

論文 低品質再生骨材を置換したコンクリートの諸性能

道正 泰弘*

要旨: 実構造物に適用した再生骨材コンクリートの品質管理を目的に、その近傍に、実構造物と同じコンクリート、ならびに比較用として一般コンクリートと置換率を変化させた再生骨材コンクリートをモニタリング試験体として設置し、強度、耐久性について、主要性能とともに材齢 3~5 年の長期性能の測定を行った。その結果、おおむね再生骨材 L 程度の低品質再生骨材を一般骨材に置換したコンクリートは、一定の置換率の範囲であれば、適切な調合設計により、構造用コンクリートとして所要品質を確保することが可能であることが判明した。

キーワード: 再生骨材コンクリート, 低品質再生骨材, 骨材置換法, モニタリング, 主要性能, 長期性能

1. はじめに

骨材置換法は、JIS A 5308 (レディーミクストコンクリート) を満足するコンクリートの品質を確保することを目的に、おおむね JIS A 5023 (再生骨材 L を用いたコンクリート) に相当する再生骨材を、要求性能に応じて砕石・砕砂、砂利・砂などの一般骨材に一定の割合で置換し、材料設計 (相対品質値法) により所定の品質を担保して再生骨材コンクリートを製造する方法である¹⁾。

この方法は、日本建築学会において 2014 年 10 月に刊行された「再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針 (案)」²⁾ (以下、再生骨材コンクリート指針) のうち、「11 章 鉄筋コンクリート部材に用いる再生骨材コンクリート L」に具体的な適用方法が示された。一方、2014 年度の利用実績調査³⁾により明らかになった再生骨材コンクリートの利用量は、55 千 t 程度に止まる。このため、再生骨材コンクリートの実用化に伴う構造用コンクリートの性能に関する報告は、再生骨材コンクリート指針の付録²⁾などに幾つか紹介されている程度である。

本論文は、再生骨材の利用促進のための基礎資料を得ることを目的に、低品質な再生骨材 (おおむね再生骨材 L 程度) を用いて骨材置換法により製造したコンクリートについて、実際に適用した実構造物の近傍に設置した試験体 (モニタリング試験体) により、基礎的な主要性能の確認とともに、3 年から 5 年経過した長期性能について品質確認を行った結果を示す。

2. 実験概要

本検討で用いたモニタリング試験体用コンクリートの概要を表-1 に、モニタリング試験体の概要を図-1 に示す。なお、適用した実構造物はいずれも海岸隣接地域 (約 500m 以内) に建設されている。

表-1 モニタリング試験体用コンクリートの概要^{1), 4)}

地点	試験体記号等	概要			
		種類	置換率(%)		設計基準強度 (N/mm ²)
			再生粗骨材	再生細骨材	
C	CN ^{※1}	一般コンクリート	—	—	21
	CRG30	再生骨材コンクリート	30	—	24
	適用構造物	CRG30 同等。国土交通大臣認定 MCON-0171 に基づき鉄骨造建築物(基礎, 地中梁)に約 200m ³ 適用。			
Y	YN ^{※1}	一般コンクリート	—	—	24
	YRG30	再生骨材コンクリート	30	0	
	YRG50 ^{※2}		50	0	
適用構造物	YRG30 同等。国土交通大臣認定 MCON-0979 に基づき鉄骨造建築物 (基礎, 地中梁, 地中壁) に約 1,000m ³ (YRG30 以外の再生骨材コンクリートを含む) 適用。				
K	KN ^{※2}	一般コンクリート	—	—	30
	KRG50	再生骨材コンクリート	50	0	
	KRGS30 ^{※2}		30	30	
適用構造物	KRG50 同等。国土交通大臣認定 MCON-0979 に準拠し、基礎構造物 (建築基準法には該当しない) に約 620m ³ 適用。				

※1 同一構造物に適用した一般コンクリート

※2 比較用としてのモニタリング試験体のみを設置

2.1 モニタリング試験体

モニタリング試験体は、C, Y および K の 3 地点に、それぞれ 2 種類、3 種類および 3 種類の合計 8 種類を設置した。なお、形状は適用した部位を模擬したものである。

C 地点は、国土交通大臣認定 MCON-0171 に基づき、地域共生施設の基礎、地中梁に再生粗骨材を 30%置換した設計基準強度 (F_c):24N/mm² のコンクリートを約 200 m³ 打込んだものと同等のコンクリートで作製した。また、比較用として同じ建物・部位で異なる箇所に打込んだ砕石と山砂を用いた F_c:21N/mm² の一般コンクリートで作製した合計 2 種類のモニタリング試験体を設置した。

Y 地点では、国土交通大臣認定 MCON-0979 に基づき、廃棄物焼却炉建物の基礎、地中梁および地中壁に再生粗

* 名城大学 理工学部環境創造学科教授 博士 (工学) (正会員)

骨材を 30%置換した $F_c:24N/mm^2$ のコンクリートを約 1,000 m^3 打込んだもののうち、同等のコンクリートで作製した。また、比較用として同じ建物で異なる部位に打込んだ砕石と山砂・砕砂を用いた $F_c:24N/mm^2$ の一般コンクリートおよび建物には使用していないが、再生粗骨材を 50%置換した $F_c:24N/mm^2$ の再生骨材コンクリートで作製した合計 3 種類のモニタリング試験体を設置した。

K 地点では、建築基準法上の建築物ではないが、国土交通大臣認定 MCON-0979 に準拠し、使用済み機械置き場の基礎構造物に再生粗骨材を 50%置換した $F_c:30N/mm^2$ のコンクリートを約 620 m^3 打込んだものと同様のコンクリートで作製した。また、比較用として実構造物には使用していないが、砕石と山砂・砕砂を用いた $F_c:30N/mm^2$ の一般コンクリート、再生粗骨材と再生細骨材を 30%ずつ置換した $F_c:30N/mm^2$ の再生骨材コンクリートで作製した合計 3 種類のモニタリング試験体を設置した。

2.2 再生骨材コンクリート

使用した原コンクリートの概要を表-2に示す。再生骨材を含む使用した骨材の主要物性を表-3に、不純物量測定結果を表-4に示す。また、各種コンクリートの調合を表-5に示す。再生骨材の製造は、いずれも汎用機器を用いて解体現場内で破砕ならびに分級し、粒径調整程度の処理を行ったものである^{1),4)}。

(1) 原コンクリート

C 地点の原コンクリートは、約 40 年経過した火力発電所タービン建屋と機械基礎である。コア供試体の圧縮強

度は 18.7~54.5 N/mm^2 の範囲にあり、全塩化物イオン量は最大値で 0.21 kg/m^3 であった。原コンクリートに用いられていた粗骨材は川砂利、細骨材は川砂であった。

Y 地点の原コンクリートは、約 40 年経過した火力発電所煙突・機械基礎などの鉄筋コンクリート構造物である。

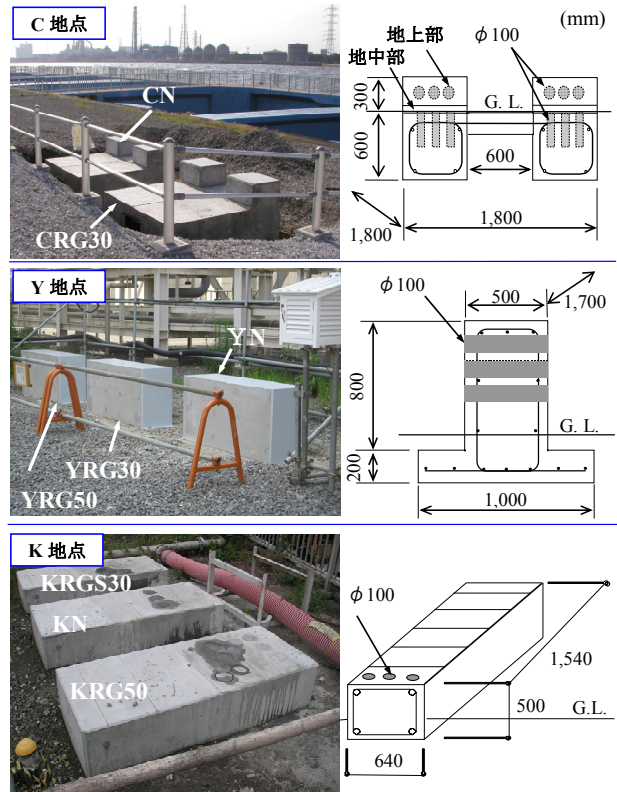


図-1 モニタリング試験体の概要^{1),4)}

表-2 原コンクリートの概要^{1),4)}

項目	緒 元			
	C 地点	Y 地点	K 地点	
地点	C 地点	Y 地点	K 地点	
用途, 構造, 経年	火力発電所タービン建屋, 機械基礎, RC 造(上部 S 造), 約 40 年	火力発電所鋼煙突基礎・機械架台, RC 造, 約 40 年	事務所建物, RC 造, 約 45 年	
工事履歴有無	あり, $F_c=20.6N/mm^2$	なし, F_c は不明	なし, F_c は不明	
試験項目	試験方法	測定値 ^{※1)}		
圧縮強度(N/mm^2)	JIS A 1107	18.7~54.5, n=105	27.0~46.9, n=18	21.9 ^{※3)} , $\sigma=4.1$, n=9
全塩化物イオン量(kg/m^3) ^{※2)}	JIS A 1154, JCI-SC4	最大値: 0.21, n=5	最大値: 0.26, n=3	最大値: 0.05, n=3
アルカリシリカ反応性	外観目視	有害なひび割れなし	有害なひび割れなし	有害なひび割れなし
	JIS A 1804	-	-	無害, n=2

※1: n: 試料数, σ : 標準偏差 ※2: C 地点は JCI-SC4 による。 ※3: 平均値を示す。本構造物での目標品質は平均値で 18 N/mm^2 以上である⁴⁾。

表-3 本検討に使用した骨材の品質^{※1) 1),4)}

試験項目	試験方法	C 地点			Y 地点				K 地点				
		再生粗骨材:RG	砕石 ^{※2)} G	山砂 ^{※3)} S	再生粗骨材:RG	砕石 ^{※4)} G	山砂 ^{※5)} S1	砕砂 ^{※6)} S2	再生粗骨材:RG	砕石 ^{※4)} G	再生細骨材:RS	山砂 ^{※5)} S1	砕砂 ^{※6)} S2
G_{max} (mm)	-	20	20	20	20	20	2.52	2.65	20	20	1.89	2.53	2.64
絶乾密度(g/cm^3)	JIS A 1109	2.28	2.69	2.55	2.30	2.69	2.52	2.65	2.26	2.69	1.89	2.53	2.64
吸水率(%)	JIS A 1109	6.59	0.32	1.80	6.22	0.36	1.80	1.27	5.79	0.34	14.7	1.85	1.35
粗粒率(F.M.)	JIS A 1102	6.89	6.72	2.58	6.52	6.61	2.64 ^{※7)}		6.62	6.61	3.52	2.10	3.40
微粒分量(%)	JIS A 1103	0.3	0.6	1.6	2.1	0.6	1.6	3.4	1.8	0.55	7.6	1.6	3.5
アルカリシリカ反応性	JIS A 1145	-	-	無害	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	JIS A 1146	無害	無害	-	無害	無害	無害	無害	-	無害	-	無害	無害
	JIS A 1804	-	-	-	無害	-	-	-	無害	-	無害	-	-
	ZKT-206	-	-	-	反応性なし(A)	-	-	-	反応性なし(A)	-	反応性なし(A)	-	-

※1: - は未測定であることを示す。 ※2: 山口県伊佐産石灰岩砕石 ※3: 千葉県富津産 ※4: 高知県鳥形産石灰岩砕石 ※5: 千葉県原市産 ※6: 高知県鳥形産石灰岩砕石 ※7: S1 と S2 の混合後(S1 : S2=60 : 40)の値

コア供試体の圧縮強度は 27.0~46.9N/mm² に範囲にあり、全塩化物イオン量は最大値で 0.26kg/m³ であった。なお、原コンクリートの粗骨材は川砂利であった。

K 地点の原コンクリートは、火力発電所構内に設置された 45 年程度経過した RC 造の事務所建物である。コア供試体の圧縮強度は平均で 21.9N/mm² であり、約 45 年経過した時点でも所定の強度が得られている。全塩化物イオン量は最大値で 0.05kg/m³ であった。なお、原コンクリートの粗骨材は川砂利であった。

アルカリシリカ反応性は、いずれの原コンクリートも解体前に目視により確認を行った結果、有害なひび割れはみられないことを確認した。なお、K 地点の原コンクリートにおいては、仕上げ材が施されていたため、目視に加えてコア供試体を採取し、試験による確認を行い、当該部位については無害の判定が得られている⁴⁾。

(2) 使用骨材

C 地点で使用した再生粗骨材は、吸水率は 6.59%、微粒分量は 0.3% であり、JIS A 5023 の再生骨材 L に該当する。不純物量は、全不純物量で 0.03wt% であった。一方、一般粗骨材は石灰岩砕石で、吸水率は 0.35% であった。細骨材は山砂で、吸水率は 1.80% であった。

Y 地点で使用した再生粗骨材は、吸水率は 6.22%、微粒分量は 2.1% であり、JIS A 5023 の再生骨材 L に該当する。不純物量は、全不純物量で 0.33wt% であった。一方、一般粗骨材は石灰岩砕石で、吸水率は 0.36% であった。細骨材は山砂 (吸水率: 1.80%) と石灰岩系砕砂 (吸水率: 1.27%) を容積比 60 : 40 で混合使用した。

K 地点で使用した再生粗骨材は、吸水率は 5.79%、微粒分量は 1.8% であり、JIS A 5023 の再生骨材 L に該当する。不純物量は、全不純物量で 0.80wt% であった。一方、再生細骨材は、付着モルタル分や付着ペースト分の影響で吸水率は 14.7% であり、再生骨材 L の規定 (13% 以下) を満足しない。不純物量は総量で 0.52wt% と再生粗骨材に比べて少ない。一般粗骨材は石灰岩砕石で、吸水率は 0.34% であった。細骨材は山砂 (吸水率: 1.85%) と石灰岩系砕砂 (吸水率: 1.35%) を容積比 60 : 40 で混合使用した。

いずれの骨材もアルカリシリカ反応性を試験により

確認し、無害の判定が得られている。

(3) 調合

モニタリング試験体に供したコンクリートは、いずれも普通ポルトランドセメント (Nセメント) を用い、レディーミクストコンクリート工場で製造した。

a)C 地点 : C 地点では、建築物としての要求性能は Fc:21 N/mm² であったが、骨材置換法による再生骨材コンクリートの初適用であったことから、3N/mm² 割増して Fc:24N/mm² とした。標準偏差は、1997 年版 JASS 5⁵⁾ では実績がない場合に該当し、2.7 N/mm² (0.1Fq) となるが、やや大きめのばらつきを想定し、1991 年版 JASS 5「工事現場練りコンクリート」⁶⁾ の標準偏差 35kgf/cm² を採用した。なお、いずれも目標スランブは 18±2.5cm、空気量は 4.5±1.5% とした。

b)Y 地点 : Y 地点の調合は、実構造物に適用した YRG30 を基準とし、同じ水セメント比で比較用の YN および置換率を 50% に変化させた YRG50 の調合を設定した。

YRG30 の調合強度は、2003 年版 JASS 5⁷⁾ に準じて設定した。標準偏差は、2.5N/mm² または 0.1(Fq+Tn) のうち、大きい方を採用した。コンクリート強度の補正值 Tn は、Nセメントを用いたコンクリートの値を用いた。いずれも目標スランブは 18±2.5cm、空気量は 4.5±1.5% とした。

c)K 地点 : K 地点の調合は、一般骨材を用いた KN を基準に、強度の条件を同等とし、使用する再生骨材の置換率に応じて実施した試験練りに基づく強度の低減率に対

表-4 不純物量測定結果^{※1),4)}

分類	不純物の内容	再生骨材中の不純物量(wt%)			
		C地点	Y地点	K地点	
		RG	RG	RG	RS
A	タイル、レンガ、陶磁器類、アスファルトコンクリート塊	0.007	0.107	/	/
B	ガラス片	0	0		
C	石こう及び石こうボード片	0.003	0.100		
D	その他無機系ボード	0.004	0		
E	プラスチック片	0.005	0.024		
F	木片、紙くず	0.004	0.050	0.05	0.05
	アスファルト塊				
	その他(参考値)	0.007	0.047		
	不純物量の合計(全不純物量)	0.03	0.33	0.80	0.52

※C地点、Y地点は、その他を除き JIS A 5021:2005 の分類と内容による¹⁾。K地点は著者らが設定した分類と内容⁴⁾による。

表-5 本検討に用いたコンクリートの調合概要^{1),4)}

地点	種類	置換率(%)		目標スランブ(cm)	目標空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)							AE減水剤 ^{※2)}	高性能AE減水剤 ^{※3)}	
		再生粗骨材	再生細骨材					W	C	粗骨材		細骨材					
								G	RG	S	S1	S2	RS				
C	CN	-	-	18±2.5	4.5±1.5	57.3	46.1	181	316	976	-	809	/	/	-	1.26	/
	CRG30	30	0			49.4	42.9	183	370	713	273	720	/	/	-	1.48	/
	YN	-	-			53.0	46.0	176	332	983	-	/	478	332	-	3.59	/
Y	YRG30	30	0			53.0	46.3	176	332	683	266	/	481	335	-	3.59	/
	YRG50	50	0			53.0	45.7	180	340	486	439	/	473	330	-	3.67	/
	KN	-	-			50.5	45.4	168	333	1004	-	/	475	332	-	2.66	/
K	KRG50	50	0	43.0	45.6	167	388	489	434	/	468	324	-	3.10	/		
	KRGS30	30	30	40.0	40.9	185	463	697	264	/	275	190	169	9.26	/		

※1 凍結融解試験用試験体は 5.0±1.0% とした。※2: リグニンスルホン酸塩系 ※3: ポリカルボン酸エーテル系化合物

表-6 各種コンクリートの主要性能^{※1, 4)}

地点	種類	フレッシュ性状 (荷卸し時)					硬化性状				
		スランブ (cm)	空気量 (%) ^{※3}	単位容積質量 (t/m ³) ^{※4}	温度 (°C)	塩化物含有量 (kg/m ³)	4週圧縮強度 (N/mm ²)	材齢4週時ヤング係数 (kN/mm ²)	材齢26週時促進中性化深さ (mm) ^{※6}	材齢26週時乾燥収縮率 ^{※7}	300サイクル時相対動弾性係数(%)
		JIS A 1101	JIS A 1128	JIS A 1116	JIS A 1156	JIS A 5308 ^{※5} JASS5T-502	JIS A 1108	JIS A 1149	JIS A 1153	JIS A 1129-1 JIS A 1129-3	JIS A 1148 (A法)
C	CN	18.0	4.2	2.28	28.8	-	30.2	-	-	-	-
	CRG30 ^{※2}	17.0-18.5	4.1-4.5	2.26	30.0-32.0	0.05	34.3	28.6	16.7 (3.28)	7×10 ⁻⁴	-
Y	YN	19.0	5.3	2.27	32.0	0.03	23.4	27.9	29.6 (5.81)	5×10 ⁻⁴	90
	YRG30	18.5	5.4	2.23	32.5	0.03	26.4	26.4	29.3 (5.75)	7×10 ⁻⁴	85
	YRG50	19.0	4.5	2.26	33.0	0.04	28.9	25.6	27.9 (5.47)	7×10 ⁻⁴	68
K	KN	20.0	3.3 4.7	2.35	11.0	0.04	55.7	37.9	15.5 (3.04)	4×10 ⁻⁴	92
	KRG50	19.5	3.0 (0.3) 5.4 (0.3)	2.29	11.0	0.03	48.4	31.7	8.5 (1.67)	6×10 ⁻⁴	95
	KRGS30	19.0	4.3 (0.4) 5.1 (0.4)	2.24	13.0	0.05	46.3	30.1	4.5 (0.88)	6×10 ⁻⁴	95

※1 - は未測定であることを示す。※2 スランブ, 空気量, 温度は3回の範囲。※3 () 内の数値は骨材修正係数を示す。K地点の下段は凍結融解用試験体の空気量測定結果を示す。※4 練混ぜ時 ※5 簡易試験 (モール法による市販の塩分含有量測定器) による。※6 () 内の数値は中性化速度係数(mm√週)を示す。※7 C地点およびK地点の試験体は JIS A 1129-1, Y地点は JIS A 1129-3 による。

する補正を加え, KRG50, KRGS30 の調合を設定した⁴⁾。

使用骨材は, 表-3 に示した一般粗骨材は G を, 一般細骨材は S1 と S2 を 60:40 で混合したものを用いた。

調合強度は, 2003年版 JASS 5⁷⁾ の条件に基づき設定し (標準養生, 材齢 28 日, Fq:33.0N/mm², Tn:6.0N/mm², σ:3.9N/mm²), 実構造物に適用した KRG50 の調合強度は 45.7N/mm² となった。試し練りによるセメント水比と 4 週圧縮強度の関係から, KN, KRG50, KRGS30 の水セメント比は, それぞれ 50.5%, 43.0%, 40.5% が得られた⁴⁾。なお, いずれも目標スランブは 18±2.5cm, 空気量は 4.0±1.5% (凍結融解試験体 5.0±1.0%) とした。

3. 再生骨材コンクリートの性能

3.1 主要性能

モニタリング試験体に用いた各種コンクリートの主要性能を表-6 に示す。

(1) フレッシュ性状

所要のスランブを得るための単位水量は, 再生骨材の置換率が一定以上大きくなるのに伴い増加した。再生粗骨材の置換率が 50% までは一般コンクリートに対して単位水量の増加量は 5kg/m³ 以下であったが, 再生粗骨材と再生細骨材ともに 30% 置換した KRGS30 では, 17kg/m³ であった。空気量は, 化学混和剤の量の調整により目標値が得られた。塩化物含有量は, 0.03~0.05kg/m³ の範囲にあり, 一般コンクリートの 0.03~0.04kg/m³ に比べてほとんど変わらない。なお, この値は JIS A 5308 の規定値 0.30kg/m³ 以下を大幅に下回る。

(2) 圧縮強度およびヤング係数

再生骨材コンクリートの 4 週圧縮強度は, おおむね設計通りの結果が得られている, 図-2 に, 各種コンクリートの 4 週圧縮強度と材齢 4 週時ヤング係数の関係を示す。なお, 図中には, 再生骨材コンクリート指針のヤン

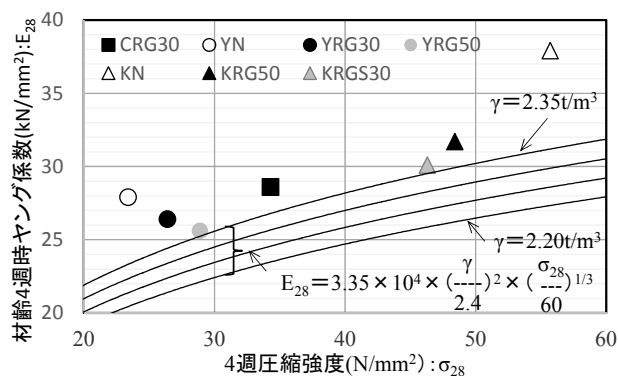


図-2 4週圧縮強度と材齢4週時ヤング係数の関係

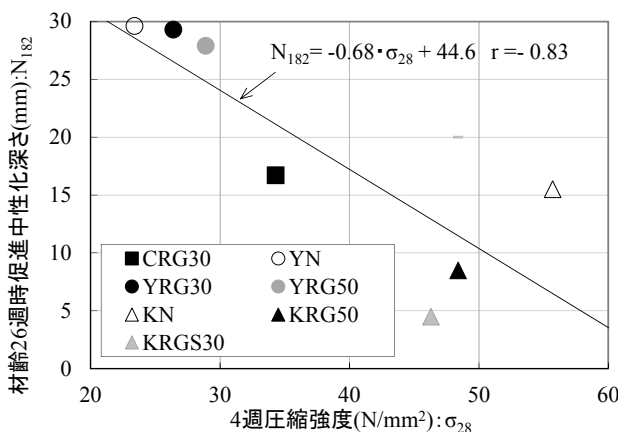


図-3 4週圧縮強度と促進中性化深さの関係

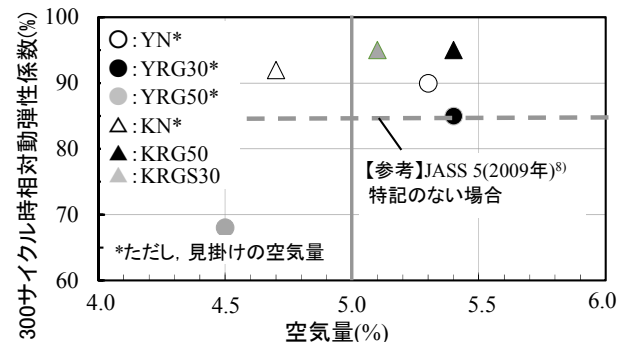


図-4 空気量と 300 サイクル時相対動弾性係数の関係

グ係数の推定式²⁾を示す。表-6より、再生骨材コンクリートのフレッシュ時の単位容積質量は、2.23~2.29t/m³の範囲にあるが、そこから推定されるヤング係数の推定値は、試験値よりやや小さめの値となっている。

(3) 乾燥収縮

再生骨材コンクリートの材齢26週時の乾燥収縮率は、6~7×10⁻⁴の範囲にあり、一般コンクリートの4~5×10⁻⁴に対して、2×10⁻⁴程度大きくなるが、2009年版JASS 5⁸⁾に示される長期および超長期のコンクリートの目標値である8×10⁻⁴を満足している。これは、本検討で使用した一般粗骨材には、いずれも乾燥収縮率の小さい石灰岩碎石を用いたことにより、本検討で設定した置換率の範囲では、制御が可能であったといえる。

(4) 促進中性化

図-3に各種コンクリートの4週圧縮強度と促進中性化深さ(材齢26週時)の関係を示す。促進中性化深さは、再生骨材置換率の影響はほとんどみられず、総体的に4週圧縮強度の増加に伴い低減される傾向がみられた。すなわち、圧縮強度の影響が大きく、水セメント比の低減により抑制することが可能である。

(5) 凍結融解

再生粗骨材の置換率の影響は、Y地点ではみられたものの、K地点ではみられない。図-4に空気量と300サイクル時の相対動弾性係数の関係を示す。これによると、作製時のフレッシュコンクリートで5.0%以上の空気量があれば、置換率に係わらず、300サイクル時の相対動弾性係数は85%以上となっており、十分な耐凍害性が確保されている。なお、Y地点で測定した空気量は、骨材修正係数を差引いていない見掛けの空気量であることから、実際にはこれらより幾分か小さくなる。

3.2 長期性能

C地点、Y地点では、材齢5年(材齢260週)まで測定した。また、K地点では材齢3年(材齢156週)まで測定した。コア供試体の試験項目、試験方法および試験材齢を表-7に示す。モニタリング試験体は、定期的にコア供試体を採取し、圧縮強度、ヤング係数、中性化深さおよび全塩化物イオン量を測定した。

(1) 圧縮強度およびヤング係数

材齢156週もしくは材齢260週までの圧縮強度とヤング係数の測定結果を図-5に示す。いずれの再生骨材コンクリートも測定した材齢まで強度の増加が認められる。

再生粗骨材を置換率50%で用いたYRG50では、同じ水セメント比のYNをやや上回る圧縮強度が得られている。一方、再生粗骨材と再生細骨材ともに30%置換したKRG50は、水セメント比を10%程度低減することにより、KNに対して材齢156週時で約87%の強度発現が得られた。ヤング係数は、一般コンクリート、再生骨材コン

クリートともに材齢52週以降の増加傾向はほとんどみられなかった。また、置換率の影響も明確にみられない。

(2) 中性化深さ

中性化深さの試験結果を図-6に示す。また、図中に中性化速度係数を示す。C地点およびK地点においては、試験体の形状の影響から、材齢の経過に伴う中性化はほとんど進行していない。Y地点では、いずれのコンクリートも材齢26週時から他地点に比べて2mm程度大きく、材齢の経過に伴い中性化深さも大きくなる傾向がみられる。中性化速度係数で見ると、YNの2.64mm√年に対し、再生粗骨材置換率30%のYRG30で1.79mm√年、50%のYRG50では1.92mm√年となっており、置換率の増加に伴いやや大きくなるものの、その影響は小さい。一方、同じ水セメント比の試験体で見ると、図-5において、材齢260週時の圧縮強度は、YRG30とYRG50が同等で、YNに対してやや大きくなっているが、中性化速度はほぼそれに対応しており、圧縮強度の影響が認められる。

(3) 全塩化物イオン量

全塩化物イオン量の測定結果を図-7に示す。これに

表-7 長期性能試験項目、試験方法および試験材齢

試験項目	試験方法	試験材齢(週)		
		C地点	Y地点	K地点
圧縮強度 ^{※1}	JIS A 1107			
静弾性係数 ^{※1}	JIS A 1149			
中性化深さ ^{※1}	JIS A 1152	4,13,26,52,156,260	4,13,26,156,260	4,13,26,52,156
全塩化物イオン量 ^{※2}	JCI-SC4 JIS A 1154			

※1：C地点は、地中部のコア供試体3本の平均値による。Y地点の材齢156週は測定していない。※2：C地点およびK地点は、材齢156週で、Y地点は材齢260週まで測定を行った。C地点は、地上部は1本、地中部は3本のコアの平均値による。C地点はJCI-SC4、Y地点およびK地点はJIS A 1154による。

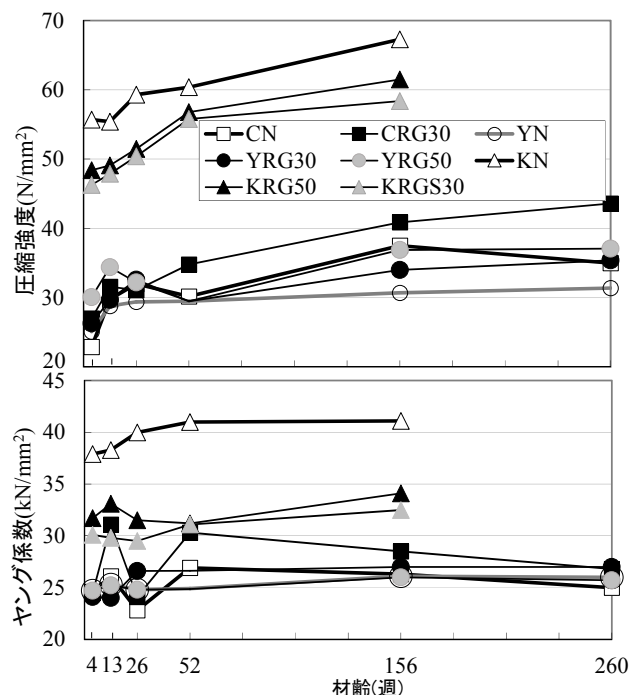


図-5 材齢と圧縮強度およびヤング係数の関係

よると、CN および CRG30 における地上部の 0~15mm で 0.40kg/m³ 前後の値が計測されたが、それ以外は、JIS A 5308 に規定された 0.30kg/m³ を全て下回る結果となった。

通常的设计かぶり厚さ 40mm の深さにおいては、全ての試料において 0.20kg/m³ 以下となった。再生骨材置換率の影響はみられず、一方、経年の影響は、Y 地点でみると、材齢 156 週時に対し、材齢 260 週時ではほとんど変わらず、増加傾向はみられない。全体的に、材齢に伴うコンクリート表面の飛来塩分の影響はみられるものの、JIS A 5022 (再生骨材 M を用いたコンクリート) と JIS A 5023 で想定された塩分溶出の傾向は認められなかった。

4. まとめ

- (1) 再生骨材コンクリートの主要性能のうち、フレッシュ性状、圧縮強度ならびにヤング係数は、再生粗骨材の置換率が 50% まででは一般コンクリートとほぼ同等の品質である。しかし、再生粗骨材と再生細骨材ともに置換率 30% とした場合は、単位水量が多くなることや強度低下への対応のため、水セメント比を小さくするなど、調合設計上の配慮が必要となる。
- (2) 再生骨材コンクリートの乾燥収縮は、置換率の増加により大きくなるが、混合する一般粗骨材に乾燥収縮の小さい骨材を用いることで制御は可能である。促進中性化深さおよび相対動弾性係数は、再生骨材置換率の影響はみられず、水セメント比の低減や適切な空気の連行など、通常的设计で対応可能である。
- (3) 材齢 3~5 年経過した圧縮強度は、再生粗骨材のみを置換率 50% 以下とした場合、同じ水セメント比でも一般コンクリートに比べて劣らない。また、再生粗骨材と再生細骨材ともに置換率 30% とした場合でも、水セメント比を 10% 程度低減することにより、材齢 3 年の時点で、一般コンクリートに対して 9 割程度の強度発現が得られた。なお、ヤング係数は、材齢に伴う増加傾向はほとんどみられない。
- (4) 長期性能のうち中性化深さは、置換率の影響はほとんどみられず、圧縮強度の影響が大きい。全塩化物イオン量は、飛来塩分の影響はみられるものの、再生骨材からの塩分溶出の傾向は認められなかった。

以上のことから、低品質な再生骨材を用いた場合でも、一定の置換率の範囲であれば、適切な調合設計により、構造用コンクリートとしての所要品質を確保できる。

謝辞

本検討の実施において、東電設計(株) 村 雄一氏、住友大阪セメント(株)、東京パワーテクノロジー(株)ならびに東京電力(株)関係各位の多大なるご協力を頂きました。ここにそのことを記し、厚く謝意を表します。

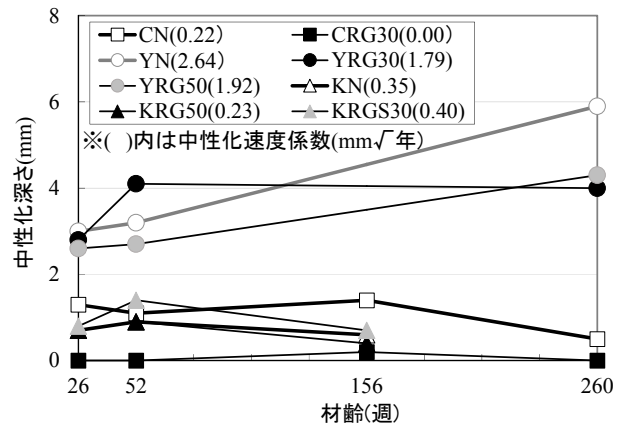


図-6 材齢と中性化深さの関係

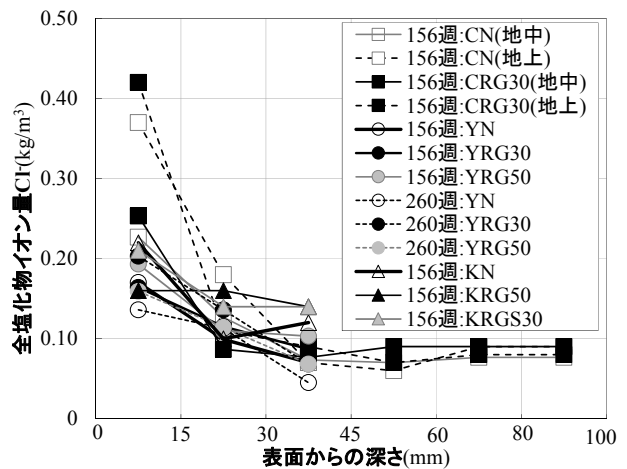


図-7 全塩化物イオン量測定結果

参考文献

- 1) Yasuhiro Dosho: Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System -Application of Recycled Aggregate Concrete Produced by Aggregate Replacing Method-Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 5, No. 1, pp. 27-42, February 2007
- 2) 日本建築学会: 再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針 (案), 2014.10
- 3) 国土交通省総合政策局, 平成 24 年度建設副産物実態調査結果, 2014.3
- 4) 舘 秀基, 溝口 信夫, 岡本 英明, 道正泰弘: 骨材置換による再生骨材コンクリートの実構造物への適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1463-1468, 2010
- 5) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 1997
- 6) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 1991
- 7) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2003
- 8) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2009