

地盤中のマグネシウムによる石灰・セメント処理土の固化阻害および劣化促進効果

宮崎大学 正○原 弘行, 山口大学 学 星山尚登

佐賀大学 正 末次大輔, 宮崎大学 正 亀井健史

1. はじめに 対象地盤の性質によっては化学的な地盤改良の強度発現が阻害される場合があることが知られている。現在までに固化処理土の強度発現を阻害する要因として、フミン酸やフルボ酸に代表される腐食酸や火山灰質粘性土などに多く含まれるアロフェンなどの影響が議論されている。また近年では、重金属の不溶化効果が大きいマグネシウム (Mg) 系の地盤改良用固化材をセメント等と併用する検討も行われている。このとき、強度発現が著しく抑制される場合があることが指摘されている¹⁾が、その機構については明らかにされていない。本研究では地盤中の Mg 塩が石灰・セメント処理土の強度発現に及ぼす影響について基礎的な知見を取得するとともに、固化処理土の海水曝露条件下での劣化挙動を調べ、地盤中の Mg 塩が劣化速度に及ぼす影響を調べた。

2. 実験概要 試料土は、北九州粘土を用いた。試料土の物性を表-1 に示す。

試料土は含水比を液性限界の 1.5 倍となるように調整して使用した。固化材は生石灰(QL)と高炉セメント B 種(BB)を用い、添加量は QL の場合 50kg/m³, BB の場合 70kg/m³とした。硫酸マグネシウム 7 水和物 (MgSO₄・7H₂O) の試薬を用い、次の手順で試料土の Mg 濃度を調整した。まず、それぞれの固化材に含まれる酸化カルシウム (CaO) 含有率 (QL : 96.89%, BB : 54.49%) と添加量から固化処理土に含まれる CaO の物質質量 (mol) を算出する。その後、得られた CaO に対する MgSO₄ のモル比 (M/C) が 0, 5, 10, 20, 50%となるように試薬を混合した。試薬を混合した試料土に対して、固化材を添加・混合し、直径 50mm、高さ 100mm のプラスチックモールドに詰め、温度 20°C、湿度 80%に調整した恒温恒湿器内で養生した。

表-1 試料土の物理的性質

土粒子密度	(g/cm ³)	2.60
液性限界	(%)	94.7
塑性限界	(%)	34.0
粒度組成	(%)	
礫		0.0
砂		3.0
シルト		34.0
粘土		63.0

作製した供試体を用いて一軸圧縮試験および劣化促進実験を行った。一軸圧縮試験は JIS A 1216 に準拠し、養生開始から 28 日後に実施した。劣化促進実験は次のようにして実施した。作製した供試体の上面以外をパラフィルムで覆い、さらにその上からゴムスリーブを被せて上面のみを開放させた状態で Mg 水溶液に浸漬させた。短期間で劣化挙動を評価するために MgCl₂・6H₂O の試薬を用いて、平均的な有明海の Mg²⁺濃度 (938mg/L) の 25 倍(23.45g/L)になるように調節した Mg 水溶液を用いた。水溶液の量は供試体 1 本当たり 1L、浸漬時間は 0, 4, 9, 16, 25, 36 日とした。浸漬後の供試体の力学的に劣化した範囲を調べるため、小型のコーン (φ=6.0mm, 先端角度 60°) を用いた貫入試験を行った。

3. 実験結果 28 日間養生した供試体の一軸圧縮強さと M/C の関係を図-1 に示す。固化材に QL を用いた場合、M/C=10%まで若干の強度増加がみられたが、その後 M/C の増加に伴って強度低下している。BB の場合は M/C が増加すると大きく強度低下しており、QL のときにみられた強度増加は確認できなかった。

コーン貫入試験結果の一例として、固化材に QL を用い、M/C=0, 20, 50%に調整したケースの貫入抵抗の深度分布を図-2 に示す。いずれの M/C に調整した場合も、浸漬前に比べて浸漬後の供試体は表層において著しく小さい貫入抵抗を示す範囲がみられ、その範囲は浸漬時間とともに拡大している。ここで、著者らが提案する方法²⁾で、貫入試験の結果から力学的に著しく劣化した深さを劣化深度として定量した。図-3 は求めた劣化深度の経時変化を示したものである。図中の破線はコンクリートの中性化の進行予測に用いられるモデルを参考に、本実験で得られた劣化深度を式 (1) で近似したものである。

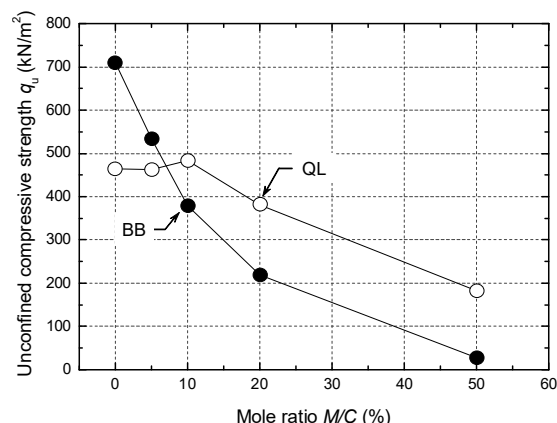


図-1 一軸圧縮強さと M/C の関係

$$d_n = A\sqrt{t} \quad (1)$$

ここに、 A は劣化速度係数、 t は浸漬時間を表す。
近似直線は実験値と大きな乖離はみられず、固化材にかかわらず、劣化深度は浸漬時間の平方根に比例して深くなっていることが確認できる。

先の実験結果から抽出した劣化速度係数 A と M/C の関係を図-4 に示す。QL, BB の両者とも M/C が増加すると A の値も大きくなり、劣化速度が速くなることが示された。さらなる検討として、試料土に添加した CaO と MgSO_4 に着目して劣化速度を評価する簡易なパラメータの導出を試みた。すなわち、固化処理土の力学的劣化は添加した固化材に含まれる CaO とそれを固化に寄与しない物質へと変化させる Mg 塩によって定まると考え、試料土の乾燥質量に対する固化に寄与する CaO 量を実質 CaO 添加率 R^*_{CaO} と定義した。 R^*_{CaO} は式 (2) によって算出した。

$$R^*_{\text{CaO}} = \frac{\alpha C_{\text{CaO}}(1 - M/C)}{\rho_t / (1 + w/100)} \quad (2)$$

ここに、 R^*_{CaO} は実質 CaO 添加率 (%)、 α は固化材添加量 (kg/m^3)、 C_{CaO} は固化材の CaO 含有率 (%)、 ρ_t は試料土の湿潤密度 (kg/m^3)、 w は固化材添加前の試料土の含水比 (%) を表す。

劣化速度係数 A と実質 CaO 添加率 R^*_{CaO} の関係を図-5 に示す。固化材によらず、 R^*_{CaO} が増加すると A の値は減少する傾向が確認できる。このことから、マグネシウムが混入した石灰・セメント処理土の劣化速度は固化材の種類にかかわらず、 R^*_{CaO} によって定まると考えられる。

4. まとめ 本研究では、マグネシウムを混入させた石灰・セメント処理土の一軸圧縮強さと劣化挙動を調べ、地盤中のマグネシウム塩による石灰・セメント処理土の固化阻害および劣化促進効果を検討した。得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 混入させるマグネシウムの量が多い場合ほど、固化処理土の一軸圧縮強さは減少する。
- 2) マグネシウムを混入させた固化処理土の劣化速度は、固化材の種類にかかわらず、本報で提案した実質 CaO 添加率によって定まると考えられる。

【参考文献】 1) 田口ら：2 段階処理施工パターンにおけるハイブリッド式安定処理土の強度・間隙構造・溶出特性，第 44 回地盤工学研究発表会，pp.619-620，2009. 2) 原ら：海水曝露によって劣化した石灰処理土の間隙径分布と圧密特性，土木学会論文集 C，Vol.71，No.3，pp.177-190，2015。

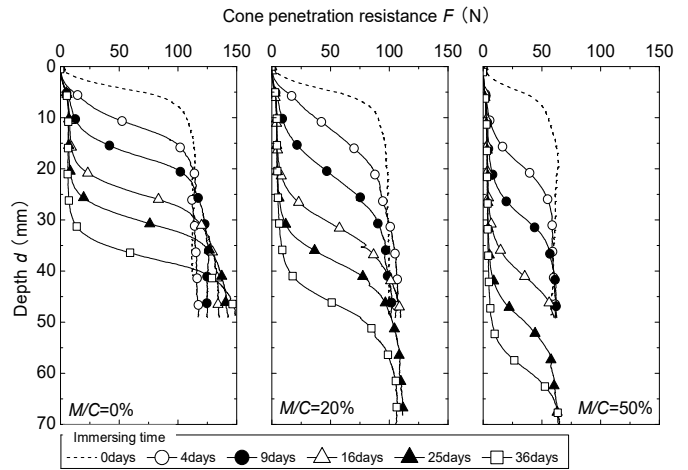


図-2 貫入抵抗の深度分布

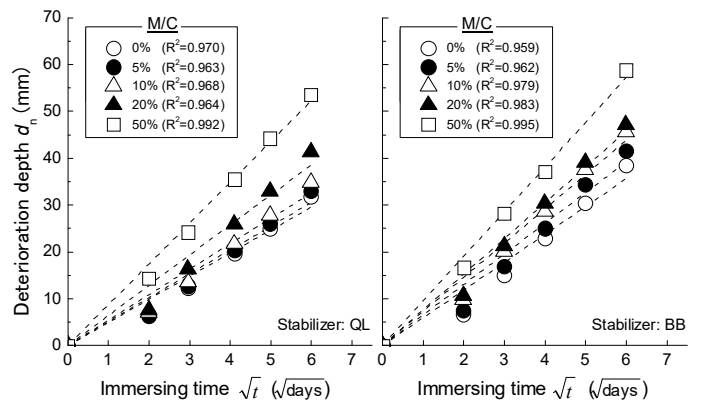


図-3 劣化深度の経時変化

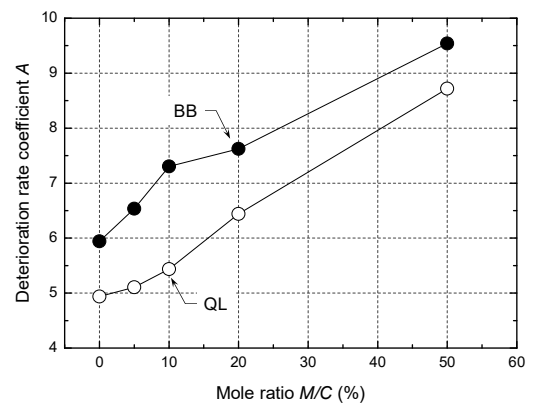


図-4 劣化速度係数 A と M/C の関係

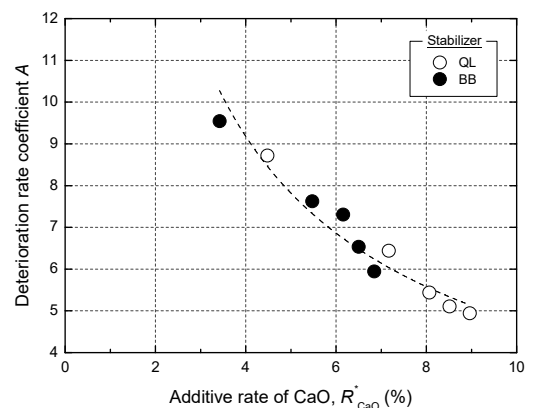


図-5 劣化速度係数 A と R^*_{CaO} の関係