

室内実験における膨張性泥岩の乾湿繰返し挙動の再現と 損傷進展を考慮した泥岩力学モデルの開発



平山 皓介

(2023年度 修士論文概要)

東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 土質・地盤研究室

概要

膨張性泥岩は、その吸水膨張する性質によって工学的にさまざまな問題を引き起こしている。既往研究では、膨張性泥岩の乾湿繰返しによる膨潤特性に共通の見解が得られておらず、その力学特性を体系的に説明する理論は未発達である。膨張性泥岩の特性に加え、応力や水質環境などの要素が複合的に作用して巨視的な変状につながるため、その予測や評価は、現地計測をもとにした定性的・経験的な判断にならざるを得ない。以上より、膨張性泥岩を用いた力学試験を系統的に行い、その力学特性の評価手法を確立する必要があるといえる。そこで本研究では、泥岩特有の固結作用を有した人工膨張性泥岩の作製手法およびこの供試体を用いた乾湿繰返し実験手法を確立し、水浸時の上載荷重や変位拘束といった実験条件が膨潤特性に与える影響を確認することを実験目的とした。また、膨潤性粘土のミクロな水理挙動および泥岩としての構造劣化を表現した膨張性泥岩の力学モデルを構築し、その特性を確認することも解析における研究目的とした。

事例：北陸新幹線 加賀トンネルの路盤隆起



(国土交通省 北陸新幹線の工程・事業費管理に関する検証委員会 中間報告書, 2020)

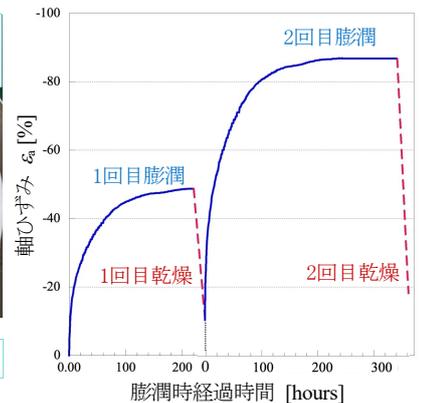
人工膨張性泥岩の作製および乾湿繰返し実験

粘土試料、シルト試料および固結作用を与えるための石膏試料を混合して締固めることで人工膨張性泥岩の供試体を作製した。また、この供試体の側方膨張をリングで固定した状態で水浸したときの鉛直方向の変位によって、その膨潤性能を評価した。このとき、乾燥収縮によってリングと供試体との間に隙間が生じる場合があり、膨潤開始時に供試体がリングから反力を得られないことにより、膨潤量を過小評価してしまう問題があった。そこで、3Dプリンタで作製したリングにより供試体の側方拘束を満たした状態で、水浸膨潤と乾燥収縮を繰返し与える実験を行い、1回目膨潤ひずみよりも2回目膨潤ひずみの方が大きくなる結果を得た。このようにして、適切な拘束条件で乾湿繰返しを与え、膨潤性能を適切に再現することが可能となった。

リングによる側方拘束を満たした状態



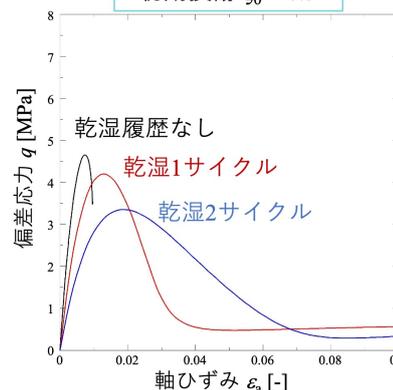
人工膨張性泥岩供試体



膨張性泥岩モデルにおける損傷進展の評価式の提案・せん断シミュレーション

泥岩内部において、粘土の膨潤によって構造が引張を受け損傷し、粘土の挙動がより支配的になっていくような変化を考慮し、膨潤性粘土部とマトリクス部からなる並列の合成構造によって膨張性泥岩を表現した。これにより、ひずみで定義される損傷変数によって膨潤性粘土部とマトリクス部との応力分担割合を表すことができる。また、既存の損傷モデル（損傷変数の定義）では、繰返し変形に対して滑らかに損傷進展しない点や閾値以下の微小変形では損傷が全く生じない点が泥岩の損傷挙動と相違していた。そのため、弾塑性論の下負荷面の概念を参考に、繰返し変形で滑らかに損傷進展し、やがて既存の損傷モデルに収束していく改良を行った。このようにして構築した膨張性泥岩力学モデルを用いて、異なる回数の乾湿を与えたあと、一軸圧縮せん断を与えるシミュレーションを行った。すると、载荷初期の剛性は乾湿サイクル数が多いほど低くなった一方で、強度と乾湿サイクル数との傾向は初期の損傷度によって異なる結果となった。これは、初期損傷が小さい場合、乾燥収縮による密度の増加による強度増加が、損傷進展の影響を上回っていると考察できる。この結果から、膨張性泥岩の力学挙動は、損傷進展と密度増減の両面から評価されるべき複雑な挙動であることが示唆された。本力学モデルによって膨張性泥岩の種々力学特性を調整し、理論的に解釈することが可能となった。今後は、損傷、密度に加えて粘土特性を軸に力学特性の整理および体系化を進めることが課題と考える。

初期損傷 $\xi_0 = 0.3$



初期損傷 $\xi_0 = 0.1$

