

地盤凍結・融解を合理的に記述する新しい工学モデルの発展と実証（概要版）

北海道大学大学院工学研究院 西村 聡

地盤の凍結・融解は、寒冷地においては地盤災害に直結する自然過程であるとともに、盛土・河川堤防などの土構造物の施工性・健全性に大きな影響を与える。また、トンネルや立坑などの大深度掘削において特に困難な地盤条件に面した際、人工地盤凍結は非常に有効な工法である。しかし福島第一原子力発電所の地中凍土壁に代表される前例のない挑戦的なプロジェクトの際には、学術的・力学的に健全な知見に基づき、熱・間隙水の移動と地盤変形の相互作用を演繹的に予測する技術が必要であるが、そのような技術はまだ確立されていないのが現状である。著者はこれまで、凍結時・非凍結時の強度をシンプルな原理で統一的に表す力学的枠組みを提案してきたが、その適用性・妥当性の根拠となる実験データは凍結過程のもののみであり、融解過程の研究が未実施であることから、その一般性を広く実証するには至っていない。そこで、凍結と融解の繰返しにより土の状態がたどる変化とそのパターンを理解・モデル化することを目的として、地中応力状態を模擬した有効拘束圧下で凍結・融解を繰り返す室内試験を実施し、密度・有効応力により定義される「状態 (state)」がどのように変化するかを計測し、簡易なモデルを考案した。

土質試料には笠岡粘土を用い、再構成試料として用いた。これを三軸試験装置内で等方圧密し、そのまま拘束圧下で比較的急速に凍結を行い、それを融解させるというサイクルを繰り返す。定体積条件下では有効応力の累積変化を、また定圧力条件では間隙比 (体積) の累積変化を計測した。その結果、**図-1** に示すように、およそ 5 サイクルの後、いずれの条件でも一定状態に収束することが観察された。この状態を結ぶ線を Freeze-Thaw Ultimate Line (FTUL)、また現在の状態とこの線との間隙比  $e$  (あるいは比体積  $v$ ) の差 (**図-2**) を Freeze-Thaw State Parameter,  $\psi_f$  と定義した。これらの新しい概念を用いて、任意の状態 ( $p', e$ ) から凍結・融解を 1 サイクル経た後の状態を記述する式を提案した。これにより、定体積条件・定圧力条件に関わらず、観察された状態変化過程を良好に再現することができた。この式を著者が提案している凍土の熱・水・土連成弾塑性モデルに組み込むことで、例えば補助工法としての人工凍結を終了した後の地盤変形や安定性の評価を、数値解析を通して行うことができるようになることが期待される。

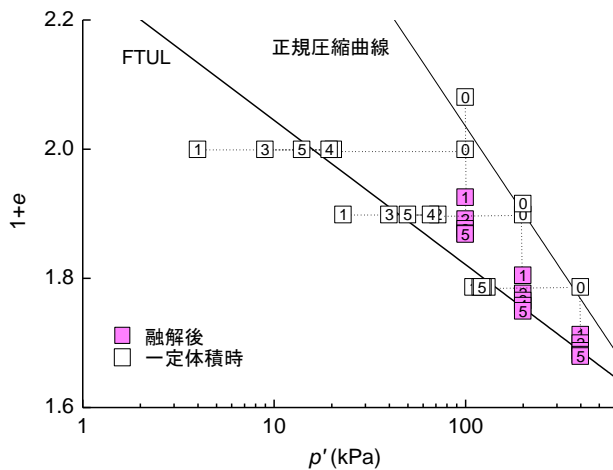


図-1 凍結・融解サイクルによる状態変化

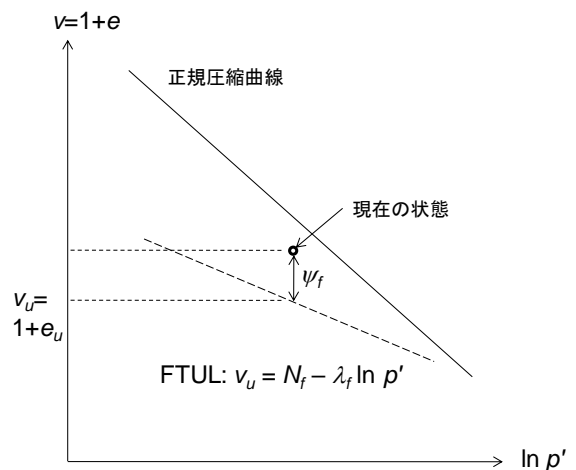


図-2 FTUL と  $\psi_f$  の定義