

# 助成事業成果報告書

記入日 2026年02月23日

一般財団法人せこ記念財団 御中

所属機関・職名 東京大学大学院・特任准教授

研究代表者 王海龍

貴財団による研究助成の研究成果について、下記の通り報告します。

**研究課題：** MgCO<sub>3</sub>を用いるCO<sub>2</sub>削減地盤改良技術の開発に関する研究

**研究代表者：** 王 海龍

**所属機関・職名：** 東京大学大学院・特任准教授

**助成期間：** 2025年04 月 ～2026 年 03 月

**助成総額：** 100万円

**研究目的：**

本研究の目的は、地盤工学分野でこれまで全く使われたことのないMgCO<sub>3</sub>を、セメントの代替として地盤を改良する技術を開発することである。海水の淡水化過程で発生する廃棄物であるかいがん水から、石膏・塩酸・肥料等の工業製品を取り出しつつ、かいがん水から抽出するMgイオンをCO<sub>2</sub>と反応させMgCO<sub>3</sub>を生成するCO<sub>2</sub>固定技術は開発されている。そこで、生成されたMgCO<sub>3</sub>を、生産過程において大量のCO<sub>2</sub>が排出されるセメントの代替として、軟弱地盤の改良技術を開発しCO<sub>2</sub>の削減に貢献することを目指す。

**研究報告：** (研究内容及び成果)

具体的な地盤改良方法として、本研究では、生成されるMgCO<sub>3</sub>がMg(OH)<sub>2</sub>を含有する塩基性炭酸マグネシウム（アルカリ性）であることに着目し、アルカリ環境下で硬化特性を示す水ガラス（Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>水溶液）と混合することによる地盤改良手法を検討した。本手法の応用に向けた基礎的検討として、改良体の強度発現機構に関わる塩基性MgCO<sub>3</sub>と水ガラスの硬化メカニズムに焦点を当て、実験的研究を実施した。

実験では、水ガラス100 gに対し、塩基性MgCO<sub>3</sub>を①7.5 g、②9.0 g、③11.3 g、④15.0 g、⑤22.5 g 添加した5ケースを設定した。各試料について、一軸圧縮（UCS）試験、X線回折（XRD）試験、フーリエ変換赤外分光（FTIR）試験および固体核磁気共鳴（NMR）試験を実施し、力学特性および反応生成物の構造解析を行った。

実験結果より、以下の知見が得られた。

(1) 水ガラスと塩基性MgCO<sub>3</sub>の混合体の一軸圧縮強さは、MgCO<sub>3</sub>添加量の増加に伴い初期段階では増加するものの、一定量を超えると低下する傾向を示した（図1）。この結果は、最大強度を発現するための水ガラスと塩基性MgCO<sub>3</sub>の最適配合比が存在することを示唆している。

(2) XRD分析結果（図2）において、ケース①（7.5 g）から④（15.0 g）まではブロードなピークが卓越したのに対し、ケース⑤（22.5 g）では鋭い回折ピークが確認された。これは、①～④の範囲では結晶性塩基性MgCO<sub>3</sub>がアモルファス構造を有する水ガラスと反応し、非晶質相が形成されたことを示唆する。一方、⑤では反応に寄与しない未反応の結晶性塩基性MgCO<sub>3</sub>が残存し、その結果として鋭い回折ピークが観測されたと考えられる。すなわち、結晶性塩基性MgCO<sub>3</sub>から供給されるMg<sup>2+</sup>が水ガラス中のNa<sup>+</sup>に代替し、ケイ酸種間に静電的架橋（Si-O-Mg）を形成することで非晶質ネットワークの結合密度が増加し、強度向上に寄与する可能性が示唆された。

(3) FTIR分析結果（図3）からSi-O-Mg結合の形成が波数(Wavenumber)の1000付近で確認され、さらに固体NMR分析結果（図4）に基づき、塩基性MgCO<sub>3</sub>添加量に応じたSi-O-Mg静電的架橋数の定量的評価を行った。

以上の実験結果および既往文献の知見を総合的に考察した結果、混合体の強度発現メカニズムは図1に示すように3つの領域に区分され、それぞれの支配要因を表1に整理した。

表1 塩基性炭酸マグネシウム添加量に応じた強度発現機構の整理

領域	水ガラス 100 g に対する塩基性炭酸マグネシウム添加量	支配的と考えられる要因（強度発現への寄与）
A	~11.25g 付近（濃度 47.75%の場合）の一軸圧縮強度が最大となる領域	Mg <sup>2+</sup> 添加に伴うケイ酸種間の静電的架橋が有効に作用し、非晶質ネットワークの結合密度が増加することで強度が向上する可能性が高い。
B	強度最大点以降～反応限界量に近づく領域（例：15 g 付近まで）	Mg <sup>2+</sup> による架橋効果は継続する一方で、修飾イオン増加に伴うケイ酸種の重合抑制が顕在化し、Q1・Q2比率の増加および平均連結度の低下が強度低下に寄与する可能性がある。
C	反応限界量を超える領域（例：22.5 g 付近）	未反応相の残存や組織の不均一化等により構造が不安定化している可能性があり、本領域の強度発現機構の特定には追加検討が必要である。

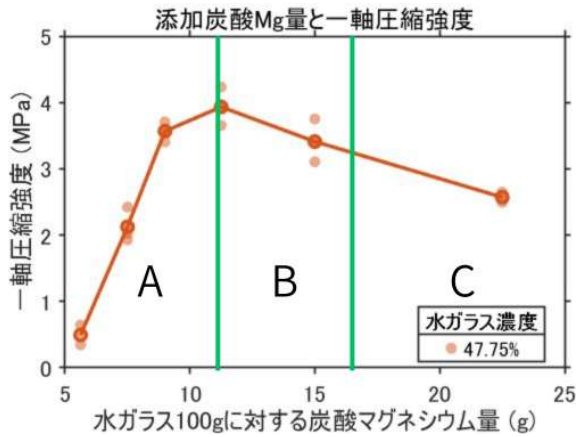


図1 一軸圧縮（UCS）試験の結果例

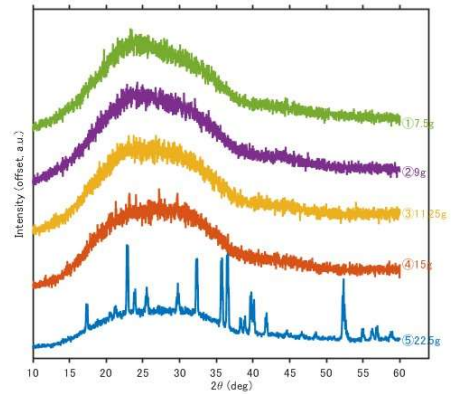


図2 X線回折（XRD）試験の結果例

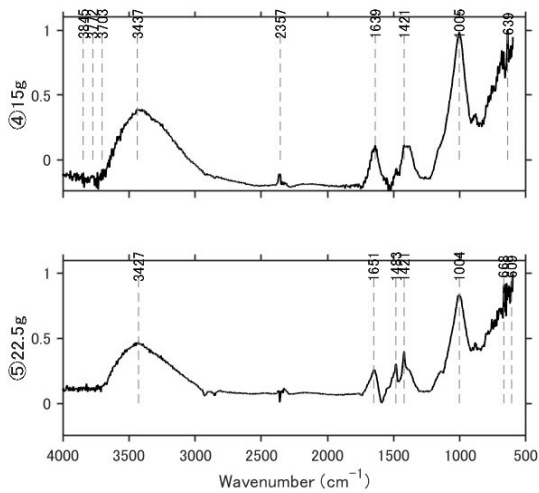


図3 FTIR試験結果の例

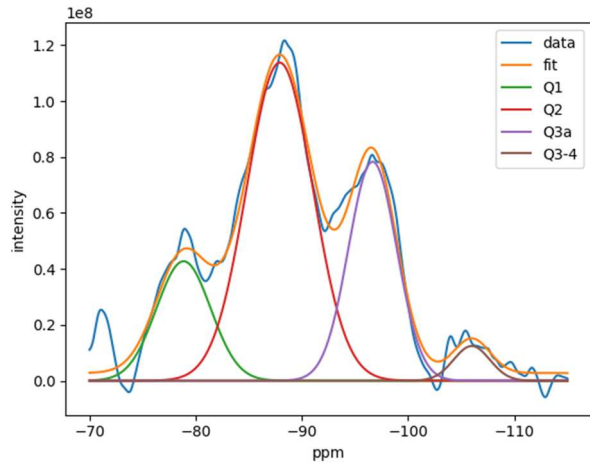


図4 固体NMR試験と定量化の例

**今後の研究の見通し：**

- (1) 強度発揮メカニズムの区別BとCの境界を精度向上した上、水ガラスの濃度が異なる際のケースも実施し、整理したメカニズムを検証する。
- (2) 砂を混合した際に、混合体の強度がさらに増加することが先行の研究で知られるが、その強度に及ぼす砂の影響について、高拘束圧（数MPa）による三軸圧縮試験で評価する。
- (3) 本研究では、学術的により価値の高いメカニズムの研究に集中して実施したが、今後の研究では、本技術の応用の視点から価値の高い混合体の長期挙動に対しても、研究を行う。

**発表論文名，著書名，講演項目：**

- (1) 小高雅宜、王海龍、森本時生「地盤改良材としての水ガラス-炭酸マグネシウム固化体の固化メカニズムに関する研究」地盤工学会年次発表会、静岡、2026.07（発表予定）。

以上