余裕深度処分施設の長期力学安定性に与える鉄筋の腐食膨張の影響

1. はじめに

余裕深度処分施設の長期力学安定性に影響を及ぼす 重要な力学要因として、鉄筋コンクリートピット(以 降 RC ピット)内の鉄筋の腐食膨張が挙げられる.山本 ら¹⁾は有限個別要素法(以降 FDEM)を用いて RC ピッ トの部分モデルによる腐食膨張解析を行い, FDEM 解析 から得られた RC ピット部材の膨張変形量に基づき, 腐 食膨張のモデル化方法を検討し、処分施設全体を対象 にした長期力学挙動解析を実施している.しかし、余 裕深度処分施設の RC ピットは、外側に配置される無筋 のモルタル部材である低拡散層と接する形で構築され るため, RC ピットのみの部材モデルとは側部の境界条 件が異なり, 膨張量は低拡散層の影響を受けると考え られる. そこで本検討はRC ピットに加えて低拡散層に ついてもモデル化した人工バリアの切り出しモデルを 用いて RC ピット内の鉄筋が腐食膨張した場合の膨張 量を FDEM により算定し、処分施設全体を対象とした長 期力学挙動の再評価を行った.

2. FDEMによる鉄筋の腐食膨張のモデル化

FDEM は連続体に対する解析手法である有限要素法と 不連続体に対する解析手法である個別要素法を結合し たもので、連続体であったものが外力等によって破壊し 不連続体となる過程やその後の挙動を模擬するのに有用 である.本検討では、基本的なモデル化方針は山本らに 準拠するが、低拡散層の影響を考慮するためRC ピット部 の側面に低拡散層もモデル化して鉄筋の腐食膨張解析を 行った. 解析モデルおよび境界条件を図-1 に示す. ここ で、コンクリート部、配力筋、主鉄筋およびせん断補強 筋はすべて不連続なものとして各々の境界には接触面を 定義している. 解析対象期間は5万年とし, 鉄筋の腐食 速度は0~100年は1.0µm/y, 100~5万年までは0.01µ m/y とした(したがってD32鉄筋は無拘束では5万年後に 直径で約2.3mm 膨張する). なお,鉄筋の腐食膨張は解析 上等価な熱膨張として与えた. コンクリートのヤング係 数は 48.1GPa, 鉄筋のヤング係数は健全部で 200GPa, 腐 食部は健全部の 1/2 とした. コンクリートおよび鉄筋の

RC pit Low diffusion mortai 150 mm 350 mm 150 mm 600 mm 境界条件: 前面、背面の y 方向、左側面 のx方向、底面のz方向拘束 上面の z 方向、右側面の x 方 向に0.56MPa(膨潤圧相当) の等分布荷重 図-1 FDEM モデルによる鉄筋腐食膨張解析モデル (上:モデル化領域と鉄筋、下:解析メッシュ) Ζ ► X 図-2 FDEM 解析結果(XZ 面ひび割れ図) (上:モデル全体、下: RC ピットのみ) Line 2 Line 3 Line 67mm 160 3 FDEM平均值) 140 FEM腐食膨張モデル FEM腐食膨張補正モデル 120 (mm) 2 100 80 au Z方向変位 60 Z座標 40 20 0 50 100 150 200 250 300 350 0 3 0 2 X座標(mm) X方向变位 (mm) 図-3 観測線に沿う変位量(FDEM と FEM の比較)

(株) 大林組 正会員 〇佐藤 伸, 山本 修一, 武内 邦文 東電設計(株)

日本原燃(株)

正会員 金子

正会員 庭瀬 一仁, 伊藤

岳夫

裕紀

材料構成則は弾塑性モデルとし、前者の破壊判定は Mohr-Coulomb 則、後者は Von Mises とした.また、コンクリートの引 張軟化特性には破壊エネルギーを適用した.解析コードは ELFEN² を用いた.

3. FDEM 解析結果と FEM 解析での腐食膨張のモデル化方法

FDEM 解析結果の一例を図-2 に示す. 配置されている鉄筋に沿ってひび割れが生じており主鉄筋, 配力筋およびせん断補

キーワード 廃棄物処分、コンクリートのひび割れ、腐食膨張、有限個別要素法、余裕深度処分、長期力学的影響 連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株) 大林組本社原子力本部原子力環境技術部 TEL: 03-5769-1309

強筋が交差する部分でZ方向(鉛直方向)へ最も変形しているのが 分かる.この挙動を次の条件①,②を仮定した2次元FEM解析で模 擬することを試みた. ①平面ひずみを仮定し、XZ 面の断面形状と 拘束条件はFDEMと同じ、②腐食鉄筋を断面内全体に平均化させた 2 重要素として表現し、等価な熱膨張を与えることで腐食膨張を模 擬(腐食膨張は部材全体に一様に発生する). 図-3 に両解析結果の 変位を比較して示す. FDEM の結果は各観測線の平均値である. FDEM 解析結果(X方向最大値=3.58mm, Z方向最大値=2.63mm)はFEM 解析結果(X方向最大=1.64mm,Z方向最大=0.67mm)の約2倍強 の変形量となっている.本検討でも山本ら¹⁾の検討と同様に部材平 均的に膨張させる FEM 解析の方が FDEM 解析よりも変形が小さいも のとなった. そこで、図-4 に示す処分施設全体を対象とする FEM 解析では変位が FDEM 解析と同等となるように, FEM 解析における 腐食膨張量に割増率(2.2倍)を考慮する(図-3の補正モデル参照). FDEM 切り出しモデルでは、鉄筋配置によって鉛直変形が局所化す る個所もあるが、実際の RC ピットの連続性等を加味して腐食膨張 により断面平均的な変形を模擬できると考えた.

4. 処分施設の長期力学挙動解析

処分施設の長期力学挙動解析では、汎用非線形有限要素法コード ABAQUS³⁾を用いた.モデルを図-4 に、本検討で考慮した力学要 因・特性を表-1 に示す.コンクリートの変質については、溶脱速 度に応じて剛性と強度を岩盤側または低透水層側から逐次 1/10 に 低下させることにより表現した.考慮する事象と時間の関係は図-5 に示すとおりである.解析結果の一例として図-6 にセメント系人 エバリアの閉鎖後2万年と5万年の変形図を示す.セメント系人工 バリア部材は時間を追う毎にΣ型に変形(膨張)する.これより、 低拡散層のひび割れや変形は廃棄体容器の腐食膨張よりもRCピ ット鉄筋の腐食膨張の方が支配的な要因であると言える(廃棄体の 容器の腐食膨張が支配的な場合は樽型に変形する⁷⁾.この時の側 部低拡散層の伸び量は2万年後に26.4mm、5万年後には 60.9mm になる.保守性を考慮した本検討における解析条件においても5 万年後の低拡散層部材の伸び(部材長に対する伸び量の率)は0.6% 以下となる.

5. まとめ

鉄筋腐食による RC ピットの膨張を FDEM により推定し,その結果 を用いて余裕深度処分施設の長期力学挙動解析を実施した.その結 果,十分に保守性を考慮した条件でも低拡散層の拡散性能を維持で きることを確認した.今後の課題としては,FEM 解析によるモデル 化手法のさらなる高度化,適切な解析パラメータ(腐食膨張量・剛 性等)設定が課題と考えられる.

参考文献

- 山本ら:鉄筋の腐食膨張を考慮した余裕深度処分施設の長期力学挙動 解析,土木学会第64回年次学術講演会公演概要集,pp.197-198,2009.
- 2) Rockfield software Ltd: ELFEN 2.8 Specification Overview, 1998.
- 3) Dassault Systemes Simulia Corp. : ABAQUS Analysis User's Manual Version 6.5, 2004.
- 4) 大久保ら: 非線形粘弾性モデルによる坑道変形のシミュレーション,日本鉱業会誌, Vol.103, pp. 293-296, 1987.
- 5) 長沼一洋:三軸圧縮下のコンクリートの応力~ひずみ関係,日本建築学会構造系論文集,第474号, pp.163-170,1995.
- 6) Roscoe, K. H. and Burland, J. B. : On the Generalized Stress Strain Behavior of 'Wet' Clay, Engineering Plasticity, Cambridge University Press, pp.535-609, 1968.
- 7) 山本ら:トンネル型処分施設における人工バリアの長期力学安定性に関する解析的検討,日本原子力学会 2008 年春の年会,2008.



図-4 処分施設の長期力学解析モデル 表-1解析で考慮した力学要因・特性とモデル



