

固化材添加量を変化させたセメント処理土における高温養生を利用した強度推定方法の適用性

山口大学 非会員 ○信太 陽介
山口大学大学院 正会員 原 弘行

1. はじめに

一般に、セメントによる地盤改良工事を行う場合、事前に室内配合試験を行って設計強度を満足するために添加する固化材やその量が決定される。このとき、28日または91日の材齢の強度を参照する 경우가多く、この時間を短縮できる技術開発が望まれている。現在までに、養生時の温度が異なるセメント処理土の強度発現性状は等価材齢とゴンペルツ曲線を用いることで表現できることが示されている¹⁾。室内配合試験では、複数の固化材添加量において発揮される強度から適切な固化材量を決定することになる。しかし、固化材量が異なる時の上記の評価方法の適用性は示されていない。そこで、本研究では複数の固化材添加量で作製したセメント処理土を様々な温度で養生した後、一軸圧縮試験を行い、得られた強度増進挙動から促進効果を評価した。その後、セメント処理土の短期材齢時の強度を利用した強度推定法の適用性を検討した。

2. 実験方法

試料土には、含水比を液性限界の1.5倍(122.3%)に調整したカオリン粘土(ASP-200)を使用した。固化材には普通ポルトランドセメント(OPC)を用い、添加量を50, 100, 200 kg/m³とした。試料土に固化材を添加し、攪拌機で混合し、直径50 mm、高さ100 mmのプラスチックモールドに詰めて供試体を作製した。養生温度は20(基準温度)、30, 40, 55℃とした。各温度に設定したウォーターバスの中で供試体を所定の期間養生した。養生中は、測温用に用意した供試体に小型温度データロガーを埋め込み、供試体内の正確な温度変化を計測した。養生後の供試体に対して一軸圧縮試験を行った。

3. 実験結果と考察

一軸圧縮試験の結果、固化材添加量によらず養生温度を高温にすることによって強度発現が促進されることが確認できた。ここで、等価材齢とゴンペルツ関数を用い、強度発現特性を評価した。等価材齢は式(1)で求められる。式中の反応速度定数は、アレニウス則によるものであり、式(2)で表される。

$$a_e = \left(\frac{k_{T_c}}{k_{T_{rf}}} \right) \times \Delta t \quad (1) \quad k_T = A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (2)$$

ここに、 a_e : 等価材齢(日)、 k_{T_c} : 養生温度 T_c での反応速度定数、 $k_{T_{rf}}$: 基準温度 T_{rf} (ここでは20℃) での反応速度定数、 Δt : 養生時間(日)、 A : 頻度因子、 E : 見かけの活性化エネルギー(J/mol)、 R : 気体定数(J/mol・K)、 T : 温度(K)を表す。図-1に各添加量の等価材齢と一軸圧縮強さの関係を示す。添加量によらず等価材齢とゴンペルツ曲線によって各養生温度での強度増進の挙動を一義的に表すことができた。

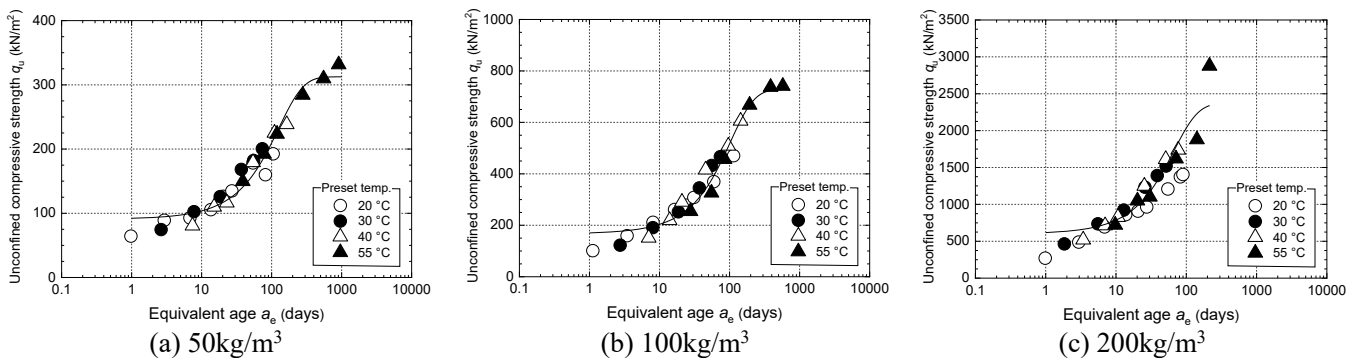


図-1 等価材齢と一軸圧縮強さの関係

キーワード セメント安定処理, 強度推定, 等価材齢, 活性化エネルギー
連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 TEL0836-85-9325

図-2 に活性化エネルギー E とセメント添加量の関係を示す。 E の値は添加量とともに直線的に小さくなった。 E は温度による強度発現の促進効果を表すパラメータであり、添加量が多いと促進効果が小さくなることが示された。

高温養生の実験結果を用いて現場の所定の材齢のセメント処理土の強度を推定するには、改良条件ごとに E の値を求める必要がある。そこで、参考文献 1)と同様に、2種類の温度条件の強度増進挙動を近似することで直接 E を求め、強度を推定した。まず、20, 30, 40, 55 °Cのなかから、2つの温度条件を選択する。次に、選択した温度条件における短期材齢の一軸圧縮強さを3点抽出する。その後、選択した材齢の一軸圧縮強さを片対数グラフ上で直線関係として最も適合するように最小二乗法で近似し、活性化エネルギーを定めた。得られた回帰式から任意の材齢の推定強度 q_u^* を求め、実測値 q_u との比 q_u^*/q_u を算出した。本研究では材齢 28, 56, 84, 112 日の強度を推定した。

図-3 に推定結果の一例として、20, 40°Cの温度の組み合わせ条件の強度比 q_u^*/q_u を示す。 q_u^*/q_u が1に近いほど推定強度が実測強度に近いことを意味する。20, 40°Cの組み合わせ条件では、いずれの材齢および添加量の場合も q_u^*/q_u が1に近い値を示した。次に、以下の式から推定精度を比較するためのパラメータ I_e を算出した。

$$I_e = |1 - q_u^*/q_u| \times 100 \tag{3}$$

表-1 に各温度の組み合わせ条件での I_e の平均値を示す。いずれの添加量においても組み合わせる温度が低い条件ほど推定精度が高い傾向がみられた。20, 30°Cおよび20, 40°Cでは添加量によらず I_e の平均値がおおよそ10%以内に収まっており、他の温度条件と比較して高い精度で強度推定が可能であった。また、200kg/m³ではその他の添加量に比べて推定精度が低い傾向がみられた。

表-1 各温度の組み合わせ条件における推定評価指標 I_e の平均値

	20, 30°C	20, 40°C	20, 55°C	30, 40°C	30, 55°C	40, 55°C	Avg.
50kg/m ³	9.4	9.1	16.7	22.1	8.4	16.9	15.1
100kg/m ³	6.3	8.5	15.1	5.6	10.2	28.5	12.4
200kg/m ³	4.7	10.5	30.5	22.9	32.2	61.7	28.0

4. まとめ

本研究では、3種類の固化材添加量を用いたセメント処理土の一軸圧縮試験結果から温度による強度発現の促進効果を評価し、任意材齢の強度推定方法の適用性を確認した。得られた知見は以下の通りである。

- 1) 固化材添加量によらず、等価材齢とゴンペルツ曲線によってセメント処理土の強度発現挙動を表現することができた。また、算出された活性化エネルギーは固化材添加量が多いときほど小さかった。
- 2) 固化材添加量が異なる場合において、2種類の温度条件の短期材齢強度から長期強度を推定する方法の適用性を調べた。その結果、低い温度の組み合わせ条件では比較的推定精度が高かった。

参考文献 1) Hara, H., & Shirabe, Y.: Strength estimation method for arbitrary age of cement-treated soil based on high-temperature curing history. Soils and Foundations, 63(2), 2023.

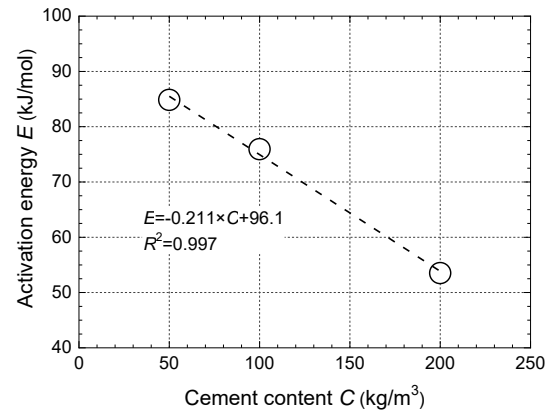


図-2 セメント添加量と活性化エネルギーの関係

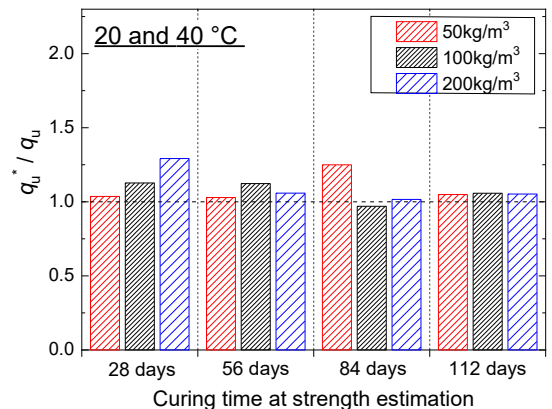


図-3 強度比 q_u^*/q_u の一例 (20, 40°C)