新たなCCU材料を用いた低炭素型コンクリートの開発

株式会社不動テトラ

共同研究　日本興業株式会社

株式会社不動テトラ　横山 千恵

目次

・開発の背景

・現在開発されている主な低炭素型コンクリート

・CO_2吸収材について

・開発の流れ

・開発目標

・モルタル試験

・配合開発

・強度・耐久性試験

・被覆ブロックの製作

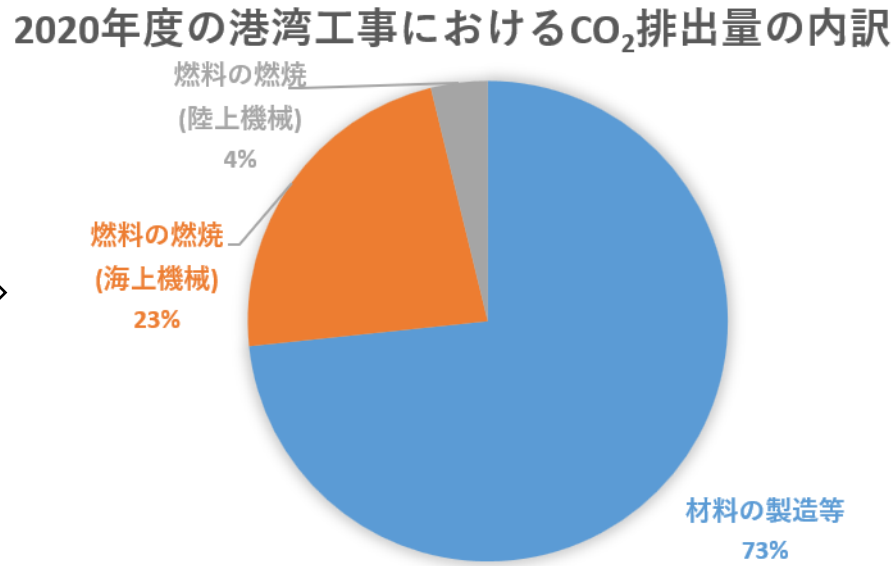
・おわりに

開発の背景　2050年カーボンニュートラル宣言→2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

港湾の脱炭素化を目指す（カーボンニュートラルポート）

港湾工事に着目すると

港湾工事におけるCO_2の排出量は材料由来がほとんど



辰巳ら,国土技術政策総合研究所資料,No.1249,2023をもとに作成

材料由来

コンクリートや鋼材が
主なCO_2発生源

材料に低炭素型材料を実装する
ことで大幅なCO_2排出量の削減

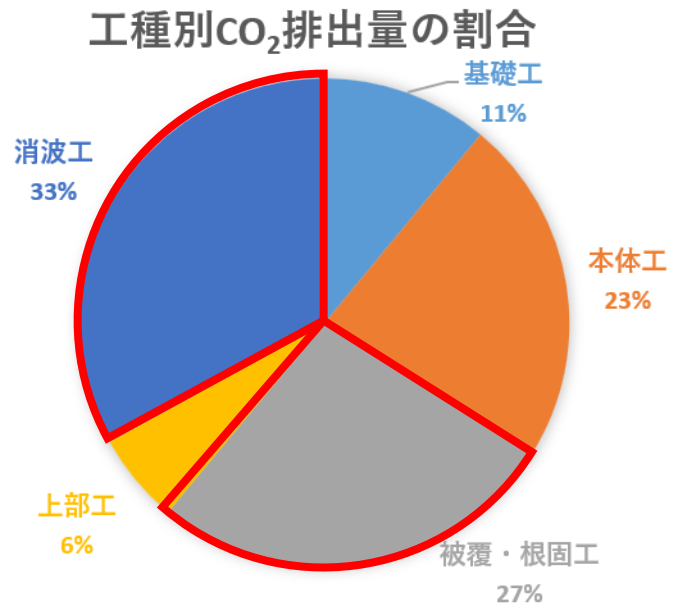
主な取組内容

例：「港湾工事における低炭素型材料の活用マニュアル」の策定

主な記載内容
- 低炭素型材料活用可能な対象工種
- 低炭素型材料の選定フロー
- CO_2排出量の評価方法

消波工、被覆・根固工の占める割合が非常に大きい

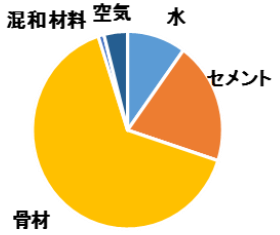
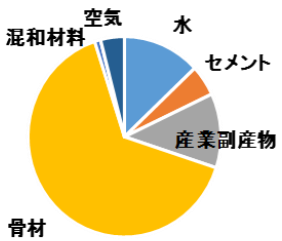
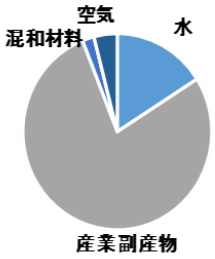
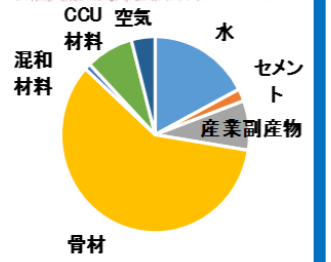
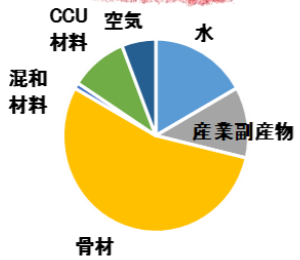
低炭素型材料の実装に最適



中村ら,土木学会論文集B3(海洋開発),2022 をもとに作成

現在開発されている主な低炭素型コンクリート

CCU材料（Carbon Capture and Utilization）

種類		一般的なコンクリート	No.1 セメント一部置換型	No.2 セメント全置換型	No.3 セメント一部置換 +CO_2吸収・固定型	No.4 セメント全置換 +CO_2固定型
材料構成			 CO_2削減率：10～80%	 CO_2削減率：最大80%	 CO_2削減率：ネガティブ	 CO_2削減率：ネガティブ
CO_2削減方法	セメント一部置換	－	○	－	○	－
	セメント全置換	－	－	○	－	○
	CO_2吸収	－	－	－	○	－
	CO_2固定（CCU材料）	－	－	－	○	○

現在最も普及している低炭素型コンクリート

低 ← コスト＆CO_2削減率 → 高

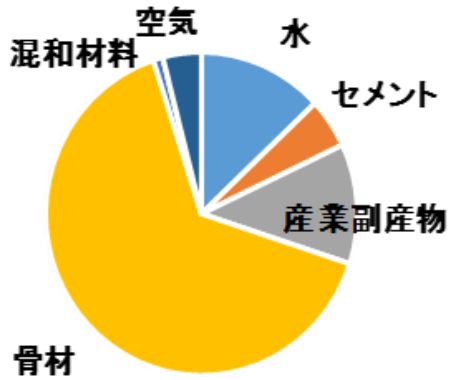
例：産業副産物を大量に使用した低炭素コンクリート

川端ら,材料(Journal of Society of Materials Science),2025

高炉スラグ微粉末・フライアッシュを大量に使用したコンクリートを検討

No.1

セメント一部置換型



CO_2削減率：10～80%

セメント一部置換型

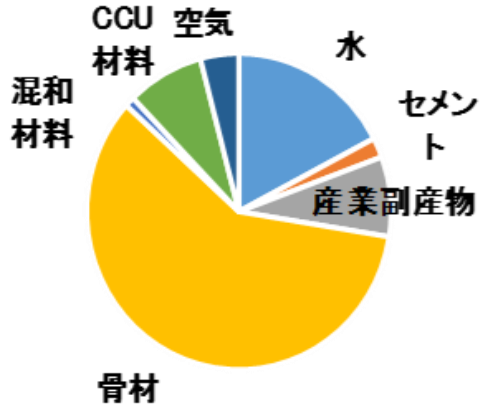
長所：扱いやすい・安価
短所：CO_2削減率が低め

セメント一部置換＋CO_2吸収・固定型

長所：CO_2削減率が高い
短所：価格が高い

No.3

セメント一部置換
+CO_2吸収・固定型



CO_2削減率：ネガティブ

高くなる理由



混和材が特殊で、CO_2を吸収・固定する専用の設備が必要
etc.

両方の長所を取り入れた
低炭素型コンクリートを目指す

扱いやすい・低コスト ＋ **CO_2削減率が高い**

開発目標①：CO_2削減率が80%を超える

→ セメント一部置換型のCO_2削減率の最大値

CO_2を固定する混和材
条件：扱いやすい・低コスト

CO_2吸収材

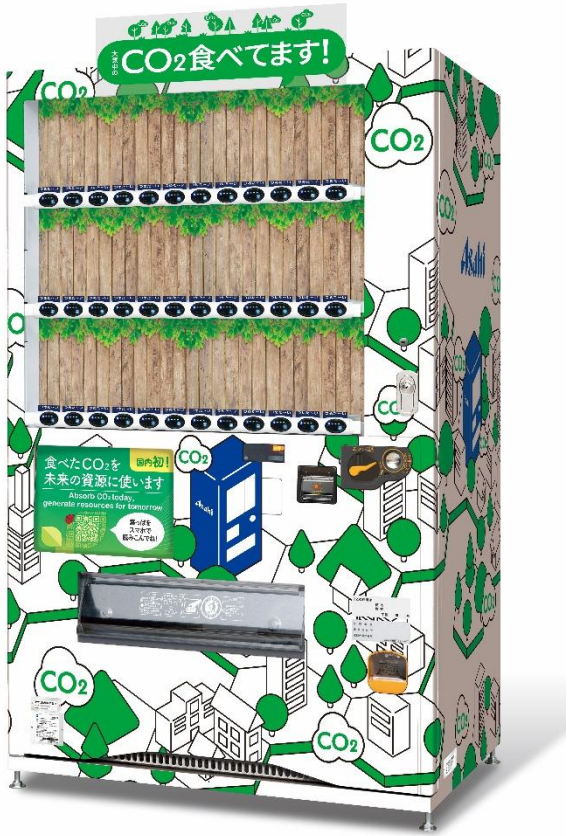
大気中のCO_2を吸収した副産物由来の吸収材（カルシウム源）を活用し、CO_2吸収済素材を建設材料として再利用
特長：**CO_2を吸収・固定するための設備が不要**

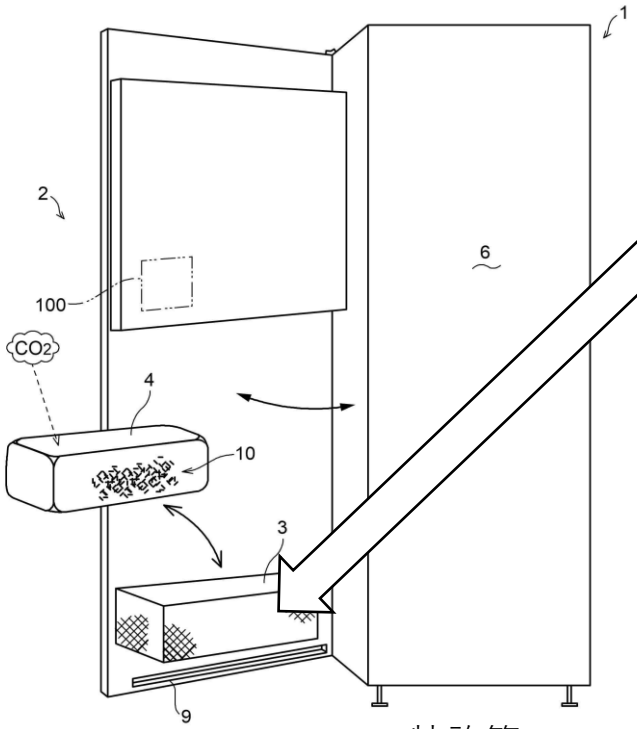


CO_2吸収材は粉体

コストアップを抑制

自販機の吸気口にCO_2吸収材を搭載
「CO_2を食べる自販機」
として設置が進む





CO_2吸収材の
設置位置

商品補充のタイミングでCO_2吸収材の回収および設置を行う

特許第7282338号より引用

CO_2を固定する混和材
条件：扱いやすい・低コスト

CO_2吸収材

大気中のCO_2を吸収した副産物由来の吸収材（カルシウム源）を活用し、CO_2吸収済素材を建設材料として再利用
特長：**CO_2を吸収・固定するための設備が不要**



六本木駅

コストアップを抑制

CO_2吸収量　約250kg/t

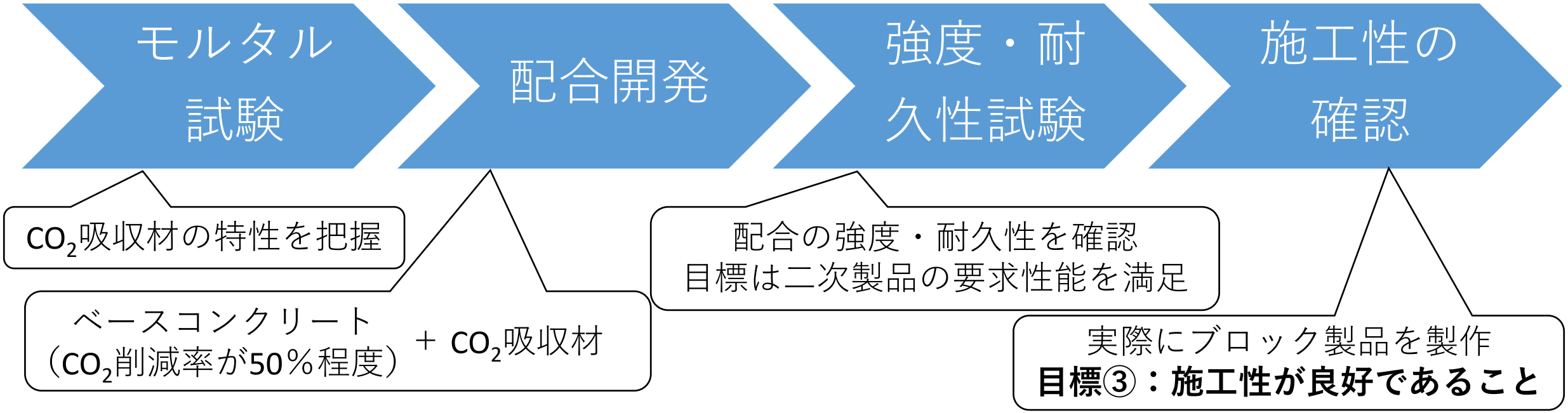
設置台数：約5000台(2025年末)

将来的に5万台の設置を目指す
→ CO_2吸収材の供給も増加

現在はCO_2吸収材の供給が多くない
小型のコンクリートブロック（二次製品）への適用から開始

開発目標②：二次製品の要求性能を満足

開発の流れ



開発目標：まとめ

① CO_2削減率が80％を超える・・・・・・・・・・・配合開発で確認

② 二次製品の要求性能(強度・耐久性)を満足・・・強度・耐久性試験で確認

③ 施工性が良好　・・・・・・・・・・・・・・・・・ブロック製作で確認

モルタル試験

配合試験：CO_2吸収材がワーカビリティに及ぼす影響を確認

セメント
↓
CO_2吸収材へ置換

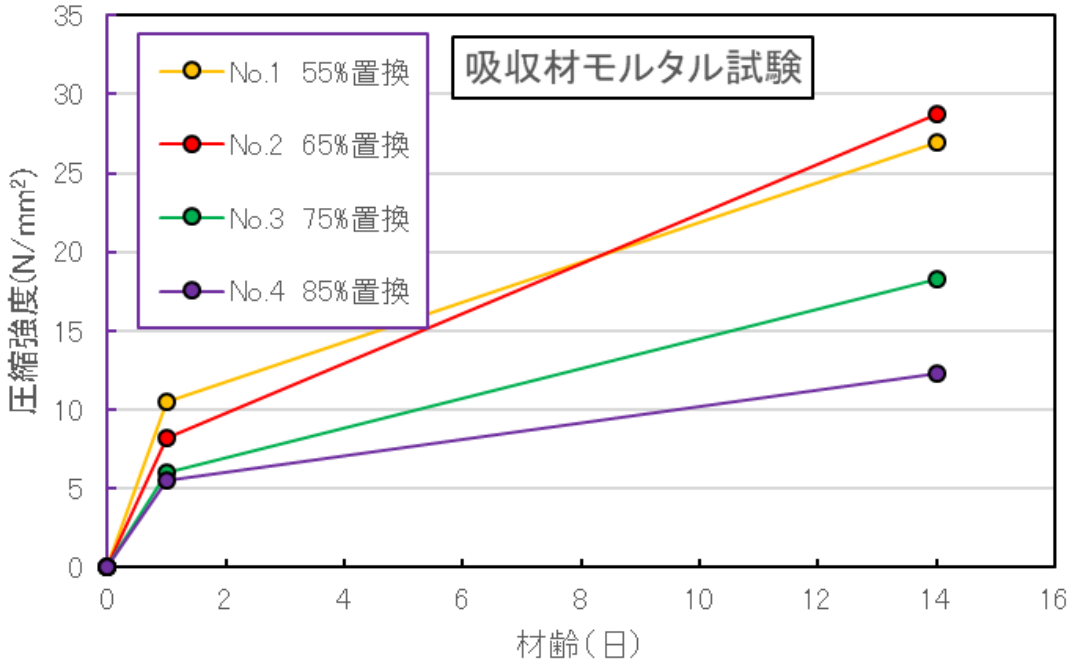
条件
水粉体比：50%
目標フロー：20cm



No.	セメント置換率(%)	単位量(kg/m³)				
		W	C	BFS	CO_2吸収材	S
1	55	251	226	276	-	1501
2	65	249	174	274	50	1497
3	75	247	124	272	99	1491
4	85	245	74	271	148	1484

W：水　C：セメント　BFS：高炉スラグ微粉末　S：骨材

強度試験：吸収材が強度発現に寄与するか確認



モルタル試験

水量の変化がほとんど無いまま目標フローを達成
分離しない事をハンドリングで確認

⇨ ワーカビリティに悪影響はない

強度試験

吸収材のセメント置換率が上がるほど強度が低下

⇨ 吸収材は強度発現に寄与しない

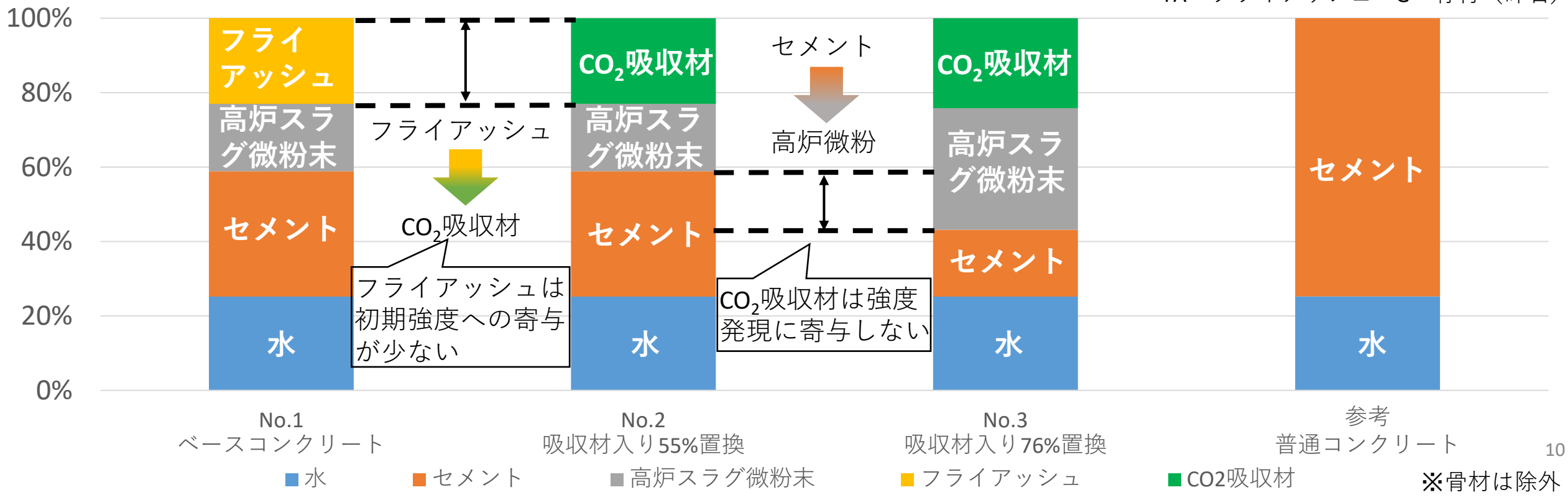
配合開発

フライアッシュを吸収材に置換

セメントを一部高炉スラグ微粉末に置換

No.	種類	単位量(kg/m³)							CO_2排出量削減率(%)（材料由来）
		W	C	BFS	FA	CO_2吸収材	S	G	
1	ベースコンクリート	175	234	126	160	-	683	934	41.0
2	CO_2吸収材入りver.1	175	234	126	-	160	695	935	54.5
3	CO_2吸収材入りver.2	175	125	227	-	168	691	929	**80.3**
参考	普通コンクリート	139	412	-	-	-	765	1058	-

FA：フライアッシュ　G：骨材（砕石）



※骨材は除外

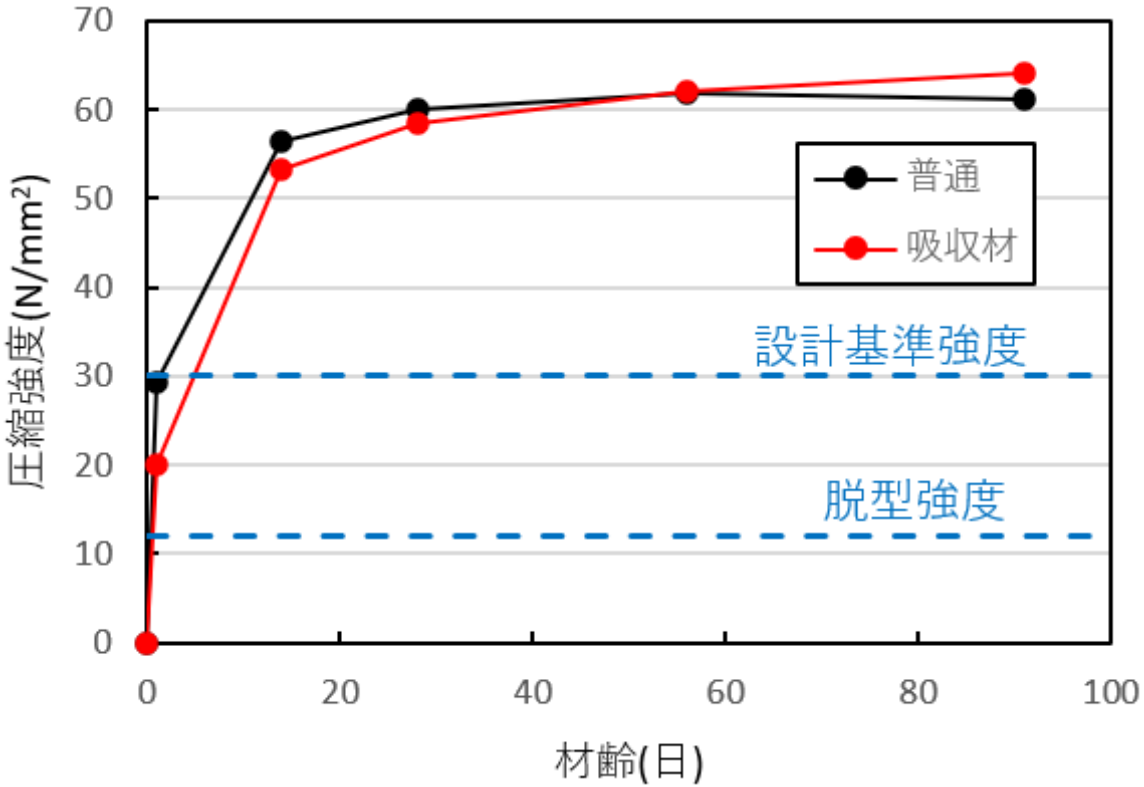
強度・耐久性試験

試験項目	試験方法	試験目的
圧縮強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法	強度特性値の把握
引張強度	JIS A 1113 コンクリートの割裂引張強度試験方法	圧縮強度と引張強度の関係性の確認
長さ変化率	JIS A 1129-2 モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法 第2部：コンタクトゲージ方法	長期的な寸法安定性や耐久性の評価
塩化物イオンの拡散係数（浸漬法）	JSCE-G 572 浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法	塩化物イオンの侵入に対する抵抗性の把握

強度・耐久性試験

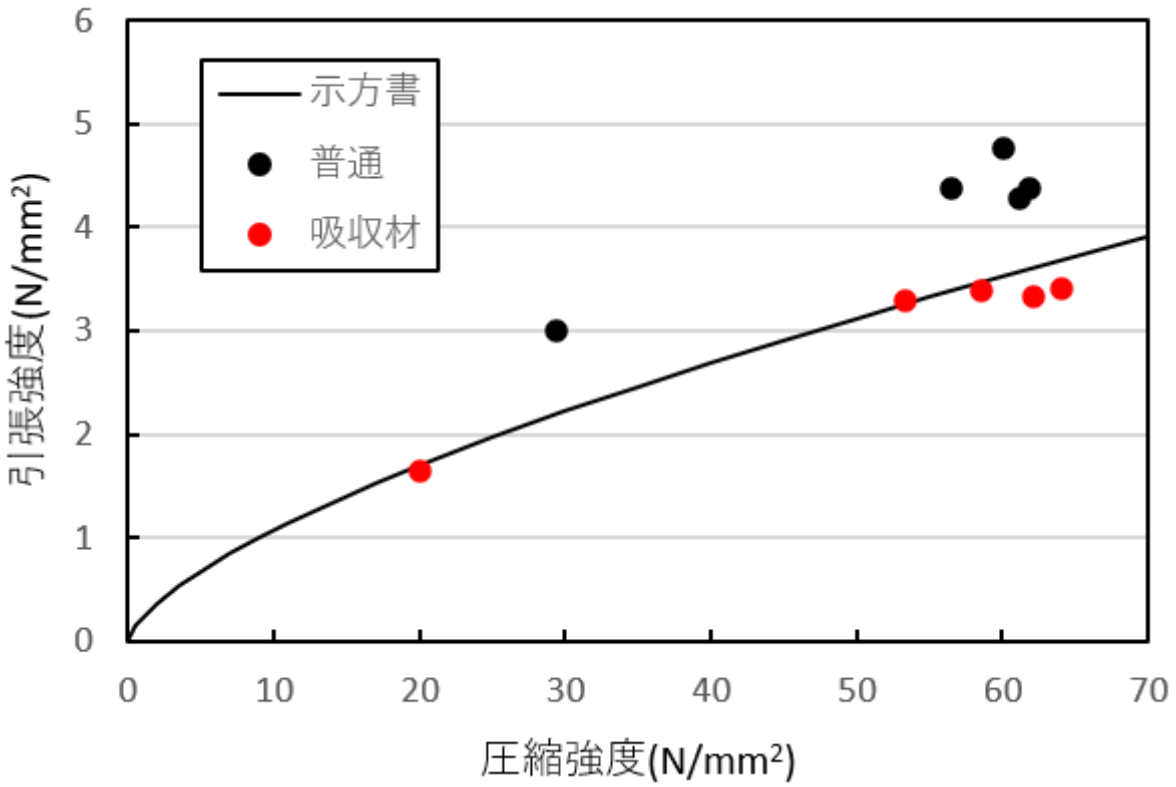
圧縮強度試験

二次製品の必要強度　　材齢1日：12N/mm²
材齢14日：30N/mm²



⇨ 目標強度発現
材齢1日：20.0N/mm²
材齢14日：53.3N/mm²

割裂引張試験



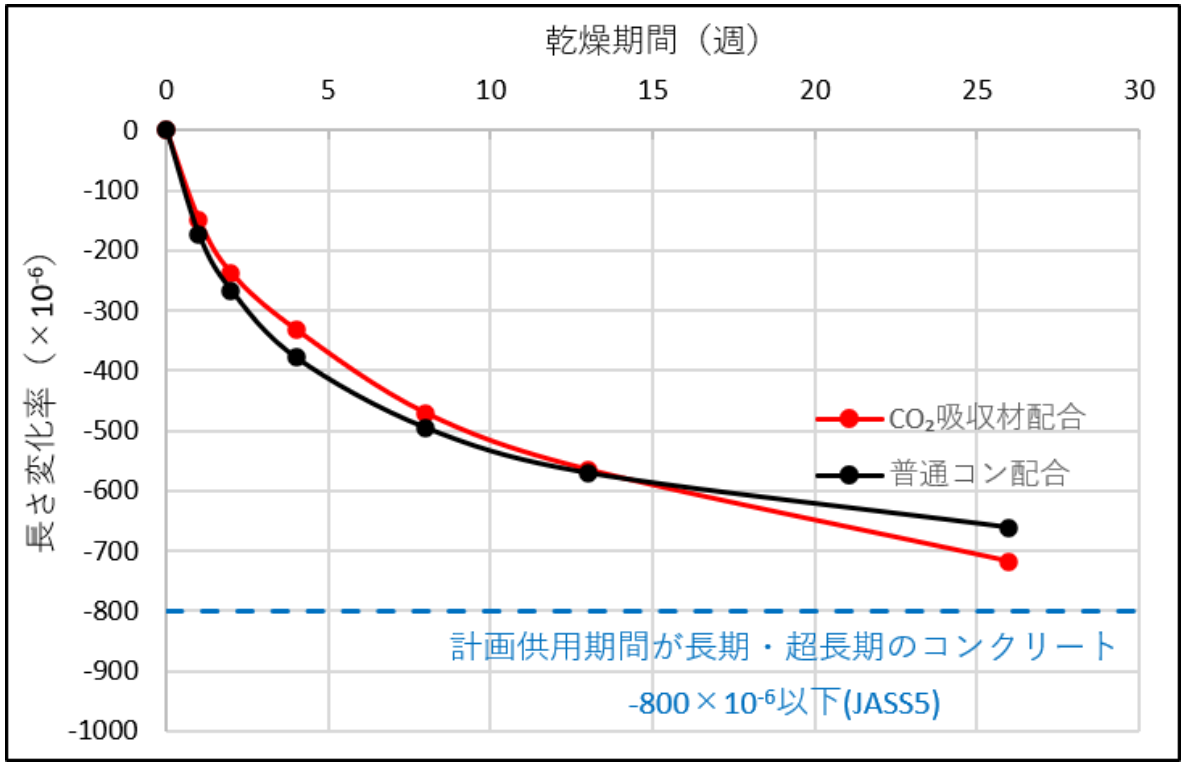
示方書の引張強度と圧縮強度の関係式

$$f_{tk} = 0.23 {f'_{ck}}^{2/3}$$

⇨ **普通コンクリートの式を適用可能**

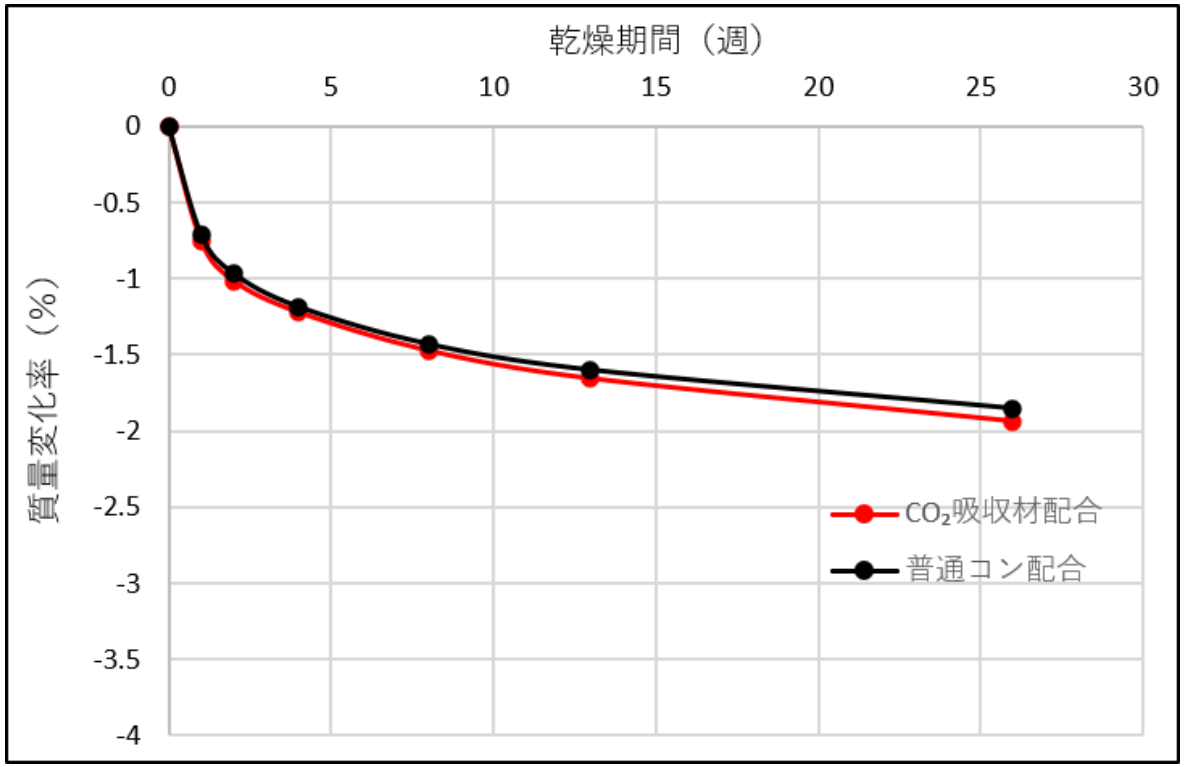
強度・耐久性試験

長さ変化率



CO_2吸収材配合の長さ変化率は
長期・超長期のコンクリートの乾燥収縮率の
基準(JASS5)である-800×10^{-6}以下

質量変化率

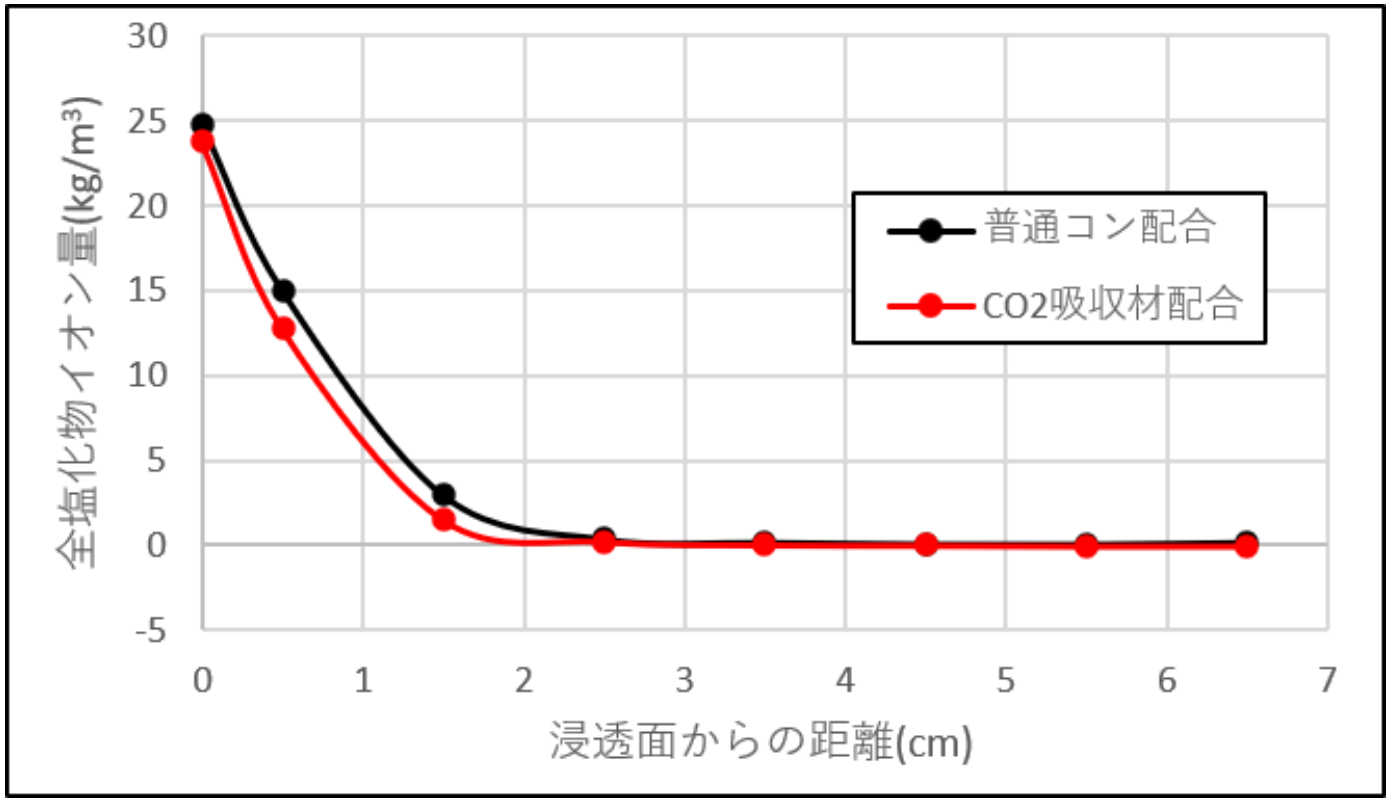


CO_2吸収材配合は普通コンクリートと概ね
同じ変化率

長さ変化・質量変化ともに、普通コンクリートと同等

強度・耐久性試験

塩化物イオンの拡散係数試験



	実験結果による見掛けの拡散係数 (cm^2/年)	示方書による拡散係数の予測値 (cm^2/年)
普通コン配合	1.70	1.77
CO_2吸収材配合	0.797	0.73

拡散係数は普通コンクリートと比べて低い
↓
普通コンクリート以上に
塩化物イオンの侵入に対する抵抗性が高い

被覆ブロックの製作

製作したブロック：藻場礁ペルメックス



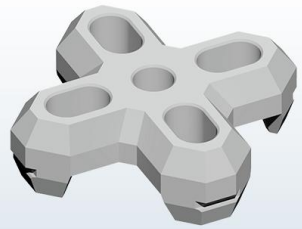
今回は被覆ブロック部分を、開発した低炭素型コンクリートで製作

共創の場形成支援プログラム
「資源あふれる豊かで持続可能な瀬戸内海創生拠点」（香川大学）

同プログラムでは、瀬戸内海の水産資源の安定供給を目指し課題解決のため複数の技術分野が連携



被覆ブロック
（ペルメックス）
防災機能



低炭素材料
CO_2抑制

＋

藻場礁
藻場造成機能



藻場
CO_2吸収

脱炭素化

科学技術振興機構「共創の場形成支援プログラム2026」p.44　より引用

被覆ブロックの製作



スランプフロー



打設状況



藻場礁取付

ハンドリング：問題なし



沈設状況

香川県高松市の
鎌野漁港地先に沈設

施工性は良好

まとめ

港湾工事のCO_2排出量は材料由来がほとんど

CO_2排出量が少ない新たな低炭素型コンクリートを開発

新たに開発した低炭素型コンクリート

・CO_2吸収材を有効に活用
・CO_2削減率は80％を超え、従来の低炭素型コンクリートの削減率を大幅に上回る
・強度・耐久性は普通コンクリートと同等、二次製品の要求性能を満足
・施工性良好

⇨ 小型のコンクリートブロックへの適用を提案していく

港湾工事におけるCO_2排出量の中で大きな割合を占めるコンクリートの脱炭素化をはじめ、
カーボンニュートラルポートの実現に貢献していきたい