

# 残留モルタル塊が再生粗骨材コンクリートの性質に及ぼす影響

高橋 祐一\* 竹内 博幸\*

## 要 旨

再生骨材の品質は、吸水率や密度等により分類されている。しかし、同一の品質区分に分類された再生骨材であっても、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や残留モルタル塊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察される。そこで本研究では、3種類の原コンクリートを起源とする再生粗骨材を用いたコンクリートを製造し、各再生粗骨材の混入モルタル、付着モルタルおよび残留モルタル塊の量と再生粗骨材コンクリートの性質との関係を確認した。そして、それら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を行った。

その結果、再生粗骨材コンクリートの圧縮強度および長さ変化率は、モルタル塊残留率との間に強い相関関係がみられた。また、再生粗骨材コンクリートの中性化の進行は、当該コンクリートの圧縮強度の影響を受けることを確認した。

## 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合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、骨材中に混入しているモルタルの影響により、普通骨材を用いたコンクリートに比べて、品質が低下することが指摘されている<sup>例えは 1), 2), 3)</sup>。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、その適用先が制限されているのが現状である。一方、再生骨材の品質は、吸水率や密度等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についても性質が異なることが推察される。

そこで本研究では、再生粗骨材を対象に、その品質を示す指標として混入モルタルおよび付着モルタル、残留モルタル塊の量に着目し、これらと再生粗骨材コンクリートの性質との関係について確認した。そして、それら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を行った。

## 2. 再生粗骨材の調整および品質

### 2.1 入手した再生粗骨材の概要

本研究では、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。これらの品質は、吸水率および絶乾密度により分類すると、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 再生粗骨材の処理および品質

再生粗骨材 L に該当した 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、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ることで対応した。各再生粗骨材の処理方法を表-2に示す。以上より、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。これらの再生粗骨材を吸水率および密度により分類すると、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。各再生粗骨材の物性を表-3に、外観を表-4に示す。ここで、モルタル付着率は再生粗骨材全体から残留モルタル塊と原粗骨材の絶乾質量の和を引いた差分を再生粗骨材全体の絶乾

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		
		破碎	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

\* 建築エンジニアリング部

質量で除した値、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、残留モルタル塊の質量は、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の質量とし、原粗骨材の質量は、残留モルタル塊を取り除いた再生粗骨材からニツパおよびリュウタ等の工具により、付着モルタルを除去したものの質量とした。ま

た、原粗骨材吸水率は、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、その骨材の当該月次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線形的な関係がみられる(例えば 4)、5)。本研究で使用した再生粗骨材についても、原コンクリートが同一である B および C 工場製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。

表-2 再生粗骨材の処理方法

製造工場	処理	すりもみ		水洗浄	ふるい分け
			処理時間		
A 工場	入手状態	—	—	—	—
B 工場	追加処理	○	約 24 分	○	○
	入手状態	—	—	—	—
C 工場	追加処理	○	約 34 分	○	○
	入手状態	—	—	—	—

凡例 ○:実施、-:なし

### 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。AE 減水剤には一般のものとは比べて減水性能およびスランプ保持性能の高い高機能タイプのものを使用した。

#### 3.2 要因と水準


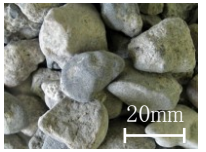
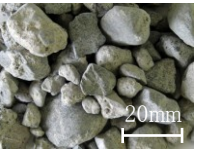
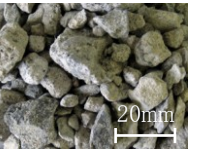
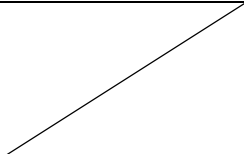

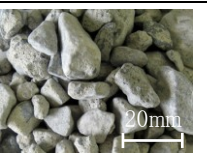
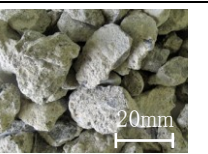
実験の要因と水準を表-6に示す。原コンクリートの種類は、工場別による 3 水準とした。再生粗骨材の吸水率は、そ

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 <sup>3</sup> )	粗粒率	実積率 (%)	モルタル混入率 <sup>1)</sup> (%)	モルタル付着率 <sup>2)</sup> (%)	モルタル塊残留率 <sup>3)</sup> (%)	原粗骨材吸水率 (%)
A 工場	AG	H	2.27	2.58	6.71	62.3	27.3	23.9	3.4	0.86 <sup>4)</sup>
B 工場	BG-1	M	3.22	2.55	6.70	64.0	24.3	23.0	1.3	1.01 <sup>4)</sup>
	BG-2	M	4.80	2.48	6.54	63.7	30.3	24.0	6.3	
	BG-3	L	5.59	2.45	6.21	62.7	46.3	29.4	16.9	
C 工場	CG-1	M	3.81	2.52	6.52	64.0	30.9	28.2	2.7	0.50 <sup>5)</sup>
	CG-2	M	4.82	2.47	6.54	63.2	39.0	28.3	10.7	
	CG-3	L	6.94	2.38	6.73	59.2	63.7	52.5	11.2	

- 注 1) 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  
 2) モルタル付着率:再生粗骨材全体から残留モルタル塊と原粗骨材の絶乾質量の和をとの差を引いた差分を再生粗骨材全体の絶乾質量で除した値  
 3) 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  
 4) 酸洗浄後のモルタルを除去した骨材の吸水率  
 5) 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	AG		BG-1	BG-2	BG-3
外観写真					
骨材名称	—		CG-1	CG-2	CG-3
外観写真					

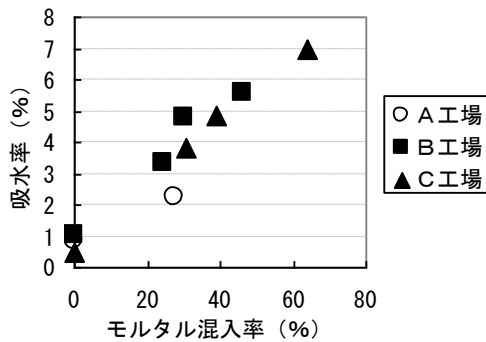


図-1 モルタル混入率と吸水率の関係

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:3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	混合砂(山砂+砕砂)	表乾密度:2.62g/cm <sup>3</sup> 吸水率:1.58%
再生粗骨材	表-3 参照	
混和剤	AE減水剤(高機能タイプ)	

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、設定した吸水率となるように混合比率を算出し、その混合比率にて各再生粗骨材を練混ぜ時に混合した。実験に使用した再生粗骨材の混合比率および物性を表-7に示す。なお、モルタル付着率、モルタル塊残留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。

### 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。フレッシュコンクリートに関する試験の他、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および促進中性化試験を実施した。

### 3.4 実施調査

本実験における実施調査を表-9に示す。水セメント比は52.5%を基本とし、B工場製のBML、BLについては、45%と60%の調査も実施した。単位水量は170kg/m<sup>3</sup>、粗骨材かさ容積は0.600m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>として、全ての調査について同一とした。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 フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの試験結果を表-10に示す。全ての調査において、スランブ、空気量ともに目標値内に納まった。単位容積質量は、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

表-6 要因と水準

要因	水準				
	数	内容			
原コンクリート種類	3	A工場製	B工場製	C工場製	
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
		AG	BG-1 + BG-2	BG-1 + BG-2	BG-3
			CG-1	CG-1 + CG-2	CG-2 + CG-3
W/C	3	45	52.5	60	

表-7 再生粗骨材の混合比率および物性

設定	骨材記号	使用骨材名称	混合比率 <sup>注5)</sup> (%)	吸水率(%)	モルタル混入率(%)	モルタル付着率(%)	モルタル塊残留率(%)	
H	AH	AG	—	2.24	27.3	23.9	3.4	
MH	BMH	BG-1	69.2	3.66	26.2 <sup>6)</sup>	23.3 <sup>6)</sup>	2.8 <sup>6)</sup>	
		BG-2	30.8					
ML	CML	CG-1	—	3.81	30.9	28.2	2.7	
		BML	BG-1	20.6	4.26	29.0 <sup>6)</sup>	23.8 <sup>6)</sup>	5.3 <sup>6)</sup>
			BG-2	79.4				
		CG-1	31.5	4.79	36.5 <sup>6)</sup>	28.3 <sup>6)</sup>	8.2 <sup>6)</sup>	
CG-2	68.5							
L	CL	BL	—	5.59	46.3	29.4	16.9	
		CG-2	62.7	5.98	48.2 <sup>6)</sup>	37.3 <sup>6)</sup>	10.9 <sup>6)</sup>	
			CG-3					37.3

注 5) 設定した吸水率に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 <sup>3</sup> 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
	中性化深さ	JIS A 1153	骨材BML・BLのみ実施

調査において管理基準値の0.30kg/m<sup>3</sup>を大きく下回った。

### 4.2 圧縮強度(W/C=52.5%、材齢91日)

モルタル混入率、モルタル付着率およびモルタル塊残留率と圧縮強度の関係をそれぞれ図-2、3および4に示す。再生粗骨材コンクリートの圧縮強度は、概ね各指標の増加

表-9 実施調査

調査記号	粗骨材種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					Ad c×%		
				W	C	S	G1	G2			
52.5-AH	AG	52.5	45.2	170	324	809	964	—	0.5		
52.5-BMH	G1:BG-1 G2:BG-2		43.8			784	670	299	0.5		
52.5-BML	G1:BG-2 G2:BG-3		43.9			786	758	197	0.5		
52.5-BL	BG-3		44.9			803	922	—	0.7		
52.5-CMH	CG-1		43.7			782	968	—	0.5		
52.5-CML	G1:CG-1 G2:CG-2		44.2			791	305	642	0.5		
52.5-CL	G1:CG-2 G2:CG-3		45.8			820	565	335	0.6		
45-BML	G1:BG-1 G2:BG-2		45			42.5	378	741	758	197	0.65
45-BL	BG-3							43.5	758	922	—
60-BML	G1:BG-1 G2:BG-2		60			45.0	283	819	758	197	0.6
60-BL	BG-3	45.9		836	922			—	0.8		

表-10 フレッシュ性状試験結果

調査記号	スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	塩化物量 (kg/m <sup>3</sup> )
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

に伴って低下する傾向がみられた。各指標との関係をみると、モルタル付着率を除いて、比較的強い相関関係がみられた。特に、モルタル塊残留率を指標とした場合には、モルタル混入率と比べて、相関係数が大きくなっていった。したがって、圧縮強度は、再生粗骨材中の残留モルタル塊の量による影響が大きいと考えられる。

#### 4.3 静弾性係数(W/C=52.5%、材齢 91 日)

モルタル混入率、モルタル付着率およびモルタル塊残留率と静弾性係数の関係をそれぞれ図-5、6および7に示す。再生粗骨材コンクリートの静弾性係数は、圧縮強度と同様に、概ね各指標の増加に伴って低下する傾向がみられた。各指標との関係をみると、ばらつきが大きく、相関関係は認められなかった。一方、圧縮強度と静弾性係数の関係では、

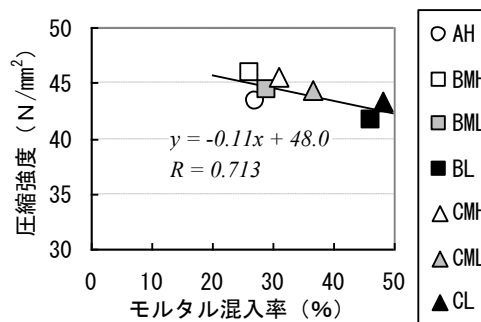


図-2 モルタル混入率と圧縮強度の関係

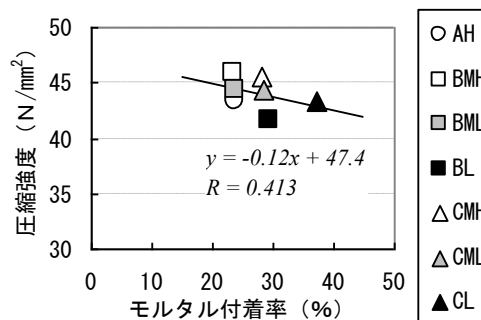


図-3 モルタル付着率と圧縮強度の関係

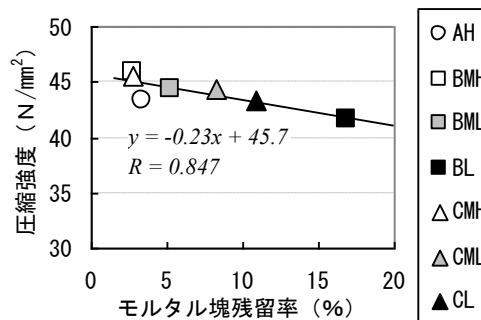


図-4 モルタル塊残留率と圧縮強度の関係

NewRC 式<sup>6)</sup>にて求められる値と比較して同等以上の結果を得た(図-8)。

#### 4.4 長さ変化率(W/C=52.5%、乾燥材齢 182 日)

モルタル混入率、モルタル付着率およびモルタル塊残留率と長さ変化率の関係をそれぞれ図-9、10および11に示す。再生粗骨材コンクリートの長さ変化率は、各指標の増加に伴って大きくなる傾向がみられた。各指標との関係をみると、モルタル付着率を除いて、強い相関関係がみられた。特に、モルタル塊残留率を指標とした場合には、相関係数が最も大きくなっていった。したがって、再生粗骨材コンクリートの長さ変化率は、圧縮強度と同様に再生粗骨材中の残留モルタル塊の量による影響が大きいと考えられる。

#### 4.5 中性化の進行

骨材 BML および BL のモルタル混入率、モルタル付着率およびモルタル塊残留率と中性化速度係数の関係をそれぞれ

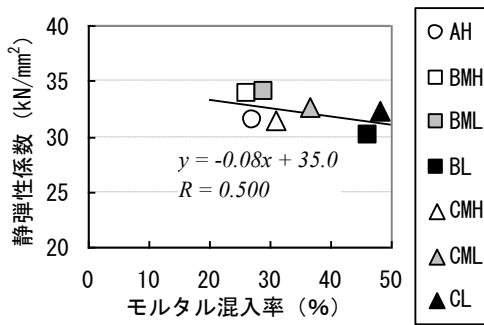


図-5 モルタル混入率と静弾性係数の関係

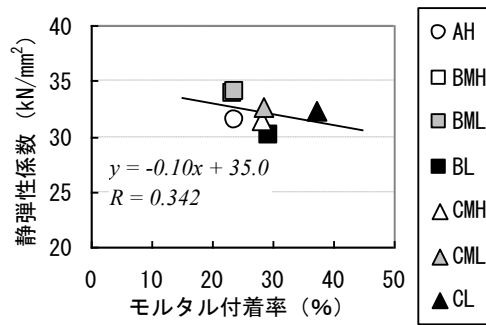


図-6 モルタル付着率と静弾性係数の関係

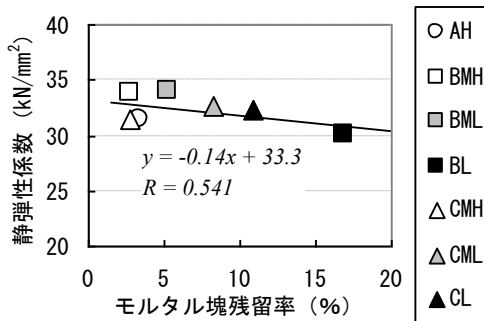


図-7 モルタル塊残留率と静弾性係数の関係

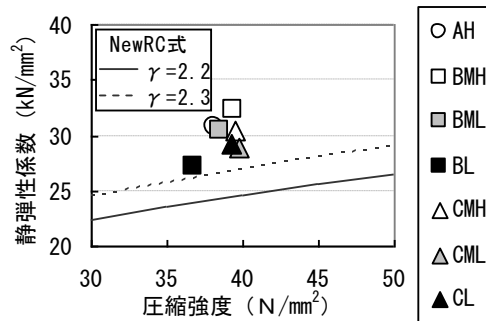


図-8 圧縮強度と静弾性係数の関係

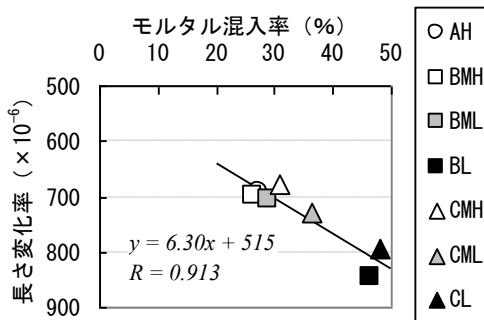


図-9 モルタル混入率と長さ変化率の関係

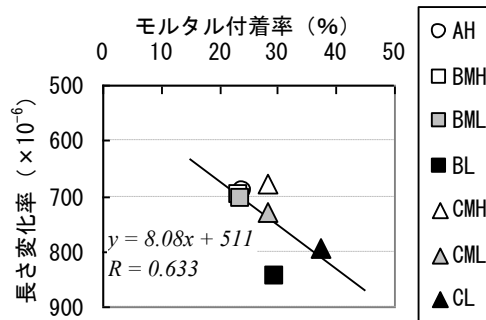


図-10 モルタル付着率と長さ変化率の関係

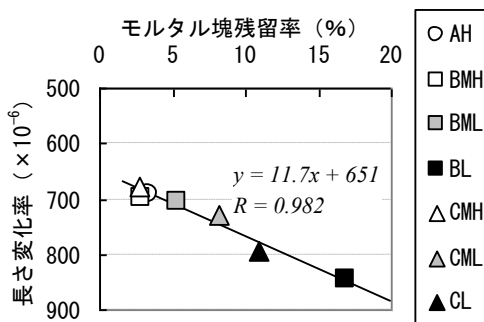


図-11 モルタル塊残留率と長さ変化率の関係

れ図-12、13および14に示す。ここで、中性化速度係数は、中性化深さが時間の平方根と比例関係にあるとして、各材齢の中性化深さの値を用いて最小二乗法により求めた。同一水セメント比のコンクリートの中性化速度係数は、各指標および水セメント比の増加に伴って大きくなる傾向がみら

れた。一方、既往の文献では圧縮強度の逆数と中性化速度係数の間には線形的な関係があることが示されている。そこで、当該コンクリートの材齢 91 日の圧縮強度の逆数と中性化速度係数の関係について検討を試みた。その結果、圧縮強度の逆数と中性化速度係数には線形的な関係がみられ、筆者らが過去に実施した実験における結果と同様であった<sup>7)</sup>。また、当該コンクリートの圧縮強度は、各指標の増加に伴って低下していた。以上のことから、再生粗骨材コンクリートの中性化の進行は、圧縮強度の影響を受けると考えられる。

## 5. まとめ

再生粗骨材を対象に、その品質を示す指標として、混入モルタルおよび付着モルタル、残留モルタル塊の量に着目し、これら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を行った。その結果、本研究の範囲において以下の

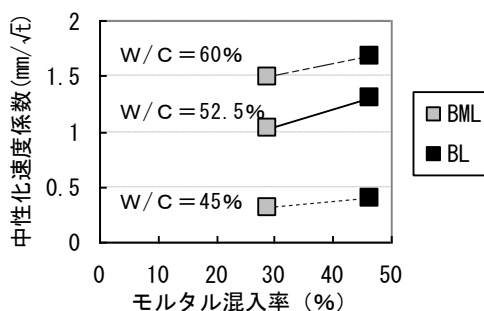


図-12 モルタル混入率と中性化速度係数の関係

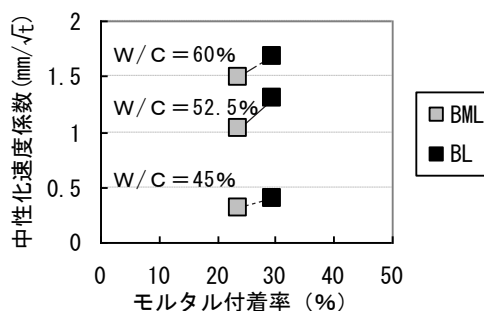


図-13 モルタル付着率と中性化速度係数の関係

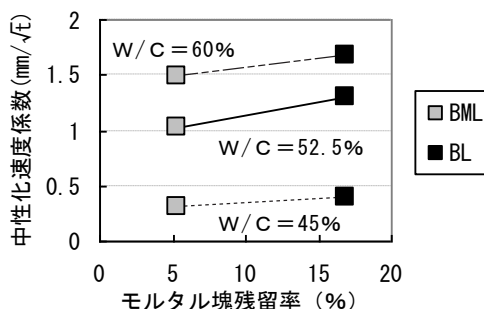


図-14 モルタル塊残留率と中性化速度係数の関係

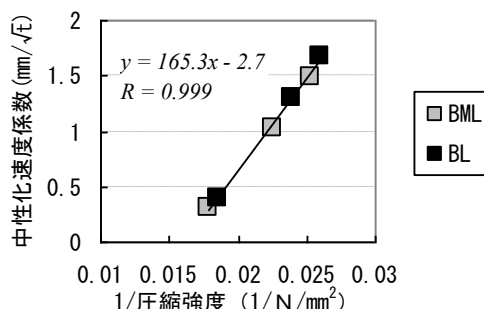


図-15 圧縮強度( $\sigma_{91}$ )の逆数と中性化速度係数の関係

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%)を含めて線形的な関係を示す。
- (2)再生粗骨材コンクリートの圧縮強度は、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低下する。特に、モルタル塊残留率を指標とした場合には、モルタル混入率と比べて相関係数が大きく、その量が圧縮強度に及ぼす影響は大きい。
- (3)再生粗骨材コンクリートの静弾性係数は、概ね各指標の値の増加に伴って低下する傾向がみられる。
- (4)再生粗骨材コンクリートの長さ変化率は、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。特に、モルタル塊残留率を指標とした場合には、最も相関係数が大きく、その量が長さ変化率に及ぼす影響は大きい。
- (5)再生粗骨材コンクリートの中性化速度の進行は、当該コンクリートの圧縮強度の影響を受ける。

【謝 辞】

本研究を実施するにあたり、御指導ならびに貴重な御意見をいただいた宇都宮大学工学研究科システム創成工学専攻榎田佳寛教授に深く謝意を表します。また、実験の実施に御協力いただいた各社には、あらためて深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 南波ほか: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、pp65～70、1995
- 2) 棚野ほか: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、pp165～170、2007
- 3) 入江ほか: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、pp1777～1782、2009
- 4) 嵩ほか: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)、pp689～690、1998
- 5) 佐川ほか:異なる破砕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、pp1777～1782、2002
- 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
- 7) 高橋ほか:再生骨材コンクリートの耐久性に関する研究 その2. 耐久性状、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、pp1201～1202、2008