

体積変化に伴う透水性の変化を考慮した圧密試験シミュレーションの評価

株式会社大林組 ○正会員 原朗, 佐藤伸, 田中達也, 志村友行
原子力環境整備開発機構 正会員 山本陽一, 鈴木寛, 後藤考裕

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分場における人工バリアの長期力学挙動評価として、オーバーパックの自重沈下や腐食膨張挙動に対する緩衝材の応力状態や変形挙動の経時変化を種々の試験データや構成モデルを用いて評価が行われてきた。土質材料の圧密変形等を考慮する場合、体積変化に伴う間隙の変化が生じる。この際、多孔質体の透水性についても、体積変化によって変化することが考えられる。しかしながら、圧密を数値解析で再現する際に、体積変化にともなう透水性の変化に関してはほとんど考慮されていないのが現状である。そこで本研究では、圧密試験¹⁾に対する数値解析を ABAQUS により実施し、体積変化にともなう透水性の変化を考慮した場合の圧密試験シミュレーションの評価を行った。

2. 解析モデルと物性値

(1) 解析モデル

検討に用いる解析モデルは、圧密試験を簡易な 1 次元モデルとして表現する。解析モデルを図 1 に示す。圧密試験における上載荷重は上端から所定の圧力を作用させる。力学に関する境界条件については、側方を水平方向固定、鉛直方向自由とし、底面については鉛直、水平とも固定とした。また、水理に関する境界条件としては、上下端を排水条件とする。

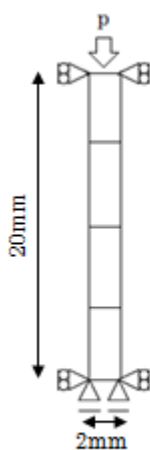


図 1 解析モデル

(2) 物性値

解析に用いたパラメータは高治ら¹⁾の検討をもとに表 1 に示すように設定する。ここで、透水係数については初期値を示す。

(3) Davis & Davis の式

土質材料の体積変化による透水特性の変化については、パラメータの設定によって間隙率依存の透過性変化に自由度がある(1)式に示す Davis ら²⁾の式を用いた。

$$k = k_0 \exp \left(c \left(\frac{\phi}{\phi_0} - 1 \right) \right) \quad (1)$$

ここで、 k は絶対透過係数、 k_0 は絶対透過係数の初期値、 c はモデルパラメータ、 ϕ は間隙率及び ϕ_0 は間隙率の初期値を示す。対象とするクニゲル V1 に適応する c を設定するため、第 2 次取りまとめのクニゲル V1 における透水係数と乾燥密度の関係式に対してフィッティングを試みた。ベントナイトの土粒子密度を 2.7Mg/m^3 と仮定して間隙率から乾燥密度を算出し、乾燥密度 $1.3\text{Mg/m}^3 \sim 1.6\text{Mg/m}^3$ 付近で絶対透過係数が良く一致するようにパラメータを設定すると $c=5.75$ となる。検討結果を図 2 に示す。

表 1 緩衝材物性値(ケイ砂 30%配合)

	記号	単位	値
乾燥密度 ⁽¹⁾	ρ_d	Mg/m^3	1.600
間隙比 ⁽¹⁾	e	—	0.676
圧縮指数 ⁽¹⁾	λ	—	0.117
膨潤指数 ⁽¹⁾	κ	—	0.070
ボアソン比 ⁽²⁾	ν	—	0.42
限界状態応力比 ⁽¹⁾	M	—	0.630
先行圧密降伏応力 ⁽¹⁾	$P_{0'}$	MPa	0.900
透水係数 ⁽¹⁾	k	m/s	4.86×10^{-15}
膨潤圧(初期応力) ⁽¹⁾	P_{rw}	MPa	0.5

(1) JNC TN8400 99-041

(2) Jaky の式より ($\phi=16.6^\circ$)

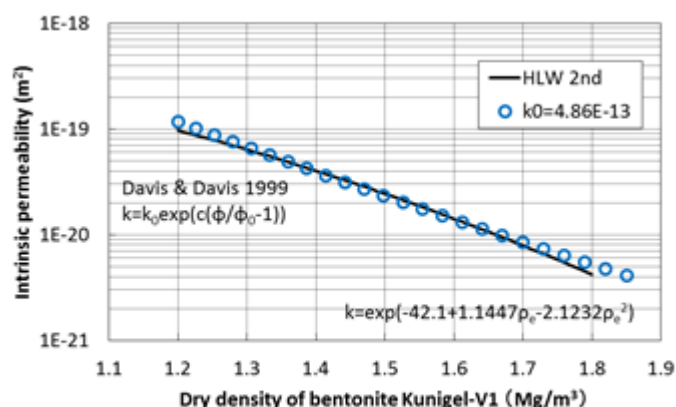


図 2 絶対透過係数と乾燥密度の関係

キーワード：緩衝材 透水係数 間隙比 Davis&Davis

連絡先：〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟, TEL:03-5769-1309, FAX:03-5769-1977

3. 圧密解析結果

図3に荷重応力 3.0MPa の場合の試験結果と数値解析における圧密変位-時間曲線を示す。また、図4に荷重応力 1.5MPa の場合の試験結果と数値解析における圧密変位-時間曲線を示す。

ただし、数値解析の条件として初期透水係数 4.86×10^{-13} (m/s) を用いて、透水係数の間隙比依存性を考慮する場合としない場合の2ケースの数値解析を行った。

4. 結果考察

図3の荷重応力 3.0MPa の試験結果と数値解析を比較する。体積変化に伴う透水性の変化を考慮しない場合には、所定の変形量が生じるまでの時間が実験よりも早い。これは透水性が実際よりも高いため実験よりも早く排水が終了することを示している。一方、透水性の変化を考慮した場合には実験の再現性が良好であった。

図4の荷重応力 1.5MPa の試験結果と数値解析を比較する。体積変化に伴う透水性の変化を考慮しない場合には、試験開始後10時間程度までは実験値と数値解析結果のフィッティングは良好であるが、それ以降は再現性が低下しているのが分かる。従って、試験開始後10時間程度までは透水係数が 4.86×10^{-13} (m/s) 程度であるものの、その後圧密によって間隙比が変化して透水係数が低下したものと考えられる。一方、透水性の変化を考慮する場合には、試験開始後30時間程度まで実験値と数値解析結果のフィッティングは良好である。

図3及び図4の結果とも体積変化に伴う透水性の変化を考慮した場合には、考慮しない場合に比べて実験値の再現性が高く、圧密問題を数値解析で取り扱う場合は、体積変化に伴う透水性の変化を考慮する必要があることが示唆された。

5. 解析結果まとめ

本検討では、ベントナイトの圧密変形時における体積変化に伴う透水性の変化の影響について、圧密試験の再現解析を実施することにより検証を行った。検討の結果、体積変化に伴う透水性の変化を考慮しない場合には、透水性が実際よりも高いことにより、実験よりも早く排水が終了し、実験の再現性が低下した。一方、体積変化に伴う透水性の変化を考慮した場合については、実験結果の再現性が良好であった。これは、圧密排水中に体積変化を伴いながら透水性が変化したことを示すことになる。以上から、圧密現象を伴う長期力学評価時には体積変化に伴う透水性の変化を考慮する必要性が示唆された。

＜参考文献＞

- 1) 高治一彦ほか:緩衝材長期力学挙動の信頼性向上, JNC-TJ8440 2004-011, 2005/02
- 2) Davis JP et al: Stress - dependent permeability, Characterization and modeling. Society of Petroleum Engineers, SPE Paper no.56813, 1999,

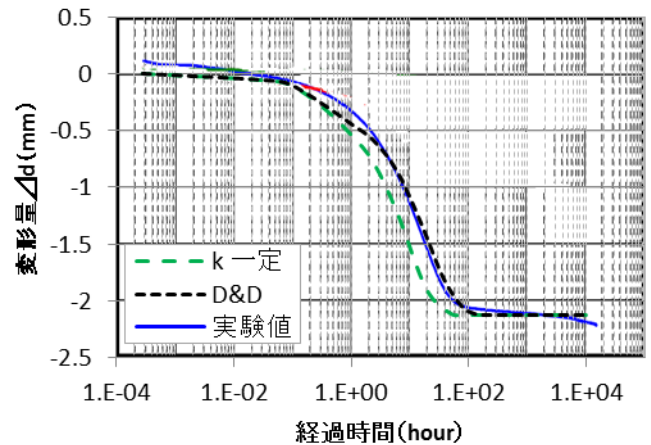


図3 圧密試験結果 (荷重応力 3.0 MPa)

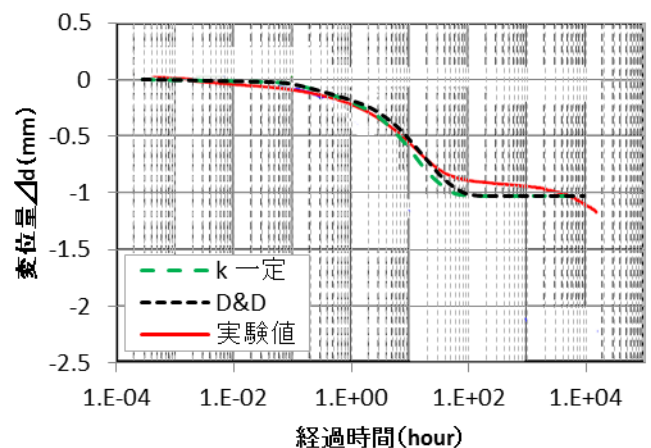


図4 圧密試験結果 (荷重応力 1.5 MPa)