

第2次取りまとめにおける地層処分の工学技術的検討（その3）

—再冠水時の人工バリア挙動評価—

ハザマ 正会員 千々松正和

核燃料サイクル開発機構 正会員 谷口航・藤田朝雄

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分における廃棄体定置後のニアフィールドにおける熱-水-応力連成現象を評価することは、ニアフィールド環境の明確化の観点から重要な課題の一つである。開発された熱-水-応力連成モデルの検証および確認はこのような連成問題における重要検討課題であり、実規模原位置試験、国際共同研究等を通してモデルの確認等が行われている^{1) 2)}。本論では、このように確認が進められている熱-水-応力連成モデルを用い、緩衝材が定置後飽和するまでの時間（再冠水時間）の計算を実施した。著者らは、再冠水時間に関する簡易検討を実施し、岩盤の透水性に比べ、岩盤内の初期圧力水頭の方が再冠水時間に与える影響が大きいことを示した³⁾。ここでは、より現実的なモデルを用い評価を実施したので報告する。対象とした緩衝材はベントナイトにケイ砂を乾燥重量で30%混合した材料で乾燥密度は1.6g/cm³である。

2. 緩衝材物性値の設定

解析は、不飽和粘土中の水分拡散、温度勾配による水分移動、浸潤に伴う膨潤応力を考慮した熱-水-応力連成コード THAMES を用い実施した。本コードでは不飽和粘土中の水分移動を水分拡散係数と水分特性曲線（水分ポテンシャルと体積含水率の関係）を用いて表現している。また、温度勾配による水分移動は温度勾配水分拡散係数 D_T を用い表現し、膨潤応力は水分ポテンシャル ψ [m] の変化量として表現している。解析に用いたベントナイトの固有透過度 K [m²] の値および水分拡散係数 D_θ [m²/s] の関数式は以下の通りである。これらの値および関係式は室内要素試験から求めた。

$$K = 4.00 \times 10^{-20}, D_\theta = \frac{(2.99 \times 10^{-12} T - 3.74 \times 10^{-11})(\theta - \theta_s)}{(\theta + 2.49 \times 10^{-3})(-2.49 \times 10^{-3} - \theta_s)} + \frac{(-1.50 \times 10^{-12} T + 1.49 \times 10^{-11})\theta}{(5.59 \times 10^{-4} T + 3.93 \times 10^{-1})(\theta - (5.59 \times 10^{-4} T + 3.93 \times 10^{-1}))}$$

ここで、 T は温度[°C]、 θ は体積含水率[-]、 θ_s は飽和体積含水率[-]である。

水分特性曲線および温度勾配水分拡散係数 D_T [m²/s°C] は、室内要素試験結果を用いて逆解析から同定した。水分特性曲線としては van Genuchten のモデルを用いた。また、緩衝材の弾性係数 E [MPa]、比熱 c [kJ/kg°C] および熱伝導率 λ [W/m°C] に関しては、実験結果から以下のように含水比 ω [%] の関数として与えた。

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left\{ 1 + |\alpha \psi|^n \right\}^{-\left(1 - \frac{1}{n}\right)}, \alpha = 8.0 \times 10^{-3}, n = 1.6, D_T = 7.0 \times 10^{-12}$$
$$E = 58.74 - 1.87\omega, c = \frac{34.1 + 4.18\omega}{100 + \omega}, \lambda = 4.44 \times 10^{-1} + 1.38 \times 10^{-2}\omega + 6.14 \times 10^{-3}\omega^2 - 1.69 \times 10^{-4}\omega^3$$

ここで、 θ_r は最小含水量[-]である。

3. 解析条件および結果

解析は処分孔豎置方式について図1に示す軸対称モデルを用い実施した。解析モデルは処分深度を1000mとし、廃棄体の埋設密度に関しては同モデルにおいて緩衝材および埋め戻し材を初期含水比として熱解析を実施し、緩衝材内の最高温度が100°C以下となるように設定した。熱的初期条件としては、地表面の温度を15°Cとし、深度方向に3°C/100mの温度勾配を与えた。熱的境界条件については、地表面およびモデル底面を温度固定境界とし、側面は断熱境界とした。水理的初期条件としては、緩衝材の初期含水比は7.0%、埋戻し材の初期含水比は10.0%とした。また、岩盤に関しては表1のようなケースを設定した。また、ガラス固化体の発熱量としては、中間貯蔵期間を50年とした場合の発熱量を用い、ガラス固化体に相当する各

要素に単位体積当たりの発熱量を与えた。図2には各ケースにおける廃棄体処分100年後の廃棄体中心高さにおける岩盤内の圧力水頭を示す。岩盤の透水性が低いほど圧力水頭の回復は遅く、Case01-2では100年後でも岩盤内は負圧のままである。図3には各ケースにおける対称軸上のオーバーパック上部部分の緩衝材の含水比の経時変化を示す。Case02が最も早く飽和となっており、次いで、Case03-1、Case03-2、Case01-1の順であり、Case01-2が最も遅くなっている。これは、岩盤内の圧力水頭が高い順となっている。この位置が、飽和に達するまでに最も多くの時間を要しており、この位置が飽和になった時間を緩衝材の再冠水時間とすると、各ケースの再冠水時間は表2のようになる。Case01-2を除けば全て50年以内となっている。

4. おわりに

高レベル放射性廃棄物の地層処分における廃棄体定置後のニアフィールドの連成解析を実施し、緩衝材の再冠水時間の計算を実施した。その結果、岩盤内の初期圧力水頭が1000m程度の場合、再冠水時間は10年程度となることがわかった。

参考文献 1)L.Jing, et al.: DECOVALEX -Mathematical Models of Couples T-H-M Processes for Nuclear Waste Repositories, Executive Summary for Phases I,II and III, 1996, 2)M.Chijimatsuet al.: Mathematical simulation of coupled T-H-M processes in the near field, 5th International Workshop on Key Issues in Waste Isolation Reserch, Barcelona, 1998, 3)千々松正和ほか: 2次元簡易モデルを用いた緩衝材の再冠水時間の評価,第35回地盤工学会研究発表会投稿中,2000.

表1 解析ケース

	Case01-1	Case01-2	Case02	Case03-1	Case03-2
水理的 初期条件	間隙水圧 0.0MPa		地表面に地下水面のある静水圧状態	地表面に地下水面のある静水圧状態において処分坑道および処分孔の掘削を行い、掘削後5年後に廃棄体を処分する	
岩盤の固有透過度[m ²]	1.0×10^{-15}	1.0×10^{-20}	1.0×10^{-15}	1.0×10^{-15}	1.0×10^{-20}

表2 各ケースにおける再冠水時間の比較

解析ケース	Case01-1	Case01-2	Case02	Case03-1	Case03-2
再冠水時間[年]	50	>1000	5	10	15

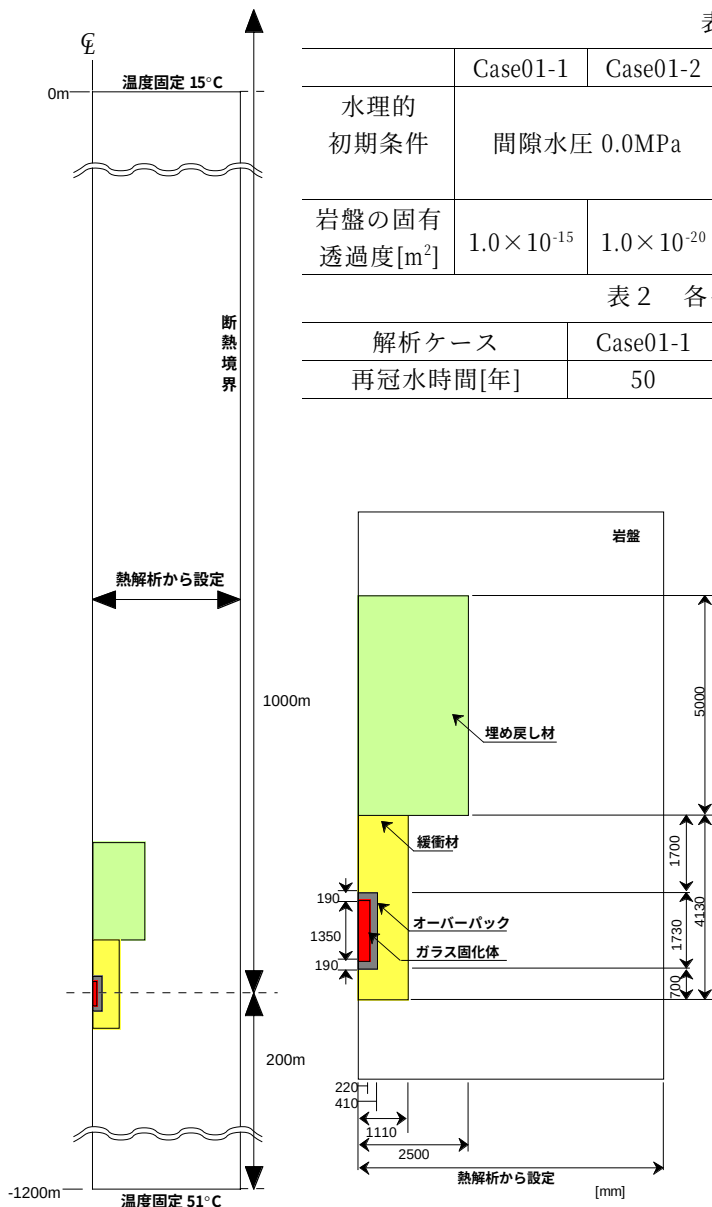


図1 解析モデル

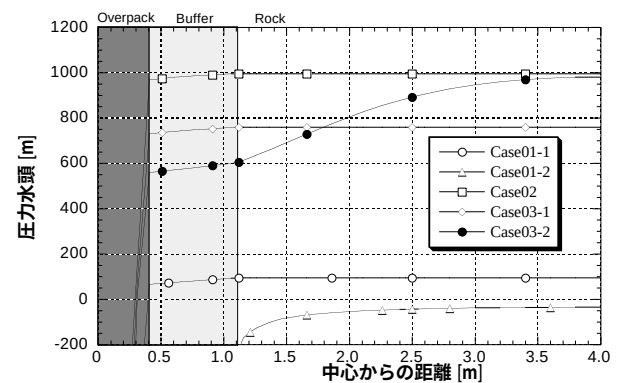


図2 処分後の岩盤内の圧力水頭

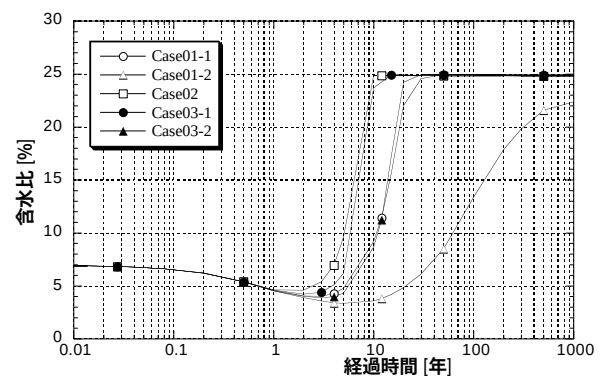


図3 緩衝材内の含水比の経時変化