

水理学的ゆるみ域がおよぼす処分坑道周辺の不飽和領域形成に関する感度解析

核燃料サイクル開発機構 正会員 鈴木英明*, 伊藤彰, 杉田裕, 非会員 川上進

1.はじめに 高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、地下施設建設のため多数の坑道を施工することになる。坑道掘削にともない坑道周辺では、発破損傷や応力再配分などの影響により、亀裂の発生や進展、応力状態の変化、間隙水圧の変化などが生じ、不飽和領域が生じることもある¹⁾。廃棄体を埋設する処分坑道周辺における不飽和領域の発生は、岩盤内に空気が浸入することによる酸素量の増大や、酸素が地下水へ溶解することによる酸化還元電位の変化などオーバーパックの腐食環境に影響を及ぼす。また、人工バリアを構成する緩衝材および埋め戻し材の再冠水時間にも関わる問題となる。本研究では、飽和・不飽和浸透流解析手法により、処分坑道周辺に水理学的ゆるみ域を設定した場合の不飽和領域の形成に関する感度解析を実施し、ゆるみ域の透水係数や境界条件など不飽和領域の形成に影響をおよぼす要因について検討を行なった。

2.解析条件 対象とするモデルは、一例として、地層処分研究開発第2次取りまとめ²⁾で示された硬岩系岩盤、処分深度 1000m、廃棄体縦置きとし、地表から GL-1200m までを均質多孔質体として三次元にてモデル化した。掘削影響領域は、東濃鉱山および釜石鉱山における掘削影響試験により、坑道壁面から約 1mの範囲で透水係数の上昇が確認されていることから¹⁾、ここでは、図 1 に示すように処分坑道および処分孔の周囲に約 1mの範囲で水理学的ゆるみ域を設定した。水理学的ゆるみ域は、健岩部に比べて透水係数を大きく、また、毛管圧を小さく設定した。境界条件としては、GL0m は間隙水圧をゼロに拘束した水頭固定境界、モデル側面は不透水境界とした。GL-1200m については、不透水境界とした場合と、間隙水圧を 12MPa で拘束した水頭固定境界とした。さらに、境界条件の影響を把握するために、GL-1200m に加えて GL-800m を水頭固定境界とした条件で解析を実施した。解析ケースをまとめて表 1 に示す。解析には、非線形構造解析プログラムの ABAQUS 5.8⁴⁾を用いた。

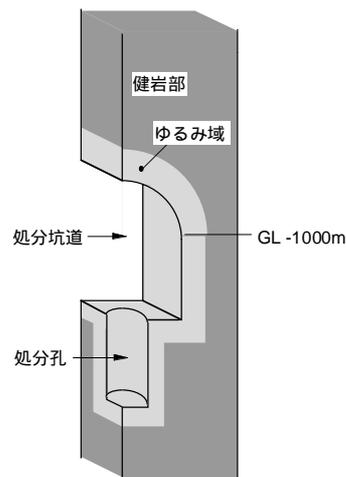
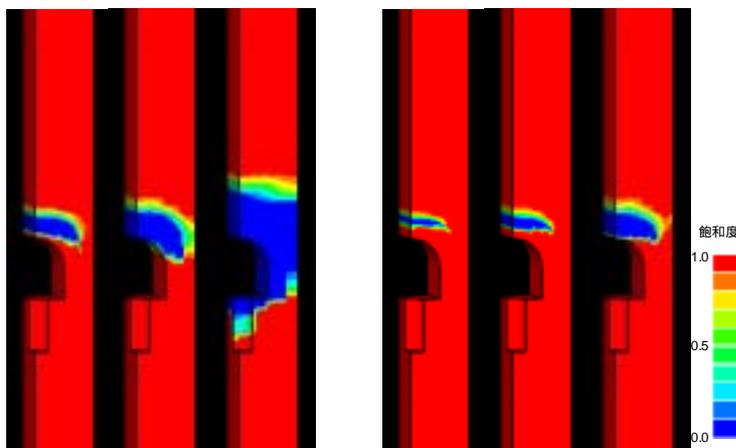


図1 解析ジオメトリ

表1 解析ケース

	健岩部の透水係数 [m/s]	ゆるみ域の透水係数 [m/s]	モデル上面の境界条件	モデル底面の境界条件
case1	1.0 × 10 ⁻⁸	1.0 × 10 ⁻⁷	水頭固定境界 (GL0m)	不透水境界 (GL-1200m)
case2				水頭固定境界 (GL-1200m)
case3		1.0 × 10 ⁻⁶	水頭固定境界 (GL-800m)	
case4				

3.解析結果 解析は、湧水開始（処分孔底面の間隙水圧をゼロに拘束）から 10 年後までの非定常解析とした。図 2 に、case1 (GL-1200m を不透水境界)、図 3 に、case2 (GL-1200m を水頭固定境界)の飽和度のコンターを示す。透水係数を大きく設定したゆるみ域から流出していく間隙流体に対して、透水係数が小さい健岩部からの流入量が少ないために不飽和領域は発生する。そして、GL-1200m を水頭固定境界とした場合のほうが不飽和領域は小さくなっていることが分かる。これは、健岩部からの間隙流体の流入量が多くなるためである。このように、不飽和領域の形成は境界条件に依存することが分かる。



一年後 二年後 十年後
図2 case1 の飽和度コンター

一年後 二年後 十年後
図3 case2 の飽和度コンター

高レベル放射性廃棄物、掘削影響領域、不飽和領域、飽和・不飽和浸透流解析

連絡先（茨城県那珂郡東海村村松 4-33, TEL:029-287-3247, FAX:029-287-3704） *検査開発（株）

前述の境界条件による解析では、間隙水圧をゼロに拘束した処分孔底面と GL0m との間の初期圧力水頭がゼロに向かう方向へ変化が生じる。実際の坑道周辺では初期圧力水頭が維持されている事例³⁾を考慮し、GL-800m を 8MPa, GL-1200m を 12MPa の水頭固定境界として解析を実施した。図 4 に示す出力ポイントにおける間隙水圧の経時変化を、case3 (ゆるみ域の透水係数を $1.0 \times 10^7 \text{ m/s}$ に設定) を図 5 に、case4 (ゆるみ域の透水係数を $1.0 \times 10^6 \text{ m/s}$ に設定) を図 6 に示す。これより、case3 では、坑道周辺の間隙水圧はプラスの値で定常となっており不飽和領域が発生していないことが分かる。case3 の透水係数の設定は、不飽和領域が発生した case1, case2 と同一である。一方、case4 では、坑道周辺の間隙水圧が毛管圧の発生を示すマイナスの値となっており、不飽和領域が発生していることが読み取れる。図 7 は、case4 の飽和度のコンターである。case2 に比べて不飽和領域が大きくなっている。これは、ゆるみ域の透水係数を大きく設定しているためである。また、早期に定常となっていることが分かる。これは、水頭固定境界が処分坑道により近いと考えられる。このことから、不飽和領域の形成は、境界条件およびゆるみ域の透水係数に大きく依存することが分かる。

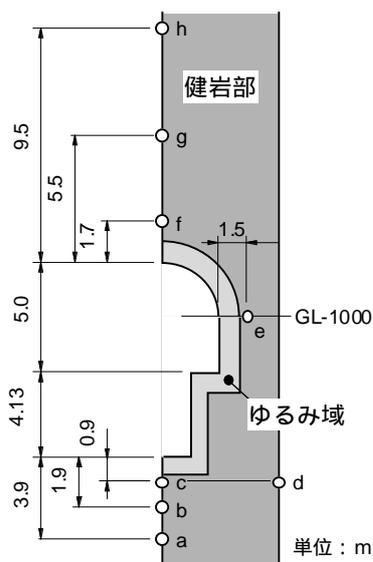


図 4 間隙水圧の出力ポイント

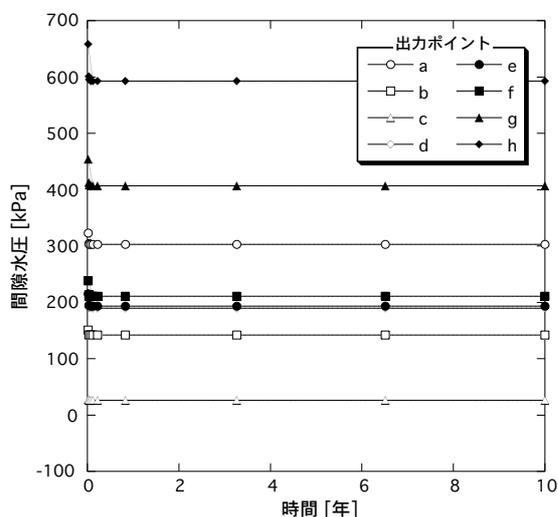


図 5 case3 の間隙水圧の経時変化

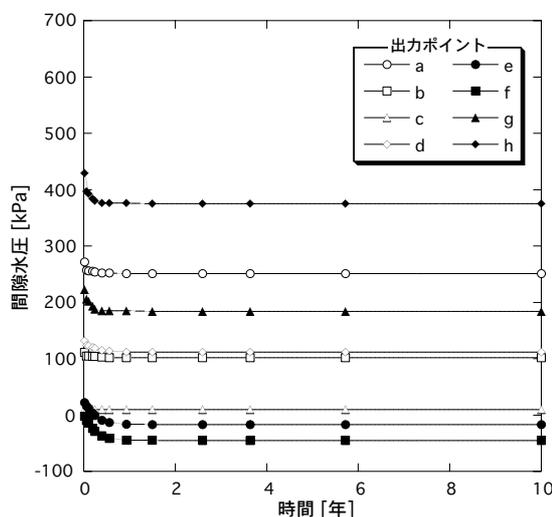
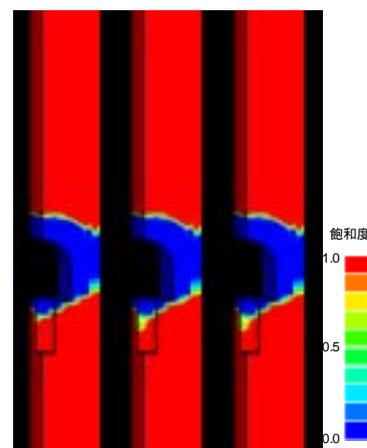


図 6 case4 の間隙水圧の経時変化

4.まとめ 掘削影響としてのゆるみ域に代表される透水係数の増大に着目し、飽和・不飽和浸透流解析手法を用いて、処分坑道周辺における不飽和領域の形成について感度解析を実施した。その結果、処分坑道周辺における不飽和領域の形成は、境界条件、健岩部とゆるみ域の透水係数およびこれらの相互関係に大きく依存することが分かった。

今後は、坑道周辺において不飽和領域の形成が観測された実例などから、実測値に基づく透水係数および間隙水圧を境界条件とした解析を実施し、坑道周辺における不飽和領域形成問題への数値解析手法についてさらに検討していく予定である。また、不飽和領域の形成が及ぼすオーバパックの腐食環境や、緩衝材などの再冠水時間の評価に反映していく予定である。

参考文献 1) サイクル機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性，地層処分研究開発第2次取りまとめ，分冊1，わが国の地質環境”，TN1400 99-021，1999. 2) サイクル機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性，地層処分研究開発第2次取りまとめ，分冊2，地層処分の工学技術”，TN1400 99-022，1999. 3) 例えば，Sawada et al.：“Non-sorbing tracer migration experiments in fractured rock at the Kamaishi Mine, Northeast Japan”，Engineering Geology 56，pp.75-96，2000. 4) Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc.：“ABAQUS version 5.8/ Standard User's Manual”，1998.



一年後 二年後 十年後
図 7 case4 の飽和度コンター