

# 論文 強制炭酸化した再生骨材および電柱破砕材の品質に関する基礎検討

松浦 忠孝\*1, 小林 保之\*2, 青山 裕之\*3, 尾崎 公則\*4

**要旨:** 解体コンクリートの高度な資源循環と火力発電所等から排出される CO<sub>2</sub> の固定化を展望し, 分離回収前の排出 CO<sub>2</sub> 濃度により強制炭酸化した再生骨材, 電柱破砕材の骨材品質とコンクリートへの適用性について検討を行った。その結果, 全ての試料において絶乾密度等の品質改善と CO<sub>2</sub> 固定による質量増加が認められた。また, これらを使用したコンクリートにおいて, 電柱製造等に適用可能なフレッシュ性状が得られること, 強度の低下傾向を改善することを明らかとした。これらの結果は, 分離回収前の排出ガスによって強制炭酸化した再生骨材等の利用が, 資源循環と CO<sub>2</sub> 固定化の有効な手段となり得ることを示唆している。

**キーワード:** 資源循環, CO<sub>2</sub>, 炭酸化, 再生骨材, 電柱

## 1. はじめに

電力会社においても設備の高経年化への対応は重要な経営課題であり, 計画的な設備更新が進められている。このとき, 設備更新に伴う解体コンクリートの発生は余儀なく, 例えば取替電柱の解体等は一定規模で継続的に発生する。この解体コンクリートの再利用方策において, コンクリート用再生骨材としての利用は, 資源循環の観点でも極めて有意義である。しかし, 通常の骨材と同等の品質を有する再生骨材を得るには相応のコストとエネルギーを要することから, 十分な普及は進んでおらず, ほとんどの場合, 路盤材としての利用に留まっている。環境経営の観点, あるいは今後の路盤材需要の減退への対応を考慮すると, 再生骨材利用の推進は解体コンクリート発生元の事業者としても大きな課題である。

一方, コンクリート分野では, カーボンニュートラルの実現に向けて CO<sub>2</sub> をコンクリート内に固定化する技術の開発・導入が盛んに展開されている。コンクリートへの CO<sub>2</sub> 固定化は, 主としてセメント水和物等の炭酸化反応を利用するもので, この技術を適用した材料・製品は, カーボンリサイクル商材としての流通が期待される。CO<sub>2</sub> 固定化のポテンシャルを持つセメント水和物の入手源の一つとして, 解体コンクリート材の利用が挙げられる。すなわち, 電気事業に伴い発生する解体コンクリートを CO<sub>2</sub> 固定媒体として効率的に再利用することで

ば, 事業者の課題解決のみならず, 持続可能社会の形成にも大いに貢献すると言える。

本研究では, 既往の研究<sup>1),2)</sup>を参考に, 炭酸化による再生骨材の改質効果を期待しつつ, 「電柱 to 電柱」といったクローズドな資源循環, かつ火力発電所等から排出される CO<sub>2</sub> の固定化を展望し, CO<sub>2</sub> 分離回収前の排出ガス(以下, 未精製ガス)をそのまま用いて再生骨材および電柱破砕材(以下, 再生骨材等という)を強制炭酸化した場合の骨材品質とコンクリートへの適用性について検討を行うこととした。Ser.1 の試験では, 炭酸化による再生骨材等の改質効果と CO<sub>2</sub> 固定量を評価し, Ser.2 の試験では, 電柱用を含むコンクリートに使用した場合の基本的な物性評価を行った。

## 2. 試験概要

### 2.1 強制炭酸化した再生骨材等の品質 (Ser.1)

#### (1) 使用した再生骨材

使用した再生骨材等の一覧を表-1 に示す。実用上の効果の評価するため, 試料は屋外に保管された市販の材料としたが, 個々に保管期間が異なるため, 表層部分を取り除いて, できるだけ外気に曝されていないものを使用した。モルタル付着量(10%塩酸溶液浸せきにより失われた量)は, 表中記載のとおりである。なお, 電柱破砕材のモルタル付着量は, 粗細混合の状態では求めている。

表-1 使用した再生骨材等 (Ser.1)

種類・区分	記号	原料の種類	炭酸化前			モルタル付着量(%)	屋外保管の期間
			絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	吸水率(%)	粗粒率		
再生粗骨材	・ M 相当	RMG	市中解体材	2.50	2.96	6.43	約 2 ヶ月
〃	・ L 相当	RLG	市中解体材	2.22	7.51	6.40	約 6 ヶ月
再生細骨材	・ L 相当	RLS	市中解体材	1.99	13.34	3.12	約 1 ヶ月
電柱破砕材	・ 5mm 超	RPG	廃棄電柱	2.38	4.10	7.17	約 1 ヶ月
〃	・ 5mm 以下	RPS		2.13	9.81	3.09	

\*1 東京電力ホールディングス (株) 土木・建築統括室 兼 経営技術戦略研究所 スペシャリスト (正会員)

\*2 東京電力ホールディングス (株) 経営技術戦略研究所 スペシャリスト (正会員)

\*3 日本コンクリート工業 (株) 技術開発部

\*4 日本コンクリート工業 (株) 技術開発部

## (2) 炭酸化条件

再生骨材等の炭酸化養生は、試料をステンレスバット内に薄く敷き均し、中性化促進試験装置を使用してCO<sub>2</sub>濃度3水準(0, 5, 15%), 養生温度2水準(20, 60℃), 相対湿度60%により実施した。なお、炭酸化が均一に進行するように1回/日の頻度で試料の攪拌を行った。CO<sub>2</sub>濃度は、分離回収技術の普及を問わず適用できるよう、火力発電所の未精製ガス(LNG火力3~6%, 微粉炭火力12~15%)の範囲とした。

## (3) 骨材品質およびCO<sub>2</sub>固定量の評価試験

炭酸化による改質効果ならびにCO<sub>2</sub>固定量の評価として、表-2の試験を実施した。炭酸化後の質量増分(試験前質量に対する増分の比, 単位:%)は、炭酸化以外による質量変化を相殺するため、CO<sub>2</sub>濃度0%の同一温度環境下の質量変化を基準に求めた。なお、質量増分によるCO<sub>2</sub>固定量評価の妥当性を確認するため、代表試料RLSを対象に熱重量示差熱分析(TG-DTA)により炭酸カルシウム含有量の分析を行った。この分析では、測定温度範囲:室温~1000℃, 昇温速度:10℃/min, 参照試料:酸化アルミニウム, 試料質量:20mg, 炉内ガス流通:N<sub>2</sub>300mL/minを条件として、既往の文献<sup>3)</sup>を参考に約600~800℃における吸熱を伴う質量減少量を基に炭酸カルシウム含有量を算定した。

## 2.2 強制炭酸化した再生骨材等を使用したコンクリートの品質 (Ser.2)

### (1) 使用材料

コンクリートに使用した再生骨材等の炭酸化前後の物性を表-3に示す。このうち一部の試料は、炭酸化による絶乾密度の増加が認められなかったが、吸水率はいずれも低減されていることから、炭酸化による改質はされていると見なして使用した。電柱破砕材は、簡易な製造工程を意図してふるい径5mmのみによって分級し、ふるいに留まったものを粗骨材、通過したものを細骨材と

表-2 骨材品質・CO<sub>2</sub>固定量の評価試験

評価項目	適用規格等	実施時期
絶乾密度, 吸水率	JIS A 1109 JIS A 1110	炭酸化前, 炭酸化 2, 7 日後
粗骨材の破砕値	BS 812 法	炭酸化前, 炭酸化 7 日後
安定性	JIS A 1122	炭酸化前, 炭酸化 7 日後
質量増分	電子秤による	炭酸化前, 炭酸化 1, 2, 4, 7, 14 日後
炭酸カルシウム量	TG-DTA	炭酸化前, 炭酸化 7 日後

表-3 使用した再生骨材等 (Ser.2)

種類・区分	記号	絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )		吸水率(%)	
		炭酸化前	炭酸化後	炭酸化前	炭酸化後
再生粗骨材 2005・M相当	RMG	2.50	2.51	2.92	2.52
〃・L相当	RLG	2.25	2.29	7.02	5.89
再生細骨材・L相当	RLS	2.02	2.07	11.62	10.49
電柱破砕材・5mm超20mm以下	RPG	2.36	2.39	4.87	4.20
〃・5mm以下	RPS	2.14	2.16	9.57	8.57

して取り扱った。そのため、分級後の粒度分布は、図-1に示すとおりJIS A 5308 附属書Aにおける「砂利及び砂」の粒度分布に対し、粗骨材はやや粗く、細骨材は1.2~2.5mmの粒径範囲が少ない材料となった。

その他の材料は、表-4に示す電柱製造で通常使用しているものを用いた。

## (2) コンクリート配合

本研究におけるコンクリート配合を表-5に示す。電柱および一般的なコンクリートの使用範囲を考慮して、W/Cは30%(A配合), 50%(B配合)の2水準とした。再生骨材の容積置換率は、再生骨材コンクリートに関する既往の研究<sup>4), 5)</sup>を参考に標準的な使用が想定される25%と、適用範囲の拡大を意図した50%の2水準を設定し、それぞれ炭酸化前・後の再生骨材等を適用した。なお、単位水量は一定とし、同一コンシステンシーを得るための配合調整は、混和剤使用量の調整により行った。

## (3) コンクリートの基本物性試験

強制炭酸化した再生骨材等を使用したコンクリートの基本的な物性を評価するため、スランプ(JIS A 1101), 空気量(JIS A 1128), ブリーディング(JCI-S-015), 圧縮強度(JIS A 1108), 弾性係数(JIS A 1149)の試験を行った。なお、スランプ, 空気量については、60分静置後に切り返しを行い、フレッシュ性状の経時変化を確認した。

## 3. 試験結果および考察

### 3.1 強制炭酸化による骨材品質の改善

#### (1) 絶乾密度・吸水率

Ser.1における再生骨材等の炭酸化前後の絶乾密度, 吸水率の試験結果を図-2および図-3に示す。また、炭酸化期間7日時点での改質効果について、CO<sub>2</sub>濃度との

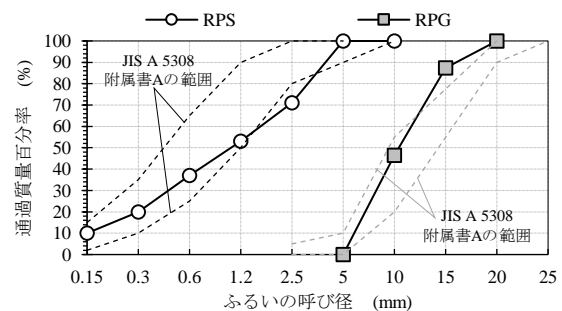


図-1 電柱破砕材の粒度分布

表-4 コンクリートに使用した材料

使用材料	記号	仕様
水	W	地下水 (JIS A 5308 附属書C)
セメント	C	普通ポルトランド 密度 3.16g/cm <sup>3</sup> (JIS R 5210)
細骨材	S	砕砂 絶乾密度 2.54g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.76% (JIS A 5005)
粗骨材	G	砕石 絶乾密度 2.64g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 0.59% (JIS A 5005)
減水剤	Ad	高性能減水剤 I 種 ナフタリンスルホン酸系 (JIS A 6204)
AE 剤	AE	I 種 ポリエキシエチレンアルキルエーテル硫酸系 (JIS A 6204)

表-5 コンクリート配合 (Ser.2)

No.	W/C	s/a	スランブ (cm)	空気量 (%)	再生骨材利用率 (%)	炭酸化の有無	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							Ad (C×%)	AE (C×%)
							W	C	S	RPS	RLS	G	RPG		
A0	30	45	18±2.5	2±1	0		170	567	732	0	923	0	1.90	0	
ASG25	↓	↓	↓	↓	25		↓	↓	549	167	692	215	1.85	0	
ASG25+	↓	↓	↓	↓	25	○	↓	↓	549	167	692	216	1.80	0	
ASG50	↓	↓	↓	↓	50		↓	↓	366	333	461	430	1.70	0	
ASG50+	↓	↓	↓	↓	50	○	↓	↓	366	333	462	432	1.60	0	
B0	50	45	18±2.5	4.5±1.5	0		170	340	786	0	991	0	1.00	0.075	
BSGM25	↓	↓	↓	↓	25		↓	↓	590	172	743	239	0	1.20	0.060
BSGM25+	↓	↓	↓	↓	25	○	↓	↓	590	175	743	239	0	1.40	0.070
BSGM50	↓	↓	↓	↓	25		↓	↓	393	344	496	479	0	1.50	0.060
BSGM50+	↓	↓	↓	↓	25	○	↓	↓	393	349	496	479	0	1.60	0.070
BSGL25	↓	↓	↓	↓	50		↓	↓	590	172	743	0	224	1.60	0.070
BSGL25+	↓	↓	↓	↓	50	○	↓	↓	590	175	743	0	226	1.30	0.060
BSGL50	↓	↓	↓	↓	50		↓	↓	393	344	496	0	449	1.80	0.070
BSGL50+	↓	↓	↓	↓	50	○	↓	↓	393	349	496	0	453	1.70	0.060

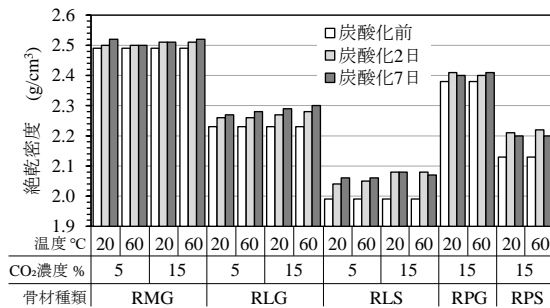


図-2 炭酸化前後の絶対乾密度

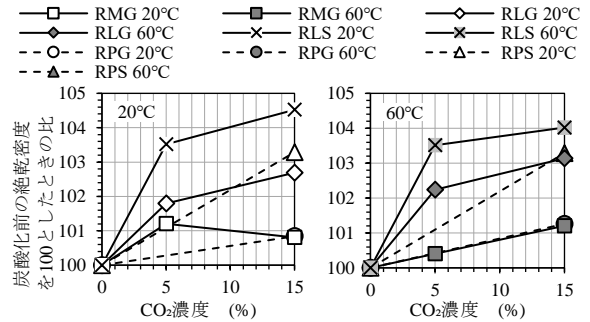


図-4 CO<sub>2</sub>濃度と絶対乾密度の変化率の関係

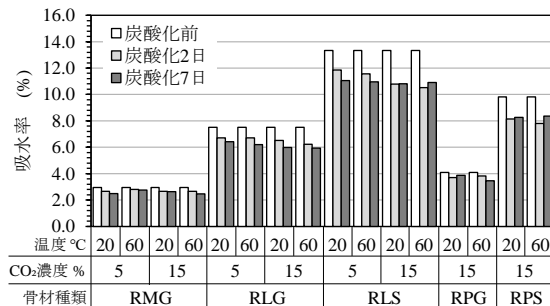


図-3 炭酸化前後の吸水率

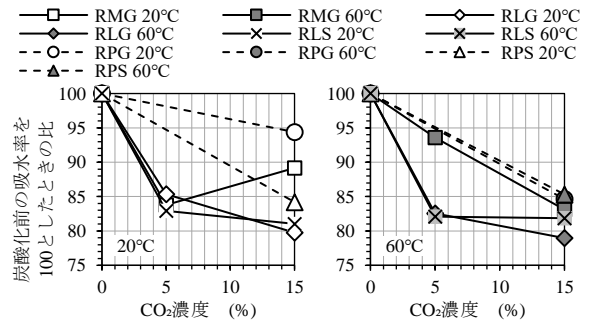


図-5 CO<sub>2</sub>濃度と吸水率の変化率の関係

関係により整理した結果を図-4 および図-5 に示す。いずれの試料においても、炭酸化により絶対乾密度が大きくなり、吸水率が小さくなる結果を示した。細骨材の系 RPS, RLS では、炭酸化期間 2 日時点で大きな改質効果が得られたが、2~7 日の期間中の効果増進はほぼ認められなかった。一方、粗骨材の系は、炭酸化期間 2 日時点の改質効果は小さいが、2~7 日の期間中も緩やかに効果が増進する傾向が認められた。また、CO<sub>2</sub> 濃度 5% までの改質効果は、細骨材の系 RLS, RPS および粗骨材 RLG において高く、CO<sub>2</sub> 濃度 5~15% 間や粗骨材の系 RMG, RPG の改質効果は緩やかな増進に留まった。これらの傾向は、骨材の粒径あるいは吸水率から推定される内部空隙量の違い、すなわち炭酸化反応が進行する表面積の違いによる影響と推察され、比表面積が大きいほど、また、CO<sub>2</sub> 濃度が高いほど初期の炭酸化進行速度が早く、高い

CO<sub>2</sub> 濃度で炭酸化が急激に進行した後は、表層部分の緻密化によって、以降の炭酸化の進行が緩慢になることを示唆するものと考えられる。養生温度による影響は、粗骨材の系 RMG, RLG では温度上昇によって改質効果が高まるものの、細骨材の系 RPS, RLS の CO<sub>2</sub> 濃度 15% においては、20°C から 60°C にかけて効果の後退が認められた。この原因の究明については今後の課題とするが、加温による乾燥、あるいは急激な炭酸化に伴う表層の緻密化によって、附着モルタル深部の炭酸化が進行しにくくなったためと考えられる。以上の結果から、試料によって最適な炭酸化条件は異なると推察されるものの、再生骨材、電柱破砕材ともに既往の研究<sup>1),2)</sup>と同様に炭酸化による改質が認められ、未精製ガス活用による炭酸化は、再生骨材等の品質を安定化させる有効な手法になり得ると言える。

## (2) 破砕値および安定性

BS 812 法による破砕値試験の結果を図-6 に示す。炭酸化期間 7 日の再生骨材の破砕値は、炭酸化前に対して同等かやや大きくなり、既往の研究<sup>2)</sup>とは異なる傾向を示した。ただし、その変化量は小さく、骨材品質上の有意差ではないものと考えられる。

図-7 には、安定性試験の結果を示す。ここに、再生骨材の耐凍害性は、一般に JIS A 5022 附属書 D で規定される FM 凍害指数により評価されるが、再生粗骨材 L や再生細骨材には対応していないため、本研究では試験の統一性を考慮して JIS A 1122 の安定性試験を採用している。試験の結果、損失質量は炭酸化によりいずれも少なくなっており、既往の研究<sup>2)</sup>の FM 凍害指数と同様の傾向にあった。なお、今回の試験範囲では、RMG、RLS は JIS 5308 附属書 A の規定を満足する結果であった。

### 3.2 CO<sub>2</sub> 固定量の評価

#### (1) 質量増分

炭酸化による再生骨材等の質量増分の経時変化を図-8~10 に示す。全てのケースにおいて炭酸化による質量増加が確認され、再生粗骨材は最大 1.7%，再生細骨材は 3.1%，電柱破砕材は、0.7% の質量増加が認められた。経過日数ごとに見ると、質量増分は 1~2 日までが支配的であり、以降、粗骨材の系は緩やかに増加し、細骨材の系は質量増分が減退する傾向を示した。特に養生温度 60℃ の細骨材の系は減退の傾向が顕著であった。質量増分が減退する理由として、炭酸化反応後に生成される水分が加温により乾燥・逸失することが考えられるが、こ

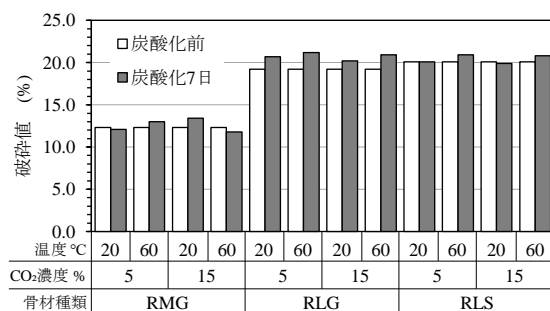


図-6 炭酸化前後の破砕値

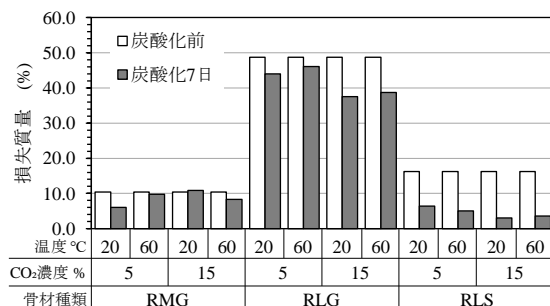


図-7 炭酸化前後の損失質量

の原因究明も 3.1(1)と同様、今後の課題としたい。

#### (2) TG-DTA に基づく炭酸カルシウム増加量

RLS の炭酸化前および炭酸化後 (CO<sub>2</sub> 濃度 15%，温度 60℃，湿度 60%RH) の TG-DTA 結果を図-11 および図-12 に示す。また、この結果から式(1)により求めた炭酸カルシウム含有量の推移を図-13 に示す。

$$CaCO_3 = \frac{M_c}{44.01 / 100.09} \quad (1)$$

ここに、CaCO<sub>3</sub>：炭酸カルシウムの含有量 (%)

M<sub>c</sub>：500~800℃付近の質量減少率 (%)

標本数が n=1 のため、データの拡充による検証が必要であるが、この結果において炭酸カルシウムの増加量に CO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> のモル質量比 (44.01/100.09) を乗じて求めた試料質量に対する CO<sub>2</sub> 固定量の質量分率は、1.8% (18 kg-CO<sub>2</sub>/t) となり、図-9 における炭酸化期間 7 日時点の質量増分 1.65% と概ね符合する。すなわち、本研究で求めた質量増分は、炭酸カルシウムの増加量から推定され

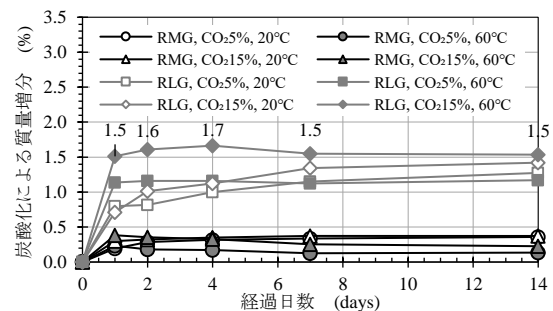


図-8 炭酸化期間と質量増分の関係 (再生粗骨材)

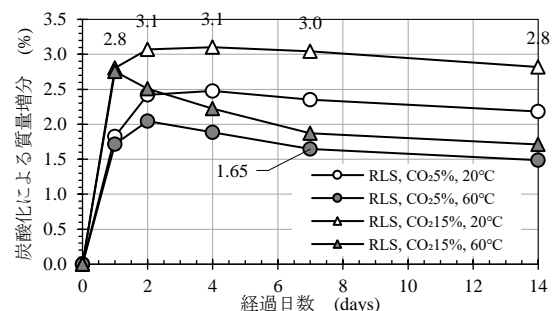


図-9 炭酸化期間と質量増分の関係 (再生細骨材)

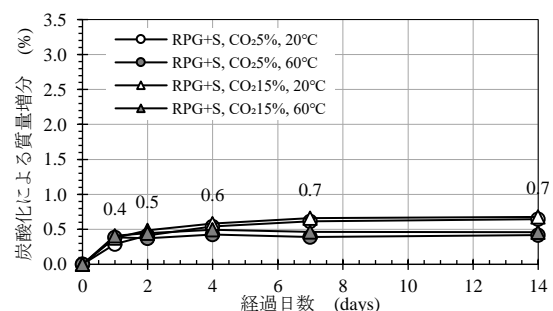


図-10 炭酸化期間と質量増分の関係 (電柱破砕材)

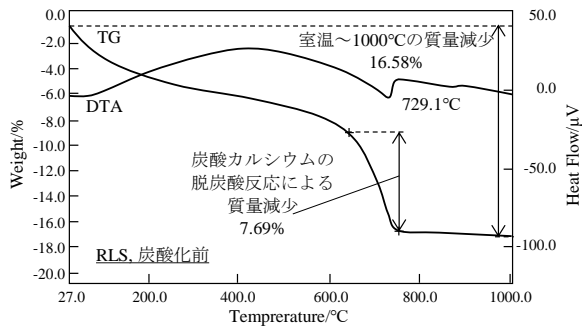


図-11 炭酸化前の TG-DTA 測定結果の例 (RLS)

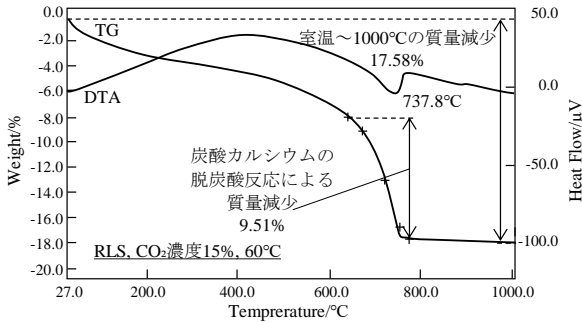


図-12 炭酸化後の TG-DTA 測定結果の例 (RLS)

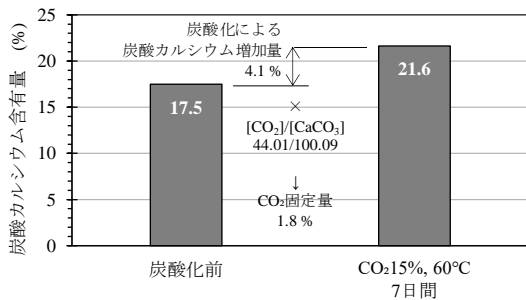


図-13 炭酸カルシウム含有量算定結果の例 (RLS)

る CO<sub>2</sub> 固定量と整合的であり、CO<sub>2</sub> 固定量を評価する簡便な指標とすることは妥当なものと考えられる。

このとき、質量増分の結果から、各試料の CO<sub>2</sub> 固定量は、再生粗骨材で最大 17 kg-CO<sub>2</sub>/t、再生細骨材で 31 kg-CO<sub>2</sub>/t、電柱破砕材で 7 kg-CO<sub>2</sub>/t ということになる。電柱破砕材の CO<sub>2</sub> 固定量が他と比べて少ないのは、電柱に用いられるコンクリートが低 W/C の配合で、かつ遠心締固めにより緻密なため、炭酸化範囲が付着モルタルの極表面層に留まったことが考えられる。したがって、電柱破砕材に関して CO<sub>2</sub> 固定量を増加させるには、効率的な炭酸化促進条件の設定が今後の課題と言える。

### 3.3 コンクリートの品質変化

#### (1) スランプ・空気量

練上り直後および 60 分経過後の各配合のスランプおよび空気量試験の結果を図-14 および図-15 に示す。

練上り直後のフレッシュ性状は、いずれもベース配合と同等で、コンクリート製造は十分可能な性状であった。

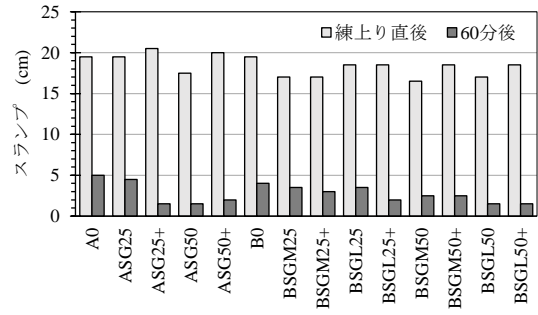


図-14 スランプ試験結果

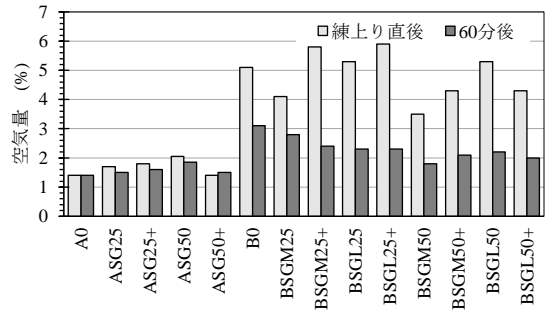


図-15 空気量測定結果

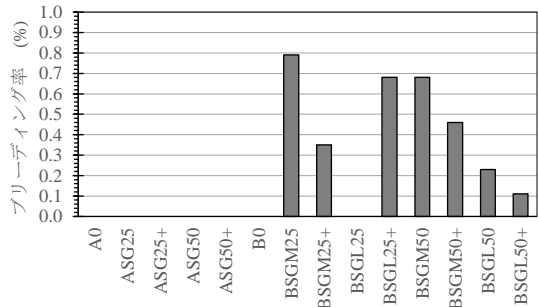


図-16 ブリーディング試験結果

特に A 配合については、炭酸化した電柱破砕材の使用により混和剤使用量が低減されていることから、製造面において有利な結果と解釈できる。

一方、60 分経過後のスランプおよび空気量は、全ての配合においてロス量が大きくなった。これは、ベース配合も同様の傾向であることから、使用した混和剤の種類によるものと考えられる。なお、B 配合では、炭酸化の有無によらず再生骨材等を使用した場合に空気量のロス量がやや大きくなっている。既往の研究<sup>9)</sup>では、再生細骨材の微粒分が空気量ロスに影響することを指摘しており、強制炭酸化した再生骨材等においても同様の機構により空気量ロスが大きくなったものと推察される。

#### (2) ブリーディング

ブリーディング試験の結果を図-16 に示す。A 配合は富配合かつ高性能減水剤を用いているため、全てのケースでブリーディングが生じなかった。一方、B 配合は、再生骨材を使用した配合でブリーディングが認められ、

一部例外はあるが、炭酸化によってそのブリーディング率の減少傾向が認められた。既往の研究<sup>7)</sup>において、炭酸カルシウムはC<sub>3</sub>Sの初期水和を促進することが示されており、本研究においても、炭酸化により増加した炭酸カルシウムがC<sub>3</sub>Sの水和を促進することによって、ブリーディング低減に寄与したものと推察される。

### (3) 圧縮強度・弾性係数

圧縮強度および弾性係数試験の結果を図-17 および図-18 に示す。A 配合において、再生骨材の置換率増大に伴い、圧縮強度・弾性係数は低下する傾向が認められるものの、強制炭酸化した再生骨材等のケースではその傾向が改善され、置換率 25% では概ねベース配合と同等の強度が得られた。B 配合も概ね同様の傾向であるが、RLG を置換率 25% で用いた配合では、ベース配合より強度が増進する結果となった。炭酸化によるコンクリート強度の増進は、絶乾密度の増大・吸水率の低下が示唆する再生骨材自身の緻密化とともに、増加した再生骨材内の炭酸カルシウムが骨材周囲の水和を促進することで、遷移帯を緻密化したためと考えられる。なお、これらの結果が再生骨材のロット等の影響によらず、定常的な効果であるかは更なる検証が必要である。

以上の結果から、耐久性等の検証は引き続き必要であるものの、未精製ガス相当のCO<sub>2</sub>濃度により強制炭酸化した再生骨材等は、電柱を含むコンクリート利用に対し、強度面においても十分適用可能なものと考えられる。

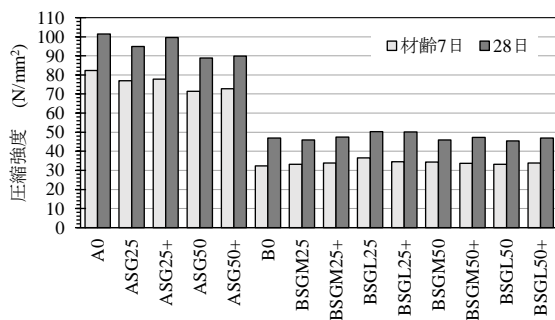


図-17 圧縮強度試験結果

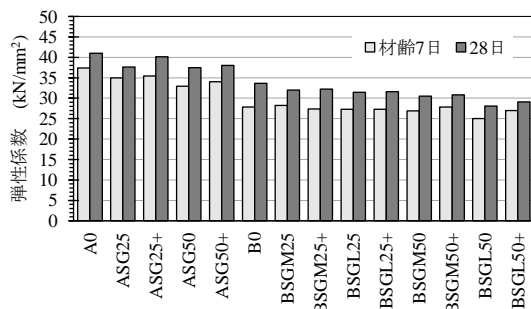


図-18 弾性係数試験結果

## 4. 結論

本研究により得られた以下の知見より、火力発電所等から排出される未精製ガスを用いて強制炭酸化した再生骨材、電柱破砕材の利用は、資源循環とCO<sub>2</sub>固定化に対して有効な手段となり得る。

- (1) 再生骨材、電柱破砕材ともに、CO<sub>2</sub>濃度 15% 以下の強制炭酸化によって絶乾密度、吸水率等の改善が認められた。
- (2) 強制炭酸化によるCO<sub>2</sub>固定量は、炭酸化後の質量増分から推定すると、再生骨材で最大 31kg-CO<sub>2</sub>/t、電柱破砕材で最大 7kg-CO<sub>2</sub>/t 程度の効果が見込まれる。
- (3) 強制炭酸化した再生骨材等を使用したコンクリートのスランブ、空気量は一般のコンクリートと概ね同等であり、ブリーディングは低減される傾向にあることを確認した。また、再生骨材利用による圧縮強度の低下傾向を改善し、骨材置換率 25% 程度であれば、一般のコンクリートと同等強度が得られることを確認した。

## 参考文献

- 1) 松田信弘, 鈴木創太, 伊代田岳史: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1791-1796, 2016.
- 2) 松田信弘, 伊代田岳史: 炭酸化による低品質再生骨材の改質技術の提案と改質再生骨材がコンクリートに与える影響, コンクリート工学論文集, Vol.30, pp.65-76, 2019.
- 3) 佐藤晴紀, 小木曾一欽: 天然炭酸カルシウムと人造炭酸カルシウムの識別, 関税中央分析所報, No.59, pp.101-112, 2019.
- 4) 田中雅章, 大村剛, 岩田数典, 前田直文: 廃棄コンクリート柱から製造される再生骨材を活用した遠心締固めコンクリート柱に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.355-360, 2007.
- 5) 小山明男, 濱田康平, 本間雅人, 菊池雅史: 撤去コンクリート電柱を用いた再生骨材コンクリートの性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.74, No.643, pp.1537-1542, 2009.
- 6) 田端辰吾, 宮里心一, 羽瀨貴士, 網野貴彦, 田中秀周: 再生骨材 L 中の細粒分量がモルタルのフレッシュ性状及び硬化性状に及ぼす影響, 土木学会第 66 回学術講演会概要集, V-607, pp.1213-1214, 2011.
- 7) V. S. Ramachandran and Zhang Chun-mei: Influence of CaCO<sub>3</sub> on Hydration and Microstructural Characteristic of Tricalcium Silicate, II cement, Vol.3, pp.129-152, 1986.