

Ⅲ-B392 熱解析と連成解析とによる緩衝材内の最高温度の比較

核燃料サイクル開発機構 正会員 千々松正和, 谷口航

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分における処分施設の設計において、処分坑道の配置を検討するうえでは合理的な処分坑道離間距離および廃棄体の間隔の組合せを設定する必要がある。地下施設の概略の規模は廃棄体1本当たりの専有面積（処分坑道離間距離と廃棄体間隔の積）と埋設する廃棄体本数の積により見積もることができる。したがって、処分坑道離間距離および廃棄体間隔は、地下施設規模を小さくし経済的にも有利となるように設定することが望ましい。処分坑道離間距離および廃棄体間隔は人工バリアに必要な寸法、建設・操業技術からくる制限、空洞安定性からくる制限、ニアフィールドの温度からくる制限等を総合的に考慮して設定される。このうち、温度制限に関しては緩衝材内の温度が100℃未満の場合には緩衝材性能を損なうような変質は生じないと考えられているためこの値を制限として設計を行なっている¹⁾。温度制限に関する検討は熱解析で実施されているが、緩衝材の熱物性はその含水状態によって大きく変わってくるため緩衝材の含水比をどのように設定するかが重要となってくる。H3レポート¹⁾では保守的に緩衝材の含水比を0%として熱解析を実施しているが、より合理的な処分坑道離間距離および廃棄体の間隔の組合せを設定するためには現実的な緩衝材の含水比を設定しなければならない。そこで、熱-水連成解析との比較を行ない、熱解析を行なう場合の緩衝材の含水比の設定に関する検討を行なった。

2. 解析ケース

用いる解析コードは、不飽和粘土中の水分拡散、温度勾配による水分移動、浸潤に伴う膨潤圧を考慮した熱-水-応力連成コード²⁾である。解析は軸対称モデルで行なう。解析モデルを図-1に示す。本モデルの解析領域は処分坑道縦置方式における廃棄体中心高さ部分である。オーバーバックは炭素鋼製、緩衝材はベントナイトにケイ砂を30wt%混合した材料（乾燥密度1.6g/cm³）とした。緩衝材の熱物性は次式のように含水比[%]の関係として与えた。

$$\text{比熱: } c = \frac{34.1 + 4.18\omega}{100 + \omega}$$

$$\text{熱伝導率: } \lambda = 4.44 \times 10^{-1} + 1.38 \times 10^{-2}\omega + 6.14 \times 10^{-3}\omega^2 - 1.69 \times 10^{-4}\omega^3$$

解析領域の初期温度は45℃とした。これは、地表面の温度を15℃とし、深度方向に3℃/100mの温度勾配を与えた場合の解析対象領域（深度1000m）の温度に相当する。ガラス固化体には発熱量の経時変化を与え、モデルの外側部を初期温度で固定とした。水理的条件として、岩盤内の間隙水圧は0MPa（大気圧相当）で固定値とした。また、緩衝材には初期の含水比に相当する水分ポテンシャルを与えた。本解析で使用するガラス固化体の発熱量の経時変化を図-2に示す。これは廃棄体の中間貯蔵を30年とした場合の発熱量である。解析では、ガラス固化体に相当する要素に単位体積当たりの発熱量を与えた。緩衝材の初期の含水比（ ω_0 ）としては7%、17%の2ケースを実施した。これは、それぞれ緩衝材の自然含水比、現場締固め施工における最適含水比に相当する。実際の緩衝材の初期含水比はこの間の値になると思われるため、この2ケースを設定した。解析は各含水比に関して、非連成解析（熱解析、浸潤解析）および連成解析を実施し、連成解析と非連成解析の比較を行なった。最初に2種類の ω_0 で熱解析を実施した。図-2に示す発熱量を用いた場合、 $\omega_0=7\%$ のケースでは緩衝材内の最高温度は約203℃、 $\omega_0=17\%$ のケースでは約163℃となった。そこで、緩衝材内の温度が約100℃以下となるように発熱量を、 $\omega_0=7\%$ のケースでは2/5、 $\omega_0=17\%$ のケースでは1/2とし、連成解析との比較を行なった。ここで、温度勾配による水分移動に関する係数 D_T の影響をみるため4ケースの D_T を設定し計算を行なった。実験結果から逆解析的に同定された D_T はケース2（ $D_T=7.0 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}/^\circ\text{C}$ ）であり、ケース1は同定値の0.5倍、ケース3は同定値の2倍、ケース4は同定値の3倍の値を用いた。

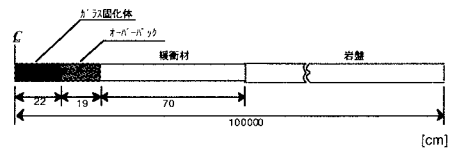


図-1 解析モデル図

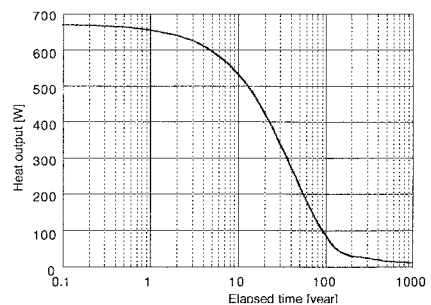


図-2 ガラス固化体の発熱量

キーワード：高レベル放射性廃棄物、緩衝材、連成解析、温度、含水比

連絡先：サイクル機構、〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4-33、TEL:029-287-3247、FAX:029-287-3704

3. 解析結果

図-3に $\omega_o=7\%$ のケースの含水比の経時変化、図-4に $\omega_o=17\%$ のケースの含水比の経時変化、図-5に $\omega_o=7\%$ のケースの温度の経時変化、図-6に $\omega_o=17\%$ のケースの温度の経時変化を非連成解析と比較したものを示す。出力点は緩衝材の左端（オーバーバック側）の位置である。非連成解析と連成解析におけるケース1から4までの含水比の経時変化を比べると、連成解析で D_T の値が大きくなるにつれて温度勾配による水分移動が大きくなるため、緩衝材の内側が乾く度合いが大きくなっている様子が分かる。また、 D_T の値が大きくなるにつれて緩衝材が初期より乾いている期間が長くなっている。温度に関しては、 D_T の値が大きくなるにつれて緩衝材内の最高温度は高くなっているが、 $\omega_o=7\%$ のケースでは全て熱解析の値よりは小さくなっている。一方、 $\omega_o=17\%$ のケースでは D_T の値が大きい場合、 $\omega_o=7\%$ のケースと比べて緩衝材内側が初期より乾いている期間は長く、その低下の度合いも大きくなっているため、初期含水比の熱物性を用いて実施した非連成の熱解析に比べて最高温度が高くなっている。しかし、実験で同定された D_T の値を用いて行なったケース2の解析で得られた最高温度は熱解析で得られた最高温度より小さくなっている。オリジナルの発熱量を用いて実施した熱解析の結果、 $\omega_o=7\%$ と $\omega_o=17\%$ のケースでは最高温度で約40℃の差がある。したがって、 $\omega_o=17\%$ のケース4において得られた最高温度の値は初期含水比を7%として実施した熱解析の結果得られる最高温度よりは小さくなっていると考えられる。

4. おわりに

実験結果から同定された温度勾配による水分移動に関する係数 D_T を用い連成解析を実施した。緩衝材の初期の含水比としては7%（自然含水比）、17%（現場締固め施工における最適含水比付近）の2ケースを実施した。連成解析を実施した結果、緩衝材の初期含水比が7%、17%のいずれのケースも緩衝材内の最高温度は緩衝材を初期含水比として実施した熱解析で得られた値より小さい結果となった。すなわち、処分場の設計を熱解析を用いて実施する場合、緩衝材の熱物性としては初期含水比状態での値を用いれば良いと考えられる。

- 【参考文献】 1）動燃事業団（1992）：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書—平成3年度一，PNC TN1410 92-081
2）千々松ほか（1995）：膨潤応力を考慮した熱-水-応力連成解析，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第3部（A），pp.26-27.

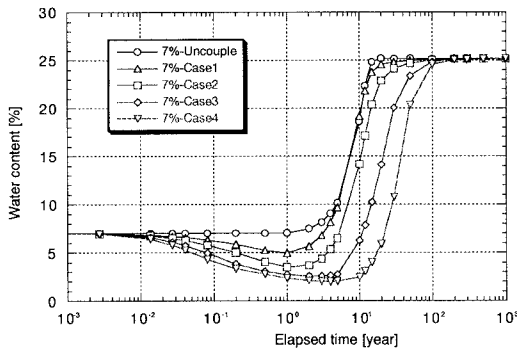


図-3 緩衝材の含水比の経時変化の比較($\omega_o=7\%$)

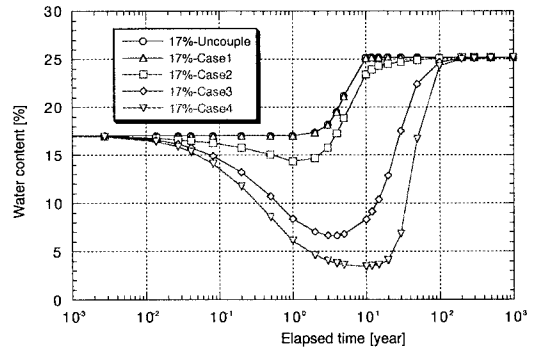


図-4 緩衝材の含水比の経時変化の比較($\omega_o=17\%$)

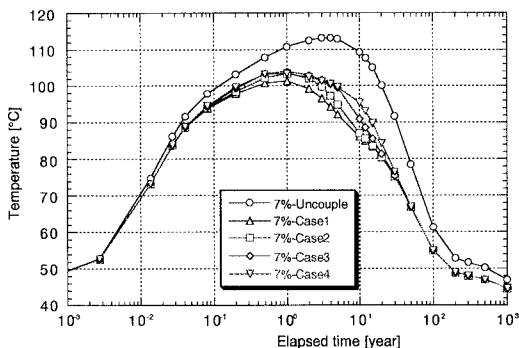


図-5 緩衝材の温度の経時変化の比較($\omega_o=7\%$)

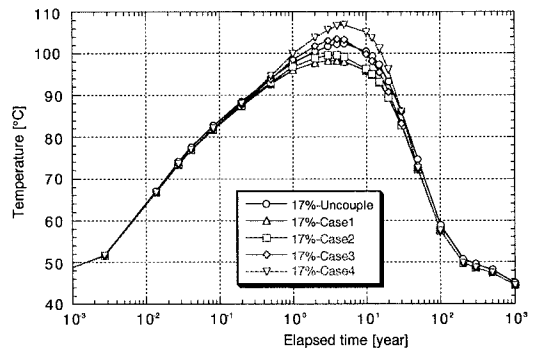


図-6 緩衝材の温度の経時変化の比較($\omega_o=17\%$)