

～再生骨材のCO₂固定化に関する研究報告～

再生骨材コンクリートによる カーボンニュートラルの実現に向けた検討

ACRAC 技術部会

松田 信広

（東京テクノ/武蔵野土木工業）

はじめに

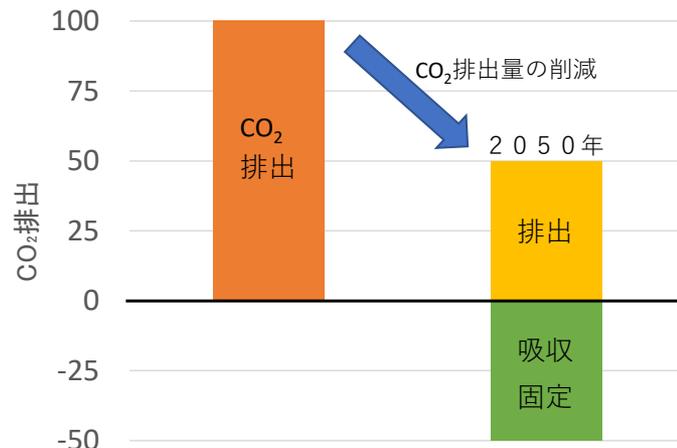
世界的な地球環境問題

地球温暖化・気候変動→このままでは、温度は2°C上昇
⇒ 温室効果ガスの削減が必要



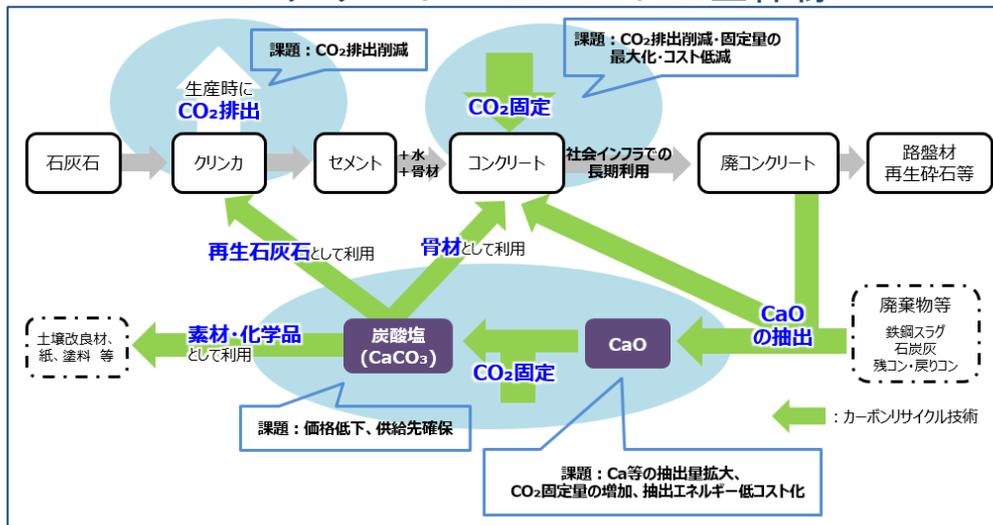
日本では2020年の臨時国会
⇒ **2050年カーボンニュートラル**

コンクリートは、CO₂を吸収・固定化する能力を有する
⇒ **CO₂の利用先の一つ**として期待されている！



森林管理等の人為的に吸収した量の差し引き

コンクリート・セメントの全体像



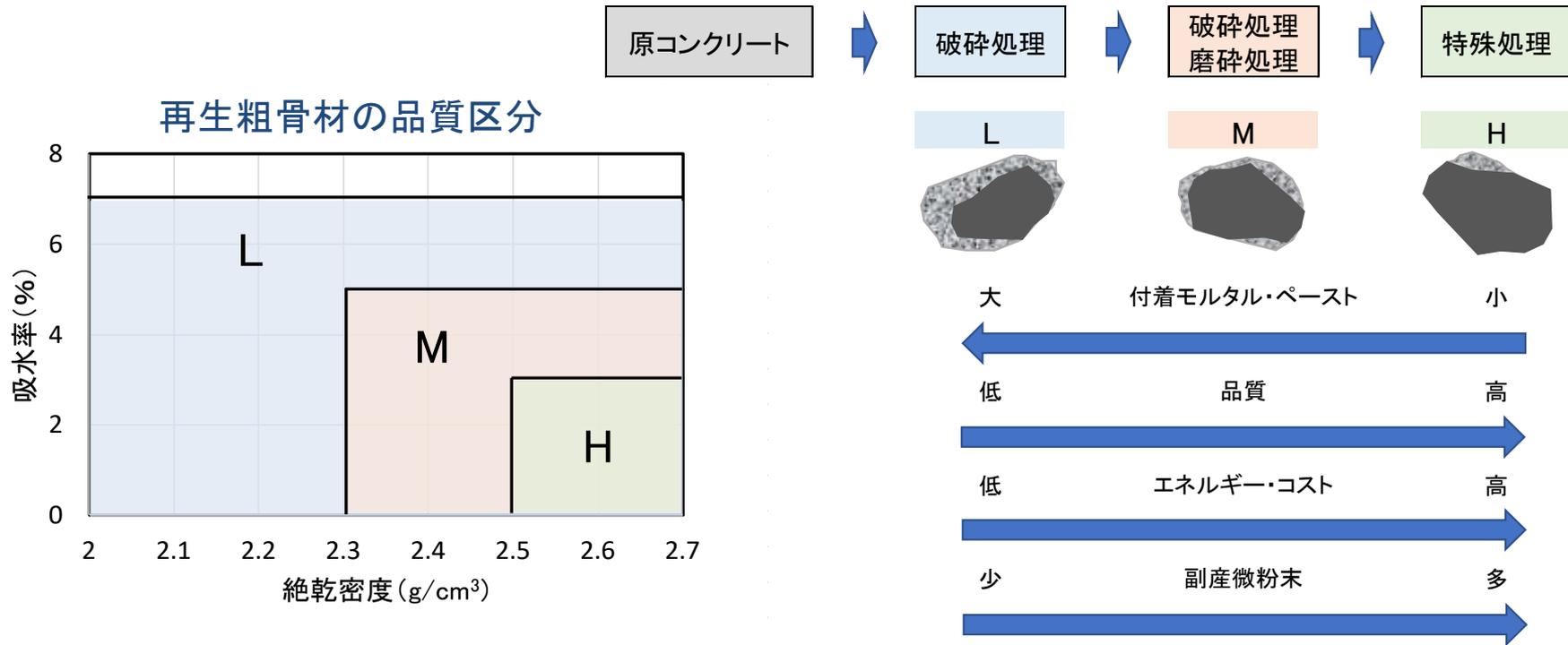
再生骨材はカーボンリサイクル・資源循環の起点
⇒ **社会に大きく貢献できる**



CNは達成できるのか??

再生骨材および再生骨材コンクリートの整理

再生骨材の概要（再生骨材の問題の整理）



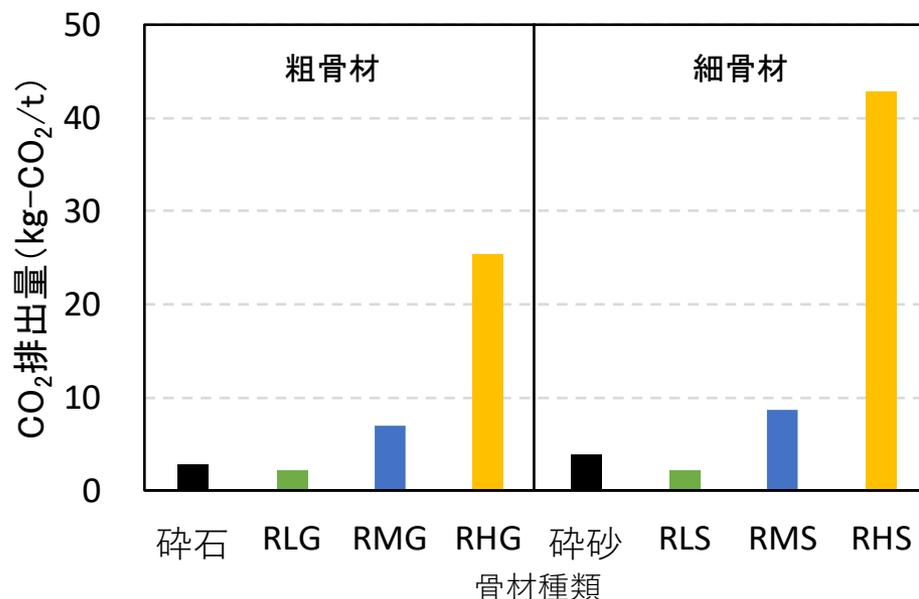
- 再生骨材H⇒適用範囲は広いが製造エネルギー・コストが非常に高い
- 再生骨材M⇒基礎や杭等には使えるが製造エネルギーは高い
- 再生骨材L⇒低エネルギー・コストだが、適用範囲が限定

建築学会では、設計基準強度は18N/mm²まで。土木学会では、**非構造体**での使用
 このように、高品質化と低エネルギー化は相反の関係にある

再生骨材製造に関わるCO₂排出量

土木学会の算出例を参照し、実際の再生骨材製造工場における骨材製造に関わるCO₂排出量を試算した

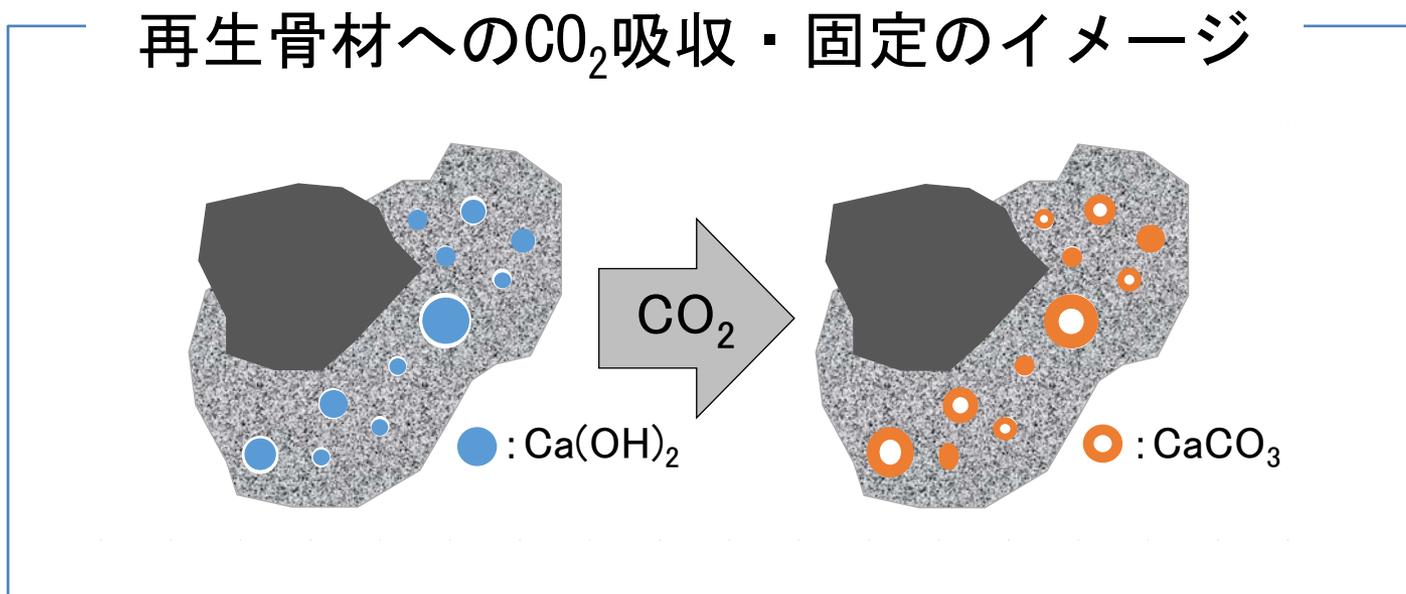
- 再生骨材L→3工場のデータの平均
- 再生骨材M→1工場のデータ+既往のインベントリデータ
- 再生骨材H→1工場のデータ+既往のインベントリデータ



*松田信広：CCU材料化した再生骨材を用いたコンクリートの性能ならびに環境性に関する研究、芝浦工業大学博士論文、2024. 3

再生骨材Lの利用がCNの達成に効果的!?

再生骨材へのCO₂吸収・固定



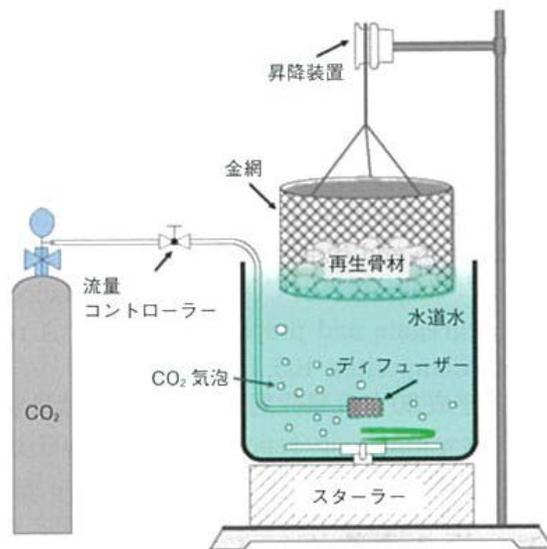
炭酸化反応

CO₂が付着モルタル中のCaと化合し炭酸カルシウムを析出する

炭酸化反応によってCO₂を固定化する

湿式炭酸化の例

水中に再生骨材を入れてカルシウムを溶脱させ、CO₂ガスを注入することで炭酸化反応によりCaCO₃を析出させてCO₂を固定化する方法



湿式炭酸化処理の例（左図：西岡ら*の報告、右写真：炭酸水への浸漬）

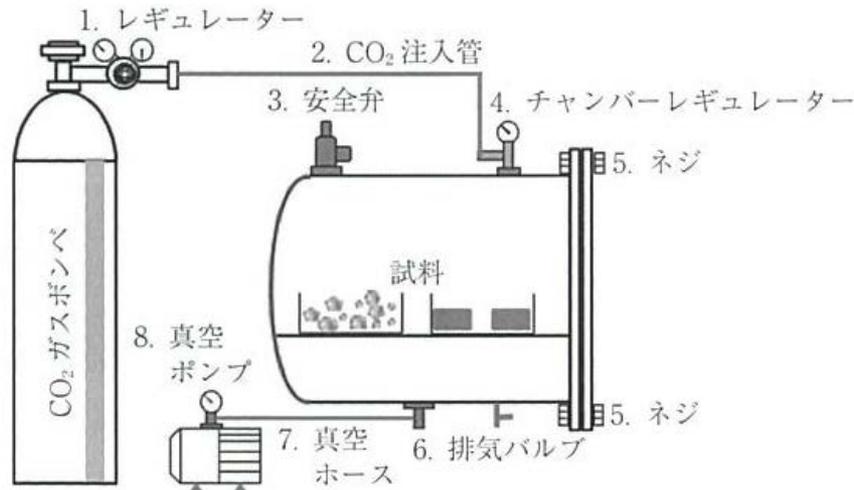
*)西岡由紀子:廃コンクリートを原料とする炭酸化微粉と炭酸化再生骨材に関する研究動向、コンクリート工学、pp.688-694, 2024

CO₂ガスをナノバブル化し、水中で炭酸化。炭酸カリウム溶液や炭酸水に浸漬する方法もある。

- 炭酸化処理に要する時間は数時間～7日と比較的短い
- CO₂固定量は、処理方法にもよるが乾式と比較すると大きくなる傾向にある
(条件(溶液のpH等)によっては、炭酸化反応が効率よく進行しなかった報告もある)

乾式炭酸化の例

再生骨材を気中でCO₂環境下に置いて炭酸化反応させる方法



乾式炭酸化処理の例（左図：西岡ら*の報告、右写真：中性化促進装置）

*)西岡由紀子:廃コンクリートを原料とする炭酸化微粉と炭酸化再生骨材に関する研究動向、コンクリート工学、pp.688-694, 2024

中性化促進装置や廃ガスを用いた検討、大気中のCO₂を利用するDACや再生骨材の製造プロセスにおける炭酸化方法も報告されている

- 炭酸化処理に要する時間は、数日～28日と比較的長い
- CO₂固定量は、CO₂濃度および炭酸化期間、また、骨材の含水状態や相対湿度の影響によって数値は様々

➤ 品質への影響は??

強制炭酸化による改質効果の確認

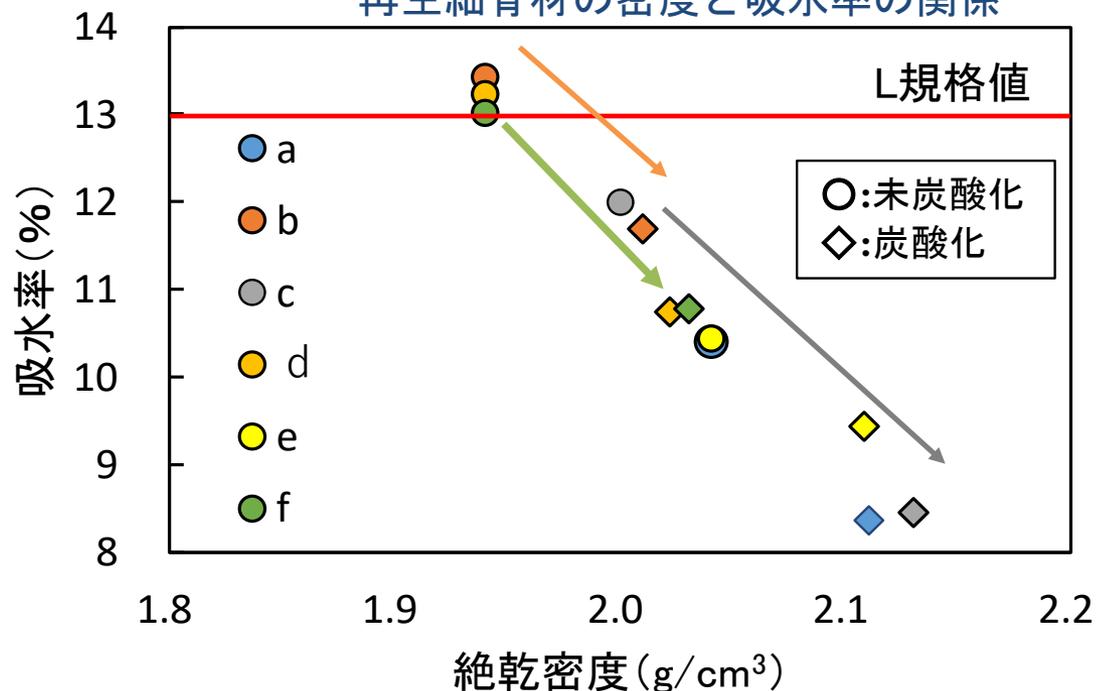
再生骨材工場で製造された再生細骨材での改質効果の確認

使用した再生細骨材の密度と吸水率の関係

骨材種類	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
a	2.04	10.42
b	1.94	13.44
c	2.00	12.01
d	1.94	13.24
e	2.04	10.45
f	1.94	13.03

再生細骨材L：3種類、
再生細骨材L外品：3種類
全ての出処の異なる原コンクリート

再生細骨材の密度と吸水率の関係



*松田信広：CCU材料化した再生骨材を用いたコンクリートの性能ならびに環境性に関する研究、芝浦工業大学博士論文、2024. 3

- 全ての骨材で、密度・吸水率の改善を確認した
⇒強制炭酸化によって再生細骨材は改質することがわかった

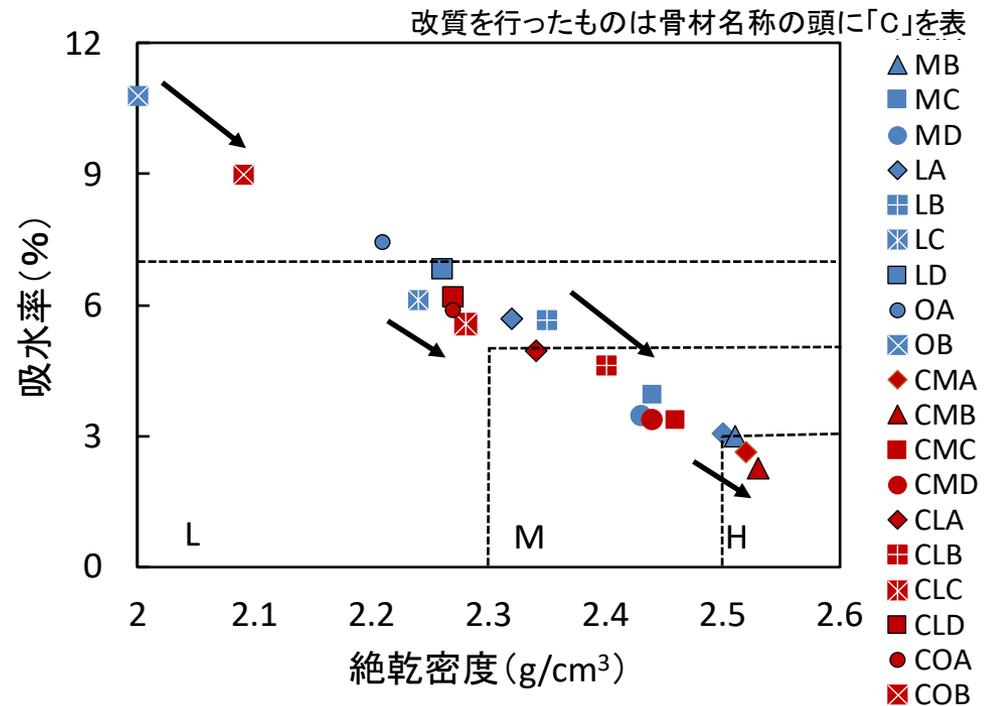
強制炭酸化による改質効果の確認

再生骨材工場で製造された再生粗骨材での改質効果の確認

使用した再生粗骨材の密度と吸水率の関係

骨材名称	品質区分	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
MA	M	2.50	3.06
MB		2.51	3.01
MC		2.44	3.94
MD		2.43	3.47
LA	L	2.32	5.69
LB		2.35	5.66
LC		2.24	6.13
LD		2.26	6.82
OA	外品	2.21	7.44
OB		2.20	10.79

検討に使用した再生粗骨材

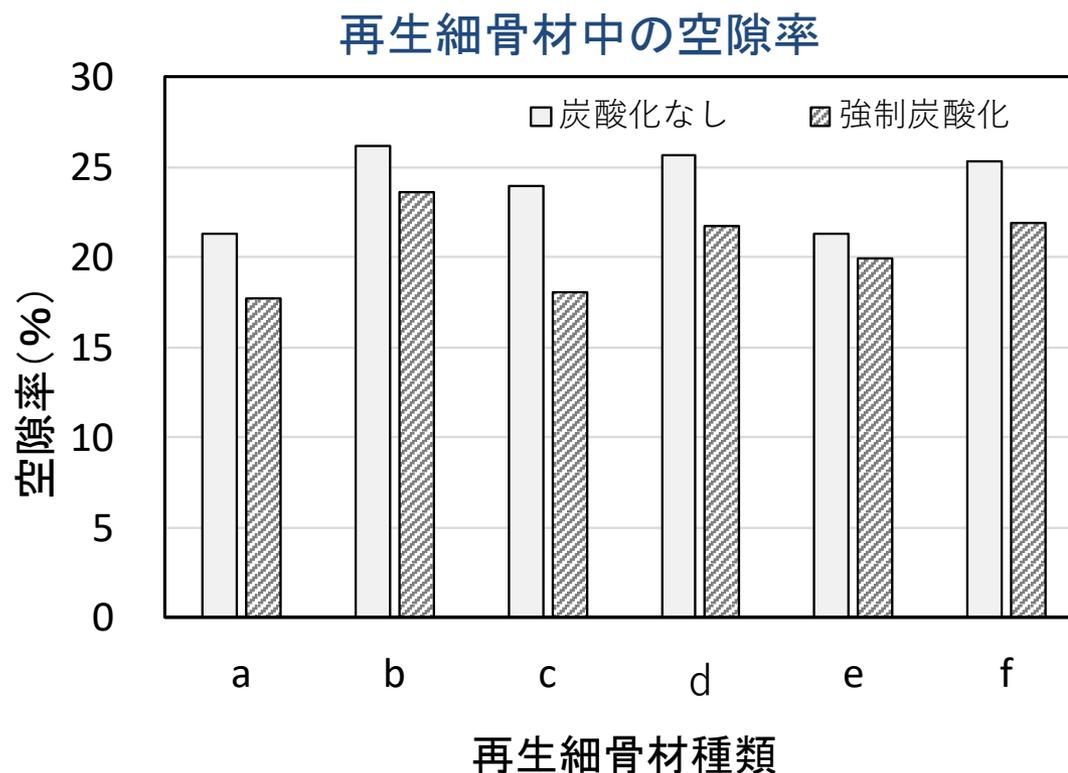


*松田信広：CCU材料化した再生骨材を用いたコンクリートの性能ならびに環境性に関する研究、芝浦工業大学博士論文、2024. 3

- 強制炭酸化によって全ての骨材で密度・吸水率の改善を確認
 - 品質が悪い骨材ほど改善効果は大きい
- ⇒強制炭酸化によって再生粗骨材は改質することがわかった

再生骨材の改質メカニズム

- 骨材中の空隙を測定した⇒**アルキメデス法**（骨材中の総空隙率）で確認



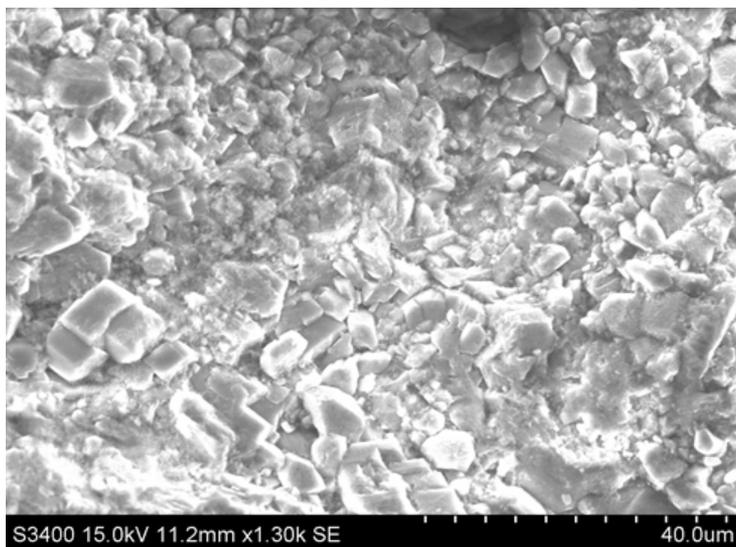
*松田信広：CCU材料化した再生骨材を用いたコンクリートの性能ならびに環境性に関する研究、芝浦工業大学博士論文、2024.3

強制炭酸化によって再生骨材中の空隙率の減少を確認した

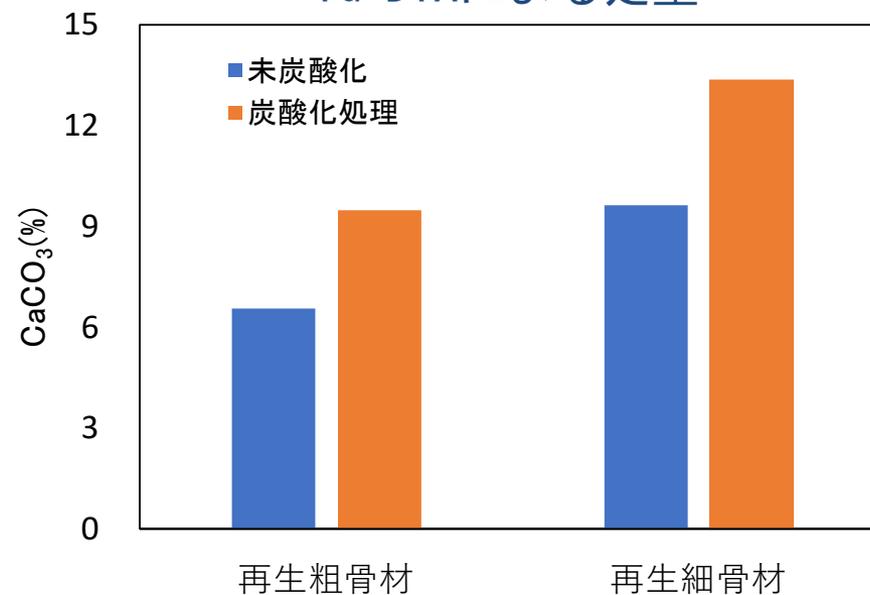
再生骨材の改質メカニズム

➤ CaCO_3 の確認⇒SEM・TG-DTA

SEMによる観察



TG-DTAによる定量

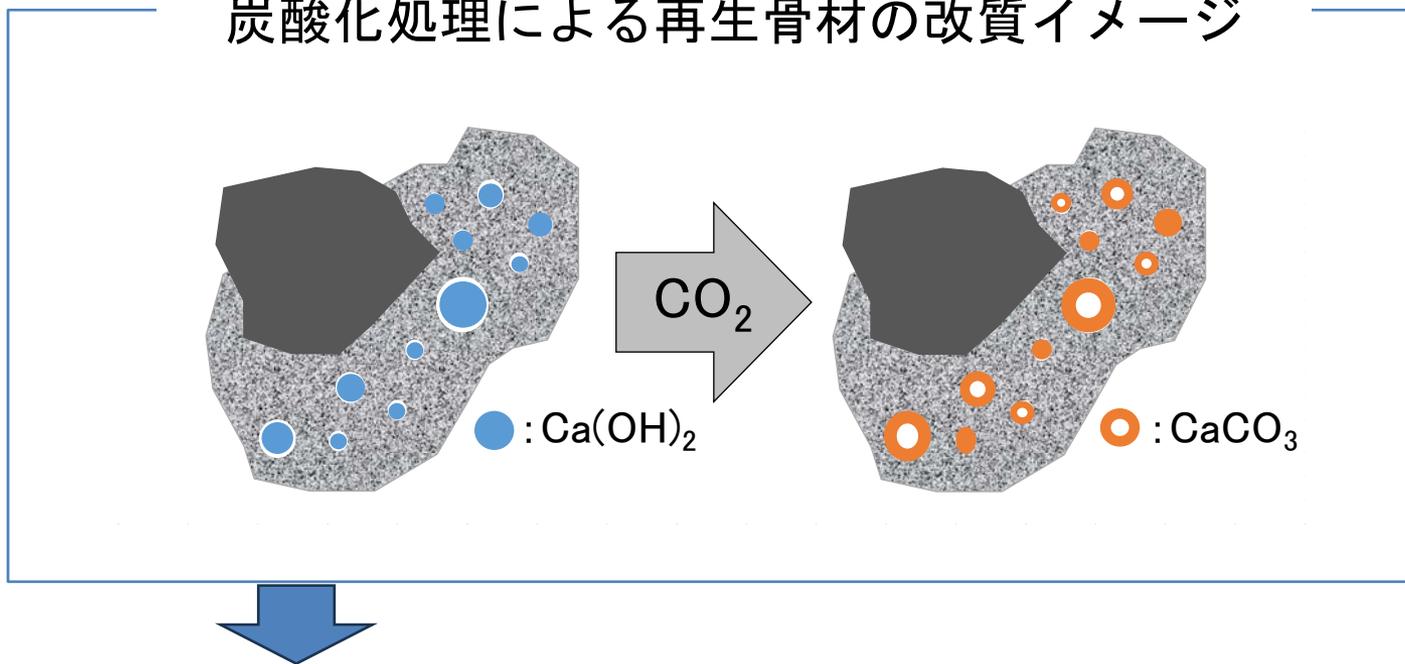


*松田信広：CCU材料化した再生骨材を用いたコンクリートの性能
ならびに環境性に関する研究、芝浦工業大学博士論文、2024.3

炭酸化処理による CaCO_3 の生成を確認した

再生骨材の改質メカニズム

炭酸化処理による再生骨材の改質イメージ

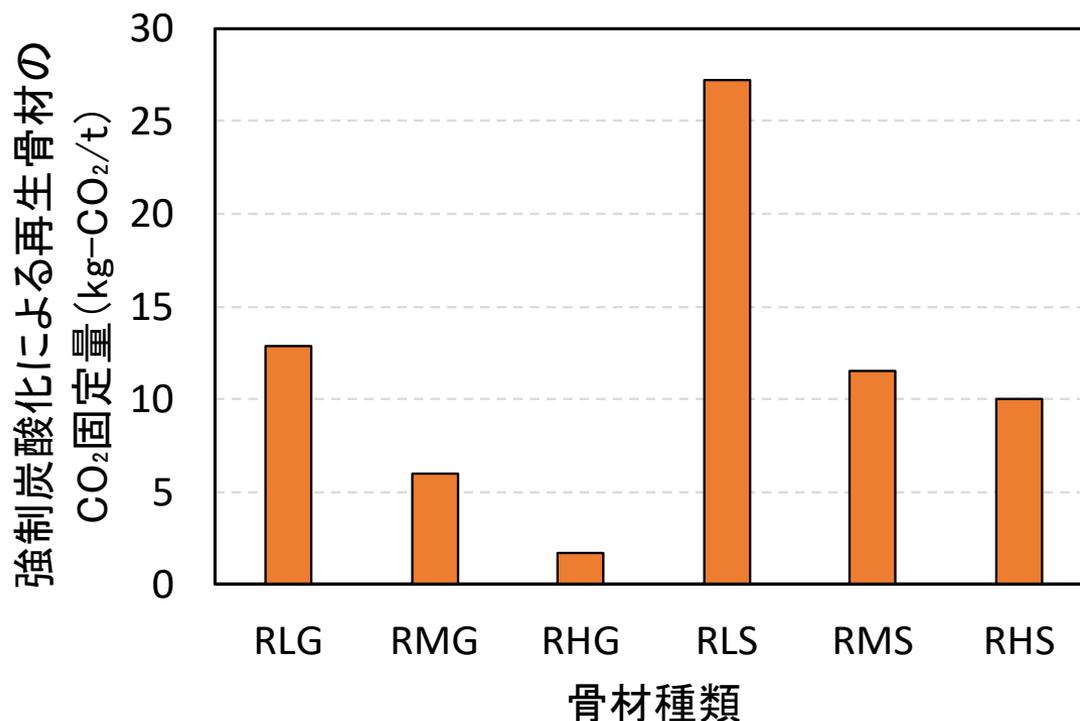


再生骨材の改質メカニズムは、炭酸化処理によって付着モルタル中の空隙に CaCO_3 が析出し、付着モルタル中の空隙が減少したことが要因であることがわかった

しかし、湿式では再生骨材中の Ca^{2+} が溶脱し空隙が増大することで品質は低下する可能性がある

再生骨材のCO₂固定量の一例（強制炭酸化）

強制炭酸化の条件⇒中性化促進装置（温度20℃、湿度60%、CO₂濃度5%）



*1)松田信広・伊代田岳史:再生骨材コンクリートによるCO₂削減効果の可能性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.1093-1098, 2024.6

このデータから、

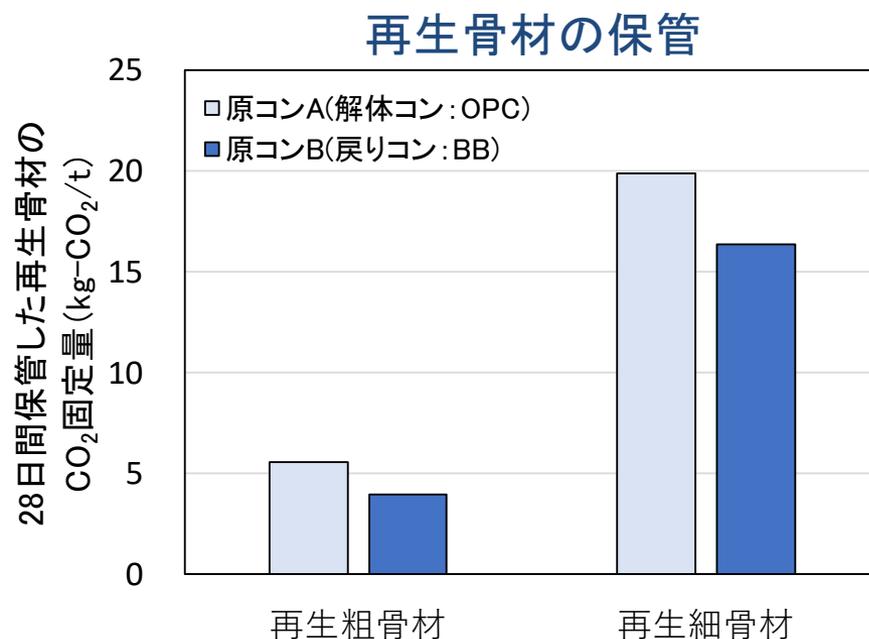
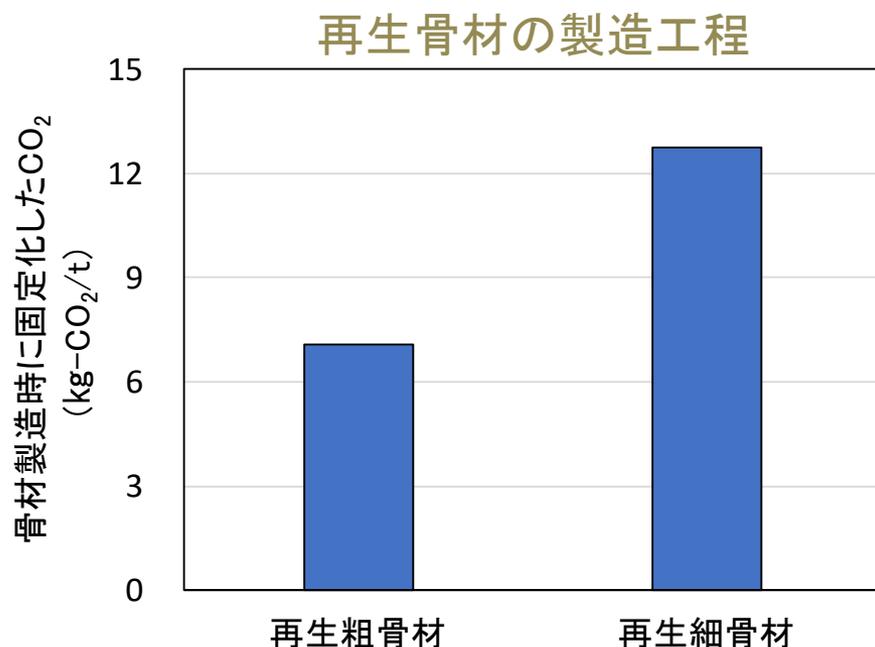
- 再生粗骨材Lは12.4kg-CO₂/t、再生細骨材Lは26.1kg-CO₂/t
- 再生粗骨材よりも再生細骨材の方が固定量は多い
- 品質クラスが高いものよりも低いものの方が固定量は多い

製造プロセスにおける再生骨材のCO₂固定量の一例

再生骨材の製造・保管によるCO₂固定量

再生骨材の製造工程⇒破碎処理（再生骨材L）

再生骨材の保管⇒28日間屋外暴露



*1)松田信広・伊代田岳史:再生骨材コンクリートによるCO₂削減効果の可能性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.1093-1098, 2024.6

再生粗骨材は12kg-CO₂/t、再生細骨材は32kg-CO₂/t

製造プロセスにおける再生骨材のCO₂固定量の一例

骨材種類	CO ₂ 固定量 (kg-CO ₂ /t)		
	文献*1)	文献*2)	文献*3)
再生細骨材L	32.6	41.8	25.6
再生粗骨材L	12.7	11.7	6.41
再生細骨材M	—	19.9	14.1
再生粗骨材M	—	10.2	4.09
再生細骨材H	—	—	—
再生粗骨材H	—	—	—

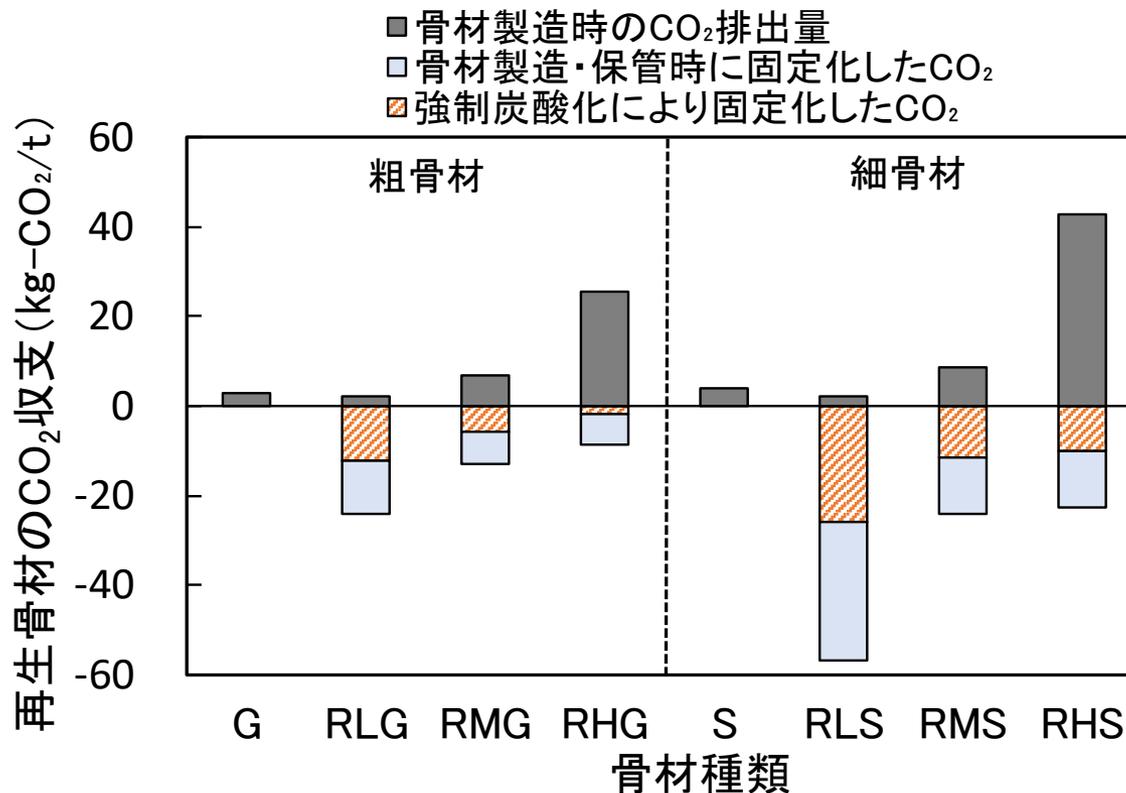
*1)松田信広他:再生骨材コンクリートによるCO₂削減効果の可能性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.1093-1098, 2024.6

*2)鈴木好幸他:再生骨材の実製造プロセスにおけるCO₂固定量に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、pp.361-364, 2024

*3)国土交通省国土技術政策研究所:社会資本等の維持管理効率化・高度化のための情報蓄積・利活用技術の開発、第5章 ライフサイクルをとおしたCO₂収支量の定量的把握手法の開発、国総研プロジェクト研究報告 第63、pp.53-58、2019

保管時に乾湿繰返し等の処理によってCO₂固定量が見込まれる

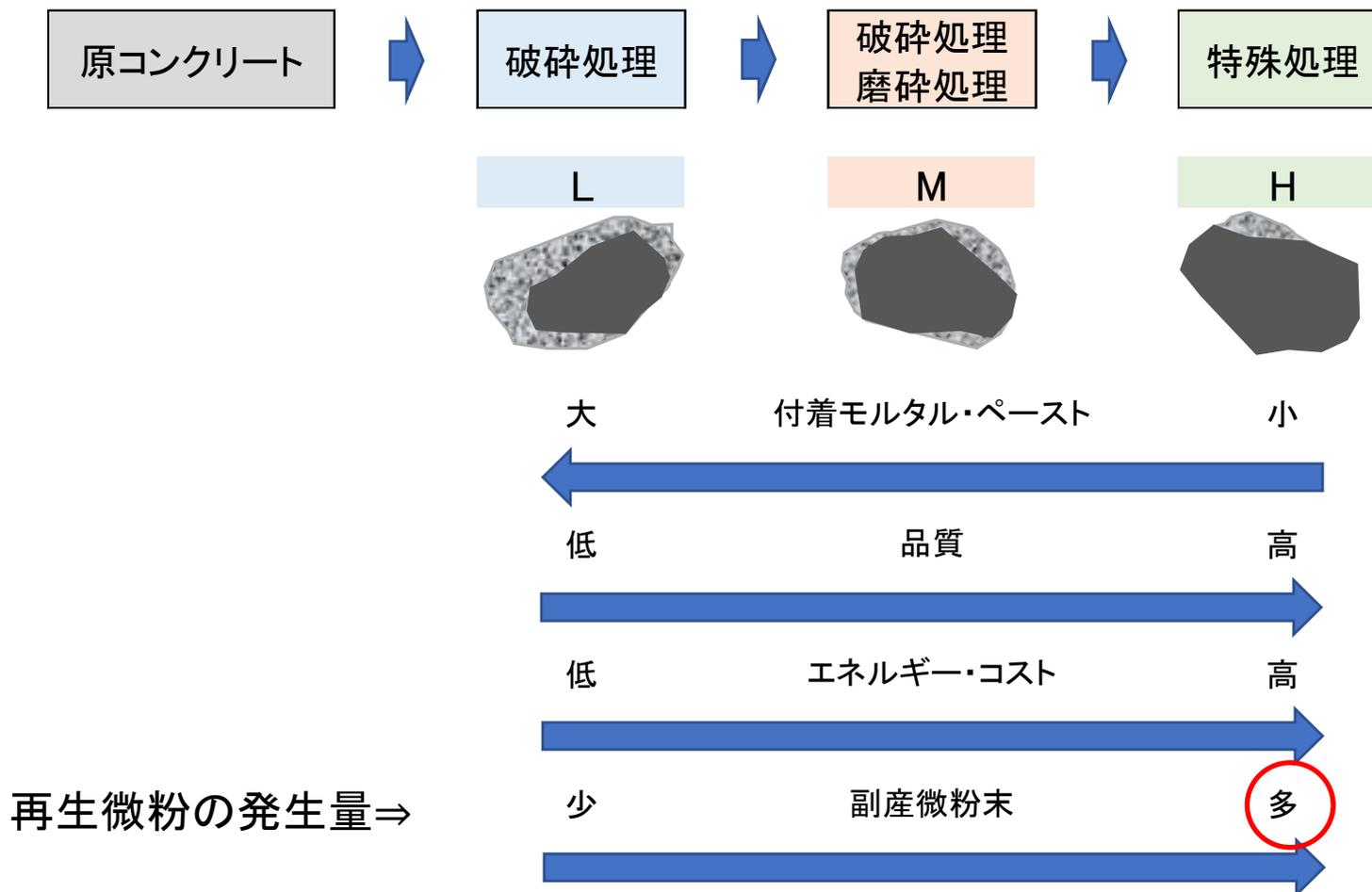
再生骨材のCO₂収支の一例



*1)松田信広・伊代田岳史:再生骨材コンクリートによるCO₂削減効果の可能性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.1093-1098, 2024.6

- 再生骨材LはCO₂排出量を大きく削減できる
- 再生骨材MについてもCO₂排出量を削減できることが示唆された
- 再生骨材Hは。 。 。 。 。 。 。 。

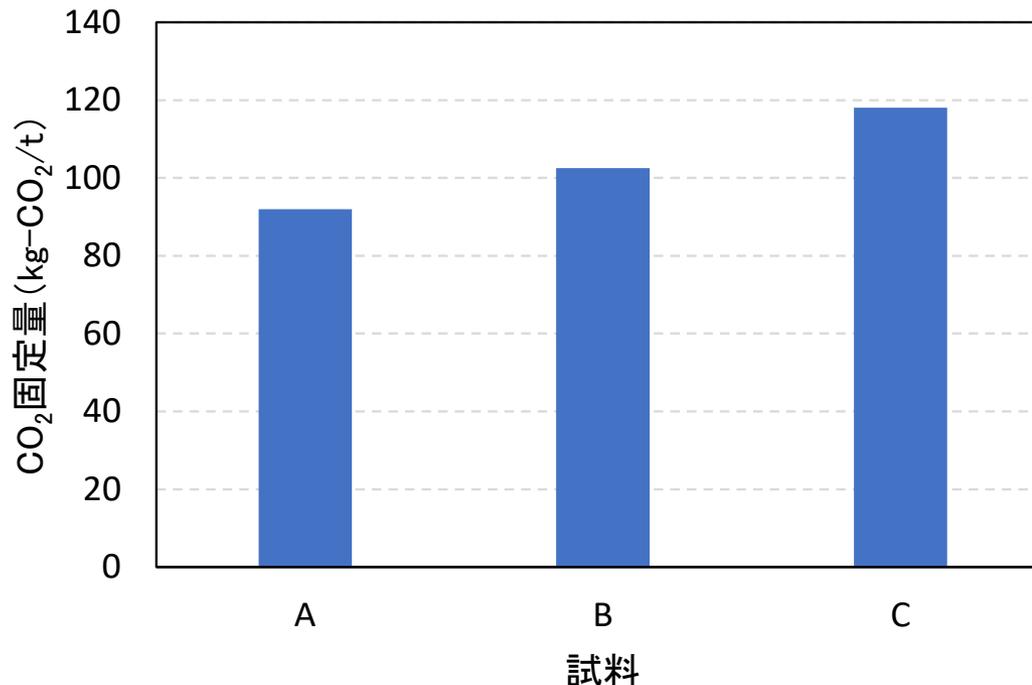
再生骨材Hのデメリットをメリットへ



再生骨材Hは、再生微粉の発生量が多い

➤ この再生微粉を炭酸化させてCO₂固定量を担保できないか??

炭酸化した再生微粉のCO₂固定量の一例



【出典】

外野圭太他: CO₂固定再生微粉の処理条件が材料特性およびモルタルの性質に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.1327-11332, 2024.6

松田信広他: 再生骨材および製造時の副産物を活用したカーボンニュートラル・ネガティブコンクリートの基礎検討、コンクリート工学年次論文集, Vol.47, No.1, pp.480-485, 2025.7

A⇒湿式炭酸化(処理時間3.3時間、CO₂供給速度0.05L-CO₂(L-水・min)

B⇒乾式炭酸化(CO₂濃度5%、RH60%、炭酸化期間7日)、C⇒大気暴露(曝露期間28日)

➤ **再生微粉のCO₂固定量は、再生骨材の固定量よりも大きい!**

再生微粉が固定化するCO₂量を骨材製造時のCO₂排出量から差し引くことで、**再生骨材としてのCO₂排出量を削減**できる可能性

再生骨材コンクリートによるCO₂削減効果（混和材の活用）

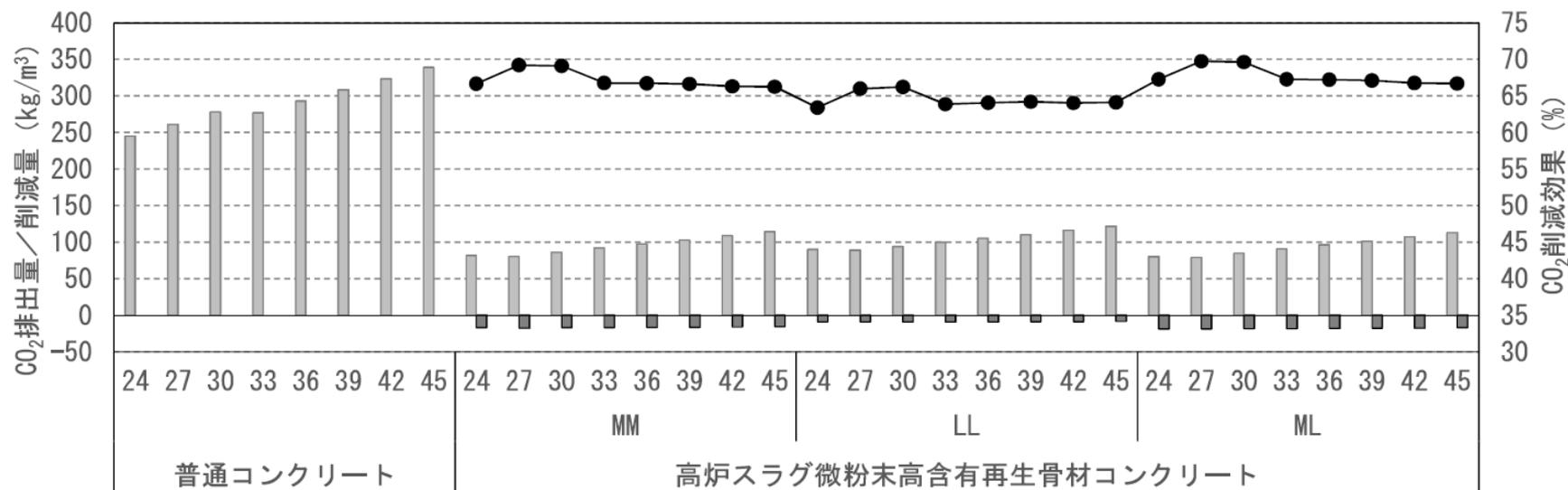
混和材を用いた検討

高炉スラグ微粉末をセメントの70%置換した再生骨材コンクリート

MM：再生細骨材M(100%)＋再生粗骨材M(100%)

LL：再生細骨材L(30%)＋再生粗骨材L(50%)

ML：再生細骨材M(100%)＋再生粗骨材L(50%)



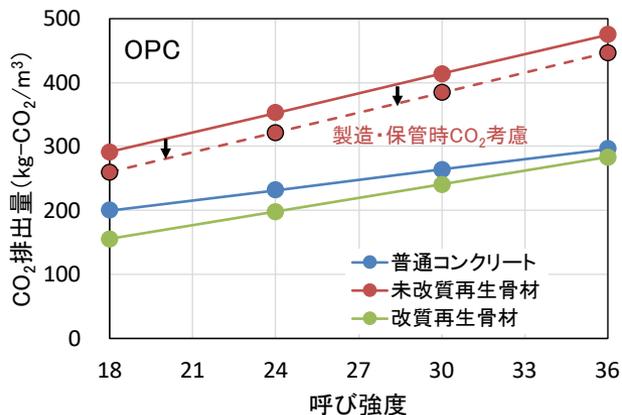
高橋祐一・新田稔・鈴木好幸・松田信広：高炉スラグ微粉末を高含有した再生骨材コンクリートの実用化に向けた基礎検討、コンクリート工学年次論文集，Vol. 45，No. 1，pp. 934-999，2023. 7

高炉スラグ微粉末を高含有（C種相当）で使用することで
CO₂排出量は大きく削減できる＋ASR抑制対策にも期待できる

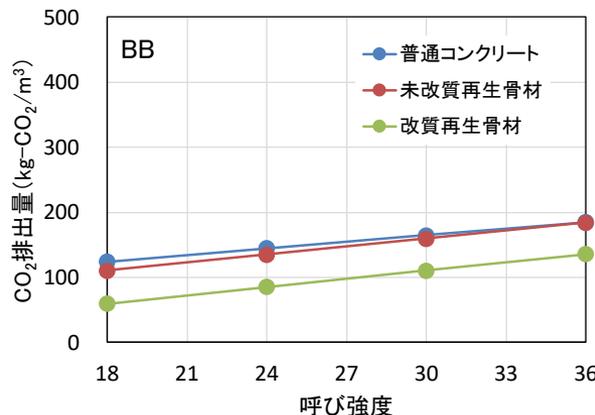
ケーススタディー（CO₂排出量）

改質再生骨材コンクリートによるCO₂排出削減効果

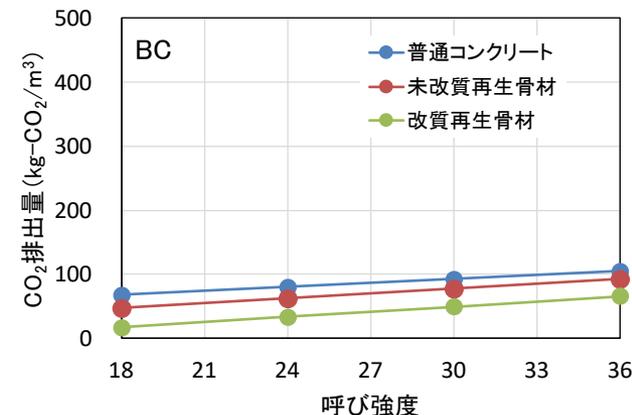
OPC配合



BB配合



BC配合



*1)松田信広・伊代田岳史:再生骨材コンクリートによるCO₂削減効果の可能性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.1093-1098, 2024.6

改質再生骨材コンクリートのCO₂削減効果はOPC配合が最も高く, BC配合では貧配合においてカーボンニュートラルの可能性を示唆できた。また、CO₂削減効果を定量的に示した

おわりに

- ✓ 再生骨材は、湿式および乾式炭酸化処理によってCO₂を固定化できる
- ✓ 混和材と炭酸化再生骨材の併用でカーボンニュートラルが達成できる可能性が高い



- CO₂固定をキーワードに、更なる資源循環に貢献する

全国の間処理工場で再生砕石および再生骨材のCO₂固定量を把握していきたい⇒次年度、ご報告できれば！！

引き続き、会員の皆様のご協力をよろしく申し上げます
ご清聴ありがとうございました