

セメント系固化材を用いた市販粘土の強度発現特性に及ぼす温水養生時間の影響

佐賀大学理工学部 ○学 井上雄太 学 姫野季之 正 日野剛徳
 促進養生研究会 F 三浦哲彦 正 碓井博文 正 喜連川聰容

1. **はじめに** 筆者らは促進養生研究会に属し、セメント系固化材を用いた地盤改良工法における促進養生法の実験を行っている¹⁾。本報では市販のカオリンとベントナイトを対象として、一般軟弱土用のセメント系固化材を用いた場合の強度発現特性に及ぼす温水養生時間 t_{hw} の影響について検討した。

2. **促進養生法における異なる温水養生時間 t_{hw} の設定** 促進養生研究会では、温水養生温度 $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ のもと、前置き養生時間を 3 時間 ± 0.5 時間、本報では t_{hw} と呼ぶ温水養生時間を 20.5 時間、後置き養生を 0.5 時間、計 24 時間程度の設定に注目してきている²⁾。

既往の研究では、温水養生温度を始め、前置き、温水 (t_{hw}) および後置きの各養生時間はまちまちであり³⁾、得られた結果の共通テーブル上の単純比較をためらわせている。図-1 に、各 t_{hw} の設定を示す。同影響を単純に見極めるために、 t_{hw} のみ 5 時間、8 時間、15 時間、18 時間および 21 時間の違いを設けた。前置き養生時間は 1.5 時間、後置き養生時間は 0.5 時間とした。

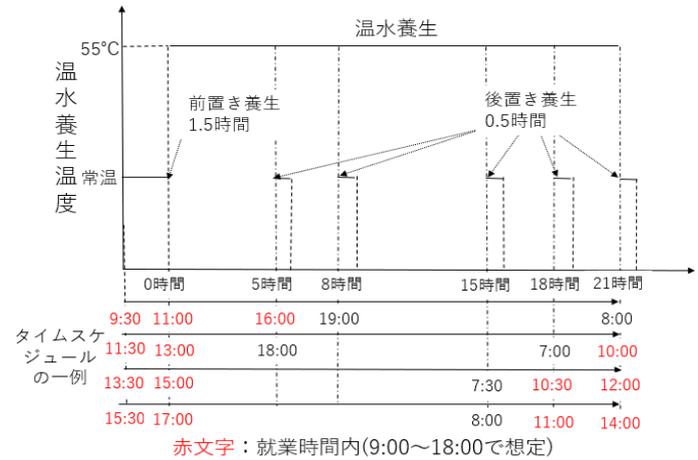


図-1 促進養生法における異なる t_{hw} の設定

3. **供試体の作製** 20g/L の塩化ナトリウム水溶液 (以後、塩水と呼ぶ) と蒸留水で含水比調整した。塩水を用いることでカオリンの液性限界 w_L は 51.1% から 57.8% へと微増し、ベントナイトの w_L は 266.0% から 128.6% へと大きく減少した。これによって、両粘土の強さが増すため、取り扱いが容易になる^{4),5)}。塩水調整による初期含水比 w_i は、各粘土の w_L に相当させた。蒸留水による w_i は、各粘土の w_L の 1.5 倍に相当させた。調整後の各粘土に対し、一般軟弱粘土用のセメント系固化材の配合量 C は 100, 150 および 200kg/m³、水セメント比 W/C は 1.0 の条件のもと、JGS 0821-2009⁶⁾ に基づいて供試体を作製した。

4. **強度発現特性に及ぼす温水養生時間 t_{hw} の影響** 図-2 に、塩水の w_i からなるカオリンの t_{hw} と一軸圧縮強さ q_u 、ならびに一軸圧縮試験直前に計測した湿潤密度 ρ_t の関係を示す。左側の縦軸に q_u (点群) を、右側の縦軸に ρ_t (線群) を反映させている。図-3 は、蒸留水の w_i からなる同様の結果である。 ρ_t のスケールを拡げて強度発現の傾向を捉えると、両図ともに一見 ρ_t の増加に伴う強度発現の増加の関係がうかがえるが、 ρ_t の差はわずかである。後述のベントナイトでは w_i も高くなるためか、 ρ_t の値はより一定値に近づき、その上で強度発現の傾向が変化している。これらのことから、強度発現特性に及ぼす ρ_t の影響は小さいと考えられる。さて、図-2 と図-3 より、全体的に w_i の増加に伴い強度発現は低下する。各 w_i の条件における C の増加に伴う強度発現の増加もセオリーに従う。 t_{hw} の増加に伴い強度発現も増加し、 t_{hw} が 18 時間までは右肩上がりの

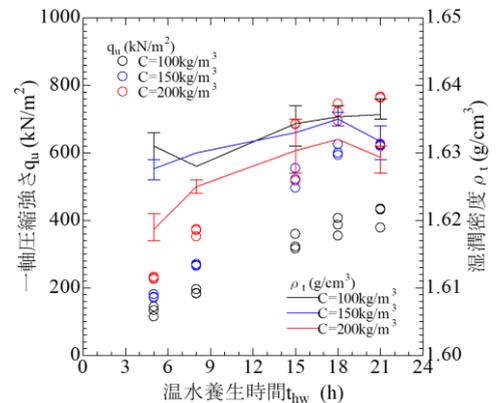


図-2 t_{hw} と q_u および ρ_t の関係 (カオリン・塩水)

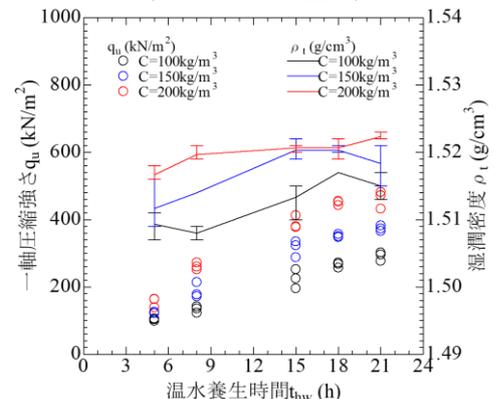


図-3 t_{hw} と q_u および ρ_t の関係 (カオリン・蒸留水)

増加を示し、これ以降から 21 時間において収束する傾向を得た。

図-4 と図-5 に、ベントナイトに関する結果を示す。全体的に w_i の増加に伴い強度発現が低下する傾向はカオリンと同様である。ただし、各 w_i の条件における C の増加に伴う強度発現の傾向はカオリンと異なり、図-4 では C が 150kg/m^3 と 200kg/m^3 において、 q_u が交叉しながら増加する傾向を示した。図-5 では C が 100kg/m^3 と 150kg/m^3 において、 q_u が上述と同様の傾向を示した。図-4 では、カオリンと同様に t_{hw} の増加に伴い強度発現も増加し、 t_{hw} が 18 時間までは右肩上がりの増加を示し、これ以降から 21 時間において収束した。他方、図-5 のように高い w_i に至るほど収束の傾向が掴めないようになった。

5. 養生時間と強度比 q_{u28}/q_{uthw} の関係 図-6 と図-7 に、カオリンとベントナイトにおける t_{hw} と強度比 q_{u28}/q_{uthw} の関係を示す。 q_{u28}/q_{uthw} は通常養生に基づく養生日数 28 日目の一軸圧縮強さ q_{u28} を得、同値に各 t_{hw} に基づく一軸圧縮強さ q_{uthw} (ここに、 $t_{hw}=5, 8, 15, 18, 21$) を対比させることで表した。図-6 のカオリンについて、 t_{hw} が 18 時間以降で q_{u28}/q_{uthw} は一定値に収束する傾向を示すが、1 程度で収束するパターンと 2 程度で収束するパターンに分かれた。図-7 のベントナイトについても同様に、 t_{hw} が 18 時間以降で q_{u28}/q_{uthw} は一定値に収束するが、1~2 程度の範囲に集約された。図-5 に示したように、ベントナイトの場合、 w_i が高く t_{hw} が短いほど q_{uthw} の強度発現が認められないため、 q_{u28}/q_{uthw} が大きくなる。図-7 の収束範囲のみ拡大すると、図-6 に示したカオリンと同様の傾向が確認できたことから、 q_{u28}/q_{uthw} は t_{hw} が 21 時間に達するほど 1~2 程度の範囲に収束するとまとめられる。図-5 の観点と同様に、 t_{hw} と q_{u28}/q_{uthw} の関係においても高い w_i に至るほど収束の傾向が掴めないものもあることが確認された。

6. おわりに 市販のカオリンとベントナイト、ならびに一般軟弱土用のセメント系固化材を用いた場合の検討結果を要約すると、次のとおりである：(1) 温水養生時間 t_{hw} の増加に伴い強度発現も増加し、 t_{hw} が 18 時間までは右肩上がりの傾向を示し、21 時間にかけて収束した；(2) セメント系固化材添加前の粘土の初期含水比 w_i が高くなるほど、収束の傾向が掴めなくなった；(3) q_{u28}/q_{uthw} は t_{hw} が 21 時間に達するほど 1~2 程度の範囲に収束した；(4) 18 時間以上の t_{hw} を経たデータを集積することで、養生日数 28 日目の一軸圧縮強さ q_{u28} と促進養生法による 1 日目の一軸圧縮強さ q_{u1} の強度比 q_{u28}/q_{u1} に関する推定式のばらつきが抑えられると考える。

参考文献 1) 原田ら：令和元年度土木学会西部支部研究発表会，土木学会西部支部，2020。（投稿中）2) 姫野：博士論文，佐賀大学大学院工学系研究科博士後期課程システム創成科学専攻，2020。（投稿中）3) 山田ら：第 30 回土質工学研究発表会，土質工学会，pp.2197-2198，1995。4) 山際ら：平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，第 III 部門，土木学会西部支部，pp.375-376，2019。5) 宮島ら：平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，第 III 部門，土木学会西部支部，pp.419-420，2019。6) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説～二分冊の 1～，地盤工学会，pp.426-434，2009。

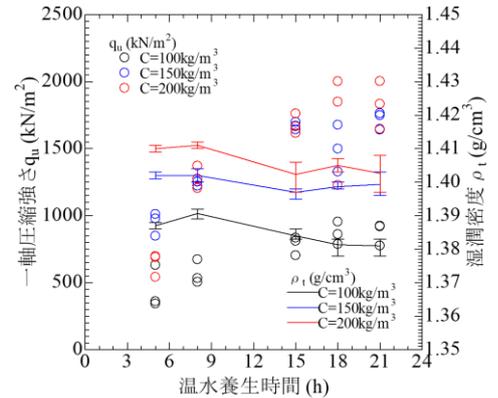


図-4 t_{hw} と q_u および ρ_t 関係 (ベントナイト・塩水)

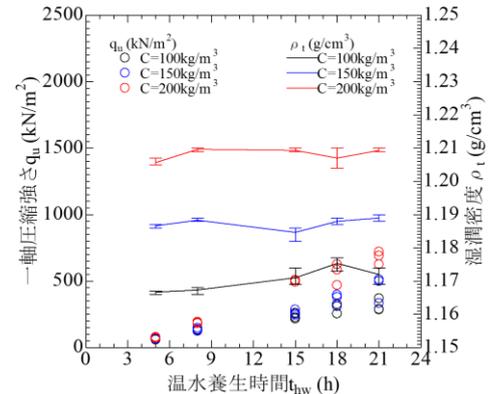


図-5 t_{hw} と q_u および ρ_t の関係 (ベントナイト・蒸留水)

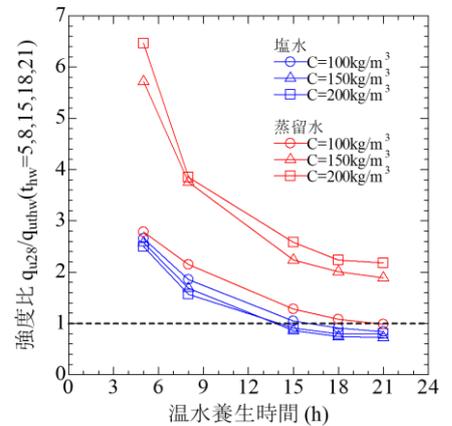


図-6 t_{hw} と q_{u28}/q_{uthw} の関係 (カオリン)

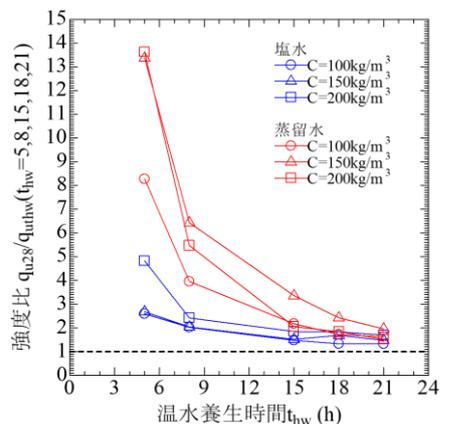


図-7 t_{hw} と q_{u28}/q_{uthw} の関係 (ベントナイト)