

スラッジ水と粒状化再生骨材を使用した 低炭素型コンクリートの基礎実験

○久世 武*1 船尾 孝好*1 軾安 一高*1 菅生 泰夫*1 大崎 政人*1

要旨：建設現場で発生する戻りコンクリートは、生コン出荷量の約3%と言われており、現状ではその多くが廃棄物として処理されている。今回の実験では、戻りコンクリートを洗浄設備で処理した後に発生するスラッジ水および戻りコンクリートを骨材状に処理した粒状化再生骨材と、結合材に高炉セメント B 種とフライアッシュⅡ種を用いた、資源循環性と低炭素性を有するハイブリッドな環境配慮型コンクリートの性状確認を行った。本実験の範囲では、一般的なコンクリートと比較して、フレッシュコンクリートに課題は残るものの、圧縮強度は普通骨材を用いたコンクリートよりも大きくなることを確認した。

キーワード：戻りコンクリート、環境配慮型コンクリート、粒状化再生骨材、スラッジ水、フライアッシュ

1. はじめに

生コン打設時に発生する戻りコンクリートは、ほぼ全量を生コン工場が持ち帰り、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、CO₂ 吸収・固定型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は 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、戻りコンクリートを原材料として粒状に改質した粒状化再生骨材、目標スラッジ固形分率 3% のスラッジ水および結合材に高炉セメント B 種とフライアッシュⅡ種を使用したコンクリートの試し練りを実施し、コンクリートの性状を確認することとした。

2. 実験概要

2. 1 粒状化再生骨材

本実験では、U 工場で発生した戻りコンクリートに市販の高分子吸水ポリマー系の粒状化材料を用い、アジテータ車による攪拌で製造する方法と重機による攪拌で製造する方法で粒状化再生骨材を製造した。試し練りに用いた粒状化再生骨材の概要および外観を表-1 と写真-1 に示す。

*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 粒状化再生骨材の概要

工場名	呼び方	記号	製造方法	試し練り 使用時期
U工場	粒状化再生骨材	D1	戻りコンクリート帰着時にアジテータ車に粒状化材料を添加し攪拌	粒状化7日後
		D2	戻りコンクリート帰着時にヤードに広げ粒状化材料を添加し、重機によって攪拌	



粒状化再生骨材 D1



粒状化再生骨材 D2

写真－1 粒状化再生骨材の外観

2. 2 コンクリートの使用材料

使用材料を表－2 に示す。結合材として、フライアッシュⅡ種を高炉セメント B 種に 20%置換し用いた。普通骨材は、実験工場で標準化している細・粗骨材を用いた。練混ぜ水は上水道水および実験工場で発生するスラッジ水をサンプリングして使用することとした。化学混和剤は高性能 AE 減水剤標準形と空気量調整剤として一般的な AE 剤を用いた。

表－3 に粒状化再生骨材の品質を示す。粒状化再生骨材は、細・粗骨材に分級せず、20～0mm の連続粒度のまま使用することとした。これは、実装時には生コン工場で骨材状に処理しても、粒状化再生骨材を細・粗骨材に分級するふるい網を生コン工場は有していないため、そのまま使用できるのが良いと考え、全粒度での使用を検討することとした。なお、粒状化再生骨材の物性値はコンクリートの配合設計のために、細・粗骨材別に実施した。

2. 3 試験項目

コンクリートの試験項目および試験方法を表－4 に示す。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 30 分後にも試験を実施することとした。

また、一般的な試験項目に加え写真－2 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。

表－2 使用材料

記号	材料	種類
C	セメント	高炉セメントB種
FA	混和材	フライアッシュⅡ種
W	水	上水道水
RW		スラッジ水
S	細骨材	砕砂
G1	粗骨材	碎石1505
G2		碎石2010
RG1	全粒度骨材	粒状化再生骨材D1
RG2		粒状化再生骨材D2
SP	化学混和剤	高性能AE減水剤
AE		空気量調整剤

表－3 粒状化再生骨材の品質

試験項目 \ 種類	S	G	RG1		RG2	
			細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材
表乾密度 (g/cm ³)	2.64	2.70	2.27	2.42	2.16	2.52
絶乾密度 (g/cm ³)	2.59	2.68	2.06	2.29	1.85	2.42
吸水率 (%)	1.80	0.63	11.50	5.80	16.90	3.80
微粒分量 (%)	4.1	0.8	4.4	0.6	4.6	0.7
粗粒率	2.76	6.67	3.21	6.75	2.70	6.65
全粒度比率(細骨材:粗骨材)	—	—	51:49		58:42	

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	目標値
スランプ(cm)	JIS A 1101	練混ぜ直後: 18.0+2.0(スランプロス) ± 2.5
空気量 (%)	JIS A 1128	練混ぜ直後: 4.5+2.0(空気量ロス) ± 1.5
コンクリート温度(℃)	JIS A 1156	測定のみ
目視評価	5段階 5(良)→(悪)	—
圧縮強度試験(N/mm ²)	JIS A 1132及びJIS A 1108	—



評価 5（良）



評価 3



評価 1（悪）

写真－2 目視評価の判断基準の一例

2. 4 コンクリートの配合

粒状化再生骨材は、骨材の単位容積に対して 25%, 50%, 75%, 100%の 4 水準の置換率とした。なお、基準配合として粒状化再生骨材を使用しない配合も設定した。

実験配合の条件は、水セメント比 55%（呼び強度 30 相当）、単位水量 175kg/m³、スランプ 18cm、空気量 4.5%とした。コンクリートの配合を表－5 に示す。

粒状化再生骨材を用いた配合の単位粗骨材かさ容積は、基準配合と同じ値に設定することとした。

表-5 コンクリートの配合

配合 番号	単位量(kg/m ³)									(C×A%)
	C	FA	W	SW	S	G1	G2	D1・D2	SP	AE
NW	255	64	175	—	856	464	464	—	1.75	18A
NRW	255	64	—	175	856	464	464	—	1.75	15A
D1S-25	255	64	—	175	642	348	348	391	2.55	15A
D1S-50	255	64	—	175	428	232	232	783	2.23	15A
D1S-75	255	64	—	175	214	116	116	1174	1.91	10A
D1S-100	255	64	—	175	—	—	—	1565	1.28	5A
D2-25	255	64	—	175	642	348	348	386	1.91	15A
D2-50	255	64	—	175	428	232	232	772	1.91	5A
D2-75	255	64	—	175	210	116	116	1158	2.23	2A
D2-100	255	64	—	175	—	—	—	1544	2.71	2A

3. 試験結果および考察

3. 1 化学混和剤の添加率

配合毎の高性能 AE 減水剤の使用量を図-1 に示す。NW, NRW に比べ D1-100 以外では高性能 AE 減水剤の使用量は増加する傾向が認められる。なお, D1-25～D1-100 は粒状化再生骨材の置換率が増加するほど高性能 AE 減水剤の使用量は減少傾向が認められ, D2-25～D2-100 では粒状化再生骨材の置換率が増加するほど高性能 AE 減水剤の使用量は増加傾向が認められる。

空気量調整剤の添加率を図-2 に示す。D1-25, D1-50 は NRW と比べ空気量調整剤の添加率に変化は認められないが D1-75, D1-100 では減少傾向が認められる。また, D2-25 は NRW と比べ空気量調整剤の添加率に変化は認められないが, D2-50, D2-75, D2-100 では減少傾向が大きくなることが認められる。

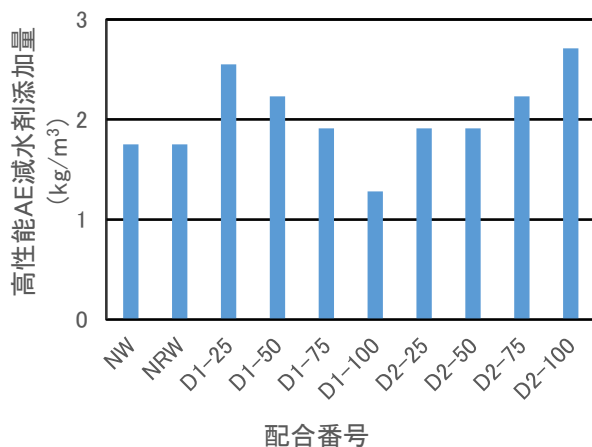


図-1 高性能 AE 減水剤の添加率

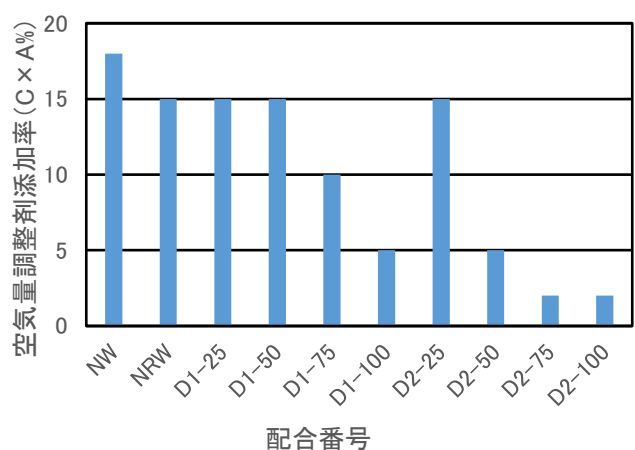


図-2 空気量調整剤の添加率

3. 2 スランプおよび空気量の試験結果

スランプの試験結果を図-3 に示す。粒状化再生骨材 D1-25, D2-25 では経時 30 分後のスランプの差は小さいが, D1, D2 粒状化再生骨材置換率が増加するほどスランプの経時 30 分後の差は大きく

なる傾向が認められる。特に D1-100 の配合では、その差が顕著に表れた。

空気量の試験結果を図-4 に示す。フライアッシュの影響で、練混ぜ直後と経時 30 分後の空気量の差は、全体的に低下傾向だが、NW と比較すると、D1-25～100 は、その差が小さい。D2-75, 100 では、差は変わらない。全粒度骨材 D2 の細骨材比率が大きいことと、空気量調整剤の使用量が少ないことが考えられる。

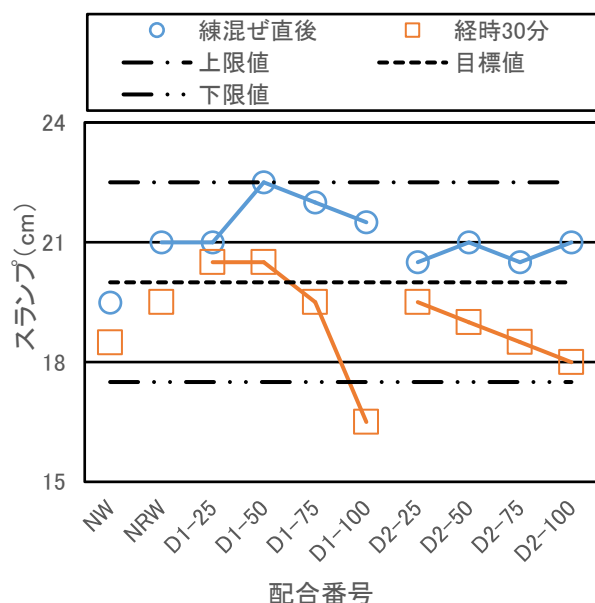


図-3 スランプの試験結果

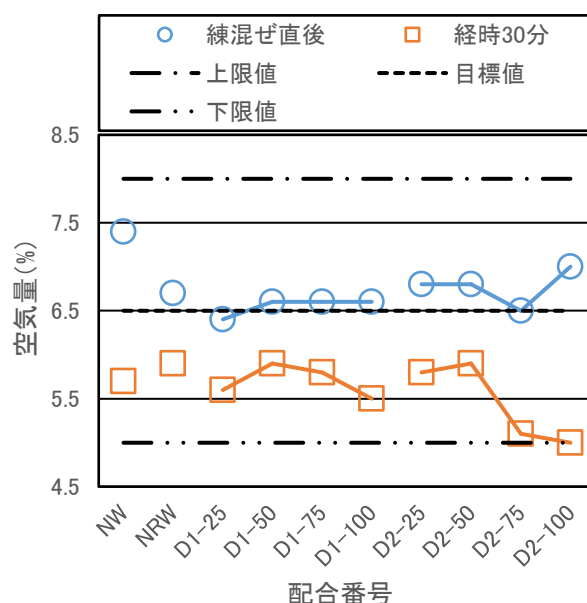


図-4 空気量の試験結果

3. 3 目視評価

目視評価の結果を図-5 に示す。粒状化再生骨材 D1 は置換率が増加すると目視評価が低下する傾向が認められる。

粒状化再生骨材 D2 も置換率が増加すると目視評価が低下する傾向が認められ、特に D2-75 と D2-100 の目視評価が低い結果となった。

粒状化再生骨材の製造方法の違いによって目視評価に影響することがわかる。

粒状化再生骨材 D1-75, D1-100, D2-75 および D2-100 の経時 30 分後のスランプの状態を写真-3 に示す。写真からもわかるように、D1-75, D1-100 では分離傾向は認められないが、D2-75, D2-100 は粗骨材分が目立ち、分離状態であることがわかる。

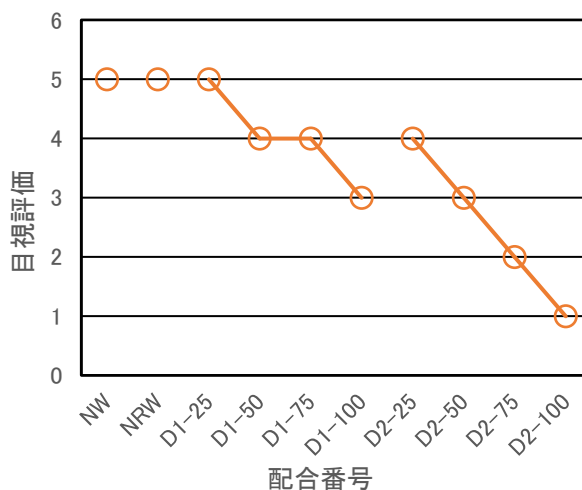


図-5 目視評価

3. 4 圧縮強度

圧縮強度の結果を図-6 に示す。材齢 7 日および 28 日の圧縮強度の結果は、粒状化再生骨材 D1, D2 共に置換率による影響は小さいことがわかる。また、NW と比べて圧縮強度が大きくなった。これはフライアッシュのポゾラン反応とスラッジ水の未水和分が反応したため、強度が増加したと推察される。

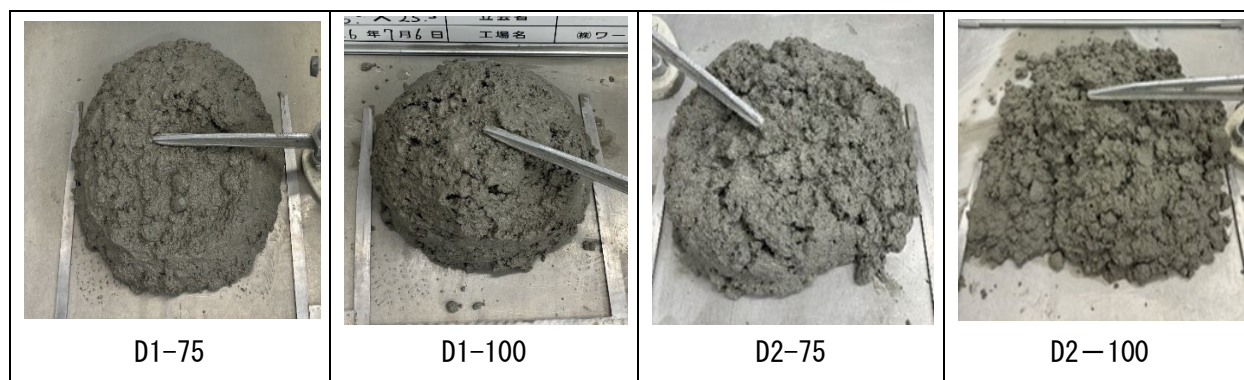


写真-3 経時 30 分後のスランプの状態

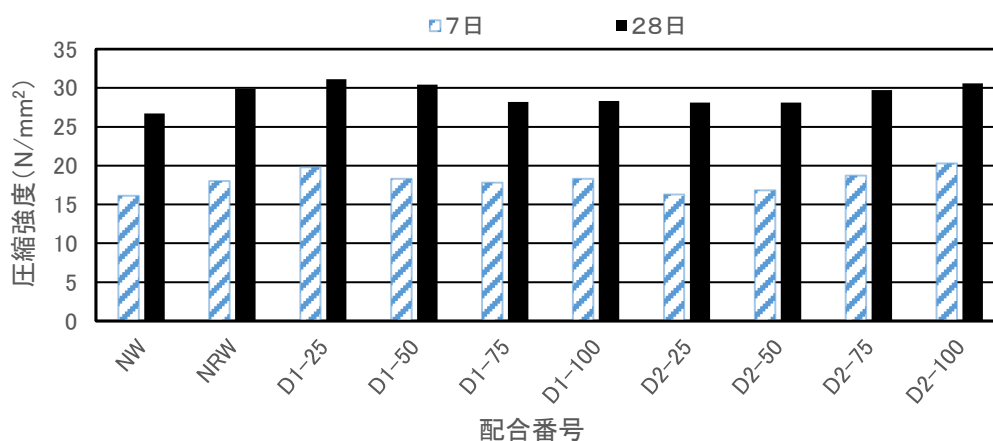


図-6 圧縮強度の試験結果

4. まとめ

本実験の範囲において、副産物を多量に使用したコンクリートとしてフライアッシュ、スラッジ水のほかに吸水率が大きい粒状化再生骨材を適用しても、良好なフレッシュ性状を得ることができた。

- ・粒状化再生骨材 D1 は原コンクリートの骨材に均一に粒状化されており、かつ粒形も丸みを帯びており、全粒度比率も細骨材 51%：粗骨材 49%とバランスが良好であった。フレッシュコンクリートでは、高性能 AE 減水剤・空気量調整剤の添加率を適切に調整することにより、全骨材を置換しても性状を確保出来ることが確認できた。
- ・粒状化再生骨材 D2 は、原コンクリートの粗骨材にモルタルの付着が少なく、全粒度比率も細骨材 58%：粗骨材 42%と細骨材比が過多であった。粒状化再生骨材の置換率が増加すると、所要のフレッシュコンクリート性状を得るための高性能 AE 減水剤添加率は増加し、空気量調整剤の使用量は低下した。置換率が 50%を超えるとさらに高性能 AE 減水剤の添加率が増加して材料分離の一因となったため、目視評価の低下につながったものと考えられる。
- ・フレッシュコンクリートは、粒状化再生骨材の物性値の特徴である高吸水率に影響されることなくフライアッシュ・スラッジ水と、副産物を多量に使用しても性状を確保することが確認できた。
- ・圧縮強度は、スラッジ水の未水和分が反応したことと、フライアッシュのポゾラン反応によって増加したことにより、粒状化再生骨材を使っても圧縮強度は低下しないことが確認できた。

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。