

FTA-ETA 手法を用いた偏膨潤に着目した過程のシナリオ整理

—地下空洞型処分施設機能確認試験(その4)—

(株)大林組 正会員 ○丹生屋純夫 志村友行

鹿島建設(株) フェロー会員 笹倉剛

東電設計(株) 正会員 伊藤喜広

原環センター 正会員 渥美博行 非会員 藤原啓司 田中正人 寺田賢二

1. はじめに

著者らは、地下空洞型処分施設における閉鎖後長期の管理に資するモニタリング技術の確立やその実証試験の必要性に鑑み、中深度処分施設の人工バリアや周辺岩盤の長期にわたる機能確認方法の確立を目的とした調査・検討を進めている¹⁾。本報告では、埋設・保全段階における具体的な機能確認試験計画の策定に反映することを目的に、地下空洞型処分施設の再冠水過程において生じる事象とそれを引き起こす要因(FTA)とその結末(ETA)を整理した。その結果、最も注視すべき事象として「膨潤圧・膨潤変形」を抽出し、人工バリアの機能に影響を及ぼす異状シナリオを構築し、予察的な挙動シミュレーション解析のケースについて検討した。

2. 想定し得る事象の整理

(1) 施設の状態変遷

表-1に施設の状態変遷と事象を引き起こす要因を整理して示す。

埋設施設の廃止措置に移行する判断やその後の長期にわたる安全性の見通しを得るためには、操業開始(0年)から保全段階終了(300年～400年)までの操業段階期間で、想定外の施設浸入水量の増加に繋がる兆候がないことの確認が重要となる。

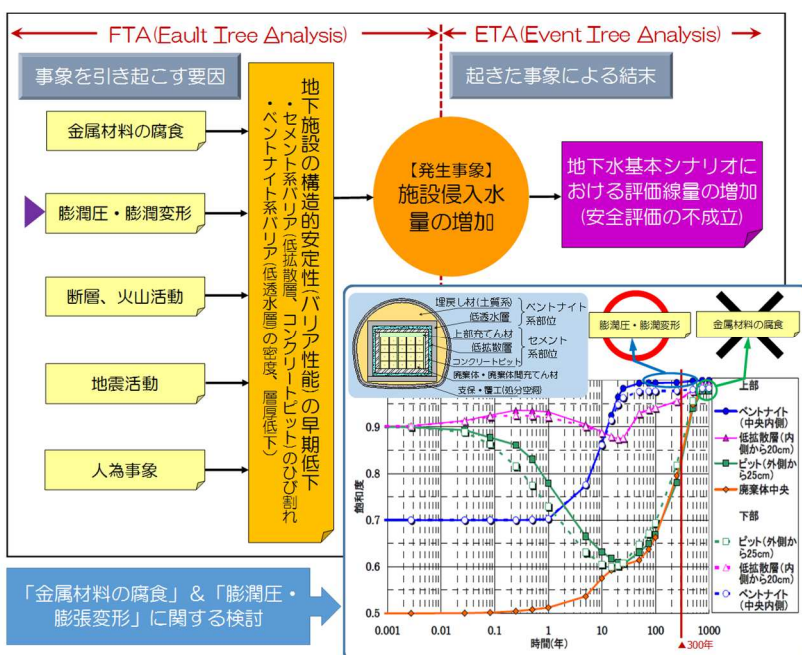
(2) 起因事象と影響

表-1に示す通り、地下施設の状態変遷の中で構造的安定性の早期低下を引き起こす要因(状態の変化)として、「金属材料の腐食」、「膨潤圧・膨潤変形」、「断層・火山活動」、「地震活動」、および「人為事象」を考えた。

これらの要因を基本に、前述の操業段階期間に着目し、その発生が科学的に最も合理的と考えられる事象(施設浸入水量の想定外の増加)を引き起こす主要因を検討、抽出した。検討手法として図-1に示すBow-tie ダイアグラム手法²⁾を用いて、科学的に合理的な想定外事象を引き起こす要因を整理した。Bow-tie ダイアグラムに挙げた各要因について、過去の文献や調査結果^{3)～6)}を参照・吟味した結果(一例：図-1右下)、操業段階における埋設施設の主要な状態変化は、再冠水に伴う低透水層の

表-1 人工バリアに着目した施設状態の変遷

評価期間	操業段階		廃止措置段階以降・・・	
	埋設段階	保全段階	多重バリアによる安全確保 300年～400年	天然バリアによる安全確保 数万年
施設状態	0年 廃棄体定置 → 埋戻し	再冠水・飽和	化学変質等によるバリア機能の劣化	・・・
事象を引き起こす要因	金属材料の腐食 膨潤圧・膨潤変形 断層・火山活動 地震活動 人為事象	飽和進展に伴う低透水層の膨潤変形、膨潤圧による人工バリアへの力学影響 ※ 立地における除外事項	低拡散バリア等のひび割れ発生	偶発的な行為
	予察解析の対象期間			

図-1 Bow-tie ダイアグラムと起因事象の検討例³⁾

キーワード 放射性廃棄物処分、モニタリング、中深度処分、余裕深度処分、偏膨潤、FTA-ETA

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 原子力環境技術部 TEL 03-5769-1309

膨潤であると考え、「膨潤圧・膨潤変形」を主要因として抽出した。

(3) FTA と ETA による膨潤事象の評価

次に、「膨潤圧・膨潤変形」に関する説明性の高いシナリオを構築するツールとして、図-2 に示す FTA(Fault Tree Analysis)を策定した。FTA は、偏膨潤に関するシナリオとして考えられる大項目と詳細項目を整理し、まとめてツリー状に表したものである。また、構築したシナリオで挙動解析した結果を評価するため、図-3 に示す ETA(Event Tree Analysis) を策定した。ETA は、起きた箇所、事象とその最終状況を整理し、まとめてツリー状に表したものである。今回想定した解析シナリオは、その発生が最も異状かつ科学的に合理的と考えられる事象を FTA から選定した。

3. 実施設挙動解析のケース設定

実施設の挙動解析としては、各部材の間隙に残存する空気の影響を考慮するため、二層流解析を適用することとした。

膨潤に影響因子として実施する解析ケースを考えた場合、まず FTA により、偏った箇所から浸入し膨潤圧が発生するような、想定される範囲内において異状事象となる比較ケースと、シンプルに周辺岩盤から均質に水が浸入する参照ケースの 2 ケースを考える。図-4 に示す参照ケースでは、GL-100m 相当の水圧が空洞外周部に均質に掛かることにより、動水勾配により空洞内部へ向かって水が移動し、かつ空洞内各部材間ではサクシオンの差異を解消するために水の行き来が行われる。この合わせ技により、セメント系部材内で均質に飽和に向かう状況を確認する。一方、比較ケースにおける浸入箇所は、参照ケースの解析結果から偏膨潤の発生が想定される箇所を考慮して決定する。また、極端な偏膨潤による異状を起こすために必要な条件(構成要素、材料及び周辺環境)を抽出する。

4. まとめ

今後、実施予定の挙動解析では想定範囲内における異状事象について評価することにより、ベントナイト層の密度と層厚の評価、低拡散層などのセメント系部材の応力状態、及びひび割れ可能性等を評価し、機能確認試験計画の策定へ反映する。また、低透水層の流出や低拡散層の損傷など、図-2 の FTA において機能を確認すべきその他の異状シナリオについても検討を続ける。なお、本報告は経済産業省資源エネルギー庁からの委託による「管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設機能確認試験」の成果の一部である。

参考文献

- 1) 藤原ほか：地下空洞型処分施設機能確認試験の事業概要—地下空洞型処分施設機能確認試験（その 1）—，土木学会第 72 回年次学術講演会，平成 29 年 9 月，投稿中
- 2) S. David Sevougian：Deep Borehole Emplacement Mode Hazard Analysis(DBEMHA), Sandia National Laboratories, July 2015
- 3) 林秀郎，武内邦文，山本修一，伊藤裕紀，谷智之：余裕深度処分施設におけるベントナイト層の飽和期間に関する検討，土木学会第 62 回年次学術講演会，平成 19 年 9 月
- 4) 原子力規制委員会：炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について(案)，平成 28 年
- 5) 石田裕樹，守友常雄，佐々木泰：余裕深度処分の成立確認に向けた地質環境調査について，原子力バックエンド研究，Vol.13, No.1, 平成 18 年
- 6) 原環センター：平成 26 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設閉鎖技術確認試験 平成 19 年度～平成 26 年度の取りまとめ報告書，平成 27 年

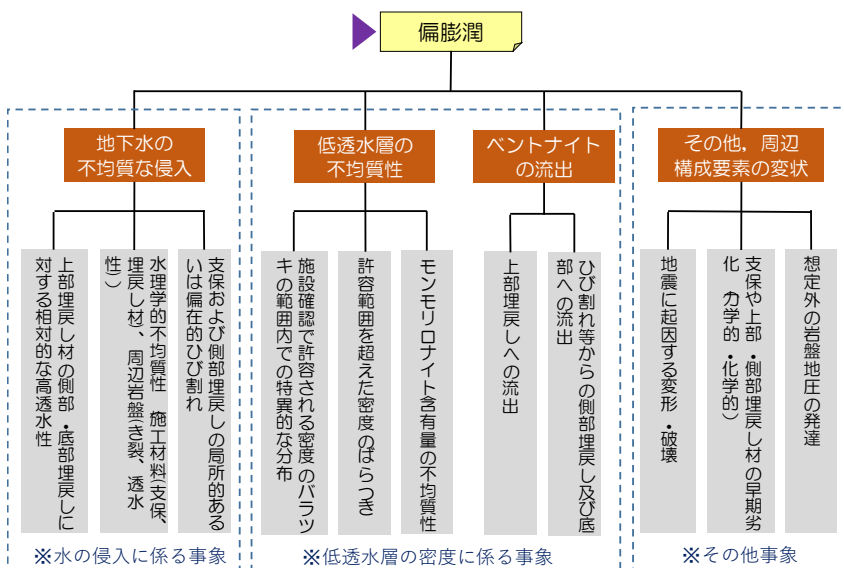


図-2 FTA による偏膨潤シナリオの整理

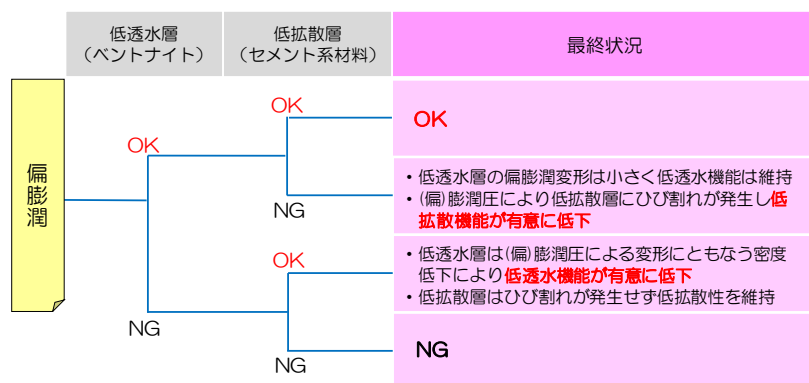


図-3 ETA による解析結果の最終状況評価

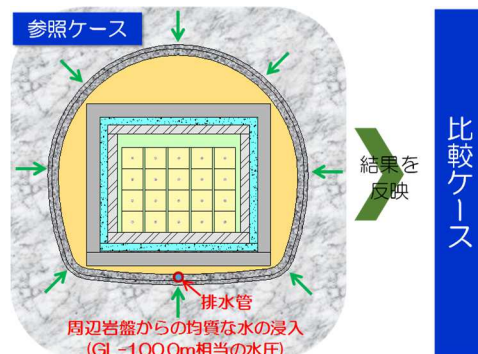


図-4 参照～比較解析イメージ