

リサイクル骨材の物性およびコンクリートの性状確認実験

○船尾 孝好*1 平田 孝博*1 中野 慶*1 徳増 俊彌*1 鈴木 峰人*1

要旨：建設現場で発生する残コン・戻りコンは、生コン出荷量の約3%と言われる。2021年度の全国の出荷総量で換算すると約230万m³の莫大な残コン・戻りコンが発生していると推測され、これだけの量の未利用資源が、現状では廃棄物として処理されている。今回の実験では、残コン・戻りコンを骨材状に処理したものを用い、残コン・戻りコンを有効利用する、資源循環型コンクリートの実験を行った。従来のコンクリートと比較して、フレッシュコンクリートおよび圧縮強度に差は生じるものの、一般的に使用されるコンクリートと同等の性能を有することを確認した。

キーワード：残コン，戻りコン，再生骨材コンクリート，回収骨材，再生骨材，粒状化骨材

1. はじめに

生コン打設時に発生する残コン・戻りコン（以下、戻りコン）は、ほぼ全量を生コン工場が持帰り、それぞれの生コン工場の実状にあった処理を行っている。路盤材やサイコロ状のコンクリートブロック等へリサイクルしている生コン工場もあるが、多くが産業廃棄物として処分されている。

近年、SDGsやカーボンニュートラルの観点から、施工者においては、低炭素型コンクリートや脱炭素コンクリート等の環境配慮型コンクリートの研究開発が活発に行われ、実施工でも環境配慮型コンクリートが使用されている。

一方、生コン工場においては、スラッジ水および回収骨材等、JIS A 5308でリサイクル材として使用が認められているが、標準化し使用する生コン工場の割合が極めて低い状況となっている。原因の一端には、リサイクル材を使用するために別途、製造設備、品質管理が必要なことや、発注者または施工者から使用を制限されることが挙げられる。

そこで、大阪兵庫生コンクリート工業組合のリサイクル検討WGでは、戻りコンを原材料とした骨材およびそれを使用した資源循環型コンクリートについて実験を行うこととした。

2. 実験概要

2.1 リサイクル骨材の種類

大阪兵庫地区の生コン工場においては、①戻りコンを専用の設備に投入し、回収骨材およびスラッジ水に分級する方法、②戻りコンを工場内の専用ヤードに広げ、数日後に破碎しRC路盤材状（以下、再生砕石）に処理する方法、③戻りコンを鋼製の型枠流し込みブロックを作製する方法が一般的に採用されている。

これらに加え、本実験では戻りコンの新たな処理方法として、戻りコンに専用の薬剤（高分子系）を添加して攪拌することで粒状化する方法（以下、粒状化骨材）を採用した。なお、回収骨材、再生砕石、粒状化骨材を総称してリサイクル骨材と呼ぶこととする。表-1に今回の実験に用いたリサイクル骨材の概要を示す。

*1 大阪兵庫生コンクリート工業組合 リサイクル検討WG

表－１ リサイクル骨材の概要

工場名	呼び方	記号	製造方法	試し練り 使用時期
HO工場	回収骨材	K	戻りコン及び生コン車の残水を専用の処理設備を用いて、細・粗骨材に分離	－
SN工場	再生砕石	R1	戻りコンを専用のヤードに広げ4日後に破砕(エイジング4日)	破砕7日後
OK工場		R2	戻りコンを専用のヤードに広げ翌日に破砕(エイジング1日)	破砕2日後
HS工場	粒状化骨材	D	戻りコン帰着時にヤードに広げ粒状化剤を添加し、重機によって攪拌	粒状化5日後

2. 2 コンクリートの使用材料

実験工場の使用材料を表－2に示す。リサイクル骨材は実験工場において発生した、戻りコンをそれぞれの製造方法によって処理したものを用いた。

新骨材は、実験工場では標準化しているものとし、細骨材は砕砂および石灰石砕砂、粗骨材は砕石 1505, 2010, 2005 及び石灰石砕石 2005 を用いた。

また、セメントは、普通ポルトランドセメントを使用し、練混ぜ水は上水道水または工業用水を使用することとした。化学混和剤は高性能 AE 減水剤の標準形を用いた。

2. 3 試験項目

今回の実験で実施した、骨材の試験項目および試験方法を表－3に、コンクリートの試験項目および試験方法を表－4に示す。

コンクリートの試験では、一般的な試験項目に加え写真－1に示す判断基準の一例に基づき目視評価を行った。目視評価の目的は、スランプの測定値だけでは判断できないフレッシュコンクリートの性状を確認するためである。また、スランプおよび空気量については、経時変化の確認を目的に静置状態 20 分後に試験を実施することとした。

表－2 使用材料

種類	品名
セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	砕砂、石灰石砕砂
粗骨材	砕石1505, 砕石2010 砕石2005, 石灰石砕石2005
リサイクル骨材	回収骨材, 再生砕石, 粒状化骨材
練混ぜ水	上水道水または工業用水
化学混和剤	高性能AE減水剤 標準形

表－3 骨材の試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
粗粒率	JIS A 1102
微粒分量(%)	JIS A 1103
表乾密度(g/cm ³)	JIS A 1109及びJIS A 1110
絶乾密度(g/cm ³)	
吸水率(%)	
粒形判定実積率(%)	JIS A 5005

表－4 コンクリートの試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
スランプフロー	JIS A 1150
空気量	JIS A 1128
コンクリート温度	JIS A 1156
目視評価	5段階 5(良) → 1(悪)
圧縮強度試験	JIS A 1132及びJIS A 1108

写真－1 目視評価の判断基準の一例



2. 4 リサイクル骨材を使用したコンクリートの配合

リサイクル骨材の置換は、細骨材のみ、粗骨材のみ、細・粗骨材の両方で、それぞれ 20%、50%、100%の3水準の置換率とした。なお、基準配合としてリサイクル骨材を置換しない配合も設定した。

実験配合の条件は、水セメント比 50%（呼び強度 30 相当）、単位水量は原則 180kg/m³、スランプ 18cm、空気量 4.5%とした。各実験工場の配合の単位量を表-5に示す。

なお、練上がり時にスランプが目標値の 18cm±2.5cm を満足しない場合は、化学混和剤によるスランプ調整は行わずに、単位水量の増減により調整することとした。また、空気量が目標値の 4.5%±1.5%を満足しない場合は、空気量調整剤により目標値を満足するように調整することとした。

リサイクル骨材を用いた配合の単位粗骨材かさ容積については、基本的には基準配合と同じ値に設定することとしたが、スランプの調整により、単位水量の増減が発生した場合には必要に応じて単位粗骨材かさ容積を修正することとした。

表-5 各実験工場の配合の単位量

(単位 : kg/m³)

骨材記号	配合記号	セメント	水	細骨材 ①	細骨材 ②	リサイクル 細骨材	粗骨材 ①	粗骨材 ②	リサイクル 粗骨材	SP	調整剤 (C×A・T)
K	SG-0	360	180	563	244	—	456	456	—	1.26	0A
	S-20	360	180	450	195	157	456	456	—	1.26	3A
	G-20	360	180	563	244	—	365	364	181	1.26	2A
	SG-20	360	180	450	195	157	365	364	181	1.26	4A
	S-50	340	170	296	128	413	456	456	—	1.19	2.5A
	G-50	340	170	592	257	—	228	228	452	1.19	2.5A
	SG-50	340	170	296	128	413	228	228	452	1.19	2A
	S-100	320	160	—	—	866	456	456	—	1.12	1.5A
	G-100	350	175	577	250	—	—	—	905	1.23	0.5A
	SG-100	320	160	—	—	866	—	—	905	1.12	0.5A
R1	SG-0	360	180	820	—	—	923	—	—	1.44	0A
	S-20	360	180	656	—	144	923	—	—	1.44	0A
	G-20	360	180	820	—	—	739	—	166	1.44	0A
	SG-20	360	180	656	—	144	739	—	166	1.44	0A
	S-50	360	180	410	—	359	923	—	—	1.44	0A
	G-50	360	180	820	—	—	462	—	416	1.44	0A
	SG-50	360	180	410	—	359	462	—	416	1.44	0A
	S-100	340	170	—	—	754	923	—	—	1.36	0A
	G-100	360	180	820	—	—	—	—	831	1.44	0A
	SG-100	360	170	—	—	754	—	—	831	1.44	0A
R2	SG-0	360	180	604	207	—	426	426	—	1.80	1A
	S-20	360	180	484	216	158	426	426	—	1.80	1A
	G-20	360	180	604	207	—	340.5	340.5	165	1.80	1A
	SG-20	350	175	486	217	159	347	347	168	1.75	1A
	S-50	350	175	304	136	397	433.5	433.5	—	1.75	1A
	G-50	350	175	608	272	—	217	217	421	1.75	1A
	SG-50	350	175	304	136	397	217	217	434	1.75	0.5A
	S-100	350	175	—	—	794	434	434	—	1.75	0.5A
	G-100	360	180	608	272	—	—	—	823	1.80	0.5A
	SG-100	370	185	—	—	745	427	427	—	1.85	0.5A
D	SG-0	360	180	408	422	—	456	470	—	1.08	1.0A
	S-20	360	180	326	336	149	456	470	—	1.08	0.75A
	G-20	360	180	401	413	—	365	376	189	1.08	0.25A
	SG-20	360	180	321	330	147	365	376	189	1.08	0.25A
	S-50	360	180	204	210	374	456	470	—	1.08	0.25A
	G-50	360	180	391	403	—	228	235	472	1.08	0.25A
	SG-50	360	180	196	202	358	228	235	472	1.08	0A
	S-100	390	195	—	—	731	433	446	—	1.17	0.5T
	G-100	360	180	373	385	—	—	—	944	1.08	1.0A
	SG-100	380	190	—	—	645	—	—	944	1.14	4.0A

3. 実験結果および考察

3. 1 リサイクル骨材および新骨材の物性

リサイクル骨材の特性を調査するために、新骨材とリサイクル骨材の物性試験を行い、それぞれを比較することとした。表-6に骨材の試験結果を示す。

表-6 骨材試験結果

種類	試験項目	HO工場		SN工場		OK工場		HN工場	
		新骨材	K	新骨材	R1	新骨材	R2	新骨材	D
細骨材	粗粒率	2.68	2.99	2.70	3.13	2.91	3.17	2.61	3.17
	微粒分量(%)	1.7	2.0	1.2	9.9	4.3	5.5	4.0	6.4
	表乾密度(g/cm ³)	2.60	2.51	2.57	2.25	2.59	2.35	2.65	2.39
	絶乾密度(g/cm ³)	2.56	2.44	2.53	2.08	2.55	2.13	2.62	2.24
	吸水率(%)	1.27	2.73	1.48	8.10	1.76	10.30	1.10	6.79
	粒形判定実積率(%)	57.8	58.8	59.9	61.6	55.8	56.8	55.1	56.1
粗骨材	粗粒率	6.77	6.69	6.64	6.62	6.66	6.91	6.65	6.68
	微粒分量(%)	0.4	0.5	0.8	2.8	0.6	1.2	0.6	1.3
	表乾密度(g/cm ³)	2.63	2.60	2.70	2.43	2.62	2.54	2.66	2.52
	絶乾密度(g/cm ³)	2.61	2.57	2.69	2.30	2.60	2.47	2.64	2.43
	吸水率(%)	0.79	1.30	0.27	5.80	0.79	2.90	0.69	3.30
	粒形判定実積率(%)	59.6	59.7	60.2	62.8	58.8	59.8	58.7	64.9

(1) 粗粒率

リサイクル細骨材は新骨材と比べ、粗粒率の値が大きくなる傾向が認められる。これは、細・粗骨材の分別に5mmの網ふるいを用いたことで、新骨材の製造時と違う網目となったことが影響したと考えられる。なお、リサイクル粗骨材においては、新骨材と同等の粗粒率の値となった。

(2) 微粒分量

リサイクル骨材の微粒分量は、回収骨材を除いて、細・粗骨材ともに新骨材より多くなる傾向が認められる。再生砕石においては、破碎時に発生する粉塵が微粒分量として影響するものと考えられる。また、粒状化骨材においても、戻りコンと粒状化剤とを反応させるときの攪拌時に発生する粉塵が影響するものと考えられる。

(3) 表乾密度および絶乾密度

回収粗骨材の表乾密度および絶乾密度の変化は小さいことが分かる。これは、戻りコンを回収水等の洗い水によって細・粗骨材に分別している為、製造方法による表乾密度および絶乾密度への影響は少ないと考えられる。その他のリサイクル細・粗骨材は、新骨材より小さくなることが認められるが、これは骨材に付着するモルタルや、回収細骨材の場合は回収水に含まれていたスラッジの影響が考えられる。

(4) 吸水率

リサイクル細・粗骨材ともに、吸水率が大きくなる傾向が認められる。回収骨材の変化は小さく、新骨材の規定値の範囲内であったが、再生砕石および粒状化骨材の吸水率の変化は、かなり大きいことが分かる。これも表乾密度および絶乾密度同様に、骨材の周りに付着するモルタルが吸水率に影響していると考えられる。

(5) 粒形判定実積率

回収骨材は、新骨材と同等の粒形判定実積率となった。これも表乾密度および絶乾密度同様に、製造方法による粒形への影響が少ないものと考えられる。再生砕石および粒状化骨材においては、新骨材より粒形判定実積率が大きくなった。これは、再生砕石では破碎、粒状化骨材では攪拌によって、

リサイクル骨材の角がとれ粒形が良くなったと考えられる。

3. 2 コンクリートの性状

(1) 単位水量および空気量調整剤の添加率

単位水量の結果を図-1に示す。回収骨材は、新骨材との置換率が50%を超えると、設定した単位水量より減少する傾向が認められる。これは、回収骨材の粗粒率および粒径判定実積率が新骨材よりも大きくなったことが影響したと考えられる。

再生砕石は、R1のS-100およびSG-100で単位水量の減少が認められた。また、R2のSG-20～S-100までの単位水量が減少したが、SG-100では増加する傾向が認められる。

粒状化骨材では、S-100およびSG-100で単位水量が増加し、G-100では設定単位水量となったことから、粒状化細骨材がフレッシュコンクリートの性状に大きく影響することが分かる。

空気量調整剤の添加率を図-2に示す。回収骨材のS-20およびSG-20および粒状化骨材のSG-100で空気量調整剤の添加率が大きくなるが、それ以外はほぼ一定の添加率となった。

(2) スランプおよび空気量の経時変化

スランプの経時変化を図-3に示す。回収骨材の置換率による大きな変化は認められない。再生砕石R1は、粗骨材の置換率が50%以上となると、スランプの変化が大きくなる傾向が認められる。粒状化骨材は、S-100でスランプが増大したが、置換率による大きな変化は認められない。

空気量の経時変化を図-4に示す。回収骨材はSG-100で大きな減少が認められる。再生砕石R1はSG-0と同等の変化で1.0%程度の変化であることが分かる。粒状化骨材は、S-100およびSG-100で1.0%以上の減少を示したが、置換率が50%以下ではSG-0と同程度の減少であることが分かる。

(3) 目視評価

目視評価の結果を図-5に示す。回収骨材および粒状化骨材はG-20, G-50, G-100以外、細骨材を20%以上置換すると目視評価が3以下となることが認められる。回収細骨材および粒状化細骨材が目視評価に大きく影響することが分かる。

再生砕石R1は置換率を大きくしても目視評価の変化は認められなかった。再生砕石R2はSG-50, S-100, G-100, SG-100目視評価が悪くなり、S-

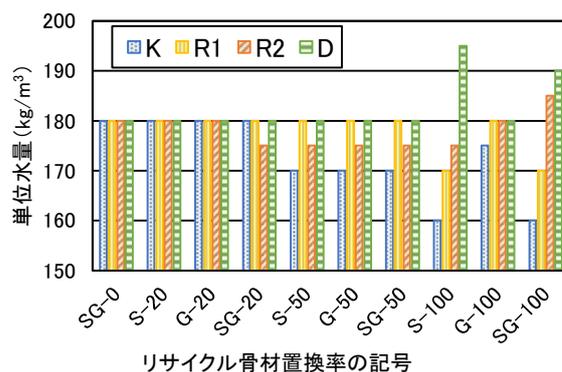


図-1 単位水量

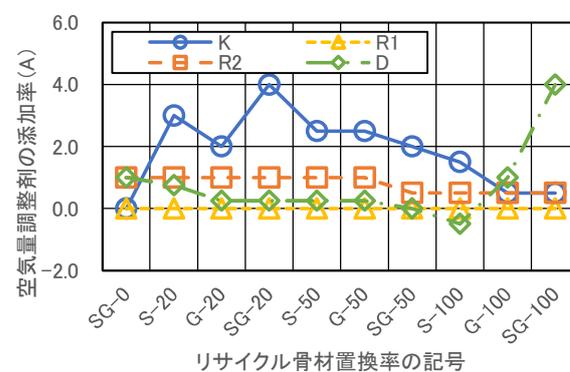


図-2 空気量調整剤

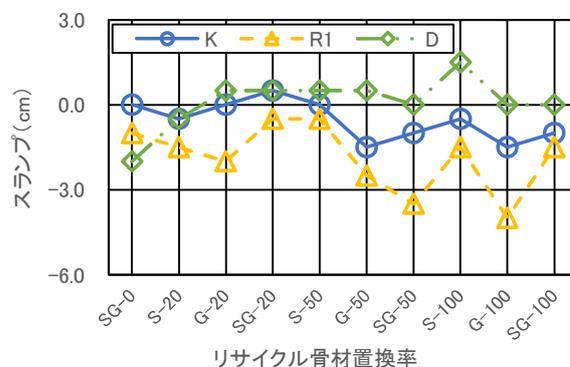


図-3 スランプの経時変化

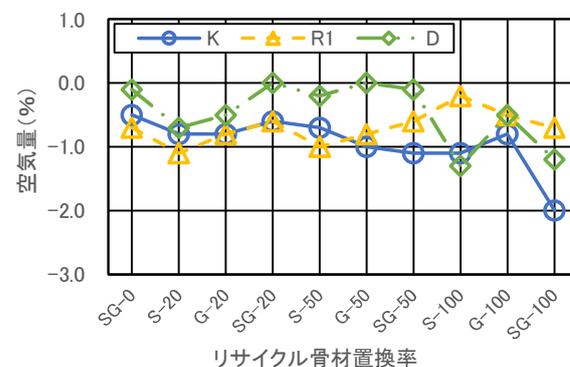


図-4 空気量の経時変化

100 が最も悪い結果となった。

(4) 圧縮強度

圧縮強度の結果を図-6に示す。回収骨材の置換率が大きくなると圧縮強度が小さくなる傾向が認められる。

再生砕石 R1 は置換率が 50%以上となると圧縮強度の低下が顕著に表れ、SG-100 は SG-0 の 1/2 程度の圧縮強度となった。再生砕石 R2 は G-20, G-50 および G-100 で SG-0 よりも圧縮強度の多少の増加が認められた。

粒状化の置換率による圧縮強度への影響は小さいことが分かる。S-100 および G-100 で SG-0 よりも圧縮強度の多少の増加が認められた。

4. まとめ

3 種類のリサイクル骨材の物性調査およびそれを使用した配合、フレッシュコンクリート及び圧縮強度のコンクリートの性状について実験を行った結果、以下のことが確認できた。

4. 1 リサイクル骨材の物性

- ・回収細骨材の表乾密度および絶乾密度が小さくなるが、その他の物性値については、新骨材と同等であることが分かった。表乾密度および絶乾密度への影響として考えられる、回収細骨材の表面水として残留するスラッジの除去について検討が必要である。
- ・再生砕石の物性値は、新骨材と比較して大きく変化することが分かった。物性値の大きな変化の要因は、骨材の周りに付着するモルタルであると推測される。また、エイジング期間による再生砕石の物性値の変化は、微粒分量への影響が考えられる。
- ・粒状化骨材は新骨材と比較した場合、物性値の変化は大きく再生砕石と同様の傾向を示した。今回の実験では、薬剤による戻りコンの処理でも骨材状にできることが分かった。

4. 2 リサイクル骨材を用いたコンクリートの性状

- ・回収骨材の置換率が大きくなると、目視評価が悪くなる傾向が認められた。しかし、配合の単位量より単位水量を減じているが、粗骨材の単位量に変化が認められないため、単位粗骨材かさ容積の修正により目視評価の改善に繋がると考える。
- ・再生砕石 R1 は、置換率が大きくなることで大きく圧縮強度が低下するため、目標呼び強度に対する水セメント比は、基準配合よりも小さくする必要がある。再生砕石 R2 は基準配合と比べ圧縮強度の低下は認められなかった。これは、エイジング期間による影響が考えられる。
- ・粒状化細骨材の置換率が大きくなると、単位水量が増加する傾向となり目視評価の悪化に繋がったと考えられる。配合設計において、単位粗骨材のかさ容積の増減により、目視評価の改善は可能であると考えられる。

謝辞 本実験にご協力頂いた生コンクリート製造工場および関係者の方々に、ここに記して感謝の意を表します。

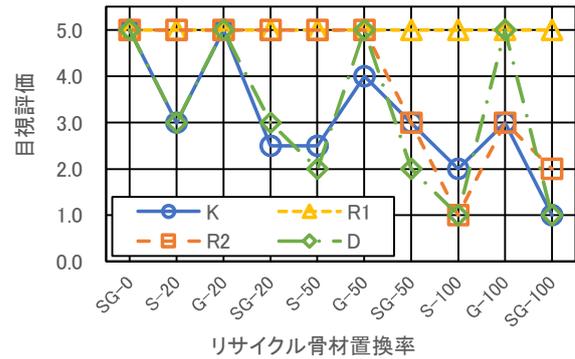


図-5 目視評価

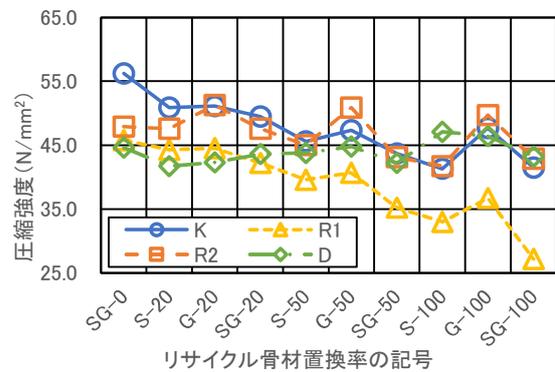


図-6 圧縮強度