

カルシア改質土による地球温暖化対策への展望

カルシア落下混合船と浅場・藻場造成への取り組み

中川 雅夫・田中 裕一

浚渫土の有効利用技術として開発されたカルシア改質土工法の普及が全国各地で促進されつつある。

本稿では、まず、カルシア改質土の特徴、用途、施工法と建設機械について簡単に紹介し、次に、最近の施工事例として、護岸前面や、防波堤背面に水中盛土を施すことで大規模な浅場を造成し、その安全性や環境影響について長期間のモニタリングを行った事例を示した。

さらに、このような浅場を造成することによって、工事によるCO₂排出抑制と、藻場造成によるCO₂吸収（ブルーカーボン）による脱炭素効果について考察し、カルシア改質土で沿岸域に大規模な浅場を造成することで、地球温暖化対策にも資することを示した。

キーワード：カルシア改質土、浚渫土、落下混合工法、浅場、藻場、ブルーカーボン、脱炭素

1. はじめに

政府の2050年までにカーボンニュートラル（以下CN）を目指すとの方針のもと、国土交通省港湾局では沿岸域でのブルーカーボン（以下BC）生態系を活用した脱炭素化の推進を政策課題として掲げている。

また、港湾機能の維持拡大のために、航路・泊地浚渫が不可欠であるが、近年では土砂処分場の確保が困難となり、浚渫土の有効利用促進が課題となっている。

これらの背景を踏まえて、既存の防波堤背面に浚渫土で盛土をして浚渫土の受入れ場所を確保するとともに、防波堤の粘り強い化とBC等による脱炭素化にも資する浅場を造成する工事が函館港において進行中である。

ここで、浚渫土を盛土にするために、鉄鋼生産工程での副産物を製品化したカルシア改質材で改良し、カルシア改質土として利用する技術が適用されている。

本稿では、カルシア改質土と施工用建設機械の概要を紹介するとともに、沿岸域でのカルシア改質土による浅場・藻場造成による脱炭素効果について展望する。

2. カルシア改質土と施工法の概要

(1) カルシア改質土の特徴

カルシア改質土は、浚渫土とカルシア改質材（転炉系製鋼スラグの成分・粒度を調整した材料）を混合した材料である（図-1）¹⁾。強度発現、水中投入時の濁



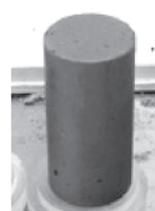
浚渫土



カルシア改質材



カルシア改質土（混合直後）



カルシア改質土（固化後）

図-1 カルシア改質土の概要

り発生抑制等の特徴があり、浅場・干潟の造成材、埋立材、潜堤材、深掘跡の埋戻材等として使用されている（図-2）。

(2) カルシア改質土の施工法と建設機械

(a) カルシア改質土の施工フロー

カルシア改質土の施工では、浚渫、浚渫土運搬、浚渫土とカルシア改質材の混合、カルシア改質土運搬、海域投入の順で作業が進む（図-3、4）。このうち、施工効率やカルシア改質土の品質を確保する上で混合プロセスが重要となる。

(b) 混合工法

浚渫土とカルシア改質材の混合方法としては、バッ

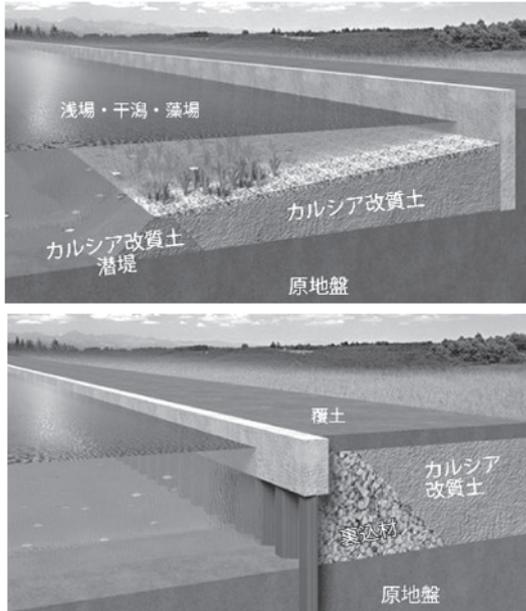


図-2 カルシア改質土の適用場所の例



写真-1 バックホウ混合の施工状況



写真-2 カルシア専用バケット



図-3 カルシア改質土の施工フロー

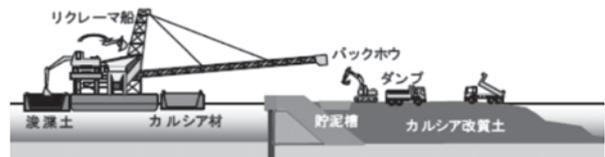


図-5 落下混合工法模式図

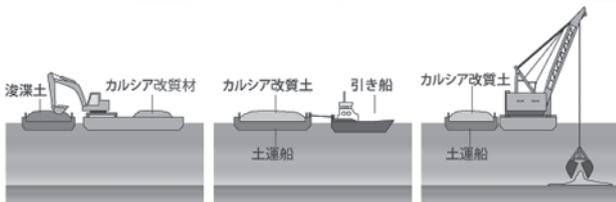


図-4 バックホウ混合とグラブ投入イメージ

クホウ混合，ミキサー混合，管中混合や落下混合等があるが，施工実績の多いバックホウ混合と落下混合の特徴を以下に示す。

＜バックホウ混合工法＞

浚渫土にカルシア改質材を投入した後，汎用的な建設機械であるバックホウにより混合する工法である(写真-1)。小規模施工に適した方法であるが，2m³以上のバケットを装着した大型のバックホウを複数台使用することにより，中～大規模施工にも対応可能である。

バックホウ混合では，カルシア改質材を均一に混ぜるために，長時間の混合作業が必要となるが，専用のバケット(写真-2)を使用することにより，混合時間を短縮することが可能である²⁾。

＜落下混合工法＞

リクレーマ船のベルトコンベアの乗継ぎ部やブームコンベアからの落下時に，浚渫土とカルシア改質材を混合する工法である(図-5)。埋立等の大規模施工に適した方法であり，500～600m³/hの実績がある³⁾。

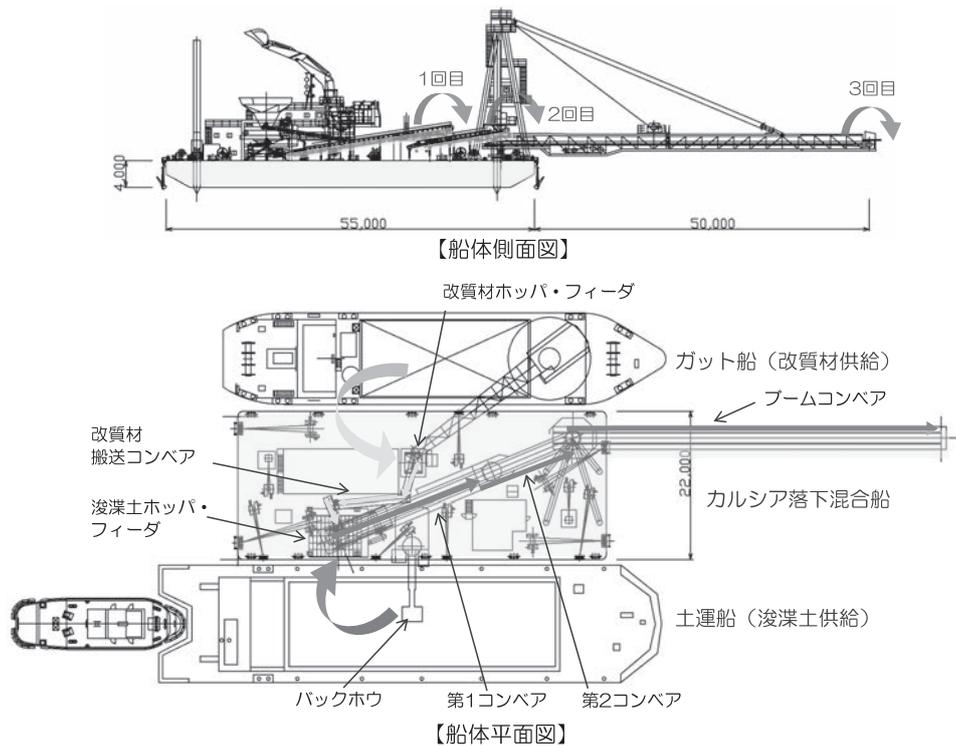
しかし，リクレーマ船を使用して落下混合を行う場合，カルシア改質材の供給ホッパ，供給コンベアを艀装する必要がある。また，混合品質確保のためには2m以上3回の落下が必要であるが，既存船ではベルコン乗継時と排出時の2回となるため，陸上で積み替え，運搬後のダンプアップ時に3回目を確保するなど船外作業を追加する必要があった。

このため，リクレーマ船にカルシア改質材の供給ホッパ，供給コンベアおよび落下混合用コンベアを搭載し，コンベアの乗継時に2回，ブームコンベアからの落下時に1回，合計3回の落下混合が可能でカルシア落下混合船が建造されている(写真-3，図-6)。

カルシア落下混合船は，カルシア改質土として2,500



写真-3 カルシア落下混合船



図一六 カルシア落下混合船概要図

～4,000 m³ / 日程度の能力を有する他、以下の特徴がある。

- ・ 艀装が不要であり施工期間を短縮することが可能
- ・ 船からの落下時に3回の落下混合が完了するためその後の混合作業が不要
- ・ トレミー管を用いた直接水中投入により、浅場・干潟の造成や深掘部埋戻が可能
- ・ カルシア改質材の混合率やカルシア改質土の密度等をリアルタイムで確認でき、品質の良い改質土が製造可能

カルシア落下混合船は2020年の建造以降、カルシ

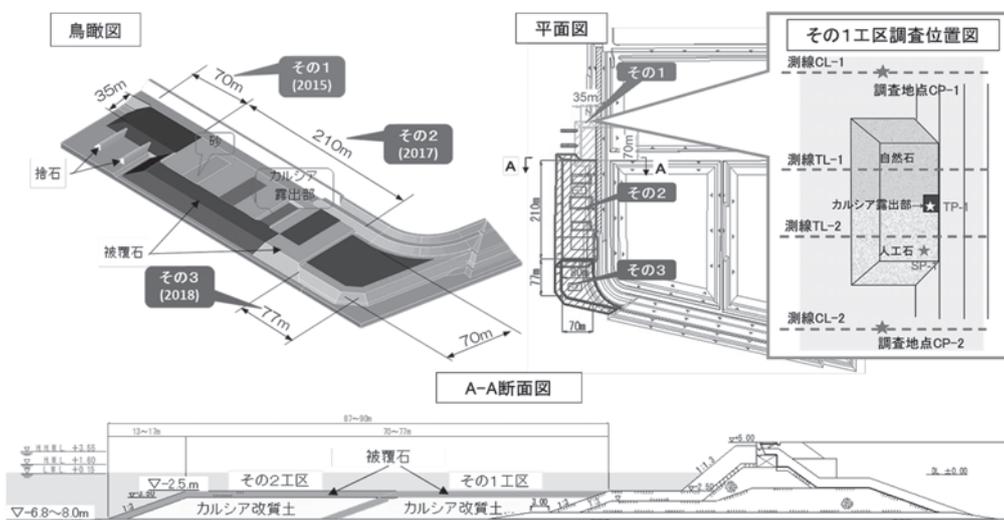
ア改質土16万 m³の施工実績があり、その有効性と混合性能が確認されている。

3. カルシア改質土を適用した浅場・藻場造成事例

(1) 姫路市網干沖浅場・藻場造成

(a) 浅場造成工事の概要

姫路市網干地区の土砂処分場護岸沿いに約2 haに亘って、水深7～9 mの海底を水深2.5～3.5 mまでカルシア改質土で水中盛土を施し浅場を造成した(図一七)⁴⁾。



図一七 姫路市網干沖浅場造成の概要図

カルシア改質土による浅場造成の施工フローを図-8に示す。浚渫は、近郊の製鉄所の航路においてグラブ浚渫船で行い、これを土運船に載せて製鉄所岸壁に運搬し、岸壁上に配置した3.0 m³級のバックホウで、土運船内の浚渫土とカルシア改質材を混合した。混合後、土運船で運搬した改質土を浅場造成区にグラブで投入し、硬化後にスラグ人工石材等で被覆した。

(b) 造成後のモニタリング調査

浅場マウンドから定期的に改質土を採取して「水底土砂に係る判定基準」34項目の有害物質の溶出試験、直上海水を採取して「人の健康の保護に関する水質環境基準」27項目に関する水質試験を行ったが、全て基準値以下で、周辺環境に対する安全性を確認できた。

その1工区の側線TL-1, TL-2(図-7参照)に沿って浅場造成前と造成後32ヵ月後まで定期的にライン・トランセクト法により、海藻類の潜水目視調査を行った。海藻類の潜水調査の一例として、20ヵ月後の状況について、図-9に側線TL-2の観測スケッチと、写真-4に海藻の繁茂状況を示す。

また、図-10に海藻類の種数と被度の経時変化を示す。浅場造成前の海底部は泥場で海藻は全く存在していなかったが、カルシア改質土と自然石、人工石で嵩上げたTL-1, TL-2では、季節性はあるものの徐々に既設護岸と同様な海藻が着生し始め、20ヵ月経過以降ではケウルシグサやワカメが同様の被度で繁茂した。

また、別途実施した漁獲調査の結果から、浅場造成により、メバル、カサゴ、マアナゴ等の有用魚種の漁



写真-4 藻類の繁茂状況 (20ヶ月後)

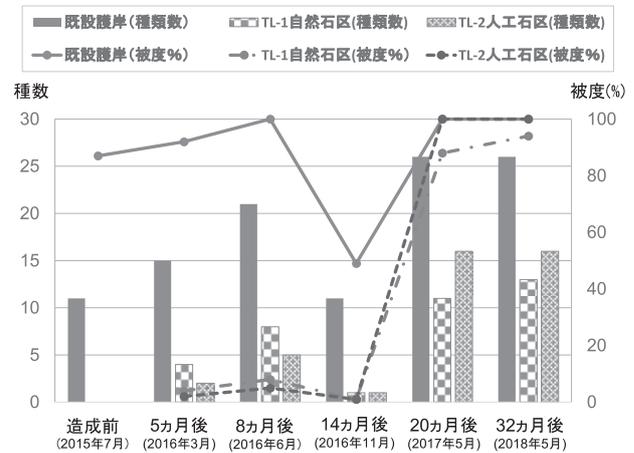


図-10 藻類の種数と被度

獲量の拡大も確認できた。

以上の結果から、カルシア改質土と石材で浅場を造成することにより、長期的にも安定で、環境安全性も満足し、CO₂の吸収にも寄与できる藻場が形成可能なことを実証できた。

(2) 函館港防波堤背面での浅場造成

函館港では、北海道開発局が大型クルーズ船受入れのための岸壁整備と泊地の増深のための浚渫工事を実

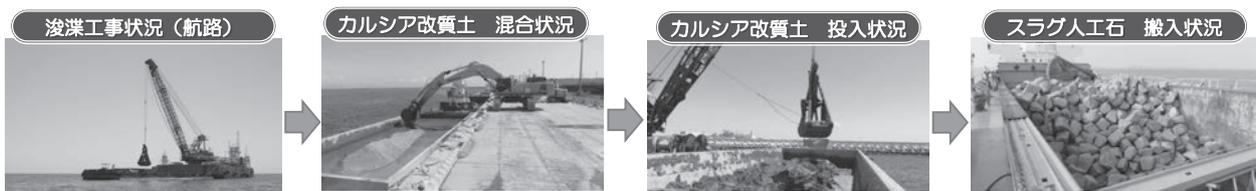


図-8 浅場造成工事フロー

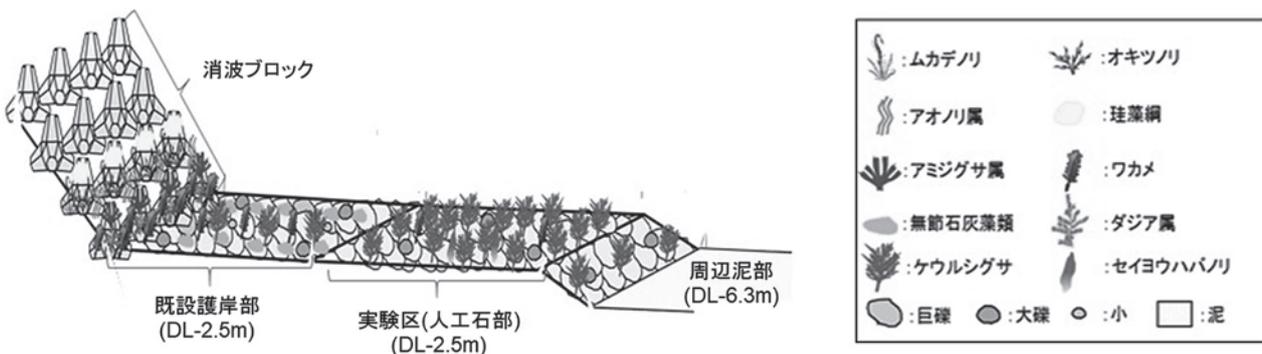
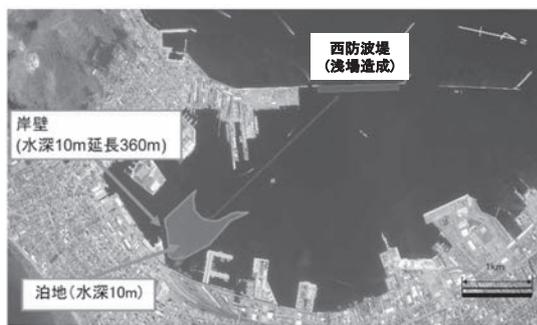


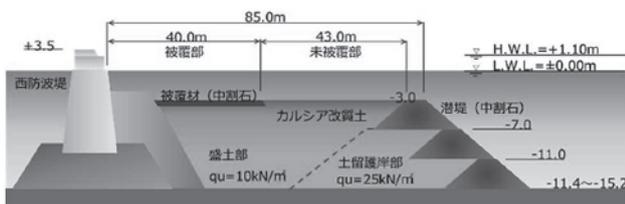
図-9 藻類の繁茂状況のスケッチ TL-2 (人工石区) 20ヶ月後

施中である⁵⁾(図—11)。函館港では、浚渫土の受入れ場所がないため、約37万m³の浚渫土をカルシア改質土に改良して、図—12に示すように、西防波堤背面の海中に8~12mの盛土をして浅場を造成することとなった。これにより、浚渫土の受入れ場所の確保に加えて、防波堤の粘り強い化や藻場の形成等の効果もあり、浚渫土有効利用のパイロット事業として期待されている。

工事は2019年から着手され、岸壁からのバックホウ混合工法で浚渫土をカルシア改質土に改良して水中盛土を造成する工事が進められており、完成時には約6haの浅場が形成される予定である。



図—11 函館港浅場の位置図(文献⁵⁾より引用)



図—12 西防波堤浅場の概要図(文献⁵⁾より引用)

4. カルシア浅場造成による脱炭素効果

(1) カルシア改質土のCO₂排出抑制効果

カルシア改質材は、鉄鋼製造工程において副産物として発生する転炉系製鋼スラグの成分・粒度を調整した材料である。このため、製造過程で大量のCO₂を排出するセメントを使用して改良した場合と比較して、カルシア改質材を使用した場合は、CO₂の排出を抑制したことになる。

セメント固化処理土とカルシア改質土の使用材料由来のCO₂排出量を試算した結果を表—1に示す。なお、カルシア改質土の条件として、函館港の浅場造成におけるカルシア改質材の表乾密度2.91g/cm³、混合率20vol%を使用した。

カルシア改質土とセメント固化処理土(高炉セメントB種使用、セメント添加量100kg/m³と仮定)の

表—1 地盤改良材と改良土のCO₂排出量の比較

項目	単位	セメント 固化処理土	カルシア 改質土
地盤改良材		高炉セメントB種	カルシア改質材
添加量	kg/m ³	100	582
改良材のCO ₂ 排出量	kg-CO ₂ /t	440.3 ⁶⁾	2.8 ⁷⁾
改良土のCO ₂ 排出量	kg-CO ₂ /m ³	44.0	1.63
函館港浅場CO ₂ 排出量	t-CO ₂	20,254	750

材料由来のCO₂排出量を比較すると、1.63kg-CO₂/m³ ÷ 44.0kg-CO₂/m³ = 0.04であり、カルシア改質土の使用によりCO₂排出量を96%削減できる結果となった。

函館港におけるカルシア改質土46万m³の浅場造成について、同じ方法でセメント固化処理土を施工したと仮定すると、表—1から20,254 - 750 = 19,504t-CO₂の排出が抑制されたことになる。これは、軽油7,545kl燃焼時のCO₂排出量(軽油の原単位を2.585t-CO₂/kl⁸⁾として計算)や50年生スギ人工林31.3haのCO₂固定量に相当する(1ha当りのCO₂貯蔵量を623t-CO₂として計算⁹⁾)。

(2) 藻場造成によるブルーカーボン(BC)吸収効果

BCとは「海洋生物により隔離、あるいは貯留された炭素」と定義され、2009年国連の環境計画部門(UNEP)等が発行した「BCレポート」の中で、地球上の生物が吸収するCO₂の内、半分強が海洋で吸収されており、さらにその半分以上は沿岸浅海域の生態系が吸収しているとの見解が示され注目されることになった。

四方を海に囲まれ35,600kmという世界第6位の海岸線を有する日本では、2050年のCN達成のためには、発生するCO₂の吸収源としてのBCは重要な意味を持つ。そこで、国際的な吸収源評価方法の確立に向けての研究開発が急速に進もうとしており、政府の「グリーン成長戦略」の中にも位置付けられている。

沿岸域の藻場がどの程度のCO₂を吸収・貯留できるかについては研究中であるが、現在のところでは以下のような評価式が提案されている。

$$\text{炭素吸収量} = \text{吸収係数} \times \text{藻場面積} \quad (1)$$

$$\text{吸収係数} = \text{純1次生産速度} \times \text{残存率} \quad (2)$$

桑江ら¹⁰⁾は、浅海生態系の海草や海藻の種類別の

吸収係数の推計法を表一2のように提案している。

これらの数値を用いて、4章で紹介した函館港浅場6haをコンブ藻場にした場合のBC吸収量を試算すると、平均値で61 t-CO₂/年（最大値214 t-CO₂/年）、10年間で610～2,140 t-CO₂のCO₂吸収が可能と算定できる。

表一2 海藻種類別のBC吸収係数

	純1次生産速度 (t-CO ₂ /ha/年)		残存率 (%)	吸収係数 (t-CO ₂ /ha/年)	
	平均値	上限値		平均値	上限値
ガラモ場	24.0	44.7	11.3	2.7	5.1
コンブ場	90.8	318.1	11.3	10.3	36.0
アラメ場	36.9	69.6	11.3	4.2	7.9

上記の試算では、コンブが枯れて分解されて排出されることを考慮した残存率を11.3%で評価しているが、コンブを刈り取って、工業的に利用する等の方策により残存率を向上させてBC吸収量を増大させることも可能と考えられる。

以上のように、浚渫土をカルシア改質材で改良して防波堤背面等に浅場を造成することによって、一般的な浚渫土改良工法であるセメント改良工法よりもCO₂排出量を減少できるのみならず、造成した浅場に母藻等移植し、栄養分等を供給して積極的に藻場を形成させることでBCとしてCO₂を吸収させることが可能になる。また、近年の研究では、浚渫土をカルシア改質土にすることで、浚渫土に含まれる炭素が有機分解されずに封じ込められるとの報告もあり、新たな炭素貯留効果としても期待できる。したがって、カルシア改質土は2050年にCNを目指す地球温暖化対策としても十分に意義があると考えられる。

5. おわりに

本稿では浚渫土にカルシア改質材を混合してカルシア改質土として浅場造成等に活用する技術と、施工方法・作業船の概要、実工事への適用事例を紹介するとともに、この技術により、脱炭素社会にも貢献できる

ことを述べた。

全国に100ヶ所以上ある重要港湾のうち、港湾機能の維持・拡大のための浚渫土の処分先が確保できない港湾が多くなってきていることや、老朽化や国土強靱化で防波堤の補強・粘り強い化が求められること、さらには浅場・藻場造成による地球温暖化対策が求められることを考えるとき、本技術を広く全国に普及を図っていく意義は高いと考えられる。

JICMA

《参考文献》

- 1) (一社)沿岸技術研究センター：カルシア改質土利用技術マニュアル、沿岸技術ライブラリー No.47
- 2) 泉総・野中宗一郎・浜谷信介：カルシア改質土バックホウ混合専用バケットを用いた混合作業の効率化について、令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会、VI-66,2021
- 3) 田中裕一・高将真・今村正・渋谷貴志・山越陽介・赤司有三・北野吉幸・菅野浩樹：カルシア改質土による海面埋立、土木学会論文集B3（海洋開発）、vol.70,pp I_888-I_893,2014
- 4) 中川雅夫・安藤満・今村均・木曾英滋・眞鍋忠司：カルシア改質土を適用した大規模浅場造成工事の概要とモニタリング調査報告、土木学会論文集B3（海洋開発）、vol.76, No2,pp I_834-I_839,2020
- 5) 林誉命・水口陽介・佐々木実歩・早川哲也・寺島貴志・緒方修・山崎啓介・赤司有三：浚渫土砂を活用した防波堤背後盛土の築造、土木学会論文集B3（海洋開発）vol.76, No2, pp I_546-I_551,2020
- 6) セメント協会：セメントのLCIデータの概要、2021
- 7) 松永久宏・高木正人・小菊史男：鉄鋼スラグ水和固化体の基本特性と海洋環境下における生物付着性、鉄と鋼、Vol.89, No.4, pp.454-460,2003
- 8) 環境省：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース（Ver.3.1）、2021
- 9) 関東森林管理局：森林の二酸化炭素吸収力
<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/ibaraki/knowledge/breathing.html>
- 10) 桑江朝比呂・吉田吾郎・堀正和・渡辺健太・棚谷灯子・岡田知也・梅澤有・佐々木淳：浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計、土木学会論文集B2（海岸工学）、vol.75, No1, pp I_10-I_20,2019

【筆者紹介】

中川 雅夫（なかがわ まさお）
五洋建設㈱ 土木部門 顧問



田中 裕一（たなか ゆういち）
五洋建設㈱ 土木部門 環境事業部 専門部長

