

# 論文 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

松田 信広\*<sup>1</sup>・伊代田 岳史\*<sup>2</sup>

**要旨**：筆者らは、再生骨材の CO<sub>2</sub> 吸着により、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ことを提案している。本研究では、低品質再生骨材を対象に、CO<sub>2</sub> 吸着によって再生骨材の改質を行い、それらが再生骨材コンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響とその要因について検討を行った。その結果、再生骨材の改質によって再生骨材コンクリートの乾燥収縮は改善し、再生骨材の CO<sub>2</sub> 吸着割合の大きいもので乾燥収縮の改善率が大きいことが確認された。また、CO<sub>2</sub> 吸着割合の測定は、CO<sub>2</sub> 吸着による乾燥収縮の改善効果が期待できる再生骨材を選別できる指標であると考えられる。

**キーワード**：再生骨材、再生骨材コンクリート、炭酸化、乾燥収縮、破砕値、混入モルタル

## 1. はじめに

環境負荷低減および循環型社会の構築に向けて、コンクリート用再生骨材（以下、再生骨材）および再生骨材コンクリートの普及促進が望まれている。今後、更に普及を目指していく上で、再生骨材 M や H 等の中・高品質再生骨材と比較して、低エネルギー・低コストで製造することができ、より副産微粉末の発生が少ない、低品質再生骨材の適用範囲を拡大することが必要であると考える。しかし、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）の割合が大きく、それら骨材を用いたコンクリートの強度および耐久性は、普通骨材を用いたコンクリートに比べて低下することが指摘<sup>例えば 1, 2)</sup>されている。したがって、低品質再生骨材を用いたコンクリートの適用範囲は限定されている。

一方、世界的な地球温暖化対策に向けて、わが国では温室効果ガス排出目標を設定<sup>3)</sup>しており、建設の分野においてもコンクリート製造に関わる CO<sub>2</sub> 排出量への配慮が望まれている。その中で、解体コンクリート塊を再生骨材として再利用する場合、製造過程で新たに発生するコンクリート破断面や微粉において、コンクリートの炭酸化による CO<sub>2</sub> の固定化が行われるため、CO<sub>2</sub> の削減効果が期待できると報告<sup>4)</sup>されている。したがって、再生骨材および再生骨材コンクリートは、より環境負荷低減に寄与できる技術であると考えられる。

これまでに筆者らが行った研究<sup>5)</sup>では、再生粗骨材に CO<sub>2</sub> ガスを強制的に吸着（以下、CO<sub>2</sub> 吸着）させることで、再生粗骨材中の混入モルタルが緻密化し、改質（主に密度・吸水率が改善）することが確認された。また、

その中でもモルタル混入率の高い骨材でその有効性が高いことが確認された。更に、それら骨材を用いたコンクリートの長さ変化率が改善することも確認され、再生粗骨材の改質同様に、モルタル混入率の高い種類で顕著に改善した。しかし、CO<sub>2</sub> 吸着による改質が乾燥収縮に及ぼす影響とその要因について確認できなかった。

そこで本研究は、低品質再生骨材を対象に、CO<sub>2</sub> 吸着によって再生骨材の改質を行い、それらが再生骨材コンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響とその要因について検討を行った。

## 2. 再生骨材の改質

### 2.1 再生骨材の炭酸化

一般にコンクリートの炭酸化は、水酸化カルシウムが二酸化炭素と化合し、炭酸カルシウムに変化する現象である。既往の文献<sup>6)</sup>では、炭酸化することでコンクリート中の細孔が減少し、密度が増加することで内部組織が緻密化するとされている。更に、炭酸化することでコンクリートの圧縮強度が増加するとされている。これまでも、再生骨材の品質改善に関する研究は報告<sup>7)</sup>されているが、筆者らは、これら炭酸化のメカニズムに着目し、再生骨材の CO<sub>2</sub> ガス吸着により、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ことを提案<sup>5)</sup>している。本研究における再生骨材への CO<sub>2</sub> 吸着の方法は、中性化促進装置に、温度 20℃、相対湿度 60%、CO<sub>2</sub> 濃度 5% の環境下で 1 週間実施した。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> 吸着が行き渡る様に実施した。CO<sub>2</sub> 吸着を実施した再生骨材の名称には、末尾に「C」と表記した。

\*1 (株) 東京テクノ 工場長 (正会員)

\*2 芝浦工業大学 工学部土木工学科准教授 博士 (工学) (正会員)

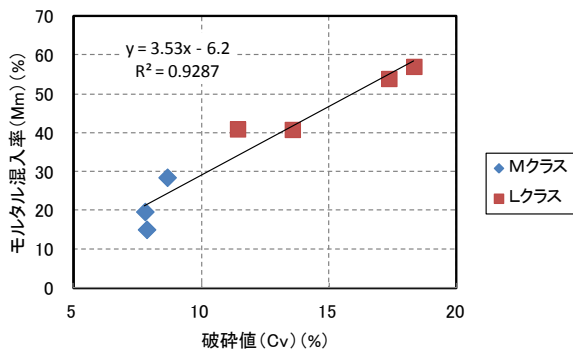
表－1 再生粗骨材の種類と品質

骨材名称	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	粗粒率	破砕値 (%)	モルタル混入率 (%)
AG	2.35	5.66	6.70	13.6	40.8
BG	2.32	5.69	6.80	11.4	41.0
CG	2.24	6.13	6.80	13.9	42.9 <sup>*1</sup>
DG	2.21	7.44	6.70	17.3	53.9
EG	2.00	10.79	6.56	18.8	60.2 <sup>*1</sup>

\*1 式(1)から算出した値。

表－2 再生細骨材の種類と品質

骨材名称	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	粗粒率	微粒分量 (%)	破砕値 (%)
AS	1.94	12.92	2.92	4.0	12.8
BS	1.92	14.57	3.23	3.0	16.1



図－1 破砕値とモルタル混入率の関係<sup>5)</sup>

## 2.2 再生骨材の種類および品質

本研究に使用した再生骨材は、破砕処理程度の工程で製造することができる低品質再生骨材を対象とし、実際の再生骨材製造プラントから製造された、原コンクリートが異なる再生粗骨材を5種類、再生細骨材を2種類使用した。再生粗骨材および再生細骨材の種類と品質を表－1および表－2に示す。ここで、破砕値試験はBritish StandardsのBS812に規定されており、わが国では、JIS A 5023 再生骨材Lを用いたコンクリート附属書C「再生骨材の製造工程管理用品質試験方法－再生粗骨材Lの吸水率の推定試験方法」(以下、規格)に示されている。試験方法は、基本的に規格に従って実施した。しかし、高橋らの研究<sup>8)</sup>によると、モルタル混入率と破砕値との関係性について、載荷荷重は規格で示される100kNに対し、200kNの方がより破砕値の差が明確になると報告されていることから、本研究においても載荷荷重は200kNで実施した。再生粗骨材については、載荷後に2.5mmのふるいを通過した質量の、全試料の質量に対する割合を破砕値とした。再生細骨材については、規格の対象から外れているが、再生粗骨材と同じ手順で載荷した。試料については、再生細骨材の粒度分布の割合を考慮し、5mmのふるいを通過し、1.2mmのふるいに留まるものを試料

に用いた。載荷後は、再生粗骨材の場合、試料の最小寸法よりも小さいふるいを使用することから、0.6mmのふるいを用いて、それを通過した質量の、全試料の質量に対する割合を破砕値とした。再生粗骨材のモルタル混入率の測定は、再生粗骨材の絶乾質量と、塩酸洗浄後のモルタルを除去した原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とした。既往の研究<sup>8)</sup>では、破砕値とモルタル混入率は、相関関係にあることが報告されている。筆者らの研究<sup>5)</sup>においても、破砕値はモルタル混入率の増加に伴って大きくなることが確認され、良好な相関を示した(図－1)。そこで、CG、EGについては、次の式(1)から算出した。しかし、EGの破砕値は、推定の範囲を超えているため、今後、モルタル混入率の測定について検討を加える必要がある。

$$Mm = 3.53Cv - 6.2 \quad (1)$$

ここに、 $Mm$  : モルタル混入率 (%)

$Cv$  : 破砕値 (%)

## 2.3 試験結果および考察

再生粗骨材および再生細骨材の絶乾密度を図－2および図－3に示す。CO<sub>2</sub>吸着を実施したものは、CO<sub>2</sub>吸着前のものに比べ、絶乾密度は増加した。再生粗骨材および再生細骨材の吸水率を図－4および図－5に示す。CO<sub>2</sub>吸着を実施したものは、CO<sub>2</sub>吸着前のものに比べ、吸水率は小さくなった。AGおよびBGは、Mクラスに、また、Lの規格を外れていたDGおよびBSについては、Lの規格を満足する結果が確認された。絶乾密度が増加し、吸水率が小さくなった要因として、CO<sub>2</sub>吸着によって混入モルタル部分の内部組織が緻密化したことが考えられる。再生粗骨材および再生細骨材の破砕値を図－6および図－7に示す。CO<sub>2</sub>吸着を実施したものは、CO<sub>2</sub>吸着前のものに比べ、概ね0.4～2.5%程度破砕値は小さくなった。これは、混入モルタル部分がCO<sub>2</sub>吸着によ

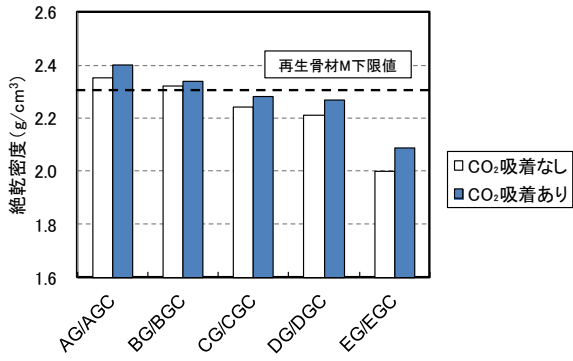


図-2 再生粗骨材の絶対乾密度

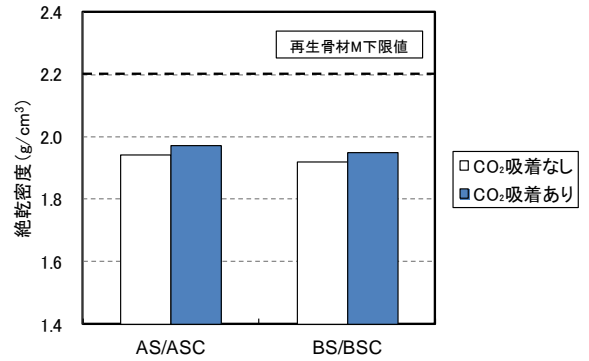


図-3 再生細骨材の絶対乾密度

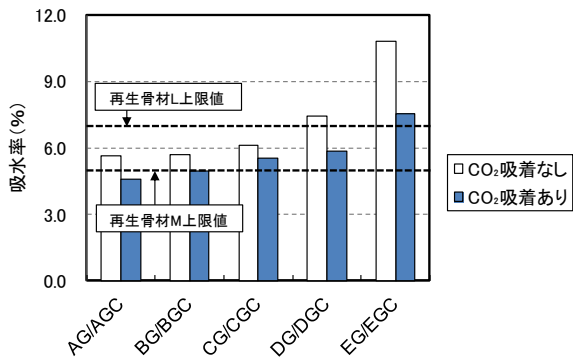


図-4 再生粗骨材の吸水率

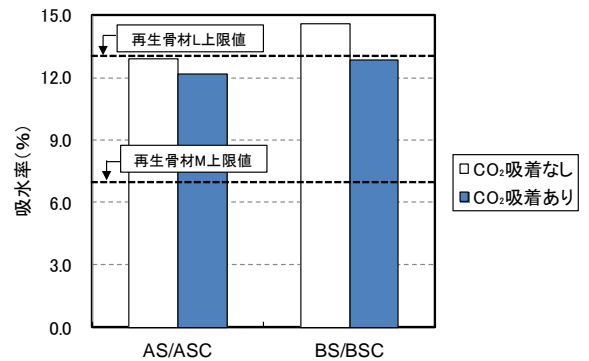


図-5 再生細骨材の吸水率

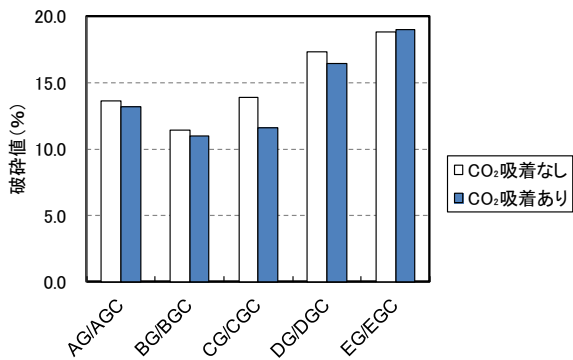


図-6 再生粗骨材の破砕値

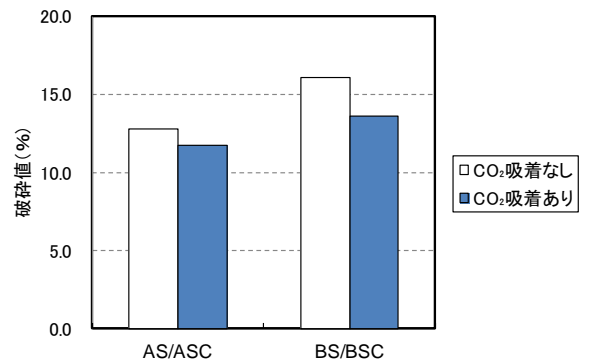


図-7 再生細骨材の破砕値

て緻密化し、圧縮強度が増加したことが影響しているものと考えられる。しかし、再生粗骨材については、吸水率の低減傾向に対しそれ程大きな差は確認できなかった。また、EGはCO<sub>2</sub>吸着による効果が確認できなかったことから、今後、その他の影響について検討を重ねる必要があると考える。一方、再生細骨材は、吸水率の低減傾向と同様の傾向が見られた。既往の研究<sup>9)</sup>では、コンクリート塊の炭酸化速度は、粒径が小さくなるほど速く、CO<sub>2</sub>を多く固定することが報告されている。したがって、再生細骨材の方が粗骨材に比べCO<sub>2</sub>ガスを吸着する面積が大きく、混入モルタル部分の緻密化による効果が増大することが考えられる。しかし、再生細骨材の試験方法

については、規格の対象から外れていることから、試験の妥当性について検討を重ねる必要があると考える。

### 3. CO<sub>2</sub>ガスによる改質が乾燥収縮に及ぼす影響

#### 3.1 使用材料および配合

本研究に使用した材料は、セメントは高炉セメントB種（密度：3.05g/cm<sup>3</sup>）を用いた。骨材の組合せおよびコンクリートの試験結果を表-3に示す。粗骨材は表-1に示す再生粗骨材およびそれらのCO<sub>2</sub>吸着を実施したものと、比較用に普通砕石：記号NG（表乾密度：2.71g/cm<sup>3</sup>）を用いた。細骨材は表-2に示す再生細骨材およびそれらのCO<sub>2</sub>吸着を実施したものと、比較用に普通細

表一三 骨材の組合せおよびコンクリートの試験結果

配合記号	CO <sub>2</sub> 吸着	粗骨材種類	細骨材種類	スランプ(cm)	空気量(%)	圧縮強度 <sup>*1</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
NN	—	NG	NS	11.0	5.9	28.9
AN	なし	AG	NS	11.5	5.3	29.4
BN		BG	NS	8.0	5.0	30.6
CN		CG	NS	9.5	4.5	27.1
CA		CG	AS	12.0	5.5	21.3
DN		DG	NS	12.0	5.4	27.9
EB		EG	BS	10.5	5.9	22.0
ANC	あり	AGC	NS	12.0	5.7	28.4
BNC		BGC	NS	11.5	5.5	27.2
CNC		CGC	NS	9.0	5.0	25.6
CAC		CGC	ASC	10.0	4.8	22.9
DNC		DGC	NS	9.0	3.5	28.5
EBC		EGC	BSC	7.0	6.5	20.1

\*1 標準養生 (材齢 28 日)

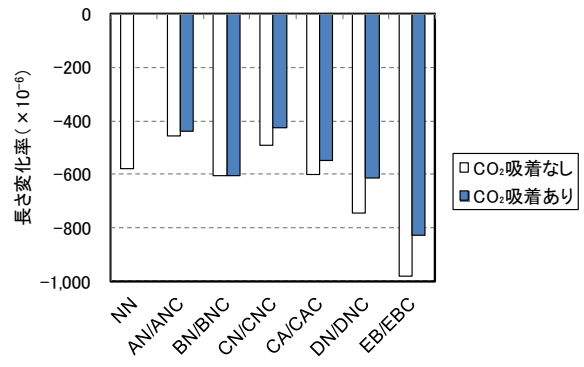
骨材：記号 NS (表乾密度：2.61g/cm<sup>3</sup>) を用いた。配合は、W/C50%とし、s/a50%、単位水量は 172kg/m<sup>3</sup>とした。しかし、CN/CNC および CA/CAC は、事前の試し練りの結果から所要のフレッシュ性状を得るために、s/a46%、単位水量は 165 kg/m<sup>3</sup>とした。スランプおよび空気量の目標値は、10cm および 4.5%とし、所要の性状が得られる様に、化学混和剤の添加量により調整した。

### 3.2 長さ変化率試験方法および試験結果

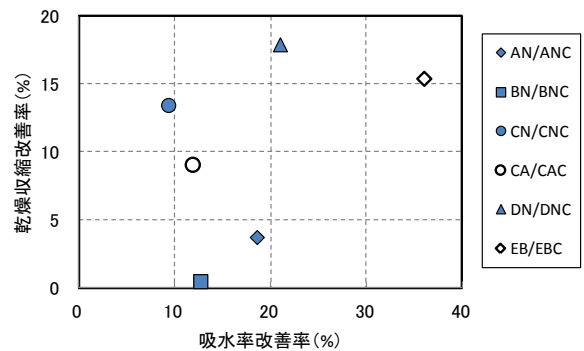
長さ変化率の試験体は、上記に示すフレッシュコンクリートを用いて 10×10×40cm の角柱供試体を作製し、材齢 7 日まで標準養生を行い、温度 20±2℃、相対湿度 60±5%の環境下で保存した。測定は、JIS A 1129-3 (モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法：ダイヤルゲージ方法) に従って行った。なお、一般的に長さ変化率は材齢 182 日で評価するが、今回は限られた期間内での検討のため材齢 56 日で評価した。長さ変化率試験結果を図一八に示す。長さ変化率は、CO<sub>2</sub> 吸着によって、全ての配合で小さくなる結果が得られ、普通骨材を使用したコンクリートに比べ小さくなるものも確認された。これらは、CO<sub>2</sub> 吸着によって再生骨材が改質することで長さ変化率が小さくなったものと考えられる。また、再生細骨材を使用している CA は、使用していない CN と比較して長さ変化率は大きくなった。粗骨材および細骨材ともに再生骨材を使用したコンクリートは、粗骨材のみ再生骨材を使用したコンクリートよりも長さ変化率は大きくなる傾向<sup>10)</sup>にあり、本研究においても同様の傾向が確認された。一方、粗骨材のみ再生骨材を使用したコンクリートと同様に CO<sub>2</sub> 吸着による改善効果が確認された。

### 4. 再生骨材の改質が乾燥収縮に及ぼす影響

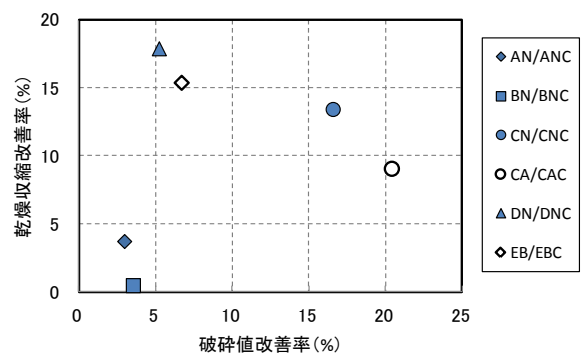
これまでの検討から、再生骨材の CO<sub>2</sub> 吸着による改質が再生骨材コンクリートの乾燥収縮に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。そこで、先に得られた吸水率および破砕値、再生骨材コンクリートの長さ変化率について、



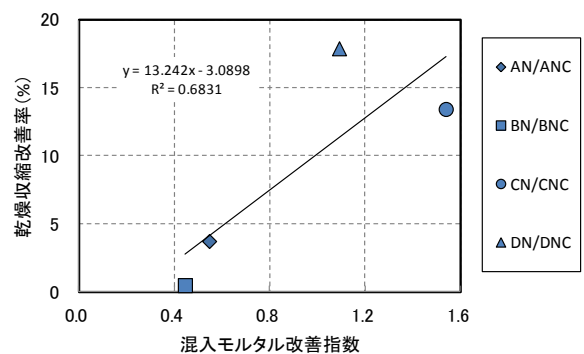
図一八 長さ変化率試験結果 (材齢 56 日)



図一九 吸水率改善率と乾燥収縮改善率の関係



図一〇 破砕値改善率と乾燥収縮改善率の関係



図一一 混入モルタル改善指数と乾燥収縮改善率の関係

CO<sub>2</sub> 吸着前後の値の差を CO<sub>2</sub> 吸着前の値で除した値は、CO<sub>2</sub> 吸着による改質効果を示す指標（以下、改善率）になると考え、それらが乾燥収縮に及ぼす影響について検討した。なお、長さ変化率の改善率については、「乾燥収縮改善率」と表現した。また、細骨材に再生骨材を使用している CA および EB の吸水率改善率および破砕値改善率の算出は、再生粗骨材のそれぞれの改善率に対して、再生細骨材の各々の改善率と s/a の積を加算した。吸水率改善率と乾燥収縮改善率の関係を図-9 に示す。吸水率改善率と乾燥収縮改善率の関係には、相関性は認められなかった。再生骨材の吸水率は、原骨材の吸水率の影響を受けており、混入モルタルが分担している吸水率を考慮する必要があると考える。破砕値改善率と乾燥収縮改善率の関係を図-10 に示す。破砕値改善率と乾燥収縮改善率との関係には、吸水率改善率と同じく相関性は認められなかった。再生粗骨材の破砕値は、吸水率の改善傾向と比較すると、それ程大きな改善が確認されなかったことから、この様な結果になったと考える。一方、破砕値はモルタル混入率と高い相関関係にあることから、モルタル混入率の指標と捉え、破砕値改善率と吸水率改善率の積は、混入モルタルの吸水率改善率を相対的に判断できる値（以下、混入モルタル改善指数）であると考え。そこで、混入モルタル改善指数と乾燥収縮改善率の関係を図-11 に示す。混入モルタル改善指数と乾燥収縮改善率の関係は、ある程度、線形の関係にあった。再生骨材の CO<sub>2</sub> 吸着による改質効果は、混入モルタルの改質による何らかの要因が再生骨材コンクリートの乾燥収縮率に影響を及ぼしていると考え。

## 5. 再生骨材の改質が乾燥収縮に及ぼす要因

### 5.1 再生粗骨材の CO<sub>2</sub> 吸着割合

再生粗骨材の CO<sub>2</sub> 吸着割合は、CO<sub>2</sub> 吸着をこれまでの検討と同様の条件で4日間行い、次の式(2)から算出した。

$$Ca = (S_2 - S_1) / S_1 \times 100 \quad (2)$$

ここに、Ca : CO<sub>2</sub> 吸着割合 (%)

S<sub>1</sub> : CO<sub>2</sub> 吸着前の質量 (g)

S<sub>2</sub> : 各時間の質量 (g)

再生粗骨材の CO<sub>2</sub> 吸着割合を図-12 に示す。時間の経過とともに CO<sub>2</sub> 吸着割合は増加し、2 日目以降に各骨材の差が表れた。CO<sub>2</sub> 吸着割合の差が明確になった 4 日目の値を CO<sub>2</sub> 吸着割合とすると、最もモルタル混入率の高い DG で大きい結果となった。その理由として、DG の原コンクリートには、戻りコンを硬化したものをを用いており、比較的若材齢であることが予想されることから、

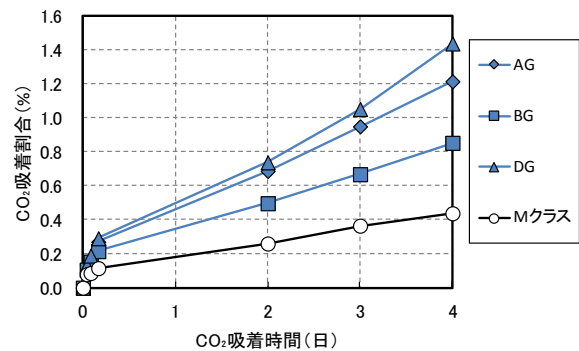


図-12 再生粗骨材の CO<sub>2</sub> 吸着割合

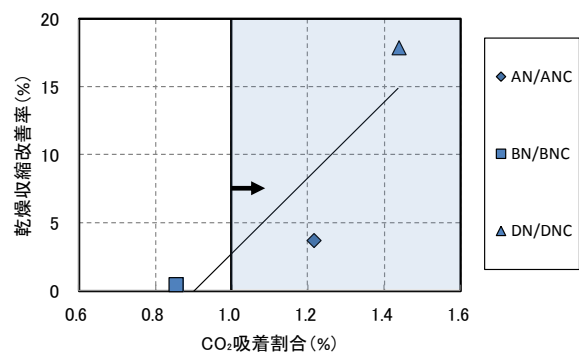


図-13 CO<sub>2</sub> 吸着割合と乾燥収縮改善率の関係

炭酸化による効果が大きいことが考えられ、更にモルタル混入率が高いことで、CO<sub>2</sub> 吸着割合が大きくなったものと推測する。逆に、比較に用いた M クラスの再生粗骨材（吸水率：3.94%、モルタル混入率 28.51%）が最も小さい値となった。これは、モルタル混入率が低いことが関係していると考え。したがって、M クラスの再生骨材は、CO<sub>2</sub> 吸着による改善効果はあまり期待できないと考える。一方、AG と BG を比較すると、吸水率およびモルタル混入率はほぼ同じ値であるのに対し、AG は BG よりも CO<sub>2</sub> 吸着割合が大きくなった。DG の結果から推測すると、原コンクリートの種類によって CO<sub>2</sub> 吸着による炭酸化のし易さが関係するものと考え。また、CO<sub>2</sub> 吸着割合が大きいものは、混入モルタル部分の緻密化の傾向が大きいものと考え。なお、CO<sub>2</sub> 吸着割合の測定に際し、4 日目の値を採用した理由として、今後、工程管理にこれらの測定を実用化することを想定している。

### 5.2 乾燥収縮に及ぼす要因と CO<sub>2</sub> 吸着割合による再生骨材評価方法の提案

CO<sub>2</sub> 吸着割合と乾燥収縮改善率の関係を図-13 に示す。CO<sub>2</sub> 吸着割合の増加に伴って乾燥収縮改善率が大きくなることが確認され、CO<sub>2</sub> 吸着割合がおおよそ 1.0% を超えるものにおいて、乾燥収縮の改善効果があることが示された。近年、乾燥収縮の低減に効果があるとされる

石灰石骨材は、内部に微細な空隙が少なく、内部表面積が小さく、骨材自体の収縮が小さいことでコンクリートの収縮を低減させると言われている<sup>11)</sup>。したがって、CO<sub>2</sub>吸着による改質によって再生骨材中の混入モルタル部分が炭酸化することで細孔が減少し、内部組織が緻密化することで石灰石骨材の様な効果が得られ、それらが乾燥収縮の低減に及ぼす要因となっていると考える。

一方、CO<sub>2</sub>吸着割合の測定は、CO<sub>2</sub>吸着による乾燥収縮改善効果が期待できる再生骨材を選別できる指標になるものと考えられる。また、再生骨材の工程管理においてCO<sub>2</sub>吸着割合を測定することで、改善効果が期待できない再生骨材に対して、CO<sub>2</sub>吸着を行わないで済むなど、作業効率の向上にも寄与できると考える。これらの評価方法により、再生骨材コンクリートを構造体に適用する場合、乾燥収縮への要求に応じてCO<sub>2</sub>ガスによる改質を行うことで、低品質再生骨材の適用範囲の拡大に寄与できる可能性があると考えられる。しかし、今回は限られた範囲内での検討のため、今後は、更にデータを蓄積し、緻密化についての評価方法やモルタル混入率との関係を整理するなど、詳細な検討を重ねる必要があると考える。

## 6. まとめ

本研究の範囲において以下の知見を得た。

- (1) 再生粗骨材および再生細骨材は、CO<sub>2</sub>吸着により絶対密度は増加し、吸水率は小さくなった。
- (2) 長さ変化率は、全ての配合においてCO<sub>2</sub>吸着による改善効果が確認された。また、粗骨材、細骨材に再生骨材を使用したコンクリートは、粗骨材のみ再生骨材を用いたコンクリートよりも長さ変化率は大きくなったが、CO<sub>2</sub>吸着による改善効果は確認された。
- (3) CO<sub>2</sub>吸着による混入モルタルの吸水率改善率を相対的に判断できる混入モルタル改善指数と乾燥収縮改善率は、ある程度、線形の関係にあった。
- (4) CO<sub>2</sub>吸着割合は、モルタル混入率の高いもので大きくなった。また、CO<sub>2</sub>吸着割合が大きいものは、混入モルタル部分の緻密化の傾向が大きいものと考えられる。
- (5) CO<sub>2</sub>吸着割合と乾燥収縮改善率は、CO<sub>2</sub>吸着割合の増加に伴って乾燥収縮改善率が大きくなり、CO<sub>2</sub>吸着割合がおおよそ1.0%を超える再生粗骨材において、乾燥収縮の改善効果があることが示された。
- (6) CO<sub>2</sub>吸着割合の測定は、乾燥収縮の改善効果のある再生骨材を選別できる指標であると考えられ、再生骨材コンクリートの要求性能に合わせてCO<sub>2</sub>吸着による改質を行うことで、低品質再生骨材の適用範囲の拡大に寄与できる可能性があると考えられる。

今後に向けて、中性化および凍結融解抵抗性等の耐久性に関する検討を重ねる必要があるものと考えられる。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、芝浦工業大学大学院生亀山敬宏氏、元芝浦工業大学松田美奈氏、芝浦工業大学柳沢晃大氏にご協力を頂きました。破砕値試験は、五洋建設(株)技術研究所の高橋祐一係長にご指導を頂きました。再生骨材の製造は、武蔵野土木工業(株)、宮松城南(株)、立石建設(株)、樋口産業(株)の関係各位にご協力を頂きました。ここに付記し、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 高橋祐一、榊田佳寛、竹内博幸：混入モルタルが再生骨材コンクリートの性状に及ぼす影響に関する検討、日本建築学会構造系論文誌、第76巻、第668号、1755-1761、2011
- 2) 竹中寛、笠井哲郎：再生粗骨材の付着モルタルの物性が再生骨材コンクリートの品質に与える影響、コンクリート工学論文誌、vol.19、No.3、pp.21-29、2008
- 3) 環境省：[<http://www.env.go.jp/>]
- 4) 土木学会：コンクリート構造物の補修・解体・再利用におけるCO<sub>2</sub>削減を目指して、コンクリートライブラリー第134号、2012
- 5) 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誌、vol.36、No.1、pp.1732-1737、2014
- 6) 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
- 7) 辻大二郎、田村雅紀、野口貴文：低品質再生骨材の改質処理による構造体への適用に関する研究、コンクリート工学年次論文誌、vol.24、No.1、pp.1251-1256、2002
- 8) 高橋祐一、黒田満、榊田佳寛、竹内博幸：再生骨材中の混入モルタル量の品質管理方法および評価基準の検討、コンクリート工学年次論文誌、vol.35、No.1、pp.1453-1458、2013
- 9) 黒田泰弘、菊池俊文：解体コンクリートによる二酸化炭素の固定、コンクリート工学論文誌、vol.20、No.1、pp.15-22、2009
- 10) 早川光敬、陣内浩、並木哲、飯島真人：再生骨材を用いたコンクリートの強度特性と耐久性、vol.24、No.1、pp.1203-1208、2002
- 11) 小山田哲也、小田島悠弥、越谷信、藤原忠司：コンクリートの乾燥収縮に対する石灰石骨材の有効性、コンクリート工学年次論文誌、vol.32、No.1、pp.359-364、2010