第43回地盤工学研究発表会 DS-7 地層処分における地盤工学 2008.7.9(広島)

ベントナイトの力学挙動に関して (マクロな視点) 不飽和~飽和状態での力学挙動

名城大学 理工学部 建設システム工学科 小 高 猛 司





処分場操業·閉鎖·再冠水



ほぼ無拘束状態の不飽和緩衝材

再冠水後の長期定置期間



主に膨潤圧が作用している飽和緩衝材

定常的な外力:オーバーパックの自重 + 岩盤のクリープ変形,オーバーパックの腐食膨張 定常的な内力: 熱応力 + 膨潤圧 不確定な外力:地震動・断層変位 + クリープによる岩盤破壊



(JAEA・緩衝材基本特性データベースより)

緩衝材の力学特性に関する既往の研究:

- 圧縮特性(圧密試験)
- •強度特性(一軸圧縮試験,三軸試験)
- クリープ変形特性



一見、我々の地盤力学で良く扱う飽和粘土の力学挙動と同じに見える

我が国の粘土を対象としている構成モデル (せん断と体積変化を統一的に評価できるモデル)



圧縮ベントナイトのマクロカ学挙動の構成モデルに関する 先駆的な既往の研究

並河・平井・棚井・由井・重野・高治・大沼(2004): 圧縮成型ベントナイト の力学挙動に対する弾粘塑性モデルの適用性に関する研究, 土木 学会論文集, No.764/Ⅲ-67, 367-372.

核燃料サイクル開発機構:『高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関 する知識基盤の構築 平成17年度取りまとめ』



圧縮ベントナイトのマクロカ学挙動の構成モデルに関する 先駆的な既往の研究

- 平井・棚井・高治・大沼(2003): 圧縮ベントナイトを用いた緩衝材の弾塑性挙動 評価モデルに関する研究, 第48回地盤エ学シンポジウム論文集, 389-396.
- 平井・重野・飯塚(2005): 膨潤性を有する緩衝材の弾塑性構成モデル化, 応用 力学論文集, Vol.8, 395-402.
- Sasakura, Kobayashi, Sahara, Murakami, Ohi, Mihara, Ito (2004): Studies on mechanical behavior of bentonite for development of elasto-plastic constitutive model, DisTec 2004, 498-507 正密応力[MPa]





SYS Cam-clay モデルを用いた三軸試験のシミュレーション

 圧縮ベントナイトの圧密非排水せん断三軸試験結果
 圧縮ベントナイト:クニゲルV1ベントナイト(Na型)+珪砂30wt% 混合 水質:蒸留水



実験から求めたパラメータで、応力~ひずみ関係、有効応力経路ともに ほぼシミュレーションできる。

(ただし,除荷時の膨潤性は考慮できていない)

では、再冠水時の不飽和状態のベントナイトの力学特性は?

小林・戸井田・笹倉・太田(2007):等含水比線と等飽和度線を用いた締固めベントナイトの圧縮・膨潤挙動の解釈, 土木学会論文集C, No.63(4), 1065-1078.

しかし, 直接的に三軸試験などはあまりなされていない

等体積一面せん断試験による 不飽和ベントナイトの力学特性の把握



高圧一面せん断試験機



メリット: 不飽和状態であっても (有効)応力経路=ダイレイタンシー特性 がほぼ把握できる (*)の評価も可能

デメリット: 要素試験であり得ず,境界値問題 →ダイレクトに構成モデルを検討するには 不向き

マイクロスコープによるせん断帯の観察も可能



等体積一面せん断試験結果

拘束圧ゼロの不飽和圧縮ベントナイト(最大6.6MPaまで圧縮した後に除荷)

体積拘束条件で水浸膨潤(2ヶ月)→飽和(膨潤圧600kPaでほぼー定)



不飽和ベントナイトが飽和化するのに伴い、せん断特性が大きく変わる



せん断帯の生成・発達の観察

せん断箱のエッジ部分から伝播してくるせん断帯をマイクロスコープで観察



せん断終了時のせん断箱



Image0900 Title 2008/02/15 15:39:27

デジタル画像

ポストピークにせん断帯は発生→せん断帯の領域は膨張

マイクロフォーカスX線CT装置(京都大学工学研究科) KYOTO-GEOµXCT (TOSCANER-32250µHDK) 局所的に拘束圧が低下 して発生した開口亀裂が 内部にまで伝播している

中心部では大変位していても亀裂は存在せず

不飽和圧縮ベントナイト

せん断初期からせん断帯が発生→せん断帯の領域は大きな亀裂となっている

せん断帯(亀裂)への地下水侵入時の不飽和ベントナイトの挙動

大きな開口は 比較的短時間で シールされる

20分後

閉じるまでは 地下水はほぼ 素通りに近い

30分後

5時間後

2時間後

1時間後

マイクロフォーカスX線CT装置(京都大学工学研究科)

KYOTO-GEO μ XCT (TOSCANER-32250 μ HDK)

せん断帯の部分には 密度変化は認められない

地盤工学の立場から見た

ベントナイトのマクロな力学挙動の予測の課題

日本のように地震・火山が多く、また天然バリアの岩盤層も若い場合には、緩衝材に期待される性能が高くなるのはやむを得ない。

現時点では,保守的過ぎるほど様々な最悪のシナリオを想定して,ベントナイトの性能を評価する必要がある。

- 難しい問題に直面するほど、構成式、解析手法は進化する。
- 高度化したモデル・解析は、単純な問題でも高精度に シミュレーションできる。

(以上は,今までの地盤工学で実証済み)

地盤工学の立場から見た ベントナイトのマクロな力学挙動の予測の課題

- 圧縮ベントナイトの何が難しいのか?
 - 除荷時の非線形性
 - 不飽和時と飽和後の力学挙動が大きく異なる。

→ いずれもベントナイトの膨潤性に起因

- 不飽和時の脆性的な破壊挙動→透水性能の劣化・回復
- 不飽和→飽和の変移状態の挙動
- 工学的な粘土の常識を超越した期間のクリープ変形
- 熱によるベントナイトの変質→力学挙動の変化

対症療法で終わらない構成モデル・解析手法の開発が必要