

北里大学獣医畜産学部 ○細川吉晴(正会員)

東栄コンクリート工業(株) 新田裕之(正会員)

弘前大学農学生命科学部 万木正弘(正会員)

1. はじめに 廃棄コンクリートを破碎した再生骨材の大半は路盤材にリサイクルされているが、今後の発生量の増大を鑑みれば路盤材だけよりもコンクリート用骨材へのリサイクルが望まれる。しかし吸水率の高い再生骨材を使用したコンクリートは耐凍害性が低いといわれ、製造の時期や工場の異なる廃棄製品からの再生骨材はアル骨反応の有無の確認も難しく、リサイクルが進まない原因になっている。一方、JIS 工場の製品は水セメント比が小さく品質変動も小さいので、これから製造された再生骨材の品質は良くリサイクル可能性は高いと期待される。また、混合セメントを使用すればアル骨反応対策になり、中でも高炉セメントは温度依存性が高く高温養生では強度発現が大きいので¹⁾、蒸気養生に適していると考えられる。

再生骨材のコンクリート製品へのリサイクル研究では、JCI 北海道支部が無筋製品への適用を検討した²⁾ものの、鉄筋コンクリート(RC)については未検討である。本研究では、廃棄製品から再生骨材を製造し、試験練りから求めた示方配合で再生粗骨材・砕石コンクリートの特性をまず比較し、その後、普通ポルトランドセメントや高炉セメント、フライアッシュセメントを用いたコンクリート製品の特性を比較検討した。

2. 再生骨材の製造とその物理的特性 製造後7年経過した無筋製品(約22トン)をブレーカーで小割りしたのちジョークラッシャ、コーンクラッシャおよびインペラーにより順次破碎し、振動スクリーンと水洗で粒度調整しながら再生骨材を製造した。原コンクリートの圧縮強度(抜き取りコア)は42.6 N/mm²、中性化深さは4mmであった。得られた再生骨材(計21,400kg)の内訳は、20-15mmが18.9%、15-05mmが29.7%、10-6mmが14.3%、6-0mmが37.1%となった。20-15mmと15-5mmの再生粗骨材をそれぞれ64%、36%で質量混合すればJIS A 5005 砕石の2005の標準粒度範囲に入った。この混合再生粗骨材の吸水率と微粒分量は3.91%、0.90%で(表1)、TRA 0006の再生粗骨材基準(吸水率7%以下、微粒分量2%以下)を満足した。

3. 試験練りに基づく示方配合決定と再生粗骨材・砕石コンクリートの特性 目標強度を36N/mm²として所要のスランブ・空気量を得るコンクリートの試験練り(表1の骨材を使用)から、表2の示方配合を得た。砕石(N)および再生粗骨材(R)コンクリートを打設し、スランブ・空気量を確認してから型枠に充填し、テーブル振動機で30秒間締め固め後、製品工場でおこなう通常の蒸気養生(打設後から脱型までのマチュリティは約800°C・時)工程を経てコンクリート供試体を製造した。同時にコンクリート製品(道路用RC側溝300A3種(JIS A 5372 付属書5)と地先境界ブロック(JIS A 5371 付属書2))を製造した。試験結果の一部は、表3から、供試体の圧縮強度は10日以上

連続の降雨なしで製品同一養生した場合、製品管理強度30N/mm²(14日材齢)を越さなかったが、標準養生した場合は十分な強度を有した。

凍結融解試験(JIS A

1148:A法)300サイク

ル後の耐久性指数は両

表1 使用骨材の物理的性質

骨材の種類	産地・区分	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒 率	単位容積 質量(kg/L)	実績 率(%)	微粒分 量(%)	
細骨材	陸砂	2.58	1.65	2.74	1.59	62.6	1.30	
	砕石(N)	2.67	1.81	6.33	1.56	59.5	0.34	
粗骨材	再生粗骨材	1505	2.53	4.22	6.45	1.42	58.5	0.40
	(R)	2015	2.59	2.85	7.03	1.47	58.4	0.69
		混合2005	2.55	3.91	6.81	1.47	59.9	0.90

表2 コンクリートの示方配合

コンクリート	最大 寸法 (mm)	スラン ブ (cm)	水セメ ント比 (%)	空気 量 (%)	細骨 材率 (%)	単位量(kg/m ³)				AE減 水剤	空気量 調整剤
						水	セメント	細骨材	粗骨材		
						W	C	S	G		
砕石(N)	20	8.0	45	5.0	41	168	373	702	1047	2.98	2.98
再生粗骨材(R)		±2.5	42	±1.5	39	168	400	658	15-05: 364, 20-15: 663	3.20	3.60

表3 圧縮強度と凍結融解試験結果

コンクリート	圧縮強度(N/mm ²)		凍結融解試験結果			
	標準養生		製品同一養生		耐久性 指数	質量減少 率(%)
	14日	28日	14日	28日		
砕石(N)	33.4	35.6	27.8	30.6	94.7	2.4
再生粗骨材(R)	35.3	38.6	28.8	28.9	96.7	2.1

表4 製品の曲げ試験結果(材齢14日)

コンクリート製品	曲げ荷重(kN)	
	側溝	境界ブロック
砕石(N)	91.0, 86.0	75.0, 72.5
再生粗骨材(R)	95.0, 86.0	84.0, 78.5
JIS規格	≥72(ひび割れ荷重)	≥40(破壊荷重)

者とも 94 以上，質量減少率は 2.4%以下で，良好な耐久性を有した。曲げ・引張強度，乾燥収縮率，中性化深さは，両者コンクリートではほぼ同等の値となった。また，コンクリート製品の曲げ強度（材齢 14 日）を表 4 に示したが，N・R コンクリートとも側溝のひび割れ荷重が JIS 規格 72kN，境界ブロックの破壊荷重が同 40kN を十分に満足した。この再生粗骨材は，再生コンクリート製品にリサイクル可能と判断された。

4. 混合セメントと再生粗骨材の RC 製品製造の実機試験 コンクリート供試体および RC 製品には，表 1 に示す骨材のほか，セメントとして普通ポルトランドセメント（密度: 3.15g/cm³，比表面積: 3,290cm²/g，NP と略記），高炉セメント B 種（密度: 3.04g/cm³，比表面積: 3,290cm²/g，BB と略記），フライアッシュセメント（フライアッシュ混入率 15%，FB と略記）を用いた。配合設計では，製品工場で一般的な水セメント比を 45%，スランプ 8±2.5cm，空気量 5±1.5%を目標とし，R と FB を用いるコンクリートの水セメント比をそれぞれ 3%ずつ減じ，FB を用いると流動性が高くなるので単位水量を 4kg 減じた。また，FB コンクリートでは含有カーボンの影響から空気量調整剤の使用量を増加した。以下，普通（砕石：N）コンクリートを N+NP，R と BB の組合せを R+BB，R と FB の組合せを R+FB と記し，これらの配合を表 5 に示した。

フレッシュコンクリートの性状はいずれも目標範囲内であり，ブリーディング量は 0.01-0.04cm³/cm²，塩化物量は 0.035kg/m³ 以下で問題のないものであった。表 6 に圧縮強度と凍結融解試験結果を示した。工場の製品管理強度は材齢 1 日が 12N/mm²，出荷可能材齢 14 日が 30N/mm²であり，いずれのコンクリートもこの規格値を満足した。コンクリートの種類別ではいずれの材齢においても R+BB>R+FB>N+NP の順に高く，材齢 28 日の養生方法別

の強度発現は同等であった。凍結融解試験後の耐久性指数は両者とも 94 以上，質量減少率は 2.4%以下で，良好な

耐久性を保持した。ほかに曲げ・引張強度，乾燥収縮率，中性化深さの値は，3 種類のコンクリートにおいて大差なかった。

また，コンクリート製品の曲げ強度試験結果（材齢 14 日）を表 7 に示したが，いずれの製品も JIS 規格値を十分に満足した。脱型後の R+BB 製品表面に高炉セメント特有の青みがかった色むらが見られたが，約 1 週間で消えて外観上の支障はなかった（写真 1）。

以上のように，混合セメントと再生粗骨材を同時に用いた再生コンクリート製品は JIS の規格値を満足し，実用可能であると判断された。

【謝辞】 本研究は JCI 東北支部平成 15-16 年度研究委員会の「高炉セメントおよび再生骨材のプレキャスト製品への利用に関する調査研究」として実施した。また，研究の一部は（社）東北建設協会の平成 15 年度技術開発支援助成を受けたものである。同時に全国コンクリート製品協会東北支部の協力もいただいた。さらに，本研究を実施するに当たり，再生骨材の製造では山形県長井市の榊手塚建材，コンクリート試験と製品の製造では山形市の東栄コンクリート工業㈱の絶大な協力をいただいた。測定試験の一部では北里大の長谷篤君ら専攻生の協力を得た。ここに記して，厚くお礼を申し上げる。

【参考文献】 1) 北辻政文・藤居宏一：寒冷地コンクリートへの高炉スラグ微粉末の利用に関する研究，農業土木学会論文集，第 184 号，pp.73-79, 1996.8 2) (社)日本コンクリート工学協会北海道支部：リサイクル研究委員会報告書，pp.1-43, 2002.4

表 5 再生粗骨材と混合セメントを用いたコンクリートの配合

コンクリートの種類	最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
						水		セメント		AE 減水剤	
						W	C	S	G	調整剤	調整剤
N+NP	8.0	45	5.0	41	168	373	702	1047	3.73	2.24	
R+BB	20	±	42	±	40	168	400	671	1005	5.20	2.40
R+FB	2.5	39	1.5	41	164	421(63)*	681	976	4.21	6.32	

* () はフライアッシュの量

表 6 圧縮強度と凍結融解試験結果

コンクリートの種類	圧縮強度 (N/mm ²)								凍結融解試験結果	
	標準養生				製品同一養生				耐久性指数	質量減少率 (%)
	14日	28日	91日	1日	7日	14日	28日	91日		
N+NP	32.9	38.7	44.3	17.0	26.8	32.5	37.6	40.6	99.2	0.8
R+BB	36.0	46.1	58.1	23.1	31.7	39.0	45.9	50.2	97.6	0.8
R+FB	34.5	40.0	45.9	18.6	29.3	34.9	40.4	45.5	99.3	1.1

表 7 製品の曲げ試験結果（材齢 14 日）

コンクリート製品	曲げ荷重 (kN)	
	側溝	境界ブロック
N+NP	84.0, 83.0	72.0, 71.5
R+BB	86.0, 84.0	78.5, 76.5
R+FB	83.0, 83.0	69.5, 69.0
JIS 規格	≥72 (ひび割れ荷重)	≥40 (破壊荷重)

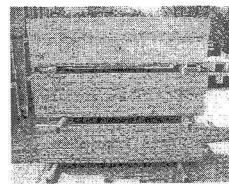


写真 1 試作した側溝製品