

余裕深度処分施設におけるベントナイト低透水層の長期安定性に関する検討

大成建設(株) 正会員 ○堀越 研一, 正会員 今村 聡
 日本原燃(株) 正会員 堀江 正人
 東電設計(株) 正会員 谷 智之
 京都大学 フェロー 岡 二三生, 正会員 肥後 陽介

1. 目的 余裕深度処分施設(図-1)における人工バリアの一つである低透水層(ベントナイト)は, 埋設施設閉鎖後の地下水浸潤に伴い膨潤する性能を有している. 拘束条件下では膨潤圧を発生させ, 周辺の埋戻し材や岩盤の変形に伴い膨潤圧を減じながらピットの変形を増加させる可能性がある. 本検討では, このような状態にある低透水層の, 長期にわたるクリープ変形挙動について有限要素法を用いて解析的に検証するものである. 解析では, ベントナイトに対して, Kimoto らによって開発された弾粘塑性モデル¹⁾⁻³⁾を適用した.

2. 検討手法 図-2に示すように, 岩盤中のピットを2次元平面ひずみ問題としてモデル化し, 空洞周辺の掘削影響領域を考慮した. 図中, 深度-91.91m以浅の土被り圧は, 上載圧として評価している. 解析に際しては, 低透水層(ベントナイト, 厚さ1m)に対しては弾粘塑性体, その他の材料は線形弾性体としてモデル化した. 低透水層飽和に伴う膨潤の影響については, 低透水層全体に均一膨潤圧(既往の研究を参考に1.5 MN/m²を設定)を同時に作用させることによって評価することとした. 本来, 浸潤過程は外周から徐々に進むものであり, このようなシナリオは起こり得ないものの, 膨潤圧を一気に作用させることから, 局所的な圧力による進行性破壊を考えなければ大きめ(安全側)の変形を与える可能性が高いと判断した. 表-1に, 本検討で考慮した解析ケースを示す. 岩盤については, 想定上あり得る剛性を2通り, セメント系材料については, 長期経過後の劣化の影響を加味するものとして, 便宜的に当初設定値の1/10の値を用いることとした. ピット内部は剛な構造となっているので, 低透水層外側の材料の剛性が低いほど, 低透水層は外側に向かって膨張し易く, 安全側の検討となる. 解析で使用したベントナイトの解析定数, およびその他の材料物性を表-2, 表-3にまとめた. なお, ベントナイトの解析定数は, 既往の圧密非排水三軸試験結果⁴⁾を対象に要素シミュレーションを行い決定した.

3. 検討結果 以下では, 最も安全側のケース(Case 2)に対して得られた結果のみを示す. 図-3は, 膨潤圧作用に伴うピット周辺の変形ベクトル, 図-4は低透水層に着目した

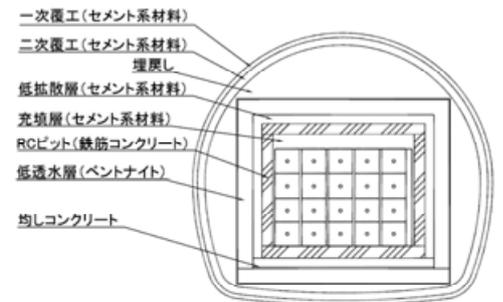


図-1 余裕深度処分空洞の構造概要

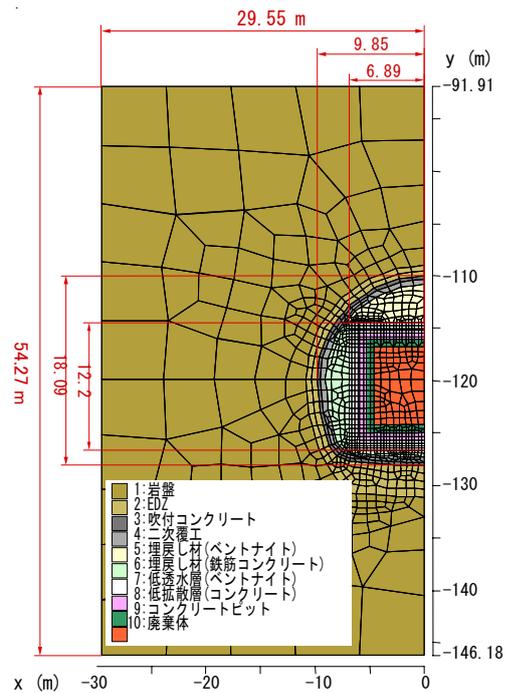


図-2 有限要素分割

表-1 解析ケース

	Case 0	Case 1	Case 2
岩盤の弾性係数	$E_r=2000 \text{ MN/m}^2$		$E_r=780 \text{ MN/m}^2$
セメント系材料の弾性係数	設定値	劣化の影響を考慮し, 設定値の1/10に低減	
解析ケースの位置付け	現実的な物性を想定		安全側のケース

キーワード 余裕深度処分, ベントナイト, 膨潤, 弾粘塑性モデル, 有限要素法

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 土木技術研究所 地盤・岩盤研究室 TEL 045-814-7236

表-2 ベントナイトに対する解析パラメータ

圧縮指数 λ	0.117
膨潤指数 κ	0.078
初期空隙比 e_0	0.66
破壊応力比 M^*	0.47
初期せん断弾性係数 G_0	4.7 (MN/m ²)
透水係数 k	2.0×10^{-13} (m/s)
粘塑性パラメータ m'	95.4
粘塑性パラメータ C	3.41×10^{-14} (1/h)
内部構造パラメータ σ'_{maf}	$\sigma'_{maf} = 0.83 \sigma'_{mai}$
内部構造パラメータ β	5

表-3 各材料の物性一覧

	単位体積重量 kN/m ³	変形係数 E (MN/m ²)			ポアソン比 ν	透水係数 k (m/s)
		Case 0	Case 1	Case 2		
岩盤	19.0	2,000	2,000	780	0.47	1.0×10^{-8}
掘削影響領域EDZ	19.0	200	200	78	0.49	1.0×10^{-6}
吹付けコンクリート	24.5	24,200	2,420	2,420	0.2	1.0×10^{-8}
二次覆工	24.5	46,600	4,660	4,660	0.2	1.0×10^{-10}
上部埋戻し材(ベントナイト混合土)	24.7	128	128	128	0.4	1.0×10^{-11}
側部・底部埋戻し材(鉄筋コンクリート)	24.5	25,000	2,500	2,500	0.2	1.03×10^{-10}
低透水層(飽和時:ベントナイト)	19.6	13.4	13.4	13.4	0.43	2.00×10^{-13}
低拡散層(無筋コンクリート)	23.0	46,600	4,660	4,660	0.2	8.59×10^{-14}
ピット(鉄筋コンクリート)	24.5	46,600	4,660	4,660	0.2	1.03×10^{-11}
廃棄体+充填材	55.1	88,000	88,000	88,000	0.2	1.03×10^{-10}

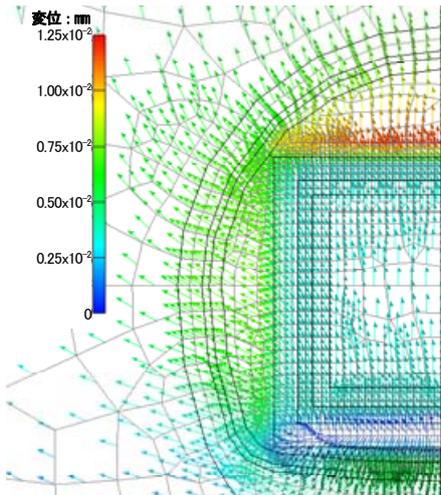


図-3 ピット周辺の変形状況 (Case -2)

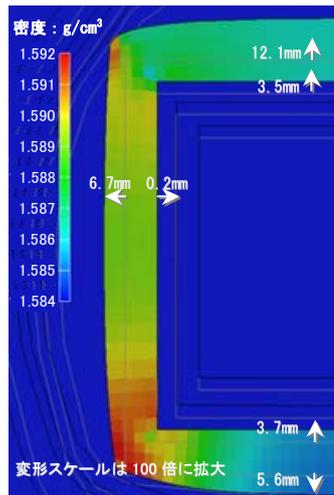


図-4 乾燥密度分布と変形

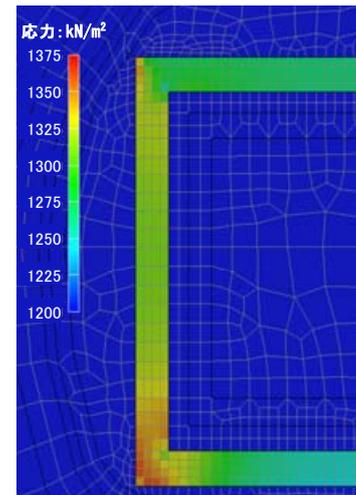


図-5 低透水層部の平均応力

変形状況と乾燥密度分布, 図-5 は平均有効応力分布を示したものである. なお, 同図に示した変形は, 長期経過後のベントナイト飽和膨潤に伴う変位増分を示したものであり, 廃棄体設置に伴う建設時の変位を含んでいない. これらの図によれば, ①低透水層の飽和に伴う膨潤変位量は, 最大で 12 mm 程度であり, 同体積膨張による乾燥密度の減少は 0.015 (0.9 %) 程度と小さいこと, ②当初付与した膨潤圧 (1.5 MN/m²) は, 体積膨張に伴い減少するものの, 最小で 1.24MN/m²程度であり同拘束圧の完全開放は起こらない, ことなどが判明した.

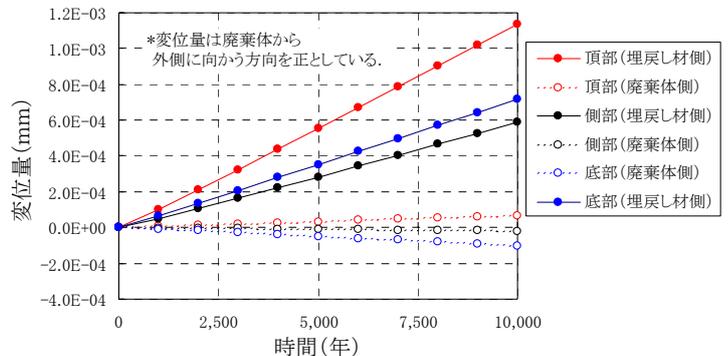


図-6 長期クリープ変形量

さらに, 図-6 は, 低透水層が飽和に伴い膨潤した後の 10000 年までの超長期にわたるクリープ変形量 (増分値) を示したものであるが, その量は実質的に無視できるほど小さいことも判明した.

4. まとめ ベントナイトからなる低透水層に対して, 弾粘塑性構成モデルを適用し, 飽和膨潤が余裕深度処分空洞の挙動に及ぼす影響を検討した. 均一膨潤圧を全体に作用させるという条件での検討であるが, 同解析を通して, ベントナイト低透水層の長期安定性を検証した.

参考文献 1) Adachi, T. and Oka, F. (1982), Constitutive equations for normally consolidated clay based on elasto-viscoplasticity, *Soils and Foundations*, 22, 4, pp. 57-70., 2) Kimoto, S. and Oka, F. (2005), An elasto-viscoplastic model for clay considering destructuration and consolidation analysis of unstable behavior, *Soils and Foundations*, 45, 2, pp. 29-42., 3) Kimoto, S., Oka, F., and Higo, Y. (2004), Strain localization analysis of elasto-viscoplastic soil considering structural degradation, *Computers Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 193, pp.2845-2866. 4)前田宗宏, 伊藤勝, 三原守弘, 田中益弘 (1997), カルシウム型化ベントナイトの圧密非排水三軸圧縮試験, PNC TN8410 97-314.