



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	プレロード改良地盤の長期圧密挙動における アイソタック則の適用性に関する研究
Author(s)	新名, 大輔
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16848号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16848
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99693
Type	doctoral thesis
File Information	Daisuke_Niina_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 新名 大輔

審査担当者 主 査 教 授 渡部 要一
副 査 教 授 石川 達也
副 査 教 授 宮森 保紀
副 査 准教授 磯部 公一

学位論文題名

プレロード改良地盤の長期圧密挙動における アイソタック則の適用性に関する研究
(Study on applicability of isotache law on long-term consolidation behavior of preload-improved soft clay deposits)

プレロード工法は、港湾埋立地盤などの軟弱粘土を過圧密状態にし、地盤の強度増加と長期沈下抑制を図る代表的な地盤改良工法である。しかし、プレロード載荷から除荷・再載荷に至る複雑な荷重履歴の下で生じる長期圧密挙動、特に二次圧密を含む残留沈下を実務的レベルで予測する手法は確立されていない。本研究は、応力-ひずみ-ひずみ速度の関係が唯一に決まるというアイソタック則を適用して、プレロード改良地盤の長期圧密挙動に対する同則の適用性を理論・実験・解析の三つの立場から検討し、載荷・除荷・再載荷履歴を連続的に考慮した実務的な長期沈下予測法の提案を目的とする。

アイソタック則に基づいた圧密降伏応力と粘塑性ひずみ速度との関係式を応力-ひずみ空間に定式化し、この関係を鉛直一次元変形と半径方向排水を同時に考慮できる軸対称圧密方程式と関連付けることにより、実用的な数値解析手法を構築した。本手法では、ADI 法により過剰間隙水圧の時刻歴を求め、その結果から有効応力と粘塑性ひずみを逐次更新することで、一次圧密と二次圧密を同一の構成則のもとで一貫して評価することができる。提案した圧密解析手法については、土質力学における古典的理論解や最新の試験データとの比較を通じて検証し、載荷過程における圧縮に続いて、除荷直後の弾性膨張および負の過剰間隙水圧の消散後に生じる粘塑性再圧縮を同一モデルにより連続的に再現できることを確認した。

次に、プレロード改良地盤の実地盤挙動に近い応力場を再現してアイソタック則の適用性を検討するため、遠心模型実験を実施した。実験では、特性の異なる二種類の粘土材料について、バーチカルドレーンの有無、プレロード撤去時の異なる圧密度 (60%, 90%) と層厚を疑似的に変化させるために異なる遠心加速度 (25g, 50g) とを組み合わせた計 12 ケースを設定し、プレロード載荷から撤去後にかけての沈下および過剰間隙水圧の時刻歴を計測した。その結果、除荷直後には地盤上部に負の過剰間隙水圧が発生し、その消散とともに弾性膨張が収束した後、粘土層内では有効応力一定条件下での粘塑性再圧縮が長期的に進行すること、プレロード撤去時の圧密度が低いケースやドレーン改良を施したケースでは、再沈下量が大きくなることなどを示す計測データが得られた。

これらの遠心模型実験の結果を対象として、提案法による再現解析を行い、実験条件に応じた圧密係数とアイソタック則を表現するパラメータを設定したうえで、圧密沈下および過剰間隙水圧の時刻歴を比較した。その結果、比較的軽度な過圧密な領域における再圧縮挙動については、提案法

は弾性膨張量とその後の粘塑性再圧縮量の両者を良好に再現し、特にプレロード撤去時の圧密度やドレーン配置の違いが、除荷後の沈下挙動に及ぼす影響を定量的に説明できることが確認された。なお、著しい除荷となる過圧密比が 1.4 を超えるような著しい除荷に伴う粘塑性膨張については、現時点でこれを適切に記述する構成モデルがないため、本提案手法においてもこの点を適用限界として意識する必要がある。

次に、提案手法を用いたモデル地盤解析およびパラメトリックスタディを通じて、プレロード工法の設計パラメータが長期沈下に与える影響を体系的に整理した。具体的には、プレロード荷重の大きさと载荷期間、撤去時の圧密度、原地盤の圧密特性、ドレーン間隔、自重応力を変化させた条件で解析を行い、プレロード撤去時の圧密度が低い場合には残留沈下量が顕著に増加すること、プレロード荷重を過度に大きくすると過圧密比の増大により供用中の粘塑性再圧縮が増える可能性があること、ドレーンに向かう水平排水の促進は沈下挙動の収束を早めるものの長期残留沈下量を必ずしも低減しないことを示した。また、従来の二次圧密モデルとの比較解析により、提案法は载荷から除荷・再载荷に至る履歴を同一構成則のもとで評価でき、層厚方向のひずみ分布や過圧密比の経時変化も同時に把握できる点で、従来法に対して優位性を有することを示した。計算に必要とする材料パラメータは、圧密係数、圧縮・膨張指数およびアイソタックパラメータなど少数に限られ、これらは長期圧密試験や多段階载荷圧密試験から同定可能であり、実用的なものである。

以上を要するに、著者は、アイソタック則を導入して一次圧密と二次圧密とを統一的に評価できる長期沈下解析法を構築することにより、プレロード改良地盤に対して、载荷・除荷・再载荷履歴を連続的に反映できる実用的な予測手法を提案し、その有用性を示しており、沿岸開発における地盤工学・軟弱地盤工学に貢献するところ大なるものがある。よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。