

ベントナイト珪砂混合緩衝材の平面ひずみ条件下でのせん断帯の生成シミュレーション

○名城大学工学部 正会員 小高猛司
 名古屋大学工学研究科 正会員 中野正樹
 名古屋大学工学研究科 正会員 野田利弘

1. はじめに

本研究の目的は、急激な地殻変動や長期的なクリープ破壊によって周辺岩盤に局所的な変形が発生した時に、高レベル放射性廃棄物の地層処分地の人工バリア内の緩衝材にもせん断帯が形成されることを想定し、その場合の緩衝材の性能維持について検討を行うことである。本報では、日本原子力研究開発機構(JAEA)の緩衝材基本特性データベースで一般公開されているベントナイト・珪砂 30 wt% 混合供試体の三軸試験結果から、SYS カムクレイモデル (文献 1) などを含む) の基本的なパラメータを決定し、平面ひずみ条件下で仮想的な圧縮試験の数値シミュレーションを行い、その際発生するせん断帯について検討を行った。

2. 三軸試験結果による弾塑性パラメータの決定

図 1 は JAEA の緩衝材データベースから引用した 4 種類の初期有効拘束圧における非排水三軸試験結果と SYS カムクレイモデルを用いたそれぞれのシミュレーション結果を示す。締め固めにより作製された供試体の初期状態を予測するのは困難であるが、本解析では初期有効拘束圧 1.5MPa の実験を基準のデータとした。その理由は、別途 JAEA のデータベースで公開されている同条件の供試体による一次元圧密試験から圧密降伏応力が約 1.5MPa と読み取れることと、図 1 からわかるように初期有効拘束圧が 1.5MPa より小さい場合には過圧密土的な有効応力経路を呈していることである。

表 1 に本報で用いた緩衝材の弾塑性パラメータを示す。表中の λ , $\tilde{\kappa}$, N および v_0 は、上述の一次元圧密試験の結果を用いて設定した。また、 M については、図 1 に示した非排水三軸試験結果の有効応力経路から設定した。それ以外の表中の弾塑性パラメータは、1.5 MPa の実験結果を説明するように設定した。一方、図 1 中に示す初期拘束圧 0.9 MPa, 1.9 MPa および 2.9 MPa の各実験のシミュレーションでは、1.5 MPa の実験結果で設定したパラメータと同一のものを用いている。すなわち、先行圧密応力が 1.5 MPa であると仮定しているため、初期拘束圧 0.9 MPa の供試体については、1.5 MPa から 0.9 MPa まで等方除荷を行い、初期拘束圧 1.9 MPa, 2.9 MPa の供試体については、1.5 MPa から 1.9 あるいは 2.9 MPa まで等方圧縮を行い、その後非排水条件で軸圧縮せん断を実施している。

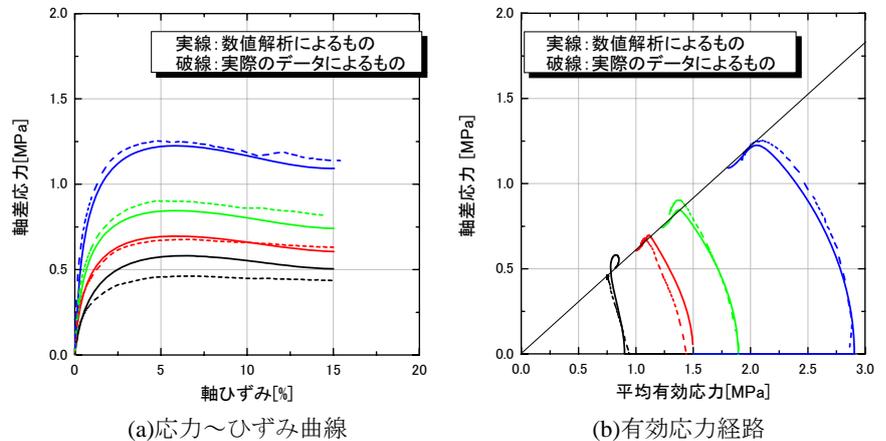


図 1 非排水三軸圧縮試験結果とそのシミュレーション

表 1 緩衝材の材料定数と初期値

基本的土質パラメータ	
圧縮指数 λ	0.137
膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.05
限界状態定数 M	0.6
正規圧密曲線の切片 N	2.063
ポアソン比 ν	0.2
初期値パラメータ	
初期比体積 v_0	1.69
初期平均有効応力 p_0 (MPa)	1.5
初期過圧密比 $1/R_0$	1.5
初期構造の程度 $1/R_0^*$	1.54
初期異方性 ζ_0	0.0
発展側パラメータ	
正規圧密土化指数 m	1.5
構造劣化指数 a ($b=c=1$)	1.2
回転硬化指数 b_r	0.001
回転硬化限界定数 m_b	0.5

緩衝材, せん断帯, 地層処分

名城大学工学部建設システム工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 Tel 052-838-2347)

図1に示すように、応力～ひずみ曲線，有効応力経路ともに，シミュレーション結果は実験結果を非常によく説明していることがわかる。特に，初期有効拘束圧が大きい供試体においては，ひずみ軟化の程度が拘束圧に応じて大きくなることなどの一致度も高く，このSYSカムクレイモデルが緩衝材の力学挙動を非常によく説明できることが示されている。

3. 緩衝材の局所変形帯の有限要素解析

次に，有限変形理論に基づく水～土連成解析手法であるGeoASIA（文献1,2）などを含む）を用いて，初期有効応力 1.5MPa とした緩衝材の平面ひずみ圧縮のシミュレーションを行った。供試体の上下端面においては横方向の変形が生じない端面拘束条件とし，さらに排水条件としては，上下端面から水の出入りを許さない境界非排水条件と，上下端面から水の出入りを許す排水条件との2種類で解析を行った。緩衝材の透水係数としては 1.0×10^{-11} m/s を用いている。载荷は変位制御で実施し，軸ひずみ速度は 0.15 %/min である。

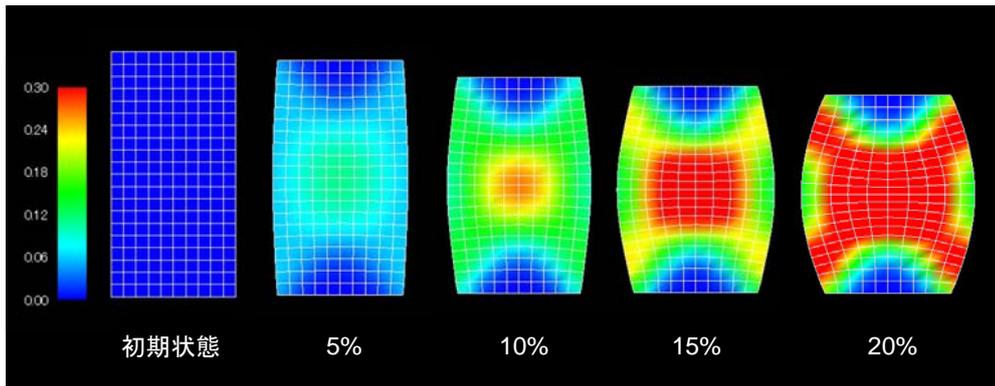


図2 境界非排水条件下の平面ひずみ圧縮中のせん断ひずみ分布

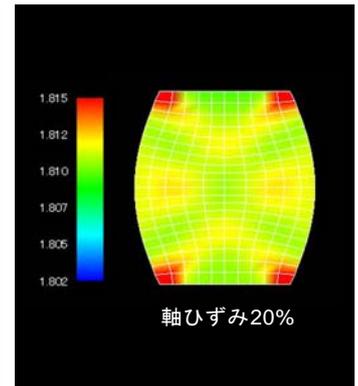


図3 比体積分布

図2は境界非排水条件における平面ひずみ圧縮中のせん断ひずみ分布を示している。この図からわかるように，供試体中にはせん断帯が確認できる。緩衝材の性能としては，せん断帯が発生することによって透水性がどのように変化するのが重要であるが，その判断材料となるのが，図3の比体積分布である。図は軸ひずみ 20%時の最終状態のみを示す。有限要素解析においては，供試体の初期比体積は 1.812 であるが，図3にてせん断帯が発生している箇所においては，比体積が減少している。しかしながら，そのせん断帯を中心とした両側においては，わずかながら初期値よりも比体積が大きくなる箇所があることがわかる。比体積の増加は間隙の増大を表しており，せん断帯の生成に伴い遮水性の低下が懸念される領域も発生する可能性があることがわかった。なお，上下端面において水の出入りを許す境界排水条件における解析も実施したが，透水係数が非常に小さいために，水の出入りを許していたとしても，ほとんど境界非排水条件と同じ結果となった。なお，せん断帯発生後の長期間放置後の緩衝材の挙動については，今回は解析していない。

4. まとめ

ベントナイト・珪砂混合供試体の非排水三軸試験結果はSYSカムクレイモデルを用いてうまく説明できることが示された。一方，クリープ試験等の特殊な条件での試験結果も合理的に説明することを試み，今後の緩衝材を対象とした数値解析を実施する上での妥当性をさらに検証してゆく必要がある。また，三軸試験結果から予測した弾塑性パラメータを用いて有限要素解析を実施することにより，緩衝材を想定したせん断帯生成に関する数値解析を行った。本報では初期有効拘束圧 1.5 MPa の場合のみについて解析を行ったが，実際の地層処分は地下 300m 以深であることを考慮し，さらに大きな有効拘束圧での検証を進めてゆく必要がある。今後は緩衝材供試体を用いた高压一面せん断試験を実施し，その際のせん断帯生成の観察を行うとともに，本報の手法によりそのシミュレーションを実施する予定である。

参考文献： 1) Asaoka et al.(2002), An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S&F, 42(5). 2) Asaoka et al. (1994), Soil-water coupled behaviour of saturated clay near/at critical state, S&F, 34(1).