

論文 モルタル塊残留率が再生骨材コンクリートの性質に及ぼす影響

高橋 祐一*1・榊田 佳寛*2・竹内 博幸*1

要旨：原粗骨材の品質および原コンクリートの異なる再生粗骨材を同程度の吸水率に調整し、これらを用いたコンクリートの硬化性状および耐久性状を確認した。そして、再生粗骨材の品質を示す吸水率、モルタル混入率およびモルタル塊残留率と再生粗骨材コンクリートの性質との関係について比較検討した。その結果、再生粗骨材コンクリートの圧縮強度、静弾性係数および長さ変化率とモルタル塊残留率との間には、吸水率やモルタル混入率と比較して、高い相関性が認められた。

キーワード：再生粗骨材、残留モルタル塊、混入モルタル、圧縮強度、静弾性係数、長さ変化率

1. はじめに

再生骨材に関する研究は1970年代から始められ、再生骨材を用いたコンクリートの各性質に関することや高品質再生骨材の製造方法、再生骨材コンクリートの調査設計法に関すること等、広い範囲で行われてきた。これらの中で、再生骨材をコンクリート用骨材として用いた場合、骨材に付着しているモルタルやセメントペーストおよび残留している残留モルタル塊の影響により、普通骨材を用いたコンクリートに比べ、品質が低下することが指摘されている^{例えは 1), 2), 3)}。そのため、高品質である再生骨材Hがコンクリート用骨材として規格化されたのに対し、中・低品質である再生骨材MやLを用いたコンクリートは、その適用先を制限されているのが現状である。

再生骨材の品質は、吸水率や密度により分類されている。しかし、再生骨材の吸水率や密度が同程度であっても、原骨材の品質や原コンクリートが異なる場合には、骨材に付着しているモルタル（以下、付着モルタル）や残留モルタル塊（以下、両者を併せて再生骨材における混入モルタルという）の量および性質が異なると考えられ、さらには、これらの再生骨材を用いたコンクリートの性質も異なることが推測される。

そこで本研究では、再生粗骨材の品質を示す混入モルタルおよび残留モルタル塊の量、吸水率が再生粗骨材コンクリートに及ぼす影響について確認するため、同程度の吸水率に調整した原粗骨材の品質および原コンクリートが異なる再生粗骨材を用いたコンクリートを製造し、その性質について検討した。本報では、再生粗骨材の品質が再生粗骨材コンクリートの硬化性状および耐久性状に及ぼす影響について報告する。

2. 再生粗骨材の調整および品質

2.1 再生粗骨材の入手

本研究では、原粗骨材の品質および原コンクリートが

異なる再生粗骨材を使用するため、3か所の再生骨材製造工場からそれぞれ1種類ずつ、計3種類の再生粗骨材を入手した。これらの再生粗骨材の品質は、吸水率および絶乾密度により区分すると、再生骨材Hに該当するものが1種類、再生骨材Lに該当するものが2種類であった。入手した再生粗骨材の概要を表-1に示す。

2.2 再生粗骨材の調整および品質

再生粗骨材Lに該当するB工場およびC工場製の再生粗骨材については、同一の原コンクリートを起源とした吸水率の異なる再生粗骨材を得るため、入手後、ロッドミルによるすりもみ処理、水洗浄およびふるい分けを行った。処理の目標として、処理後の再生粗骨材の吸水率を、4%以下および5%以下に設定し、それぞれロッドミルの処理時間を変えて製造した。準備した再生粗骨材は、原コンクリートが異なる各工場から入手した3種類と、入手後に処理を行った4種類を併せた計7種類である。

表-1 入手した再生粗骨材の概要

製造工場	品質区分	製造方法		
		破砕	すりもみ	その他
A工場	H	○	○	比重分離
B工場	L	○	—	水洗浄
C工場	L	○	—	—

凡例 ○：実施，—：なし

表-2 再生粗骨材の処理方法

製造工場	記号	すりもみ		水洗浄	ふるい分け
		—	処理時間		
A工場	AHG	—	—	—	—
B工場	BMHG	○	約24分	○	○
	BMLG	○	約10分	○	○
	BLG	—	—	—	—
C工場	CMHG	○	約34分	○	○
	CMLG	○	約7分	○	○
	CLG	—	—	—	—

凡例 ○：実施，—：なし

*1 五洋建設（株） 建築本部建築エンジニアリング部（正会員）

*2 宇都宮大学 工学研究科システム創成工学専攻教授 工博（正会員）

表-3 再生粗骨材の品質

製造工場	記号	品質区分	吸水率 (%)	表乾密度 (g/cm ³)	粗粒率	実積率 (%)	モルタル塊残留率 ¹⁾ (%)	モルタル混入率 ²⁾ (%)	原粗骨材吸水率 (%)
A工場	AHG	H	2.27	2.58	6.71	62.3	3.4	27.3	0.86 ³⁾
B工場	BMHG	M	3.22	2.55	6.70	64.0	1.3	24.3	1.01 ³⁾
	BMLG	M	4.80	2.48	6.54	63.7	6.3	30.3	
	BLG	L	5.59	2.45	6.21	62.7	16.9	46.3	
C工場	CMHG	M	3.81	2.52	6.52	64.0	2.7	30.9	0.50 ⁴⁾
	CMLG	M	4.82	2.47	6.54	63.2	10.7	39.0	
	CLG	L	6.94	2.38	6.73	59.2	11.2	63.7	

注] 1) モルタル塊残留率：再生粗骨材中の残留モルタル塊の絶乾質量を再生粗骨材全体の絶乾質量で除した値

2) モルタル混入率：再生粗骨材全体と原粗骨材の絶乾質量の差を再生粗骨材全体の絶乾質量で除した値

3) 酸洗浄後のモルタルを除去した骨材の吸水率

4) 原粗骨材の試験成績表による

表-4 再生粗骨材外観

品質区分	H		M		L
骨材名称	AHG		BMHG	BMLG	BLG
外観写真					
骨材名称	—		CMHG	CMLG	CLG
外観写真	/				

各再生粗骨材の処理方法を表-2 に示す。準備した再生粗骨材の品質は、再生骨材 H に該当するものが 1 種類、M に該当するものが 4 種類、L に該当するものが 2 種類であった。各再生粗骨材の品質を表-3 に、外観を表-4 に示す。ここで、モルタル塊残留率は、残留モルタル塊の絶乾質量を再生粗骨材の絶乾質量で除した値、モルタル混入率は再生粗骨材と原粗骨材の絶乾質量の差を再生粗骨材の絶乾質量で除した値とした。なお、本研究では、再生粗骨材からモルタル塊と思われるものを目視により抽出し、さらにそれらを個別にすりつぶして 5mm のふるいを通したものを「残留モルタル塊」、残留モルタル塊を取り除いた再生粗骨材からニッパーおよびリユーターにより、付着モルタルを除去したものを原粗骨材とした。また、原粗骨材吸水率は、上記とは別に酸洗浄によりモルタルを除去した骨材の吸水率とした。ただし、C工場については、戻りコンクリートを硬化させて再生粗骨材を製造しており、使用した粗骨材の品質が明らかであったため、その骨材の試験成績表の値を原粗骨材の吸水率とした。一般に、再生骨材のモルタル混入率と吸水率の間には直線的な関係がみられる(例えば 4)、5)。本研究で

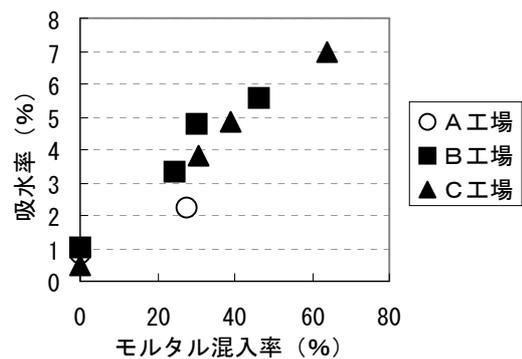


図-1 モルタル混入率と吸水率の関係

使用した骨材についても、原粗骨材を含めた原コンクリートが同一の再生粗骨材において、同様の関係がみられた(図-1)。なお、原粗骨材の吸水率は、モルタル混入率=0%として図中に記載した。

3. 実験概要

3.1 使用材料

実験に使用した材料を表-5 に示す。比較用の粗骨材

として、砕石および川砂利を使用した。また、AE 減水剤には高機能タイプのものを使用した。

3.2 要因と水準

実験の要因と水準を表-6に示す。原粗骨材の品質は、その吸水率による3水準とした。再生粗骨材の吸水率は、その値の小さい順から、H (2.27%)、MH (3.8%程度)、ML (4.5%程度) および L (5.6%程度) の4水準とした。なお、MH、ML および L に該当する再生粗骨材は、B および C 工場製の吸水率が異なる再生粗骨材を混合して所定の吸水率になるように混合比率を算出し、その比率で混合した。再生粗骨材における混合比率、吸水率、残留モルタル塊率およびモルタル混入率を表-7に示す。なお、吸水率、残留モルタル塊率およびモルタル混入率は混合比率から求めた計算値である。また、水セメント比は、セメント水比の増加に伴う圧縮強度の伸びに対する再生粗骨材の品質の影響を確認することを目的として、45、52.5、60%の3水準とした。

3.3 試験項目

本実験において実施した試験項目を表-8に示す。フレッシュ性状試験の他、コンクリートの硬化性状として圧縮強度試験および静弾性係数試験を、耐久性性状として長さ変化試験を実施した。

3.4 実施割合

本実験における実施割合を表-9に示す。水セメント比は52.5%を基本とし、B工場製のBMLおよびBLにつ

表-5 使用材料

名称	種類・記号	物性
セメント	普通ポルトランド	密度：3.16 g/cm ³
細骨材	混合砂(山砂+砕砂) JS	表乾密度：2.62 g/cm ³ 吸水率：1.58%
再生粗骨材	表-3参照	
普通粗骨材	砕石 JC	表乾密度：2.69 g/cm ³ 吸水率：0.44%
	川砂利 JG	表乾密度：2.57 g/cm ³ 吸水率：2.73%
混和剤	A E 減水剤 (高機能タイプ)	

表-6 要因と水準

要因	数	水準			
		内容			
原粗骨材吸水率	3	A工場製	B工場製	C工場製	
		0.86%	1.01%	0.50%	
再生粗骨材吸水率	4	H	MH	ML	L
		2.27%	3.8%程度	4.5%程度	5.6%程度
	AHG	BMHG + BMLG	BMLG + BMHG	BLG	
		CMHG	CMLG + CMHG	CMLG + CLG	
W/C	3	45%	52.5%	60%	

いては、45、60%の割合についても実施した。単位水量は170kg/m³、粗骨材かさ容積は0.600m³/m³とし、全ての割合において一定とした。再生粗骨材は、割合に応じて同一工場製ものを混合し、所定の吸水率になるように調整した。また、比較用として、砕石および川砂利を使用した割合についても実施した。なお、スランブが18±2.0cm、空気量が4.5±1.0%となるように、AE 減水剤(高機能タイプ)を用いて調整した。

4. 試験結果

4.1 フレッシュ性状

実験におけるフレッシュ性状の試験結果を表-10に示す。全ての割合において、スランブ、空気量ともに目標値内に収まった。再生粗骨材を用いた割合の単位容積質量は、砕石を用いた割合よりも小さく、再生粗骨材の吸水率が大きいほど(H→L)小さくなる傾向がみられた。また、塩化物量は、全ての割合において0.30kg/m³を大

表-7 再生粗骨材の混合比率、吸水率、モルタル塊残留率およびモルタル混入率

設定	骨材名称	再生粗骨材			モルタル塊残留率 (%)	モルタル混入率 (%)
		種類	混合比率 ⁵⁾ (%)	吸水率 (%)		
H	AH	AHG	—	2.27	3.4	27.3
MH	BMH	BMHG	69.2	3.8 ⁶⁾	2.8 ⁶⁾	26.2 ⁶⁾
		BMLG	30.8			
	CMH	CHG	—	3.81	10.7	30.9
ML	BML	BMHG	20.6	4.5 ⁶⁾	5.3 ⁶⁾	29.0 ⁶⁾
		BMLG	79.4			
	CML	CMHG	31.5	4.5 ⁶⁾	8.2 ⁶⁾	36.5 ⁶⁾
		CMLG	68.5			
L	BL	BLG	—	5.59	16.9	46.3
		CMLG	62.7			
	CL	CLG	37.3	5.6 ⁶⁾	10.9 ⁶⁾	48.2 ⁶⁾

注] 5) 所定の吸水率となるように計算により求めた質量混合比率

6) 混合比率より求めた計算値

表-8 試験項目

対象	試験項目	試験方法	備考
フレッシュコンクリート	スランブ	JIS A 1101	18±2.0cm
	空気量	JIS A 1128	4.5±1.0%
	コンクリート温度	JIS A 1156	—
	単位容積質量	JIS A 1116	—
	塩化物量	JASS5T-502	0.30kg/m ³ 以下
硬化コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108	標準養生 材齢7・28・91日
	静弾性係数	JIS A 1149	材齢28・91日
	長さ変化	JIS A 1129 準拠	レーザ式 変位センサ

きく下回った。

4.2 圧縮強度（材齢 28 日）

水セメント比 52.5%の割合における粗骨材吸水率、モルタル混入率およびモルタル塊残留率と圧縮強度との関係をそれぞれ図-2、3および4に示す。なお、図中に示す回帰式は、普通粗骨材を用いた調合を除いて求めた式である（以下、4.3、4.4において同様である）。粗骨材を用いた調合の圧縮強度は、普通粗骨材を用いた調合よりも小さくなった。また、再生粗骨材を用いた調合において、吸水率、モルタル混入率、モルタル塊残留率と圧縮強度との関係を見ると、吸水率とモルタル混入率では相関性が認められなかったものの、モルタル塊残留率では、吸水率およびモルタル混入率と比較して高い相関性

表-9 実施調合

調合記号	粗骨材種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Ad C×%		
				W	C	S	G1	G2			
52.5-JC	JC	52.5	46.4	324	170	829	985	—	0.5		
52.5-JG	JG		40.8			730	1038	—	0.5		
52.5-AH	AHG		45.2			809	964	—	0.5		
52.5-BMH	G1:BMHG G2:BMLG		43.8			784	670	299	0.5		
52.5-BML	G1:BMLG G2:BLG		43.9			786	758	197	0.5		
52.5-BL	BLG		44.9			803	922	—	0.7		
52.5-CMH	CMHG		43.7			782	968	—	0.5		
52.5-CML	G1:CMLG G2:CMHG		44.2			791	642	305	0.5		
52.5-CL	G1:CMLG G2:CLG		45.8			820	565	335	0.6		
45-BML	G1:BMLG G2:BLG		45			42.5	378	741	758	197	0.65
45-BL	BLG					43.5		758	922	—	0.8
60-BML	G1:BMLG G2:BLG		60			45.0	283	819	758	197	0.6
60-BL	BLG					45.9		836	922	—	0.8

表-10 フレッシュ性状試験結果

調合記号	スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	単位容積質量 (kg/m ³)	塩化物量 (kg/m ³)
52.5-JC	19.2	5.0	21.0	2,316	0.074
52.5-JG	19.7	4.1	21.0	2,294	0.068
52.5-AH	19.0	4.9	21.0	2,277	0.074
52.5-BMH	19.8	4.5	21.0	2,270	0.075
52.5-BML	19.3	4.7	21.0	2,256	0.076
52.5-BL	19.5	5.2	22.0	2,212	0.076
52.5-CMH	20.0	4.4	22.0	2,269	0.074
52.5-CML	19.6	4.6	22.0	2,249	0.066
52.5-CL	19.0	4.8	22.0	2,230	0.073
45-BML	19.5	4.1	21.0	2,282	0.090
45-BL	18.6	5.0	22.0	2,236	0.085
60-BML	19.7	4.1	21.0	2,266	0.070
60-BL	18.6	5.5	21.0	2,205	0.072

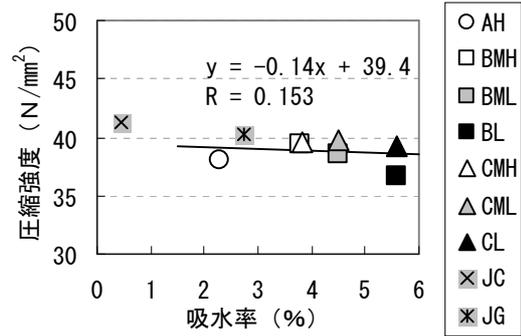


図-2 粗骨材吸水率と圧縮強度の関係 (W/C=52.5%, 材齢 28 日)

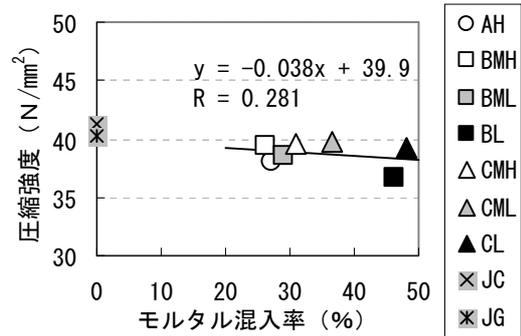


図-3 モルタル混入率と圧縮強度の関係 (W/C=52.5%, 材齢 28 日)

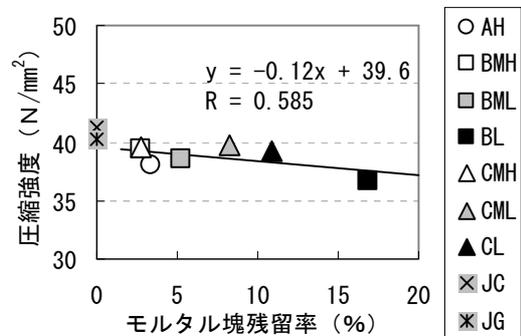


図-4 モルタル塊残留率と圧縮強度の関係 (W/C=52.5%, 材齢 28 日)

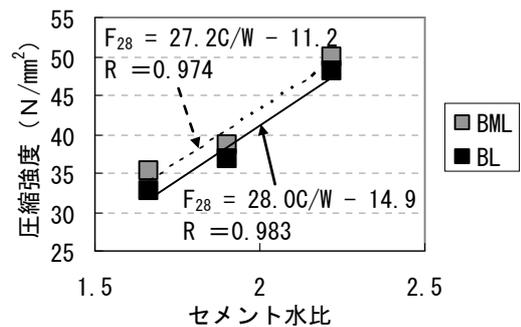


図-5 セメント水比と圧縮強度の関係 (材齢 28 日, 骨材 BML・BL)

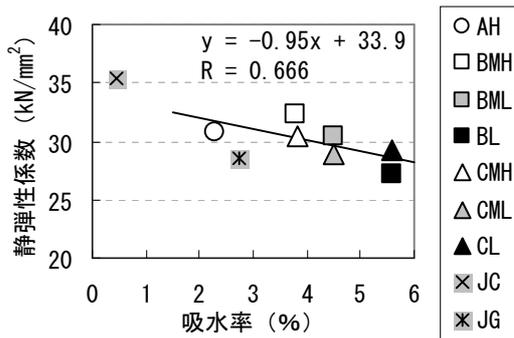


図-6 粗骨材吸水率と静弾性係数の関係
(W/C=52.5%, 材齢 28 日)

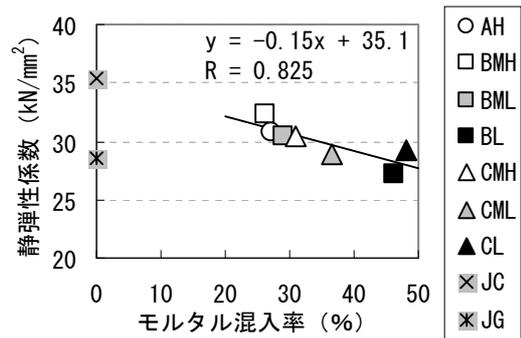


図-7 モルタル混入率と静弾性係数の関係
(W/C=52.5%, 材齢 28 日)

が認められた。

セメント水比と圧縮強度との関係を図-5 に示す。中品質であるBMLと低品質であるBLを用いた調合を比較すると、それぞれのセメント水比における圧縮強度はBLを用いた方が小さくなったものの、両者の傾きに大きな差はみられなかった。したがって、本実験のように、再生粗骨材MやLと区分されたものを使用した場合、水セメント比が45~60%の範囲では、品質に関わらず同様のセメント水比の増加に伴う圧縮強度の伸びを示すこともあると思われる。

4.3 静弾性係数 (材齢 28 日)

水セメント比 52.5%の調合における粗骨材吸水率、モルタル混入率およびモルタル塊残留率と静弾性係数との関係を図-6, 7 および 8 に示す。再生粗骨材を用いた調合は、普通骨材を用いた調合と比較すると、砕石を用いた調合よりは小さいものの、川砂利を用いた調合とほぼ同等の結果を示した。再生粗骨材を用いた調合において、吸水率、モルタル混入率およびモルタル塊残留率と静弾性係数の関係をみると、それぞれについて相関性が認められ、これらの値の増加に伴って低下する傾向がみられた。ただし、吸水率については、その値が同程度であっても静弾性係数には差がみられた。一方、モルタル混入率およびモルタル塊残留率を比較すると、圧縮強度と同様にモルタル塊残留率の方が高い相関性を示した。一方、圧縮強度と静弾性係数の関係では、NewRC式⁴⁾にて求められる値と比較して同等以上の結果を得た (図-9)。

4.4 長さ変化率 (乾燥材齢 91 日)

水セメント比 52.5%の調合における粗骨材吸水率、モルタル混入率およびモルタル塊残留率と長さ変化率との関係を図-10, 11 および 12 に示す。再生粗骨材を用いた調合の長さ変化率は、全ての調合において普通粗骨材JCよりも大きくなったものの、BLおよびCLを除いて、普通粗骨材JGと同等以下であった。再生粗骨材を用いた調合について、吸水率、モルタル混入率およびモルタル塊残留率との関係をみると、それぞれについて相関性

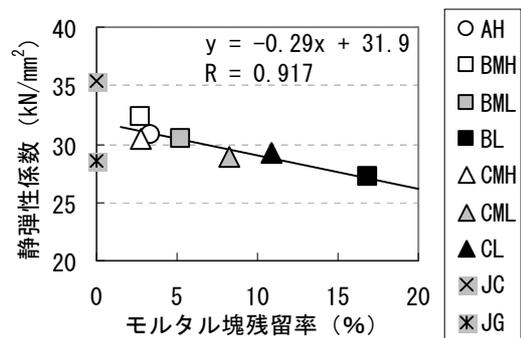


図-8 モルタル塊残留率と静弾性係数の関係
(W/C=52.5%, 材齢 28 日)

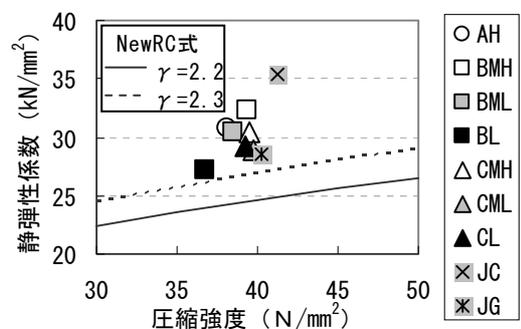


図-9 圧縮強度と静弾性係数の関係
(W/C=52.5%, 材齢 28 日)

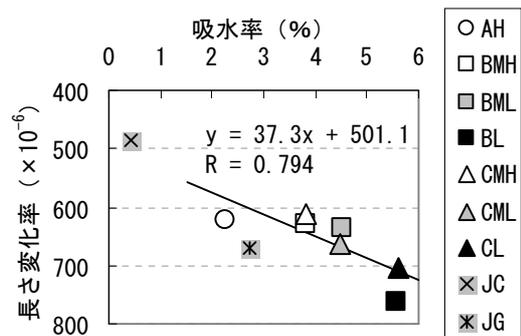


図-10 粗骨材吸水率と長さ変化率の関係
(W/C=52.5%, 乾燥材齢 91 日)

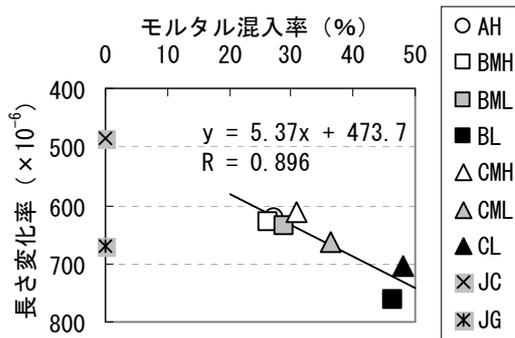


図-11 モルタル混入率と長さ変化率の関係
(W/C=52.5%, 乾燥材齢 91 日)

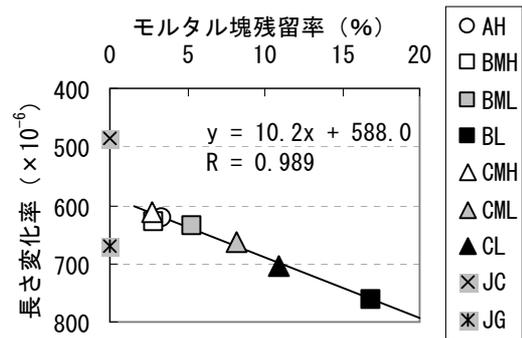


図-12 モルタル塊残留率と長さ変化率の関係
(W/C=52.5%, 乾燥材齢 91 日)

が認められ、その増加に伴って大きくなる傾向を示した。また、圧縮強度や静弾性係数と同様にモルタル塊残留率との関係において、最も高い相関性を示した。

4.5 残留モルタル塊率が及ぼす影響

これまでの検討から、再生粗骨材コンクリートの静弾性係数および長さ変化率と残留モルタル塊率との間には、高い相関性が認められた。また、骨材 BL と CL を比較すると、モルタル混入率は同程度であるが、残留モルタル塊率はそれぞれ 16.9%、10.9%と差があり、これらを用いた調合の静弾性係数および長さ変化率では、モルタル塊残留率の大きい骨材 BL を用いた調合の方が、静弾性係数は小さく、長さ変化率は大きくなっている。このことから、本研究で用いた再生粗骨材は 7 種類でデータ数が少なく一概に言うことはできないが、再生粗骨材コンクリートの性質は、吸水率やモルタル混入率と比較して、モルタル塊残留率の影響が大きいと考えられる。

5. まとめ

原粗骨材の品質および原コンクリートの異なる再生粗骨材を同程度の吸水率に調整し、これらを用いたコンクリートの硬化性状および耐久性状を確認した。そして、再生粗骨材吸水率、モルタル混入率およびモルタル塊残留率が再生粗骨材コンクリートの性質に及ぼす影響について検討した。その結果、本研究の範囲において以下の知見を得た。

- (1) 再生粗骨材のモルタル混入率と吸水率の関係では、同一原コンクリートの再生粗骨材において、原粗骨材(モルタル混入率=0%)を含めて直線的な関係を示す。
- (2) 再生粗骨材コンクリートの圧縮強度は、吸水率やモルタル混入率と比較して、モルタル塊残留率との間に高い相関性が認められた。

- (3) 再生粗骨材コンクリートの静弾性係数は、吸水率、モルタル混入率およびモルタル塊残留率と相関性が認められ、それぞれの値の増加に伴って低下する傾向がみられる。特に、モルタル塊残留率との間には高い相関性が認められた。
- (4) 再生粗骨材コンクリートの長さ変化率は、吸水率、モルタル混入率およびモルタル塊残留率の増加に伴って大きくなる傾向を示す。特に、モルタル塊残留率との関係において、最も高い相関性を示した。

参考文献

- 1) 南波篤志, 阿部道彦, 棚野博之, 前田弘美: 再生コンクリートの品質改善に関する実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.17, No.2, pp.65-70, 1995.7
- 2) 棚野博之, 鹿毛忠継, 濱崎仁, 杉本琢磨: 中品質再生骨材を用いた再生骨材コンクリートの性能評価と活用に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.165-170, 2007.7
- 3) 入江真吾, 神代康道, 一瀬賢一: 建物解体コンクリート塊から製造した再生粗骨材の品質が再生骨材コンクリートに与える影響について, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1777-1782, 2009.7
- 4) 高英雄, 清水憲一, 工藤貴寛: 再生骨材の品質に及ぼす付着モルタルの影響に関する実験研究 その 3 再生骨材の付着モルタルと比重・吸水率に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), PP.689-690, 1998.9
- 5) 佐川康貴, 松下博通, 鶴田博章, 陶佳宏: 異なる破碎方法により製造された再生骨材の物性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1777-1782, 2002.7
- 6) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1999