

再生ガラスカレット骨材を用いたCO₂固定化インターロッキングブロックの開発
(その2:CCU材料の置換率の検討)

正会員 〇伏見 浩司² 同 笠井 浩¹ 同 向 俊成¹
同 巴 史郎¹ 北原 剛正²

再生ガラスカレット CCU材料 ブロック
CO₂固定 骨材 CCUCO(Carbon Utilized Concrete)

1. はじめに

近年、気候変動対策としてカーボンニュートラルの実現に向けてコンクリート中にCO₂を吸収させて炭酸カルシウムとして固定化させるCO₂固定化コンクリートが注目されている。

また、化石燃料に代わり、太陽光や風力、地熱といった再生可能エネルギーの導入が進められており、中でも太陽光発電設備は設置が急増している。ただし、設置面積の増加に伴って、破損や老朽化の為、廃棄する太陽光パネルも増えており、リサイクル技術の開発が課題となっている。本研究では、前報¹⁾から引き続き、太陽光パネル由来の再生ガラスカレットをコンクリート用骨材に再利用し、尚且つCO₂を吸収・固定化する機能を有するインターロッキングブロック(I.L.B)の開発を目的としている。本報では新たにCCU(Carbon Capture and Utilization)材料等を併用した場合のI.L.Bの強度性状を把握する為に実験検討を行ったものである。

2. 実験概要

(1) 使用材料と配合条件

使用材料を表-1に示す。太陽光パネル由来の再生ガラスカレットRGCは、導線等の不純物を取り除き、2~5mmに粒度調整してから使用した。セメントについては、コンクリート中のアルカリ量を抑え、アルカリシリカ反応(ASR)の抑制効果が期待できる高炉セメントC種の高含有高炉スラグ微粉末セメント(ECM)を使用した。

表-1 使用材料

種類	記号	品種・銘柄	密度 (g/cm ³)	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /t)
セメント	ECM	高炉スラグ高含有セメント:N社製	2.96	269.0
炭酸化混和材	γC ₂ S	ダイカルシウムシリケートγ相:D社製	3.06	124.5
CCU材料	Et	再生軽質炭酸カルシウム粉末:N社製	2.46	-390.0
細骨材	S	栃木県佐野市産硬質砂岩砕砂	2.63	3.7
粗骨材	G	栃木県佐野市産硬質砂岩七号砕石	2.63	2.9
粗骨材	RGC	再生ガラスカレット:粒径2~5mm	2.44	0.0
化学混和剤	AD	即時脱型用AE剤	1.03	*****

※CO₂排出量原単位:コンクリートライブラリー-134、他より

また、炭酸化によって微細粒子を形成してコンクリート中の空隙が緻密化する事が知られているダイカルシウムシリケートγ相を主成分とする特殊炭酸化混和材(記号:γC₂S)とCCU材料として、コンクリート工場の高アルカ

リ廃水中のCaとボイラー排ガス中のCO₂とを反応させて製造する再生軽質炭酸カルシウム(記号:Et)を使用した。

調査については細骨材率67%のインターロッキングブロックの調査を基とし、表-2に示すように、ECMセメントに対してγC₂SとEtを内割置換で添加した。

また、Etを使用すると、練り上がりが硬練りになる傾向が見られた為、コンシステンシーが等しく成る様に投入水量を約10%増やして調整した。

再生ガラスカレットを添加する場合には、七号砕石の置換とし、全骨材量に対して20%の置換とした。

表-2 調査条件

No.	記号	単位量(kg/m ³)										AD (P%)
		W/B (%)	W/P (%)	P (kg/m ³)	W	ECM	γC ₂ S	Et	S	G	RGC	
1	ECM100	27	27	430	116	430	0	0	1214	598	0	0.05
2	ECM70γ30	38.5	27	430	116	301	129	0	1216	599	0	0.05
3	ECM70Et30	43.9	30.7	423	130	296	0	127	1178	580	0	0.05
4	ECM40γ30Et30	76.8	30.7	423	130	169	127	127	1180	581	0	0.05
5	ECM40γ30Et30RGC20	76.8	30.7	423	130	169	127	127	1180	202	352	0.05

※B=ECM, P=ECM+γC₂S+Et

(2) 試作ブロックの成形方法と養生方法

ブロックの成形は、ブロック1個当たりのコンクリートを計量して型枠に投入した後、振動数6000vpmの振動とプレスを併用し、振動時間は5秒として、即時脱型方式で成形した。

養生方法については、成形の翌日から高濃度炭酸化養生を7日間連続で行い、その後、材齢14日まで気中養生した場合と、気中養生だけを材齢14日まで行った場合の2条件を実施した。尚、高濃度炭酸化養生条件は温度50℃、相対湿度50%、CO₂濃度80%とした。各々の養生期間について纏めると、次の通りである。①:気中養生を1日後、高濃度炭酸化養生を7日間、屋内で気中養生を6日間実施した。②:屋内で14日間の気中養生を実施した。

(3) 試験項目

曲げ強度:JIS A 5371 推奨仕様B-3「インターロッキングブロック」に準拠した。

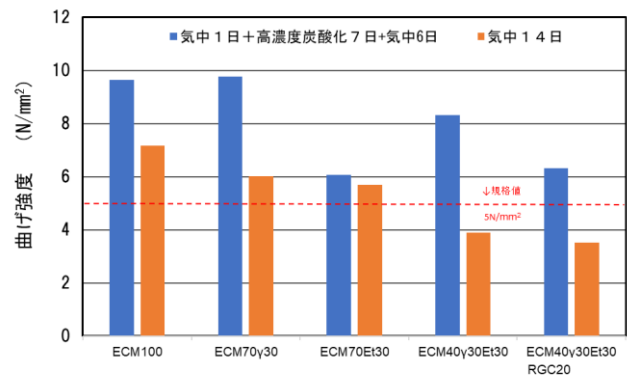
炭酸化深さ:JIS A 1152に準拠し、フェノールフタレイン1%エタノール溶液を噴霧後、ブロック表面から着色域までの距離を測定して炭酸化深さとした。

全炭素量(TC)分析:破断面のブロックから試料を採取

し、全有機炭素計（島津製作所製T O C-L）により全炭素量（T C）の測定を行った。

4. 実験結果および考察

(1) 曲げ強度の結果



図－1 C C U材料を添加した調合の曲げ強度
炭酸化混和材 γ C₂SとC C U材料E tをE C Mの置換とした場合の曲げ強度の結果を図－1に示す。
 γ C₂SをE C Mの30%置換としたECM70 γ 30では、①高濃度炭酸化養生を実施した場合にセメント量が減少してW／Bが高くなっているにも関わらず、E C M100%の調合と同等以上の曲げ強度を示した。これに対して②気中養生だけの場合にはE C M100%の調合に対して、曲げ強度は低下する結果となった。これは、 γ C₂Sを添加したコンクリートは高濃度炭酸化養生した場合、炭酸塩で空隙が充填される効果で強度が増進されるが、気中養生の場合、大気中のC O₂濃度が低濃度の為、炭酸化の進行が遅く、反応生成物の形成も少量であった為と考えられる。

E tをE C Mの30%置換としたECM70Et30については、①高濃度炭酸化養生を実施した場合、②気中養生だけの場合のどちらの養生条件に於いてもE C M100%の調合に対して曲げ強度は低下する結果であった。これは、E C Mの置換とした為、セメント量が減少してW／Bが高くなっている事と、E tは化学的に安定している為、 γ C₂Sの様な炭酸化反応が生じないと考えられ、高濃度炭酸化養生による強度増進効果についてはE t以外の水和生成物の炭酸化反応によるものと考えられる。

γ C₂SとE tを併用したECM40 γ 30Et30と更にR G Cを使用したECM40 γ 30Et30RGC20の場合では、高濃度炭酸化養生をする事により、E tだけを使用したECM70Et30の場合よりも強度が大きくなっていた。また、R G Cを骨材の置換とした場合、前報での報告¹⁾と同様にR G Cの骨材強度が小さい事が影響して曲げ強度が低下する傾向であったが、何れの調合も①高濃度炭酸化養生を実施した場合には、I. L. Bの曲げ強度の規格値（5N/mm²）を上回る結果であった。これに対して②気中養生だけの場合には、 γ C₂Sと

E tを併用した場合と更にR G Cを使用した場合のどちらも、W／Bが高くなる為に曲げ強度は規格値（5N/mm²）を下まわる結果となった。

(2) 試作ブロックの炭酸化深さ

試作ブロックの炭酸化深さの例を表－3に示す。方法としてはフェノールフタレイン1%エタノール溶液を噴霧してブロック表面から着色域までの距離から炭酸化深さを測定した。その結果、ECM100は平均24.0mm、ECM70 γ 30の場合は平均13.0mmであったが、ECM70Et30及びECM40 γ 30Et30、ECM40 γ 30Et30RGC20の場合は中心部まで、ほぼ炭酸化していた。

表－3 試作ブロックの炭酸化状況の例

種類	No.1(ECM100)	No.2(ECM70 γ 30)	No.3(ECM70Et30)
炭酸化深さ	上下面から24.0mm	上下面から13.0mm	全面炭酸化(50mm)
断面写真			

(3) 全炭素量の分析結果とC O₂削減率の試算

T C分析による前述の5調合のC O₂固定量の測定結果と材料由来の排出量、削減率を表－4に示す。

また、比較対象としてO P C 100%調合で、同様のI. L. Bの材料由来のC O₂の排出量 335 kg/m³に対する削減率を計算した。

※O P CのC O₂排出量原単位 766.6 kg-CO₂/t：コンクリートライブラリー134より

表－4 C O₂固定量の測定結果とC O₂排出量、削減率

No.	記号	排出量 (kg/m ³)	固定量 (kg/m ³)	実質の 排出量 (kg/m ³)	削減率 (%)
1	ECM100	122	79.4	42.6	87.3
2	ECM70 γ 30	108	76.2	31.8	90.5
3	ECM70Et30	36	84.6	-48.6	114.5
4	ECM40Et30 γ 30	22	116.9	-94.9	128.2
5	ECM40Et30 γ 30RGC20	21	141.6	-120.6	135.9

※削減率(%) = (335－実質の排出量) / 335 × 100

5. まとめ

炭酸化養生を実施した試作ブロックの中で、C O₂の削減率が100%を超える所謂カーボンネガティブの調合はNo. 3、No. 4、No. 5となり、いずれもE tを使用している調合であった。強度についてはE tを混和する事で低下する傾向にあるがI. L. Bの曲げ強度は、5N/mm²の規格値は満足していた。

謝辞：本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP21014）を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果を活用したものである。

参考文献：1) 笠井浩ほか：再生ガラスカレット骨材を用いたC O₂固定化インターロッキングブロックの開発（その1：再生ガラスカレット骨材の置換率の検討），pp. 1393-1394，2023年度日本建築学会大会

1 鹿島建設（株）技術研究所
2 （株）タイガーマシン製作所

1 Kajima Technical Research Institute
2 Tiger Machine Co.Ltd.