

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3：アルカリシリカ反応の検討)

正会員 ○向 俊成¹ 同 笠井 浩¹
同 伏見 浩司² 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 CUCO

1. はじめに

近年、気候変動対策とし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。一方、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。また、将来的に廃棄する太陽光パネルも増えることが予想されており、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、かつ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)の開発を行っている。本報ではガラスカレットを骨材として使用した場合の曲げ強度および飽和 NaCl 溶液浸漬法(デンマーク法)によるアルカリシリカ反応性について検討の結果を報告するものである。

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(記号: RGC)は、導線等の不純物を取り除き、粉碎して1mm以下としたものおよび2~5mmに粒度調整したものを使用した。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含有高炉スラグ微粉末セメント(高炉セメントC種 記号: ECM)を使用した。また、CCU材料として、コンクリート製品工場の高アルカリ廃水中のCaイオン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。

調合を表-2 に示す。細骨材率67%のI.L.Bの調合を基本とした。Etを使用する場合はセメントに対し30%の内

割置換で使用し、練り上がりが硬くなる傾向が見られた為、成型に必要なコンシステンシーを得るため投入水量を14kg/m³増やして調整した。

再生ガラスカレットについては、全骨材量に対して20%の置換の場合はRGC(l)を碎石の置換とし、100%の置換の場合はRGC(l)とRGC(s)を混合して使用した。

(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300×300×50mmのブロックを成型した。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材齢7日まで行った場合と、気中養生だけを材齢7日まで行った場合の2条件を実施した。なお、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。

(3) 試験方法

ブロックを切断し、270×50×50mmの試験体を採取し、中央1点載荷(支点間距離200mm)による曲げ強度試験を実施した。また、破断した試験体の断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、炭酸化範囲の確認と上下面からの炭酸化深を測定した。

表-1 使用材料

種類	記号	摘要	密度(g/cm ³)
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント	3.16
	ECM	高炉セメントC種	2.96
混和材	Et	再生軽質炭酸カルシウム	2.46
細骨材	S	砕砂	2.63(表乾)
粗骨材	G	碎石	2.63(表乾)
骨材代替	RGC(s)	再生ガラスカレット:粒径1mm以下	2.44(絶乾)
	RGC(l)	再生ガラスカレット:粒径2~5mm	2.44(絶乾)
混和剤	AD	AE剤	1.03

表-2 調合条件

調合	W/P (%)	W/B (%)	空隙率 (%)	単位量(kg/m ³)								AD (kg/m ³)	養生 方法
				W	OPC	ECM	Et	S	G	RGC(s)	RGC(l)		
ECM+RGC0%(C)	27.0	27.0	5.0	116	-	430	-	1214	598	-	-	0.215	炭酸化
ECM+RGC20%(C)	27.0	27.0	5.0	116	-	430	-	1214	207	-	362	0.215	炭酸化
ECM+RGC100%(C)	27.0	27.0	5.0	116	-	430	-	-	-	563	1118	0.215	炭酸化
ECM+Et30%+RGC20%(C)	30.7	43.9	5.9	130	-	296	127	1177	201	-	351	0.212	炭酸化
ECM+RGC20%(A)	27.0	27.0	5.0	116	-	430	-	1214	207	-	362	0.215	気中
OPC+RGC20%(A)	27.0	27.0	5.0	116	430	-	-	1230	210	-	367	0.215	気中

※B=OPC+ECM、P=OPC+ECM+Et

Development of Interlocking Block with Immobilized Carbon Dioxide
Using Recycled Glass Cullet Aggregate
(No.2 Examination of Replacement Rate of C.C.U Material)

MUKAI Toshinari, KASAI Hiroshi,
FUSHIMI Kohji, KITAHARA Takemasa

ASR による潜在的な膨張性を飽和 NaCl 溶液浸漬法により評価した。曲げ試験と同様に採取した 270×50×50mm の試験体の両側面にコンタクトゲージ用の測定チップを接着し（標点間距離 100mm）、50℃の飽和 NaCl 溶液に浸漬した。浸漬前および浸漬後 7 日間隔でコンタクトゲージによる膨張量の計測を行い、浸漬前の測定値に対する膨張量を算出した。

3. 実験結果および考察

（１）曲げ強度の結果

試験体の曲げ強度と炭酸化の進行状況を表-3 に示す。RGC の置換率を変化させた ECM+RGC0%(C)、ECM+RGC20%(C)、ECM+RGC100%(C)を比較すると、RGC の置換率が高くなるにつれて曲げ強度が低下した。一方、RGC の置換率が最も大きい ECM+RGC100%(C)の曲げ強度は 5.64N/mm² であり、通常使用される I.L.B の曲げ強度である 3.0N/mm² や 5.0N/mm² より大きく、RGC の置換率を 100%としても通常の I.L.B は製造可能と考えられる。また、炭酸化の深さに対しては RGC の置換率による影響は明確に見られなかった。

Et の使用の有無を変化させた ECM+RGC20%(C)と ECM+Et30%+RGC20%(C)を比較すると、Et の使用によって曲げ強度が低下し、炭酸化深さが大きくなった。これは Et が炭酸化に対して安定であるため不活性な粉体としてふるまい、調合の W/B が大きくなったことによるものと考えられる。

（２）アルカリシリカ反応性の評価

飽和 NaCl 溶液浸漬法により測定された各試験体の膨張率を図-1 に示す。何れのブロックも浸漬期間 91 日における膨張率が 0.1%未満となっており、ASR に対し無害と

判定された。また、何れの試料においてもひび割れ等の外観の変状は見られなかった。その中でも、ASR に対する対策を行っていない OPC+RGC20%（A）と RGC の置換率が大きい ECM+RGC100%（C）の膨張率が大きくなった。ECM+RGC0%(C)、ECM+RGC20%(C)、ECM+RGC100%(C)を比較すると、RGC の置換率が大きいほど膨張率が大きくなった。RGC の置換率を増やすことで無害の判定の範囲内ではあるが、ASR に対するリスクがやや大きくなるものと考えられる。また、ECM+RGC20%（A）と OPC+RGC20%（A）を比較すると、セメント種類を ECM に変更することで膨張率が小さくなった。RGC に対しても従来のセメント種類の変更による ASR 対策が有効であることが確認された。

ECM+RGC20（A）、ECM+RGC20%（C）および ECM+Et30%+RGC20%（A）は膨張量に大きな変化は見られなかった。炭酸化や Et の使用は本実験で使用したような I.L.B においては ASR の対策として効果が低いものと考えられる。

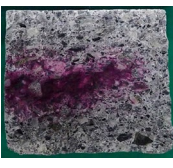
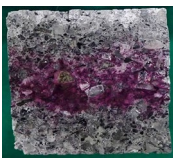
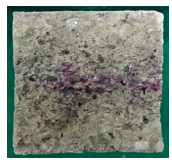
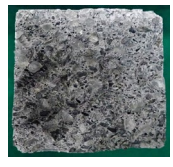
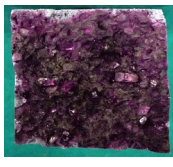
4. まとめ

再生ガラスカレットを使用した試作 I.L.B は、何れの配合においても飽和 NaCl 溶液浸漬法により ASR に対し無害と判定された。また、その中でも結合材を ECM とすることによって、ASR による劣化のリスクをさらに低減できることが明らかとなった。

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の成果を活用したものである。また、試験の実施にあたり、金沢工業大学宮里心一教授に、ご指導頂いた。

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 CO₂ 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），2023 年度日本建築学会大会，1393－1394

表-3 曲げ強度と炭酸化状況

	ECM+RGC0%(C)	ECM+RGC20%(C)	ECM+RGC100%(C)
曲げ強度	8.68N/mm ²	7.40N/mm ²	5.64N/mm ²
炭酸化状況	 17.6mm	 15.6mm	 19.4mm
	ECM+Et30%+RGC20%(C)	ECM+RGC20%(A)	OPC+RGC20%(A)
曲げ強度	5.12N/mm ²	7.84N/mm ²	7.87N/mm ²
炭酸化状況	 25mm 以上	 0mm	 0mm

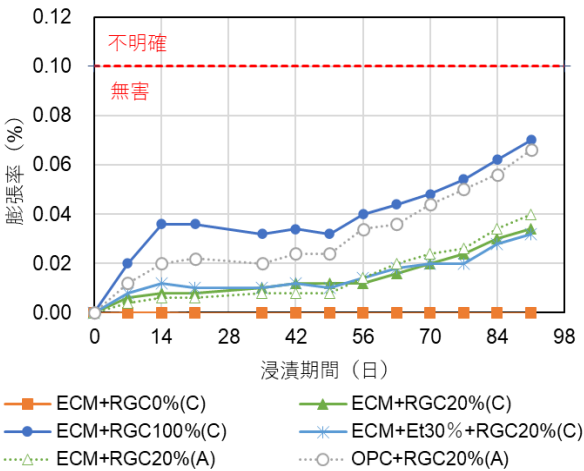


図-1 飽和 NaCl 溶液浸漬法の測定結果

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.