エコセメントおよび再生骨材を用いた超硬練りコンクリートの特性

首都大学東京大学院　学生会員　○水井唯宇太
首都大学東京大学院　正会員　上野敦，正会員　宇治公隆，正会員　大野健太郎
太平洋セメント株式会社　正会員　井口舞

1. はじめに

普通エコセメント(以下，EC)および再生粗骨材を使用する場合，超硬練りコンクリート(以下，EDC)とすることが有効となる[1]．一方，現在のコンクリート用再生骨材の製造方法では，再生粗骨材と同時に再生細骨材も生成されるものが多いため，再生細粗骨材の併用を検討することが望まれる．

本研究では，舗装および即時脱型プレキャストコンクリート製品への適用を想定し，EC を結合材として，再生粗骨材を使用した場合および再生細粗骨材を併用して作製した EDC の力学的特性、乾燥収縮ひずみおよび凍結防止剤散布環境におけるスケーリング量について検討した．また，混和材として高炉スラグ微粉末を使用した場合についても検討した．

表-1　骨材の物理的性質

種類	表記	密度(g/cm³) 表乾	絶乾	吸水率(%)	単位容積質量(kg/L)	実積率(%)	F.M.
山砂	nS	2.58	2.52	2.41	1.63	64.7	2.52
再生細骨材	rS	2.26	2.04	10.71	1.35	66.0	2.90
砕石2005	NG	2.63	2.61	0.65	1.60	62.1	6.62
再生粗骨材	RG	2.41	2.26	6.47	1.40	61.9	6.80

表-2　超硬練りコンクリートの配合

配合記号	W/B(%)	Km	Kp	実測Air(%)	単位量(kg/m³) W	NC	EC	BFS	nS	rS	NG	RG	AE減水剤(B×%)	AE助剤(B×%)	単位容積質量(kg/L)
NnN	35	1.6	1.90	3.0	119	341			640		1301		0.125	0.015	2.401
EnN	30		2.16	2.5	120		400		595		1307		0.125	0.027	2.423
	35		1.87	2.5	120		343		642		1307		0.125	0.027	2.412
	40		1.73	3.2	119		298		673		1299		0.125	0.018	2.389
EnR	30		2.21	2.4	120		400		580			1214	0.125	0.027	2.314
	35		1.95	2.9	119		341		624			1208	0.125	0.027	2.292
	40		1.75	2.9	119		299		659			1208	0.125	0.015	2.285
ErR	30		2.37	2.5	120		400			508		1213	0.125	0.150	2.240
	35		2.08	3.0	119		341			546		1207	0.125	0.150	2.213
	40		1.82	2.4	120		300			580		1214	0.125	0.100	2.215
EBrR	35		2.06	2.0	121		213	131		543		1218	0.125	0.250	2.227

表-3　舗装用有スランプコンクリートの配合

配合記号	実測スランプ(cm)	実測Air(%)	水セメント比(%)	単位粗骨材かさ容積(m³/m³)	単位量(kg/m³) W	NC	nS	NG(2005)	混和剤 AE減水剤(C×%)	AE助剤(C×%)
PN	2.5	4.4	50	0.73	145	290	683	1194	0.25	0.0035

表-4　流込みコンクリートの配合

配合記号	実測スランプ(cm)	実測Air(%)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m³) W	NC	nS	NG(2005)	混和剤 AE減水剤(C×%)	AE助剤(C×%)
PC	8.5	3.5	50	45	165	330	796	993	0.30	0.0020

2. 実験概要

2.1 使用材料

結合材は，普通ポルトランドセメント(NC，密度 3.16g/cm³)，普通エコセメント(EC，密度 3.15g/cm³)，高炉スラグ微粉末 6000(BFS，密度 2.91g/cm³)を使用した．使用骨材は，**表-1** に示す山砂(nS)，再生細骨材(rS)，砕石(NG)および再生粗骨材(RG)である．本研究では，再生細粗骨材 L を使用した．

2.2 コンクリートの配合

表-2 に EDC の配合を示す．配合条件は，Km を 1.6，W を 120kg/m³，目標空気量を 2.5%とし，W/B を 30~40%に変化させた．BFS は EC の 40%を置換して使用した．また，**表-3**，**表-4** に，乾燥収縮ひずみの比較に用いた舗装用有スランプコンクリート(PN)および流込みコンクリート(PC)の配合を示す．

2.3 実験項目

表-5 に実験項目を示す．空気量は，「超硬練りコンクリートの空気量試験方法(CBA-2)」に従って測定した．また，凍結融解試験は，試験溶液に冬季の凍結防止剤散布を想定し，NaCl3%溶液を用いた．

表-5　実験項目

測定項目	試験方法
締固め性	JSCE-F 508
圧縮強度	JIS A 1108
静弾性係数	JIS A 1149
曲げ強度	JIS A 1106
乾燥収縮ひずみ	JIS A 1129-2
凍結融解抵抗性	JIS A 1148(A法)

3. 結果および考察

3.1 締固め性

図-1 に各配合の充填率 98%に達するまでに必要なエネルギー(E98)を示す．EnN，EnR，NnN の E98 に顕著な違いはなく，概ね，W/B の増加に伴い E98 が減少する傾向を示した．一方，ErR，EBrR の E98 は他の配合と比較して高い値を示した．すなわち，再生細骨材を使用した場合，締固め性が低下する結果となった．ErR，EBrR 以外の配合については，E98 が 100J/L を下回り，全体的に高い締固め性を有している．

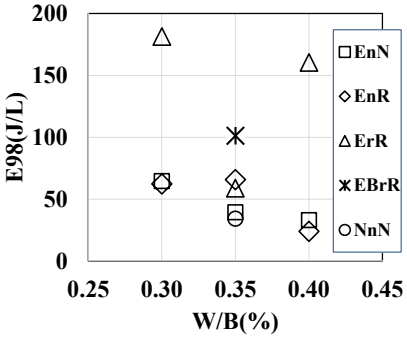

図-1　各配合の E98

キーワード　超硬練りコンクリート，エコセメント，再生骨材，高炉スラグ微粉末，凍結融解抵抗性
連絡先　首都大学東京都市環境学部　〒192-0364　東京都八王子市南大沢 1-1　TEL042-677-2777

3.2 力学的性質

図-2 に結合材空隙比と圧縮強度の関係を示す．再生粗骨材を用いることで圧縮強度は低下し，再生細骨材を併用することでより強度が低下する．しかし，最も低強度の配合でも 40N/mm^2 以上であり十分な圧縮強度を有している．また，EnR および ErR の近似直線の傾きは，EnN と比較して小さく，結合材空隙比の増加に伴う強度の増加が鈍くなっている．すなわち，再生骨材を含む場合の供試体の強度に対しては，セメントペースト相より骨材相の影響が大きいことがわかる．

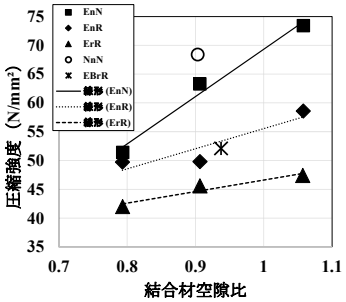

図-2 結合材空隙比と圧縮強度

3.3 乾燥収縮ひずみ

図-3，図-4 に長さ変化率および質量変化率の経時変化を示す．長さ変化率，質量変化率ともに，再生粗骨材の使用で若干増加し，再生細骨材の使用により更に増加している．これは再生粗骨材または再生細粗骨材を用いることで，コンクリート中の骨材のヤング率が低下すること，そして，疎な構造の粒子が増加するためと考えられる．

乾燥期間 91 日では，再生細粗骨材を用いても，EDC であれば，スランプ 10cm の普通コンクリートと同程度の収縮ひずみであるとわかる．

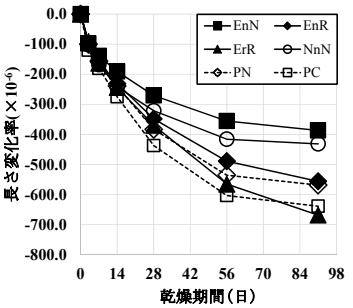

図-3 長さ変化率の経時変化

3.4 凍結融解抵抗性

図-5，図-6 に凍結融解作用に伴う相対動弾性係数の経時変化および質量減少率の経時変化を示す．既往の傾向[2]とは異なり，NnN を除くすべての配合で相対動弾性係数が 60%を下回った．このことは，気泡構造がこれまでの検討とは異なる可能性が推察される．また，EBrR の質量減少率は，200 サイクル近傍までは再生骨材を用いた配合と比較して改善しているが，250 サイクル近傍を過ぎると急激に増大している．このことから，エコセメントの一部を BFS で置換することで，表層強度は向上し，スケーリング抵抗性は改善する傾向にはあるが，サイクル数の増加に伴い，相対動弾性係数を低下させたコンクリート内部の粗大な空隙からの破壊が卓越し，比較的大きな塊状のコンクリートが消失することで，質量減少率が増加したものと考えられる．

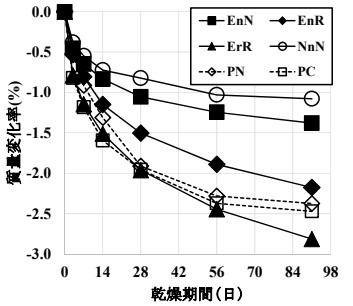

図-4 質量変化率の経時変化

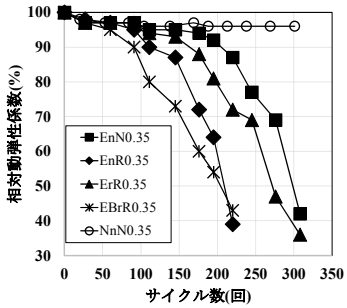

図-5 相対動弾性係数の経時変化

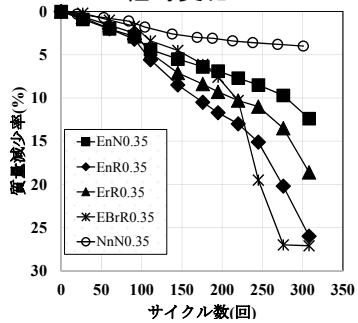

図-6 質量減少率の経時変化

4. まとめ

(1) 再生細骨材を含む EDC の締固め性は，普通細骨材を用いる場合と比較して低下する傾向にある．

(2) 再生骨材を含む EDC の供試体の強度には，骨材相の影響が大きい．

(3) 再生骨材を含む EDC の乾燥収縮ひずみは，コンクリート中の骨材のヤング率の低下および疎な構造の粒子の増加により増大するが，スランプ 10cm の普通コンクリートと同程度となる．

(4) 再生細粗骨材を併用した場合であっても，BFS の混合使用によりスケーリング抵抗性は向上する．

参考文献

1) 木村順哉他：エコセメントおよび再生粗骨材の舗装用超硬練りコンクリートへの適用性，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.251-256，2010

2) 木村順哉他：エコセメントを用いた舗装用超硬練りコンクリートの凍結融解抵抗性に関する基礎検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1486-1491，2012