

# 論文 改質再生骨材を用いた骨材置換法でのコンクリートの強度および耐久性に関する検討

松田 信広\*1・鈴木 創太\*2・伊代田 岳史\*3

**要旨:** 本研究は、低品質再生骨材の利用拡大を目指し、CO<sub>2</sub>吸着による改質を行い、その改質再生骨材を用いた骨材置換法でのコンクリートの強度および耐久性に関する検討を行った。その結果、強制炭酸化によって再生粗骨材の密度・吸水率が改善し、その改質再生骨材を用いたコンクリートの強度および耐久性は、CO<sub>2</sub>吸着を行っていないものと比較し改善した。また、CO<sub>2</sub>吸着を行っていないものは、置換率が50%を超えると強度が低下するのに対し、強制炭酸化によって改質を行ったものはほとんど低下しなかった。

**キーワード:** 低品質再生骨材, 再生骨材コンクリート, 骨材置換法, 炭酸化, 乾燥収縮, 凍結融解抵抗性

## 1. はじめに

低品質再生骨材は、骨材に塊として混入あるいは付着しているモルタルやセメントペースト（以下、混入モルタル）の割合が大きいため、再生骨材 M や H 等の中・高品質再生骨材と比較して品質が低下する。したがって、JIS A 5023（再生骨材 L を用いたコンクリート）では、高い強度・高い耐久性が要求されない部材または部位に使用することが示されている。しかし、再生骨材コンクリートの普及を目指していく上で、中・高品質再生骨材よりも低エネルギー・低コストで製造することができ、副産微粉末の発生が少ない低品質再生骨材の利用拡大を目指していくことは必要なことであると考えられる。

低品質再生骨材の利用方法として、普通骨材と混合および置換する方法<sup>1)</sup>（以下、骨材置換法）が存在する。骨材置換法は、再生骨材コンクリートの品質を確保する方法として、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）」では具体的な適用方法が示されている。一方、筆者らは再生骨材の改質を目的に、CO<sub>2</sub>ガスの強制吸着による低エネルギー型の再生骨材製造方法<sup>2)</sup>を提案している。この技術は、コンクリートの炭酸化メカニズムに着目し、CO<sub>2</sub>ガスを強制的に再生骨材に吸着させ、混入モルタル部分が炭酸化することで再生骨材自体を改質させるものである。これまでにを行った研究<sup>3)</sup>では、モルタル混入率が高い再生骨材は改質効果が大きく、これら改質再生骨材を用いたコンクリートの強度および長さ変化率は、CO<sub>2</sub>吸着を行っていない再生骨材を用いたコンクリートと比較して改善することを確認した。また、その中でも、原コンクリートに戻りコンクリートを使用したものは改善が顕著であったことから、供用期間が長期に経過している解体コンクリートと比較して、コンクリートの製造から時間が経っていないコンクリートの方が、改質効果が期待できる。

そこで本研究では、原コンクリートに戻りコンクリートを用いた低品質再生粗骨材に強制炭酸化による改質を行い、その改質再生骨材を用いた骨材置換法でのコンクリートの強度および耐久性に関する検討を行った。また、屋外暴露でCO<sub>2</sub>吸着を行った再生粗骨材の改質効果について確認を行った。

そこで本研究では、原コンクリートに戻りコンクリートを用いた低品質再生粗骨材に強制炭酸化による改質を行い、その改質再生骨材を用いた骨材置換法でのコンクリートの強度および耐久性に関する検討を行った。また、屋外暴露でCO<sub>2</sub>吸着を行った再生粗骨材の改質効果について確認を行った。

## 2. 強制炭酸化による改質技術および再生骨材の改質

### 2.1 強制炭酸化による改質技術

コンクリートの炭酸化は、大気中のCO<sub>2</sub>がコンクリートに浸透することで、コンクリート中の水和生成物である水酸化カルシウムと化合し、炭酸カルシウムに変化する現象であることが知られている。これらは、コンクリート中の細孔溶液のpHを低下させて不動態皮膜を破壊し、鉄筋腐食を引き起こす劣化現象として中性化と呼ばれている。しかし、コンクリートのみに着目した場合、炭酸化により水酸化カルシウムが炭酸カルシウムに変化すると、両者の分子量と密度から体積は約12%増加すると計算され、一般的には細孔量が減少し、強度が増加することが知られている<sup>4),5)</sup>。そこで、再生骨材に混入しているモルタル部分を強制炭酸化により緻密化することができれば、再生骨材コンクリートの欠点である強度や耐久性を向上することができると考えている。

### 2.2 再生骨材の改質

CO<sub>2</sub>吸着による再生粗骨材の改質は、これまでの検討<sup>3)</sup>から改質効果が大きかった戻りコンクリートを原コンクリートとして用いた。原コンクリートの使用材料を表-1に、配合および基礎性状を表-2および表-3に示す。なお、戻りコンクリートは、実際の生コン工場から発生したものをを用いた。再生骨材の製造は、再生骨

\*1 (株)東京テクノ 工場長 (正会員)

\*2 芝浦工業大学 工学部土木工学科

\*3 芝浦工業大学 工学部土木工学科 教授 博士(工学) (正会員)

材プラントにおいて行った。当該工場では、通常、Mクラスの再生骨材を製造している。製造フローを図-1に示す。当該工場における再生粗骨材Mの製造方法は、破碎処理と磨砕処理を行う。破碎処理から得られる再生粗骨材の品質は概ねLクラスであり、磨砕処理を経てMクラスになる。本研究で使用した再生粗骨材は、破碎処理のみを行い、分級したものをを使用した。したがって、再生粗骨材Mの製造時と比較して磨砕処理を省いた分、低エネルギー・低コストで骨材を製造することができた。そこで得られた再生粗骨材は、改質方法として、強制炭酸化および屋外暴露にてCO<sub>2</sub>吸着による改質を行った。強制炭酸化による改質では、促進中性化装置(温度20℃、相対湿度60%、CO<sub>2</sub>濃度5%の環境下)で7日間実施した。このとき、2日に1回の割合で試料をかき混ぜ、骨材全体にCO<sub>2</sub>がいき渡るようにした。屋外暴露による改質では、当該工場内で7~10月の時期において70日間実施した。このとき、2週間に1回の割合で試料をかき混ぜた。CO<sub>2</sub>吸着なし、強制炭酸化および屋外暴露を行った再生粗骨材にフェノールフタレイン溶液を噴霧した状況を写真-1に示す。強制炭酸化および屋外暴露を行った再生粗骨材は、CO<sub>2</sub>吸着を行っていないものと比較して着色が少なく、外観からはCO<sub>2</sub>を吸着し、炭酸化したことが確認できる。再生粗骨材の物性および密度・吸水率を表-4および図-2に示す。強制炭酸化を実施した再生粗骨材は、密度・吸水率が改善しており、クラスアップしていることが確認できる。また、破碎値が小さくなっていることから、混入モルタル部分が緻密化し、再生粗骨材自体の強度が増加していると考えられる。一方、屋外暴露を実施した再生粗骨材の密度・吸水率は改善しているが、破碎値については大きく変わらなかった。

### 2.3 改質メカニズム

CO<sub>2</sub>吸着による改質は、再生粗骨材中の混入モルタル部分が緻密化し、空隙が減少することに起因していると考えられる。そこで、アルキメデス法による空隙率を次の式(1)より算出した。再生粗骨材の空隙率を図-3に示す。

$$P(\%) = (m_1 - m_2) / v_1 \cdot 1 / \rho_w \times 100 \quad (1)$$

ここに、P(%) : 空隙率, m<sub>1</sub> : 表乾質量

m<sub>2</sub> : 絶乾質量, v<sub>1</sub> : 表乾状態の体積, ρ<sub>w</sub> : 水の密度

表-1 原コンクリートの使用材料

名称	記号	銘柄・産地	物性
セメント	C	普通セメント	密度: 3.15g/cm <sup>3</sup>
水	W	地下水	—
普通細骨材 <sup>*1</sup>	S1	砕砂: 東京都八王子産	絶乾密度: 2.60g/cm <sup>3</sup> 吸水率: 1.08%
	S2	山砂: 千葉県富津産	絶乾密度: 2.54g/cm <sup>3</sup> 吸水率: 1.63%
普通粗骨材	JG	硬質砂岩碎石: 東京都八王子産	絶乾密度: 2.63g/cm <sup>3</sup> 吸水率: 0.75%
混和剤	Ad	AE減水剤(ポリカルボン酸ポリエーテル系)	

\*1 混合率: S1 : S2 = 70 : 30

表-2 原コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				Ad C×%
		C	W	S1/S2	JG	
57.0	45.4	277	158	594/250	1029	1.1

※ 目標スランブ: 8cm, 目標空気量: 4.5%

表-3 原コンクリートの基礎性状

スランブ (cm)	空気量 (%)	CT (°C)	材齢28日 標準養生 (N/mm <sup>2</sup> )	材齢20日 <sup>*1</sup> 封かん養生 (N/mm <sup>2</sup> )
8.0	4.3	26	33.2	32.8

\*1 骨材製造時の材齢

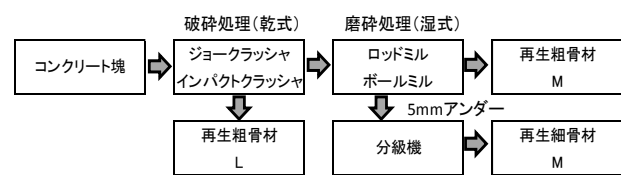


図-1 再生骨材製造フロー

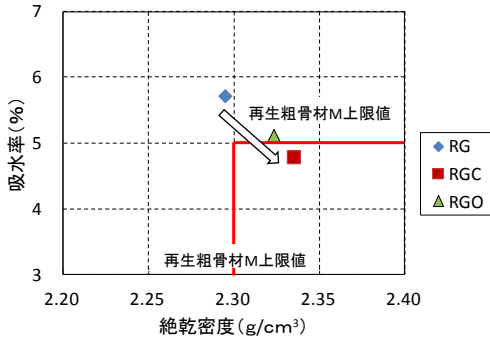


写真-1 フェノールフタレイン溶液噴霧状況

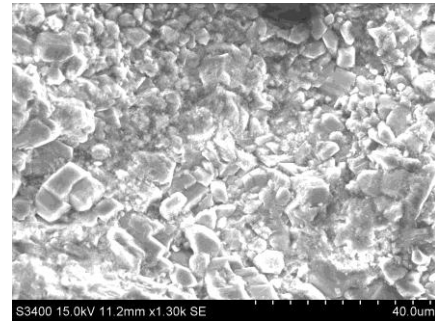
表-4 再生粗骨材の物性

骨材名称	CO <sub>2</sub> 吸着	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	粗粒率	実積率 (%)	破碎値 (%)	モルタル混入率 (%)
RG	なし	2.29	5.72	6.72	62.3	13.0	36.5
RGC	強制炭酸化	2.33	4.79	—	—	10.8	—
RGO	屋外暴露	2.32	5.11	—	—	13.4	—
JG <sup>*1</sup>	普通粗骨材	2.63	0.75	6.65	61.7	4.8	—

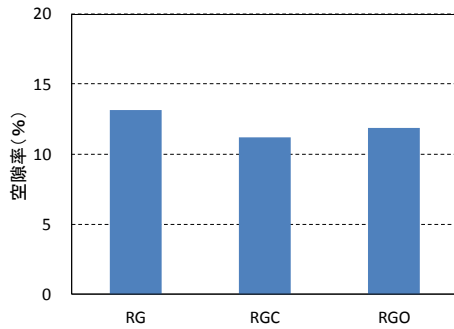
\*1 コンクリート製造時に用いたもの ※ 絶乾密度および吸水率, 破碎値は3回の試験結果の平均値を示す



図一２ 再生粗骨材の密度・吸水率



図一４ 空隙率内の生成物



図一３ 再生粗骨材の空隙率

強制炭酸化および屋外暴露でCO<sub>2</sub>を吸着した骨材は空隙が減少しており、緻密化していることが確認できる。そこで、強制炭酸化を行った再生粗骨材において、SEM画像を用いて空隙内の生成物を観察した。図一四の通り、空隙内には炭酸カルシウムの生成が確認された。

### 3. 再生骨材コンクリートの実験概要

#### 3.1 使用材料

本実験に使用した材料を表一五に示す。なお、セメントおよび再生粗骨材以外は、原コンクリートで使用した材料と同一のものである。

#### 3.2 再生骨材コンクリートの配合およびフレッシュ性状

本実験における再生骨材コンクリートの配合を表一六に示す。再生粗骨材の置換率は、0, 15, 30, 50, 75, 100%とした。また、全配合においてW/C50%およびs/a46%は同一条件とした。スランプおよび空気量の目標値は、10±2.5cm および 4.5±1.5%とした。混和剤の添加量は全てC×0.8%であり、空気量の調整にAE剤（ロジン系）を用いた。再生骨材コンクリートのフレッシュ性状を表一七に示す。全配合ともスランプおよび空気量の目標値を満足した。また、CO<sub>2</sub>吸着および再生粗骨材の置換率によるフレッシュ性状への影響はみられなかった。しかし、スランプが最も小さかったのは普通粗骨材のみを使用したものであった。普通粗骨材は、再生粗骨材よりも吸水率および実積率が小さい。したがって、粗骨材が十分にプレウェットングされていれば、吸水率よりも粒形の方がフレッシュ性状に寄与すると考えられる。

表一五 使用材料

名称	記号	銘柄・産地	物性
セメント	C	高炉セメントB種	密度：3.04g/cm <sup>3</sup>
水	W	地下水	—
普通細骨材 <sup>*1</sup>	S1	砕砂：東京都八王子産	絶乾密度：2.60g/cm <sup>3</sup> 吸水率：1.08%
	S2	山砂：千葉県富津産	絶乾密度：2.54g/cm <sup>3</sup> 吸水率：1.63%
普通粗骨材	JG	硬質砂岩碎石：東京都八王子産	表一四 参照
再生粗骨材	RG	CO <sub>2</sub> 吸着なし	
	RGC	強制炭酸化	
	RGO	屋外暴露	
混和剤	Ad	AE減水剤（ポリカルボン酸ポリエーテル系）	

\*1 混合率：S1：S2=70：30

表一六 再生骨材コンクリートの配合

再生粗骨材置換率	CO <sub>2</sub> 吸着	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
		C	W	S1/S2	JG	RG	RGC	RGO	
0%	—	320	160	584 / 245	988	—	—	—	
15%	なし				840	136	—	—	
					—	—	137	—	
30%	なし				692	272	—	—	
					—	—	274	—	
50%	なし				496	452	—	—	
						—	—	456	—
						—	—	—	454
75%	なし				247	680	—	—	
						—	—	685	—
100%	なし	—	906	—	—				
			—	—	914	—			
			—	—	—	910			

表一七 再生骨材コンクリートのフレッシュ性状

再生粗骨材置換率	CO <sub>2</sub> 吸着	スランプ (cm)	空気量 (%)	CT (°C)
0%	—	8.5	5.2	21
15%	なし	11.0	4.9	21
		9.5	4.6	21
30%	なし	10.5	5.0	22
		10.0	5.7	21
50%	なし	10.0	5.6	21
		10.0	4.9	21
		11.0	6.0	20
75%	なし	10.0	4.3	20
		9.5	4.0	20
100%	なし	11.5	5.6	20
		10.0	5.3	20
	屋外暴露	10.0	4.8	19

### 3.3 試験項目および試験方法

本実験における再生骨材コンクリートの試験項目は、強度性状として圧縮強度（JIS A1108）および割裂引張強度（JIS A 1113）を実施した。材齢は28日とし、いずれも標準養生とした。耐久性については、一般的に乾燥収縮率と凍結融解抵抗性が劣ることが知られていることから、長さ変化率（JIS A 1129-3）および凍結融解作用によるスケーリング試験（ASTM C 672）を実施した。なお、これらは、屋外曝露を行ったものは検討から除いている。長さ変化率の供試体は、10×10×40cmの角柱とし、材齢7日まで標準養生を行い、その後、温度20±2℃、相対湿度60±5%の環境下で保存した。なお、長さ変化率試験は、一般的に材齢182日で評価するが、今回は限られた期間内での検討であったため材齢91日で評価した。スケーリング試験は、22×22×5.5cmの供試体を作製し、材齢14日まで標準養生を行い、その後、温度20±2℃、相対湿度60±5%の環境下で14日間気中養生を行った。試験方法は、養生後（標準養生14日、気中養生14日）、試験面（供試体底面）から深さ6mmとなるように水を注ぎ入れ試験を開始し、-20℃の冷凍庫で17時間凍結させ、温度20±2℃、相対湿度60±5%の環境下で7時間融解させる作業を1サイクルとし、それを50サイクル実施した。測定方法は、50サイクルを終了後に試験面より剥離したスケーリング片を採取し、105℃の乾燥炉で24時間乾燥させ、乾燥重量を試験面面積で除し、単位面積あたりのスケーリング量（g/cm<sup>2</sup>）に換算し評価した。

## 4. 試験結果および考察

### 4.1 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-5に示す。強制炭酸化を実施したものはCO<sub>2</sub>吸着を行っていないものと比較して圧縮強度が増加した。これは、強制炭酸化によって再生粗骨材が改質し、破砕値も小さくなっていることから再生粗骨材自体の強度が増進したことが影響していると考えられる。再生粗骨材の置換率と圧縮強度の関係を図-6に示す。CO<sub>2</sub>吸着を行っていない再生粗骨材を用いたコンクリートは、置換率50%までは圧縮強度の低下は確認されなかったが、置換率50%を超えると圧縮強度の低下がみられ、置換率100%では再生粗骨材を用いていないものに対し約10%低下した。それに対し強制炭酸化を実施したものは、置換率が大きくなっても圧縮強度の低下はみられなかった。既往の研究<sup>6)</sup>では、再生粗骨材製造時に使用した原コンクリートのW/Cが再生骨材コンクリートのW/Cと比較して同等以下の場合、再生骨材コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響が少ないとされている。原コンクリートの圧縮強度は、再生骨材コンクリートの強度に対し約18%小さかったが、強制炭酸化によりそれ

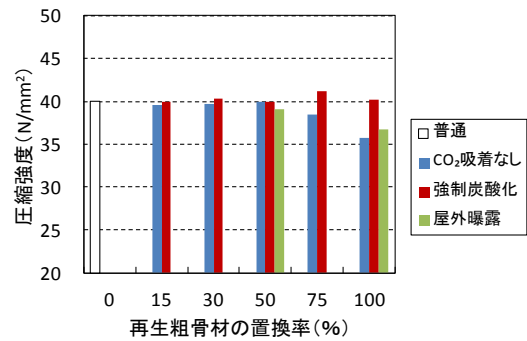


図-5 圧縮強度試験結果

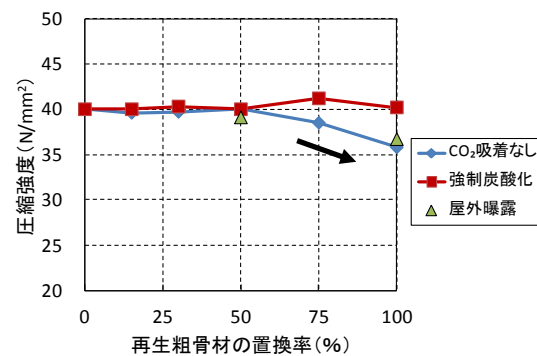


図-6 再生粗骨材の置換率と圧縮強度の関係

が同等若しくは同等以上になったことで再生粗骨材の置換率が大きくなっても圧縮強度が低下しなかったものとする。一方、屋外曝露を実施したものは、CO<sub>2</sub>吸着を行っていないものとそれほど変わらない結果となり、圧縮強度に及ぼす改質効果はみられなかった。屋外曝露を行った再生粗骨材の破砕値は、CO<sub>2</sub>吸着を行っていない再生粗骨材とほぼ同等であった。よって、再生粗骨材自体の強度が増進しなかったことが影響していると考えられる。

### 4.2 割裂引張強度

割裂引張強度結果を図-7に示す。圧縮強度と同様に、強制炭酸化を実施したものは、CO<sub>2</sub>吸着を行っていないものと比較して割裂引張強度が増加した。強制炭酸化によって再生粗骨材が改質し、再生粗骨材自体の強度が増進したことが影響していると考えられる。再生粗骨材の置換率と割裂引張強度の関係を図-8に示す。CO<sub>2</sub>吸着を行っていない再生粗骨材を用いたコンクリートは、置換率50%までは大きな変化は確認されなかったものの、圧縮強度と同様に置換率50%を超えると割裂引張強度の低下がみられ、置換率75%で約9%低下し、置換率100%では約15%低下した。圧縮強度よりも強度が低下した理由として、再生骨材コンクリートは、原コンクリートの遷移帯（以下、旧遷移帯）の影響を受けており、割裂引張強度の方がその影響が顕著であると考えられる。それに対し、強制炭酸化を実施したものは、置換率75%までは割裂引張強度の低下はみられなかったものの、置換率100%では約3%の低下であった。これは、旧遷移帯の影



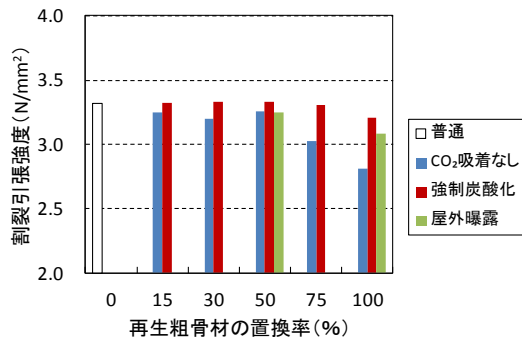


図-7 割裂引張強度試験結果

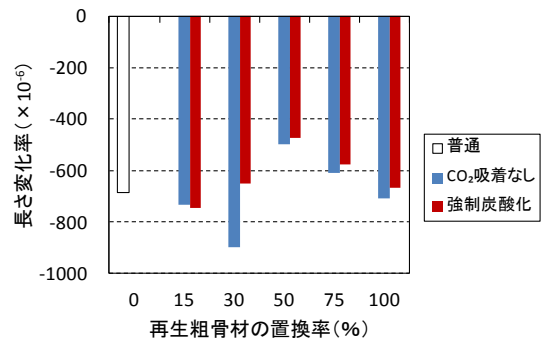


図-9 長さ変化率試験結果 (材齢 91 日)

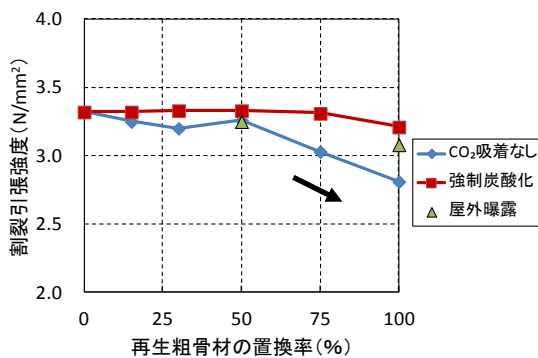


図-8 再生粗骨材の置換率と割裂引張強度の関係

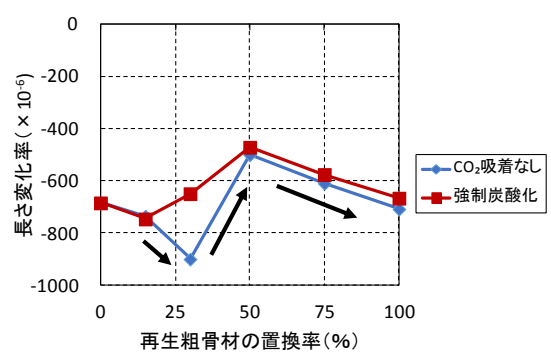


図-10 再生粗骨材の置換率と長さ変化率の関係

響を受けているものの、強制炭酸化によって再生粗骨材が改質し、再生粗骨材自体の強度が増進しているとともに、旧遷移帯についても改質したことが示唆される結果であると考えられる。一方、屋外暴露を実施したものは、置換率 50%では CO<sub>2</sub> 吸着を行っていないものとそれほど変わらない結果となっているものの、置換率 100%では強度が増加する結果となった。

### 4.3 長さ変化率

長さ変化率試験結果 (材齢 91 日) を図-9 に示す。強制炭酸化を実施したものは、CO<sub>2</sub> 吸着を行っていないものと比較して、ほとんどのもので長さ変化率が小さくなった。これは、強制炭酸化によって再生粗骨材が改質し、緻密化したことが影響していると考えられる。再生粗骨材の置換率と長さ変化率の関係を図-10 に示す。CO<sub>2</sub> 吸着を行っていないものは、置換率 30%までは置換率の増加に対して長さ変化率が大きくなったが、置換率 50%で値が小さくなり、その後、置換率の増加に対し、長さ変化率は大きくなった。また、強制炭酸化を実施したものについても同様の傾向を示している。これらの理由として、高吸水率の再生骨材は、封緘養生時に再生骨材自身からの水分供給による自己養生効果があることが示唆されている<sup>7)</sup>。そこで、表-4 に示す再生粗骨材における含水率の変化率を図-11 に示す。含水率は、表乾状態にした再生粗骨材を温度 20±2℃、相対湿度 60±5%の環境下で質量減少が平衡するまで静置し、各時間における質量から絶乾質量を差し引いたものに対し、絶乾質量で

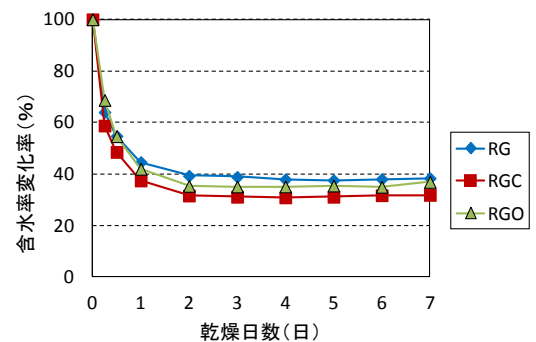


図-11 再生粗骨材の含水率の変化率

除したものである。強制炭酸化を行ったものは、乾燥初期の含水率の減少が大きく、それに対し CO<sub>2</sub> 吸着を行っていないものは小さい。これは、緻密化し、空隙が減少したことを表しているとともに、自己養生効果の大小を表していると考えられる。一方、普通粗骨材は、吸水率が小さいことから初期の含水率の減少が大きく、自己養生効果も小さいことが推測される。これらは、コンクリートにした場合に収縮の速度に関係していると思われる。したがって、再生粗骨材を用いたコンクリートは、自己養生効果によって、材齢の進行に対して収縮が大きくなると思われるため、引続き検討を行う必要がある。

### 4.4 凍結融解抵抗性

スケーリング量試験結果を図-12 に示す。いずれもスケーリング量は僅かなものであり、再生粗骨材を用いていないものと同等若しくはそれ以下であった。強制炭酸

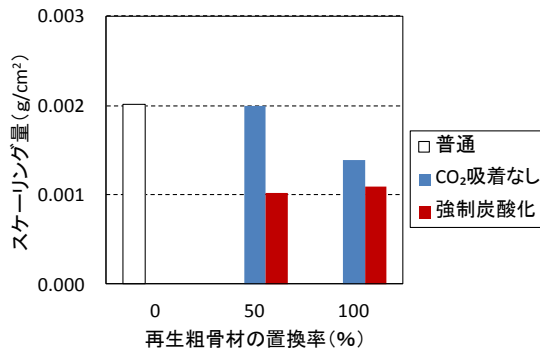


図-12 スケーリング量試験結果

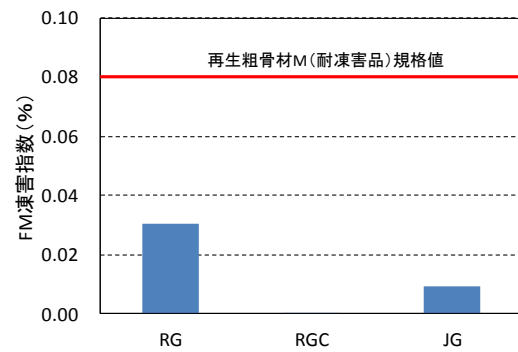


図-13 再生粗骨材の凍結融解試験結果

化を行ったものは、CO<sub>2</sub>吸着を行っていないものに対し、置換率50%では、スケーリング量はおおよそ半減したものの、100%では僅かに小さくなる結果であった。したがって、値が小さいことから試験誤差の影響もあると考えられるが、凍結融解作用によるスケーリング劣化にはある程度効果を示しているものとする。また、スケーリング試験は凍結融解作用による表層劣化を評価するものだが、既往の研究<sup>8)</sup>では、内部劣化に対する評価試験である JIS A 1148 による再生骨材コンクリートの耐久性指数と再生粗骨材の耐凍害性は、良い対応を示していることが報告されている。そこで、再生粗骨材の凍結融解試験結果 (JIS A 5022 附属書 D) を図-13 に示す。再生粗骨材の FM 凍害指数は、CO<sub>2</sub>吸着のありなしに関わらず再生粗骨材 M の規格値を満足した。本実験に使用した原コンクリートの空気量は、AE 剤によって適切に連行していたことから、再生粗骨材の品質に関わらず凍結融解抵抗性を有するものであったと考える。一方、強制炭酸化によって FM 凍害指数は改善した。これは、強制炭酸化による改質によって、再生粗骨材中の凍結水量が小さくなったことが影響したものとする。以上の結果から、凍結融解抵抗性については、強制炭酸化によって表層劣化および内部劣化ともに向上することが確認された。

## 5. まとめ

本研究の範囲において以下の知見を得た。

- (1) 原コンクリートに戻りコンクリートを用いた低品質再生粗骨材は、強制炭酸化によって密度・吸水率が改善し、クラスアップが確認された。また、破砕値が小さくなり、再生粗骨材自体の強度が増加した。
- (2) 強制炭酸化を実施したものは CO<sub>2</sub>吸着を行っていないものと比較して圧縮強度、割裂引張強度は増加した。また、CO<sub>2</sub>吸着を行っていないものは置換率が50%を超えると強度は低下したが、強制炭酸化を実施したものはほとんど低下しなかった。
- (3) 屋外曝露を実施した再生粗骨材の改質は僅かであり、圧縮強度への改質効果はみられなかった。

- (4) 強制炭酸化を実施した再生粗骨材を用いたコンクリートの長さ変化率は、CO<sub>2</sub>吸着を行っていないものと比較して小さくなった。
- (5) 凍結融解抵抗性は、強制炭酸化によって表層劣化および内部劣化ともに向上することが確認された。

## 参考文献

- 1) 道正泰弘：低品質再生骨材を置換したコンクリートの諸性能，コンクリート工学年次論文集，Vol.37, No.1, pp.1393-1398, 2015.7
- 2) 松田信広，亀山敬宏，松田美奈，伊代田岳史：CO<sub>2</sub>ガスの強制吸着による低エネルギー型再生骨材製造方法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36, No.1, pp.1732-1737, 2014.7
- 3) 松田信広，伊代田岳史：低品質再生骨材の CO<sub>2</sub>吸着による改質が再生骨材コンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.37, No.1, pp.1417-1422, 2015.7
- 4) 長嶋正久，飛内圭之：二酸化炭素の作用と硬化コンクリートの変化，セメント・コンクリート，No.465, pp.27-33, 1985.11
- 5) 横関康祐・渡邊賢三・安田和弘・坂田 昇：炭酸化養生によるコンクリートの高耐久化，コンクリート工学年次論文集，Vol.24, No.1, pp.555-560, 2002.7
- 6) 高橋祐一・榊田佳寛：再生骨材中の付着モルタルが再生コンクリートの性質に及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，第75巻，第653号，pp.1167-1172, 2010.7
- 7) 村上英明・佐川康貴・川端雄一郎・松下博通：再生モルタルの強度および空隙構造に及ぼす再生骨材の水分の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, No.2, pp.397-402, 2008.7
- 8) 片平 博・渡辺博志：再生骨材の耐凍害性評価手法の研究，コンクリート工学論文集，Vol.21, No.1, pp.25-33, 2010.1