CO_2排出量“マイナス”を実現するCO_2吸収根固めブロックの現地実証試験

大成建設(株) 技術センター　正会員○近藤祥太，正会員　宮原茂禎
正会員　大脇英司，正会員　畑　明仁
日建工学(株) 技術部　正会員　飯干富広，清水里香

1．はじめに

2050 年カーボンニュートラルの実現に向け，建設分野においても CO_2 削減への貢献が期待される．国土交通省の重点プロジェクトである「国土交通省グリーンチャレンジ」においても，「インフラのライフサイクル全体でのカーボンニュートラル，循環型社会の実現」の中で「省 CO_2 に資する材料等の活用促進，技術開発」に向けた取組みが挙げられている [1]．著者らは，国土交通省関東地方整備局の公募事業「現場ニーズと技術シーズのマッチング」[2]を活用し，「CO_2吸収根固めブロック」の現地実証実験を 2022 年 8 月から開始した．この CO_2吸収根固めブロックには，セメントを使用せずに高炉スラグ微粉末とカルシウム系刺激材を結合材とし，さらに排ガスの CO_2 を吸収・固定した「リサイクル炭酸カルシウム」を添加することで材料製造に係る CO_2 排出量をマイナスとするカーボンリサイクル･コンクリート [3,4]を使用した．加えて，アミノ酸の一種であるアルギニンを用いて，水中での微細藻類の生長促進効果を見込む環境活性コンクリート [5,6]を併用することで，ブロックの製造，備蓄，供用のライフサイクルのすべての段階において CO_2 排出量の削減や CO_2 吸収を可能とした（**図-1**）．



図-1　CO_2吸収根固めブロック

本稿では，CO_2吸収根固めブロックの概要と現在までの現地実証結果を報告する．

2．CO_2吸収根固めブロックのCO_2吸収・固定の機構

根固めブロックは河川の堤防決壊防止や決壊時の緊急対策に用い，各地の河川事務所などに常蓄されている．根固めブロックはライフサイクルの段階（製造，備蓄，供用）によって設置環境が異なり，備蓄中は気中にあり，供用中は水没する点に特徴がある．これを考慮して CO_2 の吸収・固定が促進されるように設計した．

- **製造（1st stage）**：CO_2 排出量の多いセメントを使用せずに高炉スラグ微粉末とカルシウム系刺激材を結合材とし，「リサイクル炭酸カルシウム」を用いるカーボンリサイクル･コンクリートを使用して CO_2 を吸収・固定し，CO_2 排出量の収支をマイナスとした．「リサイクル炭酸カルシウム」は廃棄物や副産物のカルシウムに排ガスなどの CO_2 を吸収・固定して製造したカーボンリサイクル材料である．
- **備蓄（2nd stage）**：気中で備蓄されるため，カーボンリサイクル･コンクリートの CO_2 の吸収（中性化）が促進されるように配合を調整した．根固めブロックには鋼材の防食性能は求められないため，CO_2 の吸収・固定の促進が有効である．
- **供用（3rd stage）**：供用中は水没するため，大気中の CO_2 の吸収は期待できない．そこで，環境活性コンクリート製のパネルを根固めブロックの表面に貼付し，藻類の生長を促して CO_2 の吸収･固定を促進した．

キーワード　CO_2吸収，根固めブロック，カーボンリサイクル･コンクリート，炭酸カルシウム，環境活性コンクリート，アルギニン
連絡先　〒245-0051　神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1　大成建設（株）技術センター　TEL 045-814-7221

表-1　カーボンリサイクル・コンクリートの配合

スランプフロー [cm]	空気量 [%]	W/B [%]	W/P [%]	単位量[kg/m³]				
				水	粉体		細骨材	粗骨材
					カーボンリサイクル結合材	炭酸カルシウム		
70±7.5	6±1.5	55	30.3	175	318	260	610	848

環境活性コンクリートは，アミノ酸の一種のアルギニンを練り込むことにより，水中での微細藻類の生長の促進が確認されている．

表-2　炭酸カルシウムの品質

項目	測定値
密度（g/cm³）	2.46
比表面積（cm²/g）	3000
$CaCO_3$ 含有率（%）	93.1
湿分（%）	3.8
酸化アルミニウム（%）	0.14

３．CO_2 吸収根固めブロックの現地実証

３．１　根固めブロックの製造・施工性の実証

（１）材料および配合

根固めブロックの品質規格は「護岸用コンクリートブロックの製作管理基準」[7]に圧縮強度 17.7N/mm²（180kgf / cm²）以上，単位体積質量 2250kg/m³ 以上と定められており，これを満足するものとした．根固めブロックの製造に用いたカーボンリサイクル･コンクリートの配合は室内および実機による試験練りにより決定した（**表-1**）．使用した炭酸カルシウムはコンクリート系排水中のカルシウムと工場の排ガスの CO_2 から製造した（**表-2**）．なお，備蓄時の CO_2 吸収促進を目的に，中性化速度が大きくなる配合を選定した．コンクリートの製造は，粉体量が多いためスランプフローによる管理とし，寒冷地での適用も踏まえ，所定の凍結融解抵抗性を得るために空気量の管理値を 6±1.5%とした．カーボンリサイクル・コンクリートの材料製造時の CO_2 排出量は，セメントを使用せずにかつ，CO_2 を吸収した炭酸カルシウムを使用した効果により -48kg/m³ となり，カーボンネガティブを達成した．

（２）使用したコンクリートの品質

現地でのブロック製造に用いたコンクリートを用いて圧縮強度試験と微量成分の溶出試験を実施した．圧縮強度試験は「コンクリートの圧縮強度試験方法」（JIS A 1108）に準拠し，溶出試験は土木学会「硬化したコンクリートからの微量成分溶出試験方法（案）」（JSCE-G 575）に準拠した．テストピースの圧縮強度（**図-2**）は材齢 7 日で 30N/mm² を超え，規格値（17.7N/mm²）を満足した．また，材齢 91 日まで強度が増進することを確認できた．圧縮試験時に測定した単位体積質量はいずれも 2250kg/m³ 以上であり，圧縮強度とともに根固

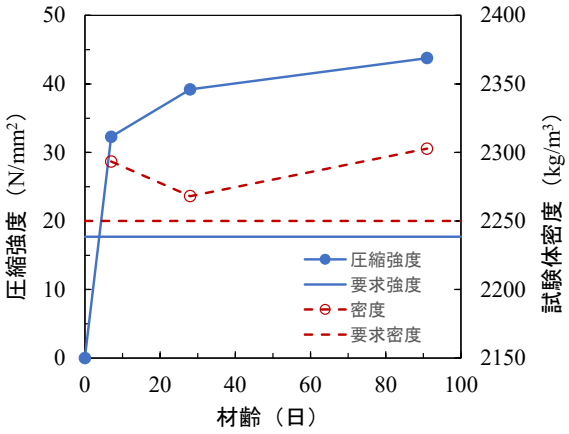


図-2　圧縮強度および密度

表-3　溶出試験結果

元素	溶出量 (mg/L)	土壌環境基準 (mg/L)
カドミウム	<0.0003	0.003
鉛	<0.001	0.01
六価クロム	<0.005	0.05
水銀	<0.0003	0.0005
ひ素	<0.001	0.01
セレン	<0.001	0.01
ふっ素	<0.08	0.8
ほう素	<0.005	1

表-4　カーボンリサイクル・コンクリートのフレッシュ性状

	スランプフロー	空気量	単位容積質量
実測値	75cm	4.9%	2277kg/m^3
目標値/規準値	70±7.5cm	6±1.5%	2250kg/m^3 以上



写真-1　スランプフロー測定状況



モバイルプラントによる練混ぜ



打込み



脱型後



パネル貼付，備蓄開始

写真-2　根固めブロック製造状況

めブロックに要求される品質を有していた．溶出試験はいずれの有害元素についても排水基準よりも厳しい基準値が定められている土壌環境基準を下回っており（**表-3**），水中で供用しても環境安全性が確保されることを確認した．

（3）根固めブロックの現地製造・施工試験

根固めブロックは荒川河川敷の備蓄ヤードに隣接する作業ヤードにて，1t型(0.45m^3)を1基と3t型(1.25m^3)2基を製造した．コンクリートの製造には練混ぜ容量1m^{3}のモバイルプラントを用いた（**写真-1**）．予め計量した材料をフレコンバッグで運搬し，ミキサーに投入して，0.6m^3／バッチで練り混ぜ，6バッチを製造した．フレッシュ性状が目標値を満足することを確認し（**表-4**），ホッパーに積み込んで型枠に打ち込んだ．打ち込み面をコテで仕上げた後，湿潤した養生マットで覆い，材齢4日で脱型して現地で保管した．寸法誤差も規格値を満足した．高炉スラグを大量に使用するため，ブロックは白色となる．材齢27日において備蓄ヤードへ運搬し，備蓄を開始した．環境活性コンクリート製のパネルは備蓄開始時に取り付けた．現地製造･施工試験により，カーボンリサイクル･コンクリートを用いた根固めブロックは，既存製品と同様の施工方法，施工サイクルでの製造が可能であることが確認できた．

3．2　根固めブロックの曝露試験による備蓄中の CO_2 吸収・固定に関する実証

備蓄期間中の根固めブロックの CO_2 吸収量の評価を目的に，荒川河川敷の備蓄ヤードにて CO_2 吸収根固めブロックの曝露を開始した（**写真-2**）．今後，根固めブロックから試験体を回収し，中性化深さを測定して備蓄環境での中性化速度を求め，長期的な CO_2 吸収量を推定する予定である．

3．3 環境活性コンクリート製パネルの曝露試験による供用中の CO_2 吸収・固定に関する実証

（1）材料および配合

環境活性コンクリートは，水中設置時にコンクリート表面からアルギニンが徐々に溶出することで，付着する微細藻類が増加し，生長が促進されることが明らかにされている[5,6]．配合を**表-5**に示す．セメント質量に対して3%のアルギニンを添加した．

（2）環境活性コンクリート製パネルの水中曝露試験

環境活性コンクリート製パネルを水中に設置，付着藻類量を調査し，吸収可能な CO_2 量を推定する．

表-5　環境活性コンクリートの配合

スランプ [cm]	空気量 [%]	W/C [%]	s/a [%]	単位量[kg/m^3]				
				水	セメント	アルギニン	細骨材	粗骨材
10.0±2.5	4.5±1.5	46	38	147	320	9.6	700	1144

表-5 の配合で製造した縦幅 20cm，横幅 30cm，厚み 5cm のパネル（**図-3**）を水中に設置し，所定の期間経過した後に水中からパネルを引き上げる．その後，パネル 1 枚につき表面の 3 ヶ所から 5cm×5cm の範囲でブラシを用いて付着藻類を剥ぎ取り試料とする（**写真-3**）．吸光光度法によりクロロフィル a 量を測定し，微細藻類の付着量として求める．測定対象期間を 2022 年 10 月～2023 年 4 月（令和 4 年度調査）と 2023 年 4 月～（令和 5 年度調査）の 2 回として水中曝露試験を継続中である．

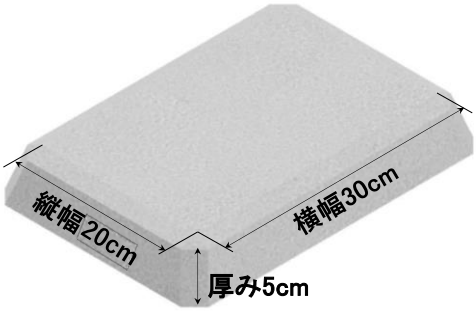
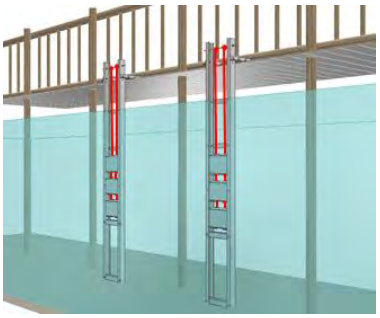


図-3　環境活性コンクリート製パネル

写真-4 に曝露実験の途中経過状況を示す．水面方向から数えて 2 段目に設置されているパネルが EAC-2，3 段目に設置されているパネルが EAC-3 であり，写真中の白抜きの四角が付着藻類の剥ぎ取りを実施した箇所である．設置 28 日後では，河床に近い EAC-3 のほうが環境活性コンクリートの表面に藻類が多く付着している状況が確認できた．今後，剥ぎ取った試料より分析したクロロフィル a の量を基に，ブロック表面への付着藻類の残存率等



水中設置状況のイメージ



付着藻類の剥ぎ取り



試料採取

写真-3　効果実証実験の実施状況

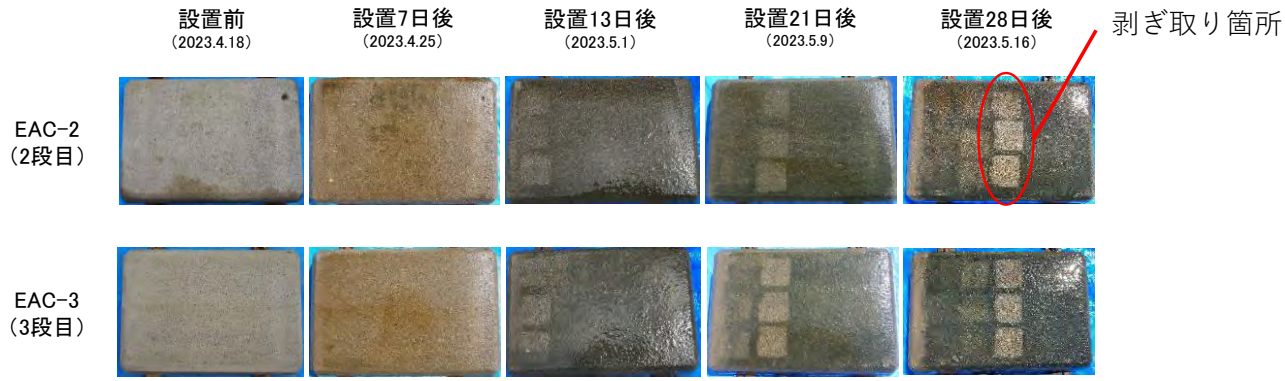


写真-4　令和 5 年度効果実証実験の途中経過

を想定した上で，環境活性コンクリート製パネルへの付着藻類による CO_2 吸収量について評価する予定である．

４．まとめ

カーボンリサイクル･コンクリートおよび環境活性コンクリートを用いたCO_2吸収根固めブロックの普及を目的として，現場ニーズと技術シーズのマッチングを活用した現地実証実験を開始した．ライフサイクルの各段階によって設置環境が異なる根固めブロックの製造，備蓄，供用の 3 段階で CO_2 を吸収･固定することを期待し，カーボンリサイクル･コンクリートにより製造した根固めブロックに環境活性コンクリートを用いたパネルを取り付けた．カーボンリサイクル･コンクリートを用いた根固めブロックの製品強度や単位体積質量は根固めブロックの品質規格を満足し，水中で有害成分の溶出がなく環境安全性を有することが確認できた．また既存の根固めブロックと同様の施工方法，施工サイクルでの製造が可能であることを実証した．

なお本実証実験においてはカーボンリサイクル･コンクリートの製造段階における CO_2 排出量が-48kg/m^3 であり，既に大きな CO_2 の排出削減を達成している．今後も引き続き現地実証を継続し，備蓄時および供用時の CO_2 吸収量を推定し，ライフサイクル全体での CO_2 削減効果を検討予定である．

なお，本検討は国土交通省関東地方整備局の公募事業「現場ニーズと技術シーズのマッチング」の一環として実施したものである．国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所をはじめとする関係各位に感謝致します．

参考文献

1) 国土交通省：「国土交通グリーンチャレンジ」をとりまとめました！～2050 年カーボンニュートラル、グリーン社会の実現に向けた国土交通省の重点プロジェクト～，
https://www.mlit.go.jp/report/press/sogo10_hh_000252.html，（参照 2023-07-27）
2) 国土交通省関東地方整備局：現場ニーズと技術シーズのマッチング，
https://www.ktr.mlit.go.jp/gijyutu/index00000037.html，（参照 2023-07-27）
3) 大成建設 HP：使えば使うほど二酸化炭素を削減！新たな未来をつくるカーボンリサイクル･コンクリートの秘密，https://www.taisei.co.jp/portal/tech/commentary/02.html（参照 2023-06-20）．
4) 大脇英司，荻野正貴，大沼寛知：T-*e*Concrete®/CarbonRecycle の特徴と社会実装例，電力土木，No.421，pp.70-74，2022
5) 上月康則，中西敬，佐藤和博，多良千鶴，西村博一，山口奈津美，岩城嘉宏，山中亮一：アミノ酸混和コンクリート表面上での付着藻類の生長特性に関する研究，海洋開発論文集，第 26 巻，pp.111-pp.116，2010.
6) 川島大助，田中実，佐藤和博，多良千鶴，西村博一，忰熊公子，森川裕之，中西敬：アミノ酸混和コンクリートによる付着藻類の生長特性及びアユの蝟集効果に関する研究，河川技術論文集，第 17 巻，pp.509-pp.512，2011.
7) 護岸用コンクリートブロックの製作管理基準，建関技調第 61 号，平成 8 年 6 月 27 日制定