地下空洞型処分施設への地震影響についての基本検討

東電設計（株）　正会員　鈴木　康正，○伊藤　喜広
清水建設（株）　正会員　新美　勝之，内海　崇晴
(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター　正会員　山田　淳夫，秋山　吉弘

１．はじめに

地下空洞型処分施設の地震時挙動の特徴を把握し，各部位の設計･施工への留意点として反映することを目的に，2 次元有限要素法(FEM)による地震応答解析を行い当該施設の地震時挙動について検討した．解析では，施設の建設・操業時，埋戻し直後等の Phase を対象とし，入力地震動については地震時影響の程度を把握するために加速度レベルの異なる 3 つの地震動を設定した．

２．解析条件

(1)解析モデルおよび物性値

解析モデルを図 1 と図 2 に示す．地下空洞周辺の地質構造は，確証試験の実施箇所（試験空洞）近傍の地質構造[1)]を参考に水平成層としてモデル化した．側方・底面の境界は，半無限地盤への波動の逸散を考慮するため，ダッシュポットを用いた粘性境界とした．埋設施設の部材構成や寸法形状は，確証試験施設に準拠した．解析に用いた物性値は，確証試験時の試験結果及び参考文献[2)]に基づき設定した．なお，地盤および緩衝材の動的物性のひずみ依存性には修正 R-O モデルを適用し，それ以外の構造物は弾性モデルとした．

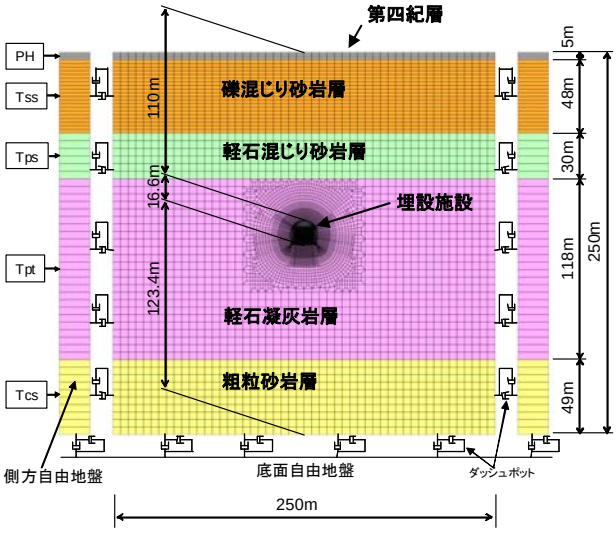

図 1　解析モデル（全体）

(2)検討に用いた地震動

検討には，確証試験施設近傍で設定されている水平方向最大加速度 450Gal の地震動[3)](図 3)を基本(Lv2)として，水平方向最大加速度を 250Gal(Lv1)と 900Gal(Lv3)に振幅調整した 3 種類の地震動を用いた．Lv1 は空洞位置で水平震度が 0.2，Lv3 は振幅が Lv2 の 2 倍になるように設定したものである．なお，Tps 上面を解放基盤表面として，地震動の定義位置とした．また，鉛直方向地震動は水平方向の 2/3 の振幅とし，水平・鉛直同時加振で解析した．

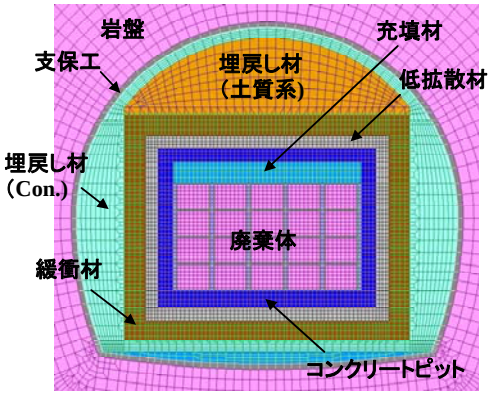

図 2　解析モデル（埋設施設）

３．解析結果に基づく埋設施設への地震影響

(1)埋設施設の全体挙動

廃棄体定置前(Phase1)の空洞全体の地震応答挙動の特徴を図 4 に示す．Phase1 では支保工と埋戻し材（セメント系）は周辺岩盤と一体になって挙動しているのに対して，コンクリートピット(以下 CP)と低拡散材は周辺岩盤とは異なる周期で振動する．一方，埋戻し直後(Phase2)になると，CP と低拡散材も含め施設全体が周辺岩盤と一体になって挙動するようになる．

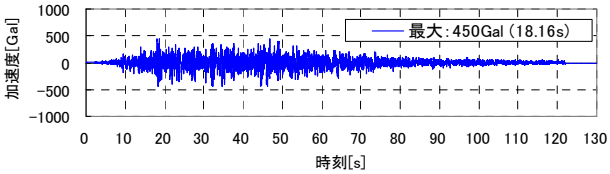

図 3　検討に用いた地震動(Lv2，水平方向，最大 450Gal)

キーワード：地下空洞型処分，地震時挙動，緩衝材，低拡散材，コンクリートピット
連絡先：〒104-0052　東京都中央区月島 1-15-7　TEL：03-3534-4536　FAX：03-3534-4567　E-mail：atsuo.yamada@rwmc.or.jp

(2) 緩衝材

ベントナイトを材料とする緩衝材とその周辺のセメント系部材では，剛性等が大きく異なるため，その界面を剛結とした場合(ジョイントなし)と，界面での剥離・すべりをジョイント要素を用いて考慮した場合の挙動を比較した．

地震動 Lv2 における緩衝材のせん断破壊に対する局所安全係数 SF(履歴最小)分布を図 5 に，最大主応力(引張側，履歴最大)分布を図 6 に示す．なお SF の算定には，Mohr- Coulomb の破壊規準を適用し，試験結果(UU 試験)より粘着力 C=370kPa，内部摩擦角 ϕ=2.64 度とした．上述したように，空洞自体は左右斜め方向に引伸ばされるモードで変形するため，緩衝材は引伸ばされて，底部や側部上端付近で SF が小さく，また引張応力が生じやすいことがこれらの図から分かる．

界面の剥離・すべりを考慮することにより，引張応力が発生する範囲は狭くなるが，剥離が生じることにより剥離が生じていない箇所の緩衝材の圧縮応力が増加するため，ジョイントなしの場合と比較して SF が 1 以下となる範囲が増加する．

ベントナイト材料については，せん断帯を含む供試体と含まない供試体の透水性に有意な差はないとの報告[4]があるが，材料等の試験条件が本研究とは異なるため，地震により損傷を受けた場合の緩衝材について，詳細に検討する場合においては，今後，試験等に基づく確認が必要と思われる．

(3) コンクリートピットおよび低拡散材

他の建設･操業段階と比べて地震影響を受けやすい Phase1 の，CP と低拡散材の引張破壊に対する最小安全係数 SF と地震動レベルとの関係を図 7 に示す．引張強度は試験結果より CP で 3.53MPa，低拡散材で 4.68MPa とした．発生引張応力が引張強度に達する地震動の最大加速度は，CP では 500Gal 程度，低拡散材では 1000Gal 以上と推定される．なお，最小の SF が発生する部位は CP，低拡散材ともに左側壁下端である．地震動 Lv3 の場合には，CP で SF＜1 となるが，RC 断面照査の結果，ひび割れが発生した場合でも，部材（鉄筋および圧縮縁のコンクリート）の耐力は十分であることを確認した．

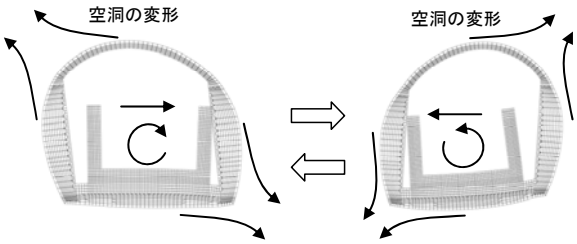

図 4　空洞全体の挙動（Phase1，変位 200 倍）

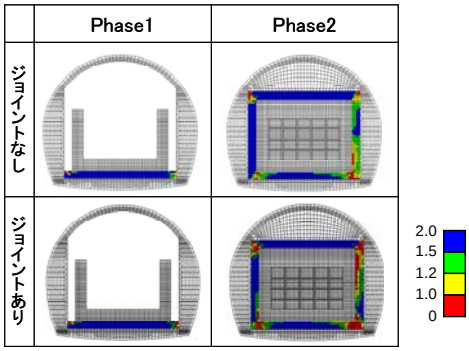

図 5　せん断破壊に対する局所安全係数 SF(Lv2，履歴最小)

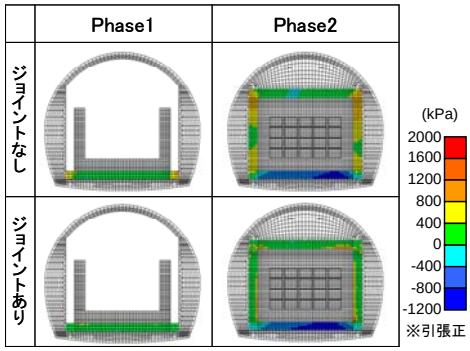

図 6　最大主応力(Lv2，引張側，履歴最大)

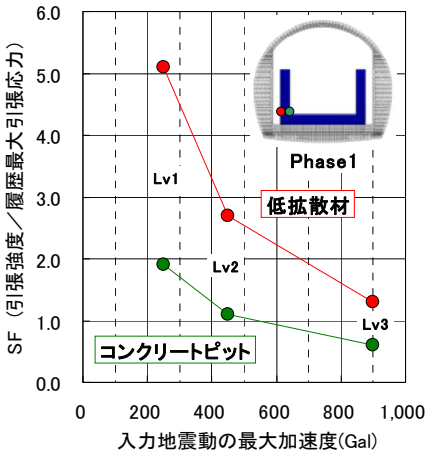

図 7　引張強度に対する安全係数と地震動レベルの関係

4．まとめ

本検討より，セメント系部材（CP，低拡散材）は大きな地震に対しても力学安定性は確保されること，緩衝材は地震の大きさによっては損傷を受ける可能性があり，損傷を受けた際の性能は，試験に基づく確認が必要であると思われる．本研究は経済産業省からの委託による「管理型処分技術調査等事業（地下空洞型処分施設性能確証試験）」の成果の一部である．

参考文献

1)冨田敦紀・岩見忠輝・鈴木康正：余裕深度処分埋設施設本格調査のうち試験空洞の支保設計および挙動，電力土木，No.325，2006.9　2)日本原燃株式会社：再処理施設及び特定廃棄物管理施設「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に係る耐震安全性評価報告　コメント回答（基礎地盤の安定性），2010.5　3)原子力安全・保安院：日本原燃株式会社再処理施設及び特定廃棄物管理施設の「耐震設計審査指針」等に照らした耐震安全性評価の確認結果について，平成 21 年 6 月　4)小高 猛司他：圧縮ベントナイト緩衝材のせん断破壊時の性能評価，地盤工学ジャーナル，Vol.5，No.2，2010