

# 繰返し凍結融解作用を受けるセメント改良土の強度低下の把握

八戸工業大学  
八戸工業大学大学院  
八戸工業大学

学生会員  
学生会員  
正会員

○遠藤 啓吾  
小山 直輝  
橋詰 豊・金子 賢治

## 1. はじめに

力学的性質などの基準を満たしていない建設発生土はセメント等を用いた固化処理を行い利用される。セメント等の配合量を決めるための配合設計においては、初期の強度を基準として配合量を決めており、気象条件等による経年劣化や耐久性についてはほとんど考慮されていない。その一方で、社会基盤構造物の長寿命化の動きを受けてコンクリート構造物等については凍結融解作用による強度低下が指摘されており、東北地方等の寒冷地域においては課題となっている<sup>1)</sup>。コンクリートより初期強度が小さく空隙の多い固化処理土についても地盤凍結深より浅い部分に施工された場合には凍結融解作用により強度が低下する可能性が高いと考えられ、経年的に強度が低下して地盤支持力等の性能を満足できなくなることが懸念される。本研究では、凍結融解作用を受けた固化処理土の一軸圧縮試験を実施して、その凍結融解作用による強度低下の把握を行った。

## 2. 予備実験と劣化環境の設定

昨年度の実験<sup>2)</sup>においては、養生日数を7日の供試体を用いて凍結融解試験を行った。しかしながら、養生日数7日の場合には凍結融解過程においても養生の効果により強度が増加する可能性があり、養生による強度増加と凍結融解による強度低下を正確に分離できないと考えられる。したがって、本研究では、予備実験として養生日数と強度の関係を調べ、凍結融解試験に用いる供試体の養生日数を検討した。予備実験の結果得られた気中養生日数と一軸圧縮強度の関係を図-1に示す。同図より、養生日数7日以降も強度は大きく増加していることがわかる。養生日数14日と28日の間でほとんど強度増加が見られないことから、本研究での養生日数は28日間と設定した。

本研究では飽和度の異なる3種類（乾燥状態、飽和状態、不飽和状態）の試料を用いることとした。乾燥試料については予備実験として28日間気中養生した供試体とその後24時間炉乾燥した供試体の重量を測

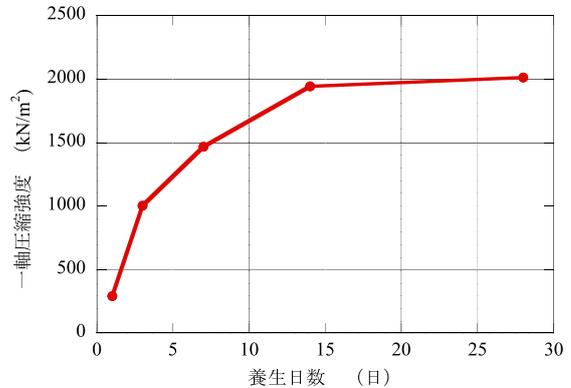


図-1 養生日数ごとの一軸圧縮強さ

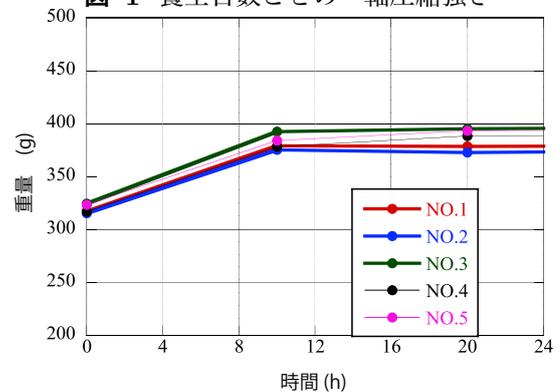


図-2 真空吸水時間と重量の変化

定・比較し、ほとんど変化がないことから「気中養生28日間・凍結融解サイクルも全て気中で行う」こととした。飽和試料については、気中養生後の供試体を水で満たしたデシケータに設置して、真空ポンプで脱気しながら吸水させた。5本の供試体に対して真空吸水時間と重量の変化を計測した結果を図-2に示す。同図よりわかるようにどの供試体も2時間ほどで重量はほぼ変化しなくなることがわかる。したがって、飽和試料は「気中養生27日間・水中養生20時間・真空吸水時間4時間」とした。不飽和試料については、「気中養生27日間・水中養生24時間」とすることとした。また、全ての供試体において凍結過程24時間・融解過程24時間とし、凍結過程は気中とした。融解過程については、飽和・不飽和試料については、飽和度が変わりにくいように水中で実施した。養生期間・融解過程は温度は20℃、凍結過程は-20℃に保つこととした。なお、不飽和試料の飽和度は約62%となっている。

### 3. 凍結融解試験

#### (1) 実験概要

供試体は直径 5cm, 高さ 10cm の円柱供試体を用いた。ケイ砂 5号とその重量比 10%の普通ポルトランドセメントおよび重量比 10%の水をモルタルミキサーで混合して練り混ぜ、3層に分けて 25 回の突き固めて固化改良土を作成した。前述したように乾燥試料(ケース D), 不飽和試料(ケース W), 飽和試料(ケース S)の 3種類を準備する。凍結融解の繰り返し回数は 0, 1, 3, 7 サイクルとし各サイクルにおいて一軸圧縮強度、縦波弾性波速度 ( $V_p$ ) を測定した。一軸圧縮試験用供試体は、ケース W と S は各サイクル 6 本ずつ、ケース D は 3 本ずつとした。 $V_p$  を計測するための供試体は各 6 本とし、凍結融解過程において同一の供試体を継続して用いた。

#### (2) 実験結果

図-3 に凍結融解サイクル数と正規化一軸圧縮強度の変化を示す。縦軸の正規化一軸圧縮強度は、凍結融解作用を受けない初期の供試体の一軸圧縮強度の平均値で、各サイクルの供試体の一軸圧縮強度の平均値を正規化して示している。乾燥試料を用いたケース D の場合には、凍結融解作用によりほとんど強度は変化しない。飽和度を約 60%としたケース W の場合には、凍結融解 1 サイクルで若干の強度低下が見られるが、その後はほとんど変化していない。水の凍結による膨張率は約 10%であり、各間隙毎の飽和度にばらつきが含まれると考えられるものの、飽和度が 60%程度であればセメントによる土粒子間結合を壊す程の影響は少ないものと考えられる。一方で、飽和したケース S の場合には凍結融解サイクルが進むにつれて強度が低下しており、3 サイクルで初期強度の 80%程度、7 サイクルで 60%になることがわかる。実際の環境下における固化処理土の凍結融解作用の繰り返しによる強度低下は、ケース D とケース S の間になると予想され、飽和度が高い場合には著しく強度が低下する可能性があり、注意が必要であると言える。

図-4 に正規化縦波弾性波速度と凍結融解サイクル数の関係を示す。縦波弾性波速度については、同一の供試体を繰り返し使用して測定しているので、各サイクルの測定値をその供試体の初期の測定値により正規化した後、平均して求めている。縦波弾性波速度についても、ケース D, ケース W についてはほとんど変化が見られず、ケース S の場合には凍結融解サイクル

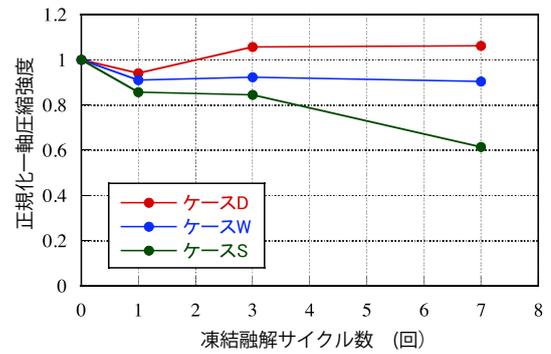


図-3 正規化一軸圧縮強さとサイクル数の変化

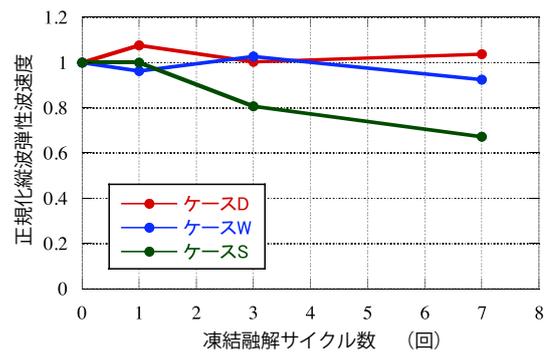


図-4 正規化した縦波弾性波速度とサイクル数の変化

の増加に伴い明らかに低下している。これらの変化の傾向は一軸圧縮強度と類似している。固化処理土の内部構造が劣化し空隙が増加することにより、弾性波速度が低下する。このことにより固化処理の強度が低下することが確認される。これらの結果より、空隙に存在する水が凍結により膨張することで、セメントによる土粒子間の結合を破壊して空隙が増加することにより、強度低下が発生することがわかる。

#### 4. おわりに

本研究では、凍結融解の繰り返し作用によるセメント固化処理土の強度低下を把握した。飽和度が 60%程度以下であればそれ程影響を及ぼさないが、飽和状態であれば 7 サイクルで 60%程度に強度が低下することが確認された。飽和状態であれば、凍結融解による固化処理土の劣化速度は、コンクリートと比較して非常に大きい。強度低下が進む飽和度の限界を把握することや添加率・初期強度の影響等について詳細に検討することが今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 阿波稔ほか：凍結融解を受けたコンクリート表層部の劣化度評価，コンクリート構造物への非破壊検査の展開論文集，Vol2, pp.243-248, 2006.
- 2) 柏崎匡哉ほか：固化処理土の凍結融解作用による力学的特性の劣化の把握，土木学会東北支部技術研究発表会，III-31,2014