排出される 0.5 t ~ 1 t 程度を廃棄する。その後 1 t 計量ごとに試料を採取し、合計 10 回実施した。なお、表記は“貯蔵大”とする。次に計量した IWA 骨材をストックヤードに戻し、プラント貯蔵ビンに試料としてランダムに約 3 t 引き上げ、1 t 計量ごとに試料を採取し合計 3 回実施した。なお、表記は“貯蔵小”とする。

表-5.1 粒度分布試験の要因と水準

試験項目	試験回数	貯蔵量 (t)	試験No.
代表試料	2	—	01、02
貯蔵大	10	12	1~10
貯蔵小	3	3	11~13

(2) 試験方法

- ① 採取した各試料は四分法によって縮分し、縮分回数は 2 回とする。
- ② 試験に用いる試料の質量は 5 kg 以上とし、1 g まで測定する。なお、サンプルングの試料の量は 20 kg 以上とした。
- ③ ふるい分けは 20、10、5 mm のふるいおよび皿とし、それぞれの質量を 1 g まで測定する。
- ④ ふるい分け後の全試料に対する質量分率 (%) を計算し、少数第 2 位に丸める。

5.2 実験結果

(1) ふるい分けの結果

ふるい分け試験の結果を表-5.2に示す。また、5 mm のふるいを通過する過小粒の割合および粗粒率を図-5.1に、各ふるいに留まる試料の割合を図-5.2に示す。

試験項目のうち、2 回の代表試料の結果を試験No.01 および 02 とし、貯蔵ビンに約 12 t 貯蔵した試料を試験No.1~10 とし、貯蔵ビンに約 3 t 貯蔵した試料を試験No.11~13 とした。

図-5.1 に示している粗粒率の結

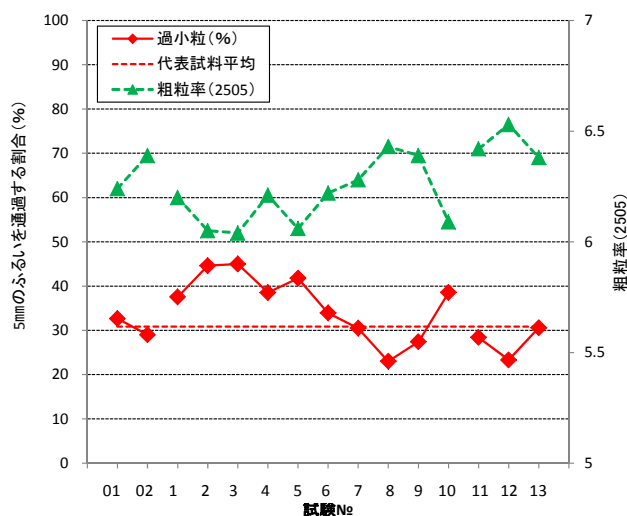
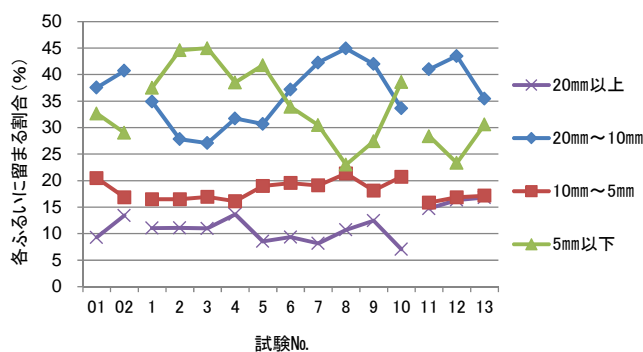


図-5.1 過小粒の割合および粗粒率

果は、貯蔵大での最小が 6.04、最大が 6.43 となり、粗粒率の幅だけでも 0.4 程度とバラツキが大きく、貯蔵小では 0.15 程度とバラツキは小さくなっていることが分かる。なお、5 mmを通過する試料はふるい分けを実施していないため、5 mm以上に留まる試料(2505)で粗粒率を計算している。



過小粒の結果は、5 mmのふるいを通過する割合を示している。12 t 貯蔵した試験No.1~10の結果は、最初に排出される 2~3 t 程度は過小粒の割合が大きく、計量とともに過小粒の割合が減少し、残量が 2~3 t 程度になると再び小粒が排出される結果となった。なお、骨材の残量が少なくなると淵などに残っていた小粒が排出されたと考えられる。

図-5.2には、各ふるいに留まる試料の割合を示している。5 mmのふるいを通過する過小粒と 20 mmのふるいを通過し 10 mmのふるいに留まる 10~20 mmの試料の割合が、相反する傾向を示す結果となり、5~10 mmの試料の変動は小さかった。

約 3 t 貯蔵した試験No.11~13では粒度のバラツキは小さくなったが、計量時に小粒が先行した後、大粒が排出され再び淵などに残っていた小粒が排出される傾向は、貯蔵大と同様である。

表-5.2 ふるい分け試験の結果

項目	試験番号	試料の質量 (g)	20mmに留まる質量 (g)	10mmに留まる質量 (g)	5mmに留まる質量 (g)	5mm以下の質量 (g)	20mm以上 (%)	10mm以上 (%)	5mm以上 (%)	過小粒 (%)	粗粒率 (2505)	合計 (g)	試料の差 (%)	合否
代表試料	01	5023	467	1883	1027	1638	9.31	46.86	67.34	32.66	6.24	5015	0.2	合
	02	5076	679	2060	852	1468	13.42	54.14	70.98	29.02	6.39	5059	0.3	〃
貯蔵大	1	5225	576	1818	858	1954	11.06	45.99	62.47	37.53	6.20	5206	0.4	〃
	2	5235	579	1451	859	2326	11.10	38.93	55.40	44.60	6.05	5215	0.4	〃
	3	5552	608	1498	936	2487	11.00	38.09	55.02	44.98	6.04	5529	0.4	〃
	4	5331	726	1686	856	2048	13.66	45.37	61.47	38.53	6.21	5316	0.3	〃
	5	5888	502	1805	1117	2456	8.54	39.23	58.23	41.77	6.06	5880	0.1	〃
	6	5332	496	1972	1037	1799	9.35	46.53	66.08	33.92	6.22	5304	0.5	〃
	7	5214	425	2197	992	1584	8.18	50.44	69.53	30.47	6.28	5198	0.3	〃
	8	5424	582	2434	1156	1247	10.74	55.66	76.99	23.01	6.43	5419	0.1	〃
	9	5258	655	2208	953	1442	12.46	54.45	72.58	27.42	6.39	5258	0.0	〃
	10	5147	363	1728	1064	1982	7.07	40.70	61.42	38.58	6.09	5137	0.2	〃
貯蔵小	11	5281	779	2165	837	1499	14.75	55.76	71.61	28.39	6.42	5280	0.0	〃
	12	5040	821	2187	847	1173	16.33	59.82	76.67	23.33	6.53	5028	0.2	〃
	13	5007	837	1767	855	1524	16.80	52.26	69.42	30.58	6.38	4983	0.5	〃
平均値	貯蔵大	5361	551	1880	983	1933	10.32	45.54	63.92	36.08	6.20	5346	—	—
	貯蔵小	5109	812	2040	846	1399	15.96	55.95	72.57	27.43	6.44	5097	—	—
	全体	5269	606	1924	950	1775	11.58	48.28	66.35	33.65	6.26	5255	—	—

(2) 粒度分布の結果

粒度の異なる骨材を貯蔵ビンに貯蔵すると、粒の小さい骨材が中心付近に集まり、粒の大きい骨材は周囲に流れ、貯蔵された IWA 骨材は粒度に偏りが生じる。次に計量すると貯蔵された骨材は、中心付近が下がりすり鉢状となり、中心付近の下がりに伴い周囲の骨材が流れ込むことが繰り返されながら排出されていく。IWA 骨材は球形に近いので、その傾向は強くなると考えられる。

貯蔵ビンに 12 t 貯蔵した実験結果では、前述したように粒度の偏りが生じた状態で計量することになり、先ず中心付近の小粒から排出され、遅れて大粒が排出されることが実験結果からも分かる。そのバラツキは、1 回計量ごとに発生し、また、貯蔵ビンに貯蔵された骨材が排出される全体でも発生した。結果として貯蔵ビンへの貯蔵量が多いほど、全体および 1 回計量ごとのバラツキは大きくなると考えられる。

IWA 骨材のように粒度の大きく異なる骨材を生コンクリートに使用する場合は、骨材貯蔵を 1 運搬車に積載する量に留め、使用の都度貯蔵することが望ましい。

(3) 細骨材率の結果

IWA 骨材 25~00 mm をプラントに貯蔵し計量すると、粒度は大きく変動することが分かった。その変動を計量時に補正することができないため、配合設計時の単位量がそのまま計量される。

過小粒の変動と細骨材率の関係を図-5.3 に示す。

今回の実験で得られた過小粒の結果から、実際に計量した単位量に修正し細骨材率を算出した。IWA 骨材を 1 t 計量ごとにサンプリングした結果からではあるが、過小粒の変動に伴い細骨材率も大きく変動することが分かる。

今回採用した配合条件では、過小粒が $\pm 1\%$ 変動するごとに細骨材率は $\pm 0.75\%$ 変動する結果となった。

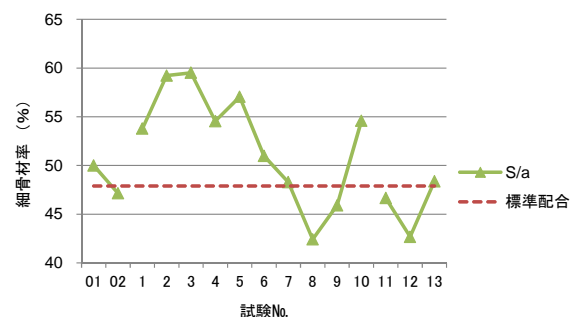


図-5.3 過小粒の変動と細骨材率の関係

6. まとめ

(1) IWA 骨材の作製

- ① 特殊混和材の投入方法は、ミキサドラムを反転しドラム口までコンクリートを戻すことが重要であるが、練り玉などできる場合は、ミキサドラムを高速攪拌しながら特殊混和材を投入すると改善される。
- ② 改質過程で骨材にモルタルの付着が不十分な場合は、再度中速攪拌し骨材にモルタルを付着させる。なお、ミキサー車の攪拌羽根にコンクリートの固着が多い場合は、特殊混和材が吸着されやすいため、予めハツリ落とすことを推奨する。
- ③ 排出および養生方法は、高速ではなく中速もしくは低速で行い、排出する地面はできるだけ乾燥している所を選び薄く敷き均す。なお、排出時にはペイローダなどのバ

ケットに受け、薄く敷均すと作業性が向上する。

- ④ 解砕方法は、排出後 6～12 時間経過すると、パワーショベルまたはペイローダ等で踏み均し、かき混ぜることが可能となるが、2～4 時間経過後、既に完成している IWA 骨材と混合し、再び薄く敷均しておくとその後の解砕作業性が向上する。

(2) IWA 骨材の試験結果

- ① IWA 骨材 25～00 mmのうち 5 mmのふるいを通過する過小粒は、前回同様に約 30%であった。
- ② 前回と今回の試験結果で異なった試験項目は微粒分量で、その他の項目は前回と同傾向となった。
- ③ IWA 骨材を原骨材と比較すると、吸水率が非常に大きく密度が小さくなり、粗骨材の実積率が大きくなるのが特徴である。

(3) 試し練りの結果

- ① 実験 1 では、マニュアル通りの単位水量を採用したが、スランプが目標値より過大となったため、さらに単位水量を 5kg/m^3 減じた結果、単位セメント量も減少し、フレッシュ性状がやや分離傾向となった。
- ② 実験 2 では、フレッシュ性状がやや分離傾向となったことから、かさ容積を減じると共に単位水量をマニュアルの推奨値に戻し、フレッシュ性状が改善された。
- ③ 実験 2 では、かさ容積を減じたことにより原細骨材の割合が高まり強度は若干増加した。ただし、かさ容積を大きく設定する場合または過小粒の割合が大きい場合は圧縮強度の低下に注意が必要である。

(4) IWA コンクリートの性状

- ① 練上がり時のスランプはバラツキが大きく、スランプロスバラツキも大きくなった。また、外気温が高くなる時期にはスランプロスが大きくなる傾向が認められた。
- ② 練上がり時の空気量はバラツキが大きく、空気量ロスバラツキも大きくなった。なお、練上がり時はエントラップドエアの影響が考えられ、ロス値の平均に見合う空気量ロスを見込まなくても、現場での空気量は目標範囲内に収まると考えられる。
- ③ IWA 骨材を 25～00 mmで貯蔵し使用しているため、骨材粒度のバラツキがスランプおよび空気量に影響を与えたと考えられる。
- ④ 材齢 7 日の圧縮強度の結果は、現場の供試体の方がやや高く標準偏差および変動係数ともに大きくなる結果となった。
- ⑤ 材齢 28 日の工程および製品検査の圧縮強度の結果は、平均値でもほとんど差がなく傾向などは見受けられなかったが、標準偏差および変動係数がやや大きくなる結果となった。
- ⑥ 材齢 7 日から材齢 28 日の圧縮強度の平均伸び率は、1.4 倍程度で安定している。
- ⑦ マニュアルで示した採用式で配合設計を行っても、呼び強度を保証できることが確認された。

(5) IWA 骨材の粒度分布

- ① 粒度の異なる骨材を貯蔵ビンに貯蔵すると、粒の小さい骨材が中心付近に集まり、粒の大きい骨材は周囲に流れ、貯蔵された IWA 骨材は粒度に偏りが生じる。IWA 骨材は球形に近いので、その傾向は強くなると考えられる。
- ② 骨材粒度のバラツキは、1 回計量ごとに発生し、また、貯蔵ビンに貯蔵された骨材が排出される全体でも発生した。結果として貯蔵ビンへの貯蔵量が多いほど、全体および 1 回計量ごとのバラツキは大きくなると考えられる。
- ③ IWA 骨材は、過小粒の変動に伴い細骨材率も大きく変動し、今回採用した配合条件では、過小粒が±1%変動するごとに細骨材率は±0.75%変動する結果となった。
- ④ IWA 骨材のように粒度の大きく異なる骨材を生コンクリートに使用する場合は、骨材の貯蔵を 1 運搬車に積載する量に留め、使用の都度貯蔵することが望ましい。

7. おわりに

IWA システムに関するワーキンググループ活動は 3 年を経過し、回収骨材の有効利用マニュアル-IWA システム編-および本報告書をまとめるに至った。

IWA システムを活用することにより、そのほとんどが産業廃棄物となる戻りコンクリートを生コンクリート用代替骨材として有効利用し、産業廃棄物の軽減に取り組んで頂けると幸いである。なお、IWA システムを採用するにあたり、戻りコンクリートから IWA 骨材を作製する作業工程に要する労力を惜しまず、また製造工程においては IWA 骨材の粒度の偏りに留意して頂きたい。

最後に、3 年余りに亘り本ワーキンググループ活動にご協力いただいた、(有)長岡生コンクリート、(株)関西宇部北港工場、関係者各位、並びにワーキンググループメンバーの方々に深く感謝いたします。

大阪兵庫生コンクリート工業組合技術委員会
回収骨材の有効利用検討ワーキンググループ