

# 回収骨材を使用したコンクリートに関する検証

○栗延 正成\*1 児玉 寛\*1 鈴木 峰人\*1 藤岡 伸輔\*1 山路 克昌\*1

**要旨：** 回収骨材を使用したコンクリートのフレッシュおよび硬化性状に与える影響を確認するため実験を実施した。本実験は、配合の組み合わせ9水準に対して、回収骨材の置換率を変化させ、回収骨材を置換していない配合と比較したが、フレッシュおよび硬化性状ともにほぼ同等の結果が得られた。また、骨材を複数混合使用し、且つA方法を採用する場合の取扱いとして、回収骨材の置換率および骨材の混合割合に応じて合計の計量値が未添加の場合と変わらないことを確認する必要があると記されているが、配合補正を省略しても粗粒率などの変動が小さいことも確認できた。

**キーワード：** 回収骨材発生量、工場設備、回収骨材置換率、フレッシュ性状、圧縮強度、乾燥収縮率、配合補正

## 1. はじめに

平成26年3月20日にJIS A 5308が改正公示され、8.5に“回収骨材の取扱い”が新設された。これまで工場で回収された骨材は一部路盤材などに再利用されることはあったが、ほとんどが産業廃棄物として処理されてきた。JIS改正により、レディーミクストコンクリート工場で回収された骨材は、一定の条件を満たすことにより、JIS規格品としてレディーミクストコンクリート用骨材に使用できるようになった。

大阪兵庫生コンクリート工業組合では、回収骨材のJIS新設への取り組みに合わせて、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きた。ワーキンググループでは、JIS規定に基づく回収骨材の運用方法、回収骨材に関するアンケートおよび実験結果をまとめ、平成27年3月にマニュアルを発行した。本報告は、アンケート結果、コンクリート性状の考察および配合補正の必要性についてまとめたものである。

## 2. 回収骨材に関するアンケート結果

当地区における回収骨材の実態を把握するため、戻りコンクリートおよび残水処理などを行った際に発生する回収骨材および工場設備について、平成22年にアンケートを実施し、当工組加盟217工場中70工場の回答が得られた。

### 2.1 生コン出荷量および回収骨材の年間発生量

生コン工場での年間出荷量の最大は55,000m<sup>3</sup>、回収骨材発生量の最大は、細骨材および粗骨材ともに約1,800tであった。年間出荷量と回収骨材発生量の関係は、生コン1m<sup>3</sup>あたりの骨材使用量を1.8tと仮定し、回収骨材発生量を生コンに換算すると年間2,000m<sup>3</sup>分に相当し、最大出荷量55,000m<sup>3</sup>に対する割合は約3.6%であった。平均的な回収骨材の発生量は、細骨材で約400t、粗骨材で約300t、平均的な年間出荷量は約27,000m<sup>3</sup>となり、出荷量に対する割合は約1.4%となった。

---

\*1 大阪兵庫生コンクリート工業組合

## 2.2 骨材の回収設備

各工場の骨材の回収設備については、洗浄設備により細骨材および粗骨材に分別して回収できる工場が全体の 66%で最も多く、回収できない工場 26%および細・粗骨材混合での回収 8%を合わせた約 1/3 の工場は、回収骨材を使用するためには設備等の改造または設置が必要となる結果であった。

## 2.3 プラント設備

プラントの骨材輸送および貯蔵設備については、骨材ヤード(骨材サイロ含む)およびプラント貯蔵ビンに予備のある工場は、それぞれ 45%および 34%であり、プラント貯蔵ビンへ直送できる設備を備えている工場もあった。これらの設備は、回収骨材を使用するためには必要で、特に B 方法を採用する場合は、骨材ヤードまたはプラント直送設備および専用のプラント貯蔵ビンが必要となる。プラントの現有設備だけを考慮すると、約半数の工場が A 方法を採用でき、B 方法を採用できるのは 2~3 割程度の工場に留まると考えられる。

## 3. コンクリートの実験結果

JIS A 5308:2014 の解説によると、回収骨材置換率を 20%としても、スランプ、空気量および圧縮強度などコンクリートの基礎物性は基準コンクリート(回収骨材を使用しないコンクリート)に対して劣らないことが示されている。当地区においても、回収骨材を使用した場合のコンクリートの基礎物性を確認するため実験を実施した。

### 3.1 実験概要

実験は、基準コンクリートと回収骨材を使用したコンクリートのフレッシュおよび硬化性状を比較するため、回収骨材の置換率を 5%および 20%とし、室内試し練りによりコンクリートのフレッシュ性状、圧縮強度および長さ変化の試験を実施した。試し練りの実施工場は、当工業組合加盟 18 工場を選定し、平成 26 年 1 月~2 月の期間で実施した。

#### (1) 試し練り配合と回収骨材置換率

セメント、呼び強度、スランプおよび化学混和剤の組み合わせを表-1 に、回収骨材置換率の組み合わせを表-2 に示す。

セメントは普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種の 2 種類で、普通ポルトランドセメントでは化学混和剤の種類を AE 減水剤および高性能 AE 減水剤の 2 種類とし、高炉セメント B 種では AE 減水剤のみとした。実験配合の組み合わせは 9 水準とした。

回収骨材の置換率は、A 方法および B 方法それぞれの上限值である 5%および 20%とし、置換率 6 水準に基準コンクリートを含め合計 7 水準とした。

表-1 配合の組み合わせ

セメント	呼び強度	スランプ	化学混和剤
普通	18・24・30	15	AE 減水剤
	24・36・45	18	高性能 AE 減水剤
高炉 B 種	18・24・30	8	AE 減水剤

表-2 回収骨材の置換率

回収骨材	細骨材(S)	粗骨材(G)	S+G
置換率	5%	5%	5%
	20%	20%	20%

## (2) 試験項目

フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの試験項目を表-3に示す。

スランプの目標値は、指定スランプ+1.5cmとした。また、長さ変化試験を呼び強度 24 の 3 配合とし、基準コンクリートと回収細骨材および回収粗骨材ともに 5%および 20%置換したコンクリートについて測定した。

## 3.2 試し練りの結果

各工場の試し練りは、基準コンクリート 1 水準と回収骨材置換率を変化させた 6 水準の合計 7 バッチとなり、18 工場が実施した。

表-3 試験項目

	試験項目	許容差又は目標
フレッシュ コンクリート	スランプ	目標値±2.5cm
	空気量	4.5±1.5%
	コンクリート温度	15℃以上
	単位水量	—
	単位容積質量	—
	塩化物量 (回収 SG20%混合のみ)	0.30kg/m <sup>3</sup> 以下
硬化 コンクリート	圧縮強度 (材齢 7 日、28 日)	—
	長さ変化試験	—

### (1) 回収骨材置換率と混和剤添加率およびスランプの関係

回収骨材置換率と混和剤添加率およびスランプの関係を図-1 および図-2 に示す。

なお、比較している各図は、左側に普通セメント(N)高性能 AE 減水剤および中央に AE 減水剤を、右側に高炉セメント(BB)AE 減水剤の 3 種類を示している。また、図中の横軸にある基準は基準コンクリート、S は細骨材、G は粗骨材および数値は置換率を表している。混和剤添加率は、基準コンクリートと同一とすることを基本にしているが、スランプが許容範囲を超える、または超えることが予想される場合は調整を行った。

回収骨材の置換率が増加しても混和剤添加率およびスランプの結果ともに変動の小さい工場は 2 工場で、14 工場は混和剤添加率が減少している、若しくは添加率が同一でもスランプが大きくなる傾向を示した。残りの 2 工場はバラツキがあり傾向は見受けられなかった。

回収骨材の置換率が増加すると、スランプはやや大きくなる傾向が認められたが、スランプの管理は基準コンクリートと同様に混和剤添加率の増減により管理できる範囲である。

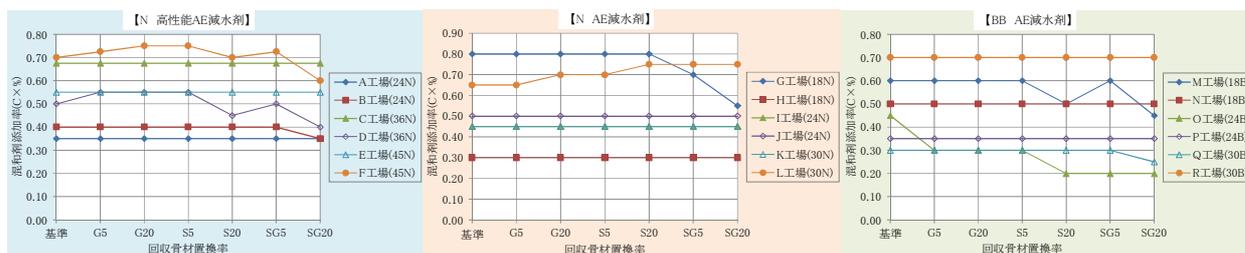


図-1 置換率と混和剤添加率の関係

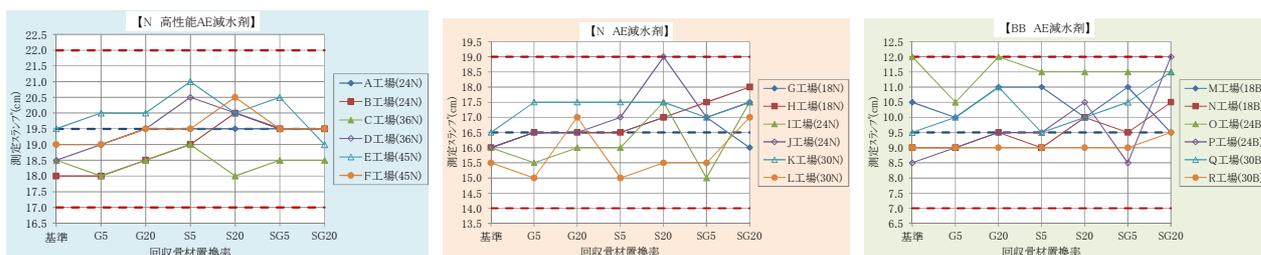


図-2 置換率とスランプの関係

## (2) 回収骨材置換率と空気量の関係

空気量は AE 剤で調整を行い、基準コンクリートと同一タイプを基本にしているが、空気量が許容範囲を超える、または超えることが予想される場合は調整を行った。今回の実験結果では、AE 剤の使用量が 9 工場で同一量、5 工場が減少傾向となり、4 工場が増加した。AE 剤の増減は、ほとんどが 0.5~1.5A の範囲となり、大きい場合でも 3.0A であった。

また、回収骨材の置換率が増加すると空気量は、やや増加する傾向となったが、空気量の調整は、基準コンクリートと同様に AE 剤の添加量で管理できる範囲であった。

## (3) 回収骨材置換率と圧縮強度の関係

回収骨材置換率と圧縮強度の関係を基準コンクリートとの強度比率として表-4 に示す。

圧縮強度の結果は、工場別での平均値にバラツキが見られたが、全体を平均すると基準コンクリートと同等の結果が得られた。また、2 つ以上の変数の間の関係を分析するため、分割表による検定を行った。検定は回収細骨材および回収粗骨材を使用したそれぞれ 4 水準に対し、基準コンクリートとの強度比率に応じて分類し検定した。結果、有意水準 5% で帰無仮説は棄却できず、圧縮強度は回収骨材使用による関連性がないことも確認できた。

ただし、回収骨材を使用する場合は、工場別で回収された骨材を用いて試し練りにより圧縮強度を確認しておくことが望ましい。

表-4 置換率と圧縮強度の関係

		G5	G20	S5	S20	S5G5	S20G20	平均値
A工場	24N高	98.7	99.0	99.5	100.0	102.1	97.7	99.5
B工場	24N高	101.2	98.3	99.5	92.2	100.5	94.2	97.6
C工場	36N高	110.4	109.4	108.0	107.2	111.1	109.7	109.3
D工場	36N高	105.0	101.5	105.8	104.8	106.2	106.2	104.9
E工場	45N高	101.3	100.4	95.8	93.0	98.3	98.0	97.8
F工場	45N高	112.1	109.8	113.3	114.7	116.8	117.3	114.0
G工場	18N	99.0	96.1	96.1	91.6	95.8	91.6	95.1
H工場	18N	95.4	99.0	99.3	93.1	94.7	94.4	96.0
I工場	24N	99.3	96.0	99.8	98.8	99.3	99.3	98.7
J工場	24N	100.2	100.2	94.6	98.3	98.8	99.3	98.6
K工場	30N	101.2	100.6	101.0	99.6	104.3	99.4	101.0
L工場	30N	100.7	107.0	111.2	109.6	114.5	110.3	108.9
M工場	18BB	97.9	98.2	99.6	98.9	97.9	97.9	98.4
N工場	18BB	102.5	103.1	97.2	95.6	99.7	97.2	99.2
O工場	24BB	113.2	109.6	112.1	102.2	110.2	100.6	108.0
P工場	24BB	101.1	97.9	97.6	95.8	95.8	91.0	96.5
Q工場	30BB	102.2	104.2	99.8	103.6	103.0	108.9	103.6
R工場	30BB	98.8	97.7	99.6	97.3	100.4	100.0	99.0
平均値		102.2	101.6	101.7	99.8	102.7	100.7	101.4

\* 網掛けは基準コンクリートの強度より小さい値を示す

\* A~F 工場の高は高性能 AE 減水剤を示す

## (4) 回収骨材置換率と乾燥収縮率の関係

乾燥収縮率は、呼び強度 24-18-20N 高性能 AE 減水剤、24-15-20N AE 減水剤および 24-8-20BB AE 減水剤の 3 配合を選定し、基準コンクリートおよび回収細骨材および回収粗骨材ともに 5% および 20% を置換したコンクリートの 3 水準において実施した。なお、供試体は試験翌日に搬入し標準水中養生を行い基長は材齢 7 日の時点で測定した。基長測定後は、保存期間が 7、28、56、91 および 182 日において測定を行った。配合別による回収骨材置換率と乾燥収縮率の関係を図-3 に示す。

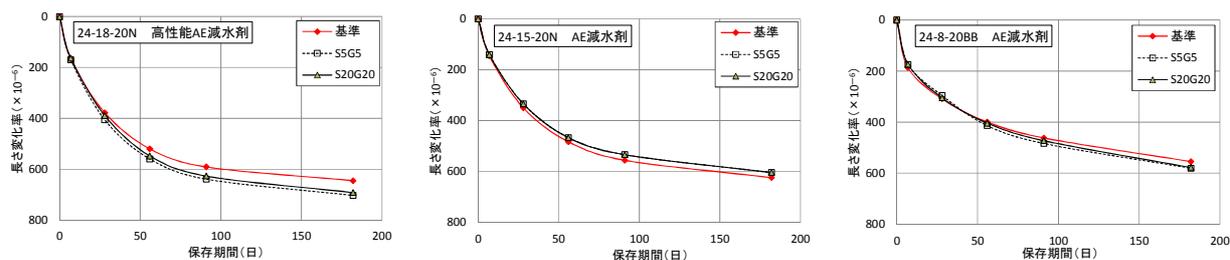


図-3 回収骨材置換率と乾燥収縮の関係

各図は配合別に基準コンクリートと回収骨材置換率の違いによる乾燥収縮率の結果を示している。長さ変化試験の結果は、同程度の収縮傾向を示しており、試験値で判断すると、24-18-20N 高性能 AE 減水剤および 24-8-20BB AE 減水剤配合では基準コンクリートより回収骨材を使用した方が大きくなり、24-8-20N AE 減水剤配合では、回収骨材を使用した方が小さくなった。2 配合で大きくなっているが、回収骨材置換率 20%よりも置換率 5%の方が試験値は大きく、回収骨材の使用および置換率増加による傾向など見受けられなかった。また、3 水準とも基準コンクリートとの試験差は±20~50×10<sup>-6</sup>程度で、試験差を絶対値で平均すると 30×10<sup>-6</sup>程度となり、供試体の作製および測定による変動範囲内と考えられる。

#### 4. A 方法による配合補正の検証

JIS A 5308:2014 解説に、A 方法を採用し骨材を複数混合使用する場合の取扱いとして、「回収骨材は、最も混合割合の大きい骨材に添加して用いるのが実用的である。この場合、他の新骨材の計量値は、回収骨材の置換率に応じて減じ、合計の計量値が未添加の場合と変わらないことを確認する必要がある。」と記されているため、A 方法を採用し複数骨材を混合使用するには配合補正が必要となる。しかし、回収骨材置換率に応じた配合補正の算出が必要で、煩雑な割にはコンクリート性状に与える影響が小さいと考えられるため、配合補正を省略できないか検証を行った。

##### 4.1 骨材の粗粒率

回収骨材置換率は A 方法で最大となる 5%の条件とし、配合補正を省略した場合の骨材の粗粒率について検証した。なお、回収骨材も配合設計上と同一の混合割合で回収されたものとする。

###### (1) 細骨材

細骨材の粗粒率の計算結果を表-5 に示す。

細骨材の一例として S1 砕砂および S2 石灰砕砂で粗粒率は 2.79 および 2.54、混合割合は 60:40 とした。

新骨材の粗粒率は 2.69 で、回収細骨材を S1 に添加し配合補正しなかった場合の混合割合は 58:42 となる。これは S1 に置換率 5% となる量の回収骨材を添加し、添加した回収骨材にも S2 が 40%含まれているため、S1 から 2%を差し引き、S2 に 2%を加えている。計算式は(5%×0.4=2%)となる。結果は、新骨材との粗粒率の差はなく、差が生じた場合でも数値の丸めにより異なる程度の違いとなった。

###### (2) 粗骨材

粗骨材の粗粒率の計算結果を表-6 に示す。

粗骨材の一例として G1(1505)および G2(2010)で粗粒率は 6.33 および 7.09、混合割合は 50:50 とした。新骨材の粗粒率は 6.70 で、回収粗骨材を G2 に混合し配合補正しなかつ

表-5 細骨材の粗粒率

ふるいの呼び寸法 (mm)	各ふるいを通過する質量分率 (%)	S 1	S 2	新骨材		置換率5%	
		砕砂	石灰石砕砂	S 1	60	S 1	58
				S 2	40	S 2	42
5	100 ~ 90	99	100	99	99	99	
2.5	100 ~ 80	88	91	89	89	89	
1.2	90 ~ 50	64	72	67	67	67	
0.6	65 ~ 25	41	53	46	46	46	
0.3	35 ~ 10	21	24	22	22	22	
0.15	10 ~ 2	8	6	7	7	7	
粗粒率 (FM)		2.79	2.54	<b>2.69</b>		<b>2.69</b>	

表-6 粗骨材の粗粒率

ふるいの呼び寸法 (mm)	各ふるいを通過する質量分率 (%)	G 1	G 2	新骨材		置換率5%	
		砕石 1505	砕石 2010	G 1	50	G 1	52.5
				G 2	50	G 2	47.5
25	100 ~ 100	100	100	100	100	100	
20	100 ~ 90	100	87	94	94	94	
15	— ~ —	95	48	72	73	73	
10	55 ~ 20	63	2	33	34	34	
5	10 ~ 0	3	1	2	2	2	
2.5	5 ~ 0	1	1	1	1	1	
粗粒率 (FM)		6.33	7.09	<b>6.70</b>		<b>6.69</b>	

た場合の混合割合は 52.5:47.5 となる。結果は 10mm のふるいで 1%大きくなり、粗粒率で 0.01 異なる結果となったが、コンクリート性状に与える影響は非常に小さいと推察できる。

## 4.2 コンクリートの容積

密度の異なる骨材を複数混合使用し、配合補正を省略した場合のコンクリートの容積について検証した。細骨材の容積計算結果を表-7 に示す。

一例として S1 砕砂および S2 石灰砕砂の密度は 2.57 および 2.65、混合割合は 60:40 とし、細骨材の絶対容積を

320L/m<sup>3</sup>とした。回収骨材を 5%置換するとそれぞれの単位量は異なっているが、合計の単位量では 1kg/m<sup>3</sup>および容積で 1L/m<sup>3</sup>の差しがなく、粗粒率同様にコンクリート性状などに与える影響は非常に小さいと推察できる。また、粗骨材では密度の差は細骨材よりも小さい場合が多く、合計の単位量の差はさらに小さくなると考えられる。

表-7 細骨材の容積

	基準配合				回収骨材5%置換	
	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	混合割合 (%)	容積 (L)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )	容積 (L)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )
S1	2.57	60	192	493	185	476
S2	2.65	40	128	339	134	356
合計	—	100	320	833	319	832

## 5. まとめ

### (1) 回収骨材に関するアンケート結果

- ① 回収骨材を使用するためには、約 1/3 の工場は設備等の改造または設置が必要となる。
- ② プラントの現有設備だけを考慮すると、約半数の工場が A 方法を採用でき、B 方法を採用できるのは 2~3 割程度の工場に留まると考えられる。

### (2) コンクリートの実験結果

- ① 回収骨材の置換率が増加すると、スランプおよび空気量の結果にややばらつきは認められたが、基準コンクリートと同様に管理できる範囲であった。
- ② 圧縮強度の結果は、全体を平均すると基準コンクリートと同等の結果が得られ、分割表による検定でも有意差がなかった。ただし、回収骨材を使用する場合には、試し練りにより圧縮強度を確認しておくことが望ましい。
- ③ 長さ変化試験の結果は、回収骨材の使用および置換率増加による傾向など見受けられず、供試体の作製および測定による変動範囲内と考えられる。

### (3) A 方法による配合補正の検証

- ① 配合補正を省略した場合の粗粒率は、細骨材では差はなく、粗骨材ではやや異なる結果となったが、コンクリート性状に与える影響は非常に小さいと推察できる。
- ② 密度の異なる骨材を複数混合使用し、配合補正を省略すると単位量で 1kg/m<sup>3</sup>および容積で 1L/m<sup>3</sup>異なる結果となったが、粗粒率同様にコンクリート性状などに与える影響は非常に小さいと推察できる。

## 6. おわりに

回収骨材を生コンクリートに使用した場合でも品質への影響は非常に小さいことが確認できた。また、A 方法を採用し骨材を複数混合使用する場合に、配合補正を省略しても基準コンクリートとの違いが小さいことも確認できた。このように、回収骨材を生コンクリートに使用した場合でも品質への影響は非常に小さく、環境への配慮も含めて使用することが望ましく、需要家からの理解が得られることに期待している。