

高炉スラグ微粉末を用いた 解体コンクリートの曝露条件による CO₂ 固定量の相違

広島大学大学院 学生会員 ○徳久 陽一
 広島大学大学院 学生会員 赤崎 大希
 広島大学大学院 フェロー会員 河合 研至

1. 背景・目的

コンクリートに関わるライフサイクルでの CO₂ 排出量 (LCCO₂) を的確に把握するためには、解体コンクリートが固定する CO₂ 量を的確に把握しておく必要がある。筆者らはこれまでに普通ポルトランドセメントを使用した解体コンクリートの CO₂ 固定量について検討を行っており、比較のため本研究では、結合材の一部に高炉スラグ微粉末を使用した解体コンクリートから再生骨材を製造し、その存置期間における CO₂ 固定量について、曝露条件を変えて検討した。

2. 実験概要

2.1 試料の作製と曝露

本研究では、プレキャストコンクリート製品会社の不要コンクリート製品を破碎処理し、再生骨材Mを作製した。解体した不要コンクリート製品の配合表を表-1に示す。このコンクリートはセメントの20%を高炉スラグ微粉末に置換している。

得られた再生骨材Mを粒径 0~0.3, 0.3~0.6, 0.6~1.2, 1.2~2.4, 2.4~5.0, 5.0~10.0, 10.0~(mm) にふるい分けを行い、ふるい分けした試料を各粒径範囲ごとに温度・湿度が一定に管理された室内(温度 25℃, 湿度 60%)で、底の浅い容器に平らに入れて曝露した。これを乾燥条件とし、さらに、解体コンクリートが屋外に曝露される状況を想定して乾湿繰返し条件を設定した。乾湿繰返し条件では、4日に1回程度純水を散布し、含水率が均一になるようにかき混ぜた。試料の曝露期間は91日とし、データの採取日は曝露開始から0, 1, 3, 7, 14, 28, 91日とした。

表-1 配合表

W/(C+BF) (%)	単位量 (kg/m ³)					
	W	C	BF	S	G	Ad
40.7	166	326	82	676	1031	2.2

2.2 試験方法

所定の期間曝露したのち、試料を示差熱・熱分析装置により室温から 1000℃に上げ、450℃~500℃付近を Ca(OH)₂ からの脱水(H₂O)、750℃~800℃付近を CaCO₃ の分解(CO₂)とみなし、試料中の Ca(OH)₂ および CaCO₃ の含有量を測定し CO₂ の固定量を算出した。

なお、測定した試料中には、骨材が含まれるため、測定したデータは骨材補正してセメントペースト中における Ca(OH)₂, CaCO₃ の含有量として求めた。

3. 結果と考察

3.1 曝露条件と CaCO₃ 含有率

各試料・曝露条件ごとに、曝露期間と CaCO₃ 含有率を図-1~図-2に示す。図-1~図-2より、乾燥条件にお

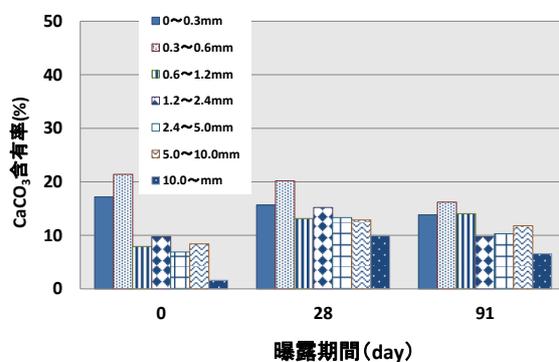


図-1 曝露期間と CaCO₃ 含有率 (乾燥条件)

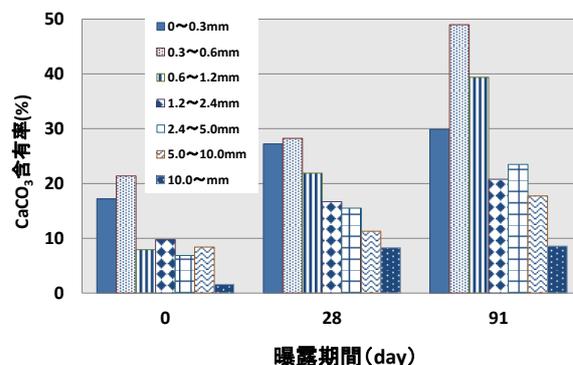


図-2 曝露期間と CaCO₃ 含有率 (乾湿繰返し条件)

いて炭酸化はほとんど進行しなかった。91日の乾燥条件と乾湿繰返し条件を比較すると、乾湿繰返し条件の方がCaCO₃含有率が約10%~20%多く含んでおり、炭酸化が著しく進行している結果となった。これは炭酸化反応によるCa(OH)₂の消費を補うために、固相から、Ca(OH)₂が溶出し、Ca(OH)₂の消費が促進されたためであると考えられる。また粒径範囲に注目すると、粒径が細かいほど炭酸化が促進され、より多くのCO₂を固定する傾向が見られた。

3.2 結合材の相違による比較

結合材の一部に高炉スラグ微粉末等の混和材を使用することによるCO₂固定量の相違を検討するために、解体コンクリートの結合材として普通ポルトランドセメントを使用した既往の研究との比較を行った。各曝露期間のCaCO₃含有率から0日のCaCO₃含有率をそれぞれ差し引き、その差は曝露期間の平方根に比例して増加すると仮定して近似した。粒径0.3~0.6mmにおける乾燥条件、乾湿繰返し条件の結果を一例として、それぞれ図-3、図-4に示す。本研究では各曝露期間に試料を2回採取し、それぞれについて測定を行ったため、平均値で示すのではなく、それぞれの結果を「本研究1回目」、「本研究2回目」として示した。なお、既往の研究での測定は1回である。

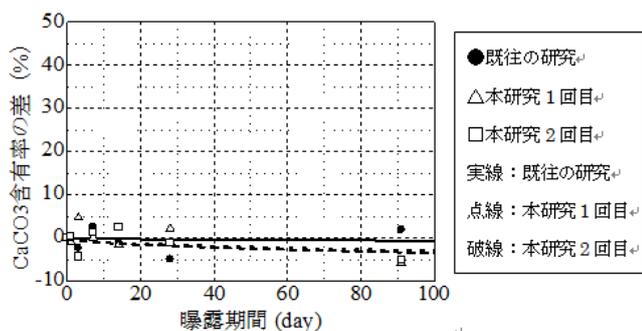


図-3 近似曲線 (乾燥条件)

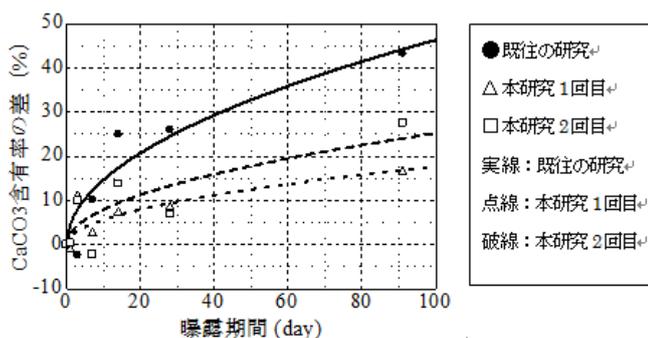


図-4 近似曲線 (乾湿繰返し条件)

図-3より、乾燥条件においては、既往の研究と本研究で大きな差異は見受けられず0%付近に曲線が位置していることから、どちらも炭酸化がほとんど進行していないと考えられる。すなわち、解体したコンクリートから再生骨材を製造後、雨の掛からない場所に放置した場合には、CO₂固定を期待することはほとんどできない。

図-4より、乾湿繰返し条件においては、近似曲線は既往の研究の結果の方が本研究の結果よりも大きなものとなった。CaCO₃含有率の差が曝露期間の平方根に比例して増加するとしたときの近似曲線の係数、いわゆる中性化速度係数に相当する係数(単位:%/√day)は、既往の研究で4.63、本研究の1回目で1.77、2回目で2.52となった。本研究における係数は、既往の研究の数値の38~54%に相当し、高炉スラグ微粉末の置換率よりも数値の低下が大きい。高炉スラグ微粉末の潜在水硬性でアルカリが消費されるに伴い、カルシウム化合物が炭酸化しにくい化合物に変化している可能性が考えられるが、解体に用いた不要コンクリート製品の種類が既往の研究と本研究では異なること、解体までの材齢がいずれも不明であることなどから、一概に両者を同一条件で比較することはできない。ただし、この結果は、普通ポルトランドセメントを用いた解体コンクリートで計算されるCO₂固定量から混和材の置換率分を差し引くことで、混和材を含む場合の解体コンクリートのCO₂固定量を求めることが、CO₂固定量を過剰に見積もる可能性を示唆するものであり、解体コンクリートのCO₂固定量算出に当たっては注意を要すると思われる。

3.3 LCCO₂ 試算

ここでは、解体コンクリートによるCO₂固定の考慮が、コンクリートのLCCO₂に及ぼす影響を定量的に把握するため、本実験で解体したコンクリートと同じ配合の鉄筋コンクリート100m³のライフサイクルを想定してインベントリ分析を行った。インベントリ分析を行った範囲は、使用材料の製造、鉄筋コンクリートの製造・施工、解体、中間処理、輸送の各工程である。今回使用したインベントリデータを表-2に示す。

材料起源のCO₂排出量は、本実験で用いたプレキャスト

トコンクリート製品の配合表から材料(ポルトランドセメント,粗骨材,細骨材,高炉スラグ微粉末)の使用量を計算し,各々のインベントリデータに乗じて算出した. 製造・施工起源の CO₂ 排出量は,コンクリートを 1m³ 製造・施工するにあたって使用する軽油,重油,購入電力の量を計算し,各使用量を各々のインベントリデータに乗じて算出した. 解体・中間処理起源の CO₂ 排出量は,使用した機械の燃料消費量と電力の消費量を計算し,各々のインベントリデータに乗じて算出した. 輸送起源の CO₂ 排出量は,既往の研究¹⁾と同様に 10 tトラックを使用して,材料と解体コンクリートを距離 50km 輸送したと仮定し算出した.上述の各工程で発生した CO₂ 排出量の和を総 CO₂ 排出量とする.

また,100m³ の鉄筋コンクリートが解体され,その解体コンクリートの全量が再生骨材になり,曝露されて固定した CO₂ 量を CO₂ 固定量として算出した. なお解体したコンクリートの粒度分布は本実験で作成した解体コンクリートと同じであるとし,CaCO₃ 含有率は 3.1 章で求めた結果を用いた. 本実験での一回目と二回目の測定のそれぞれにおける曝露期間91日目のCaCO₃含有率と曝露期間0日目のCaCO₃含有率の差をとり,一回目と二回目を平均した.その数値を各粒径範囲の再生骨材量に乗じて,鉄筋コンクリート 100m³における CO₂ 固定量を算出した.その結果,乾燥条件で 793.4kg-CO₂/100m³, 乾湿繰返し条件では 2538.5kg-CO₂/100m³となった.

また,鉄筋コンクリート 100m³の総 CO₂ 排出量から各条件の CO₂ 固定量を差し引いて LCCO₂ を算出した.

図-5 に CO₂ 固定を考慮しない場合と,曝露条件別に CO₂ 固定を考慮し,総 CO₂ 排出量から CO₂ 固定量を差し引いた場合の LCCO₂ の結果を示す.

CO₂ 固定を考慮したとき,乾燥条件での LCCO₂ 低減率は小さいが,乾湿繰返し条件のもとでは,LCCO₂ が 4.8%以上低減される結果となった.これは,輸送と解体・中間処理の工程で排出される CO₂ 量とほぼ同量の CO₂ 量に相当する. 解体コンクリートは屋外に曝露されることがほとんどであるため,現実的には乾湿繰返し条件程度の効果があると考えられ,解体を含めたコンクリートのライフサイクルでの CO₂ 排出量を検討す

る場合には,解体時の CO₂ 固定を的確に考慮する必要があるといえる.

表-2 インベントリデータ

材料名	単位 (*)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /*)
ポルトランドセメント	t	766.6
粗骨材	t	2.9
細骨材	t	3.7
高炉スラグ微粉末	t	24.1
電気炉鋼	t	755.3
軽油	L	2.64
A重油	L	2.77
購入電力	kWh	0.41
ディーゼル10t	km・t	0.122

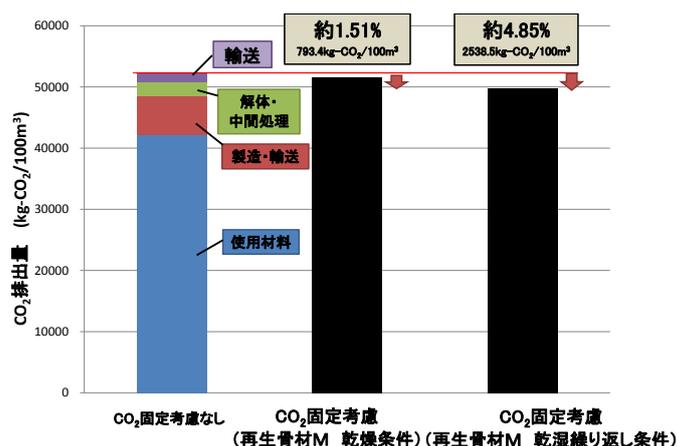


図-5 CO₂ 固定化の有無による LCCO₂ の比較

4.結論

(1)解体コンクリートにおける CO₂ 固定では,粒径が細かいほど炭酸化の進行が速く, CaCO₃ をより多く含んでいる. 曝露条件の観点からは,乾燥条件よりも乾湿繰返し条件の方が CO₂ を多く固定する.

(2)結合材に高炉スラグ微粉末を置換することにより,無置換と比較して CO₂ 固定量が減少し,その減少率は置換率を大きく上回った.

(3)乾湿繰返し条件における解体コンクリートの CO₂ 固定を考慮することは,算出されるコンクリートの LCCO₂ を 4.8%以上減少させることになる.

謝辞

本研究における不要プレキャストコンクリート製品はランデス（株）よりご提供いただいた。また，再生骨材の製造にあたっては，コトブキ技研工業（株）のご協力をいただいた。ここに記して衷心より謝意を表します。

参考文献

- 1) 河合研至，赤崎大希，澤井浩士：解体コンクリートの曝露条件による CO₂固定量の相違，第 66 回セメント技術大会講演要旨， pp. 218-219， 2012