

地層処分施設の構造的特徴を考慮した地震時挙動特性の把握

水平坑道と弱層の交差部の検討

原子力発電環境整備機構 正会員 ○末広 俊夫, 窪田 茂, 玉田 潤一郎, 藤崎 淳
清水建設株式会社 正会員 新美 勝之, 内海 崇晴, 戸栗 智仁, 小林 伸司

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設は、大深度の地下に大規模な坑道群を有するという点で、従来の地下構造物とは異なる構造的な特徴を持つ。坑道の延長が長ければ地質上の弱層と交差する可能性がある。そこで、本検討では水平坑道と弱層の交差部を対象として3次元地震応答解析を実施し、当該部位の地震時挙動について検討を行った。

2. 検討条件

本検討は、深度500mの水平坑道と弱層が交差する部位を対象にする。検討対象領域を図-1に、水平坑道の断面形状を図-2に示す。地盤は、HLW2次とりまとめ¹⁾等で設定した軟質系岩盤(砂質岩と泥質岩の互層地盤)を想定した。地盤の弾性波速度は深度依存性を考慮し、地盤深度および岩種に応じて図-3のように設定した。弱層は深度300mから700mまでの泥質岩中に、厚さ2.5mの鉛直に切り立った平面として存在するとし、水平坑道に対して交差角度が90°、60°、30°の3ケースを設定した(表-1)。弱層の物性値は弾性波速度がHLW2次とりまとめの軟岩系データセットのほぼ下限値になるように $V_P=1.8\text{ km/s}$ 、 $V_S=0.7\text{ km/s}$ と設定した。また、入力地震動(水平地震動)は、JEAG4601²⁾を参考に、距離減衰式に基づく経験的な方法に基づき、マグニチュード $M=8.0$ および等価震源距離 $X_{eq}=25\text{ km}$ の条件のもと作成した。

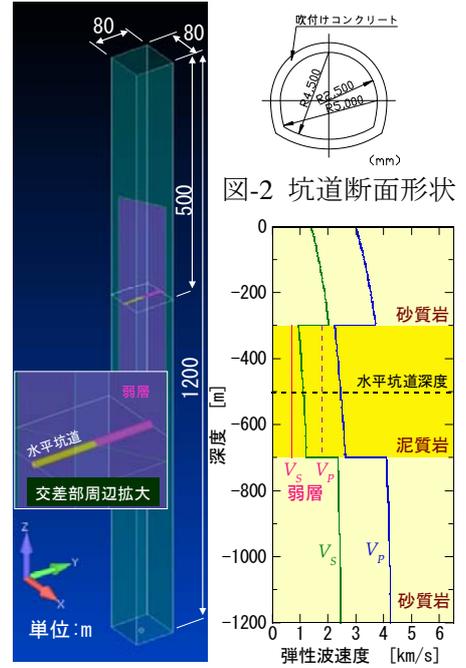


図-1 検討対象 図-2 坑道断面形状 図-3 地盤モデル

3. 加振方向の検討

3次元の地震応答解析を実施するに当たり、地震動の加振方向の違いが交差部に与える影響を把握するために、交差部周辺のFEM解析モデルを用いた応答震度法解析を実施した。応答震度法による静的地震力載荷方向を水平坑道の軸に対して0°から150°まで30°ピッチで変化させて、交差部の吹付けコンクリート応力と周辺岩盤の局所安全係数に対して影響が最も大きいと考えられる載荷方向を調べた。その結果から設定した加振方向を表-1に示す。

表-1 検討ケース

ケース1	ケース2	ケース3
交差角度 90°	交差角度 60°	交差角度 30°
加振 0° 方向	加振 120° 方向	加振 120° 方向

4. 交差部周辺の地震時挙動

弱層交差部周辺の地震時挙動を把握するために、3次元地震応答解析を実施した。

ケース1の解析で得られた弱層交差部中心位置にある水平坑道の天端の応答加速度を、坑道が存在しない自由地盤の坑道中心深度の応答加速度と合わせて図-4に示す。弱層交差部では自由地盤より位相が遅れている。これは剛性の低い弱層が上下方向にせん断変形するために、構造系全体としての剛性が低下するためと考えられる。全ケースの弱層交差部中心天端の応答加速度について、同一時刻の水平二方向成分の関係を図-5に示す。入力地震動の加振方向が弱層面と直交するケース1とケース3の場合は、加振方向と応答加速度の方向は一致するが、斜めのケース2の場合は加振方向以外の成分が発生する。これは、弱層に対して直交方向と平行方向では、剛性の違いにより応答に位相差が生じることが原因と考えられる。

キーワード 地層処分施設, 耐震設計, 弱層, 地震時挙動, 地震応答解析
連絡先 〒108-0014 東京都港区芝 4-1-23 三田 NNビル 原子力発電環境整備機構 技術部 TEL : (03)6371-4004

ケース1を対象に、弱層交差部中心上下間の相対変位が最も大きい時刻 $t = 14.89\text{s}$ の状態に着目する。交差部周辺の変形形状を図-6に示す。弱層を挟んで地盤にずれが生じているが、これは剛性の低い弱層でせん断変形(せん断ひずみ)が大きくなるためと考えられる。この影響を受けて、図-7に示すように交差部周辺の吹付けコンクリートの応力は一般部に比べて1.8倍程度高い。常時の応力状態を考慮した周辺岩盤の局所安全係数は、弱層に隣接する要素で小さい(図-8)。坑道底部中央の要素を坑道軸に沿って着目し、局所安全係数の変化を交差部中心からの距離との関係を図-9に示す。局所安全係数は交差部中心から $0.5D$ (D :坑道径, 5m , 以下同じ)以上離れると一定値に収束しており弱層交差部の影響範囲は交差部中心から $0.5D$ 程度であると考えられる。常時と地震時を比較すると弱層交差部に近いところでわずかな差が見られるもののほぼ一致している(図-10)。

5. おわりに

水平坑道と弱層の交差部では、弱層がせん断変形することによる構造系全体としての剛性低下が地震時振動特性に影響を与えることが把握できた。弱層交差部周辺の岩盤では局所安全係数が一般部より低下するが常時と地震時では局所安全係数の差はわずかであり、影響は小さいと考えられる。なお、今回の検討は線形弾性解析に基づくことから、今後は吹付けコンクリートのひび割れや岩盤のゆるみ等の非線形性を考慮した検討を実施して精度を高める必要があると考える。

参考文献

- 1) わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—, 核燃料サイクル開発機構, 1999.11
- 2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-2008, 社団法人日本電気協会 電気技術基準調査委員会, 2008

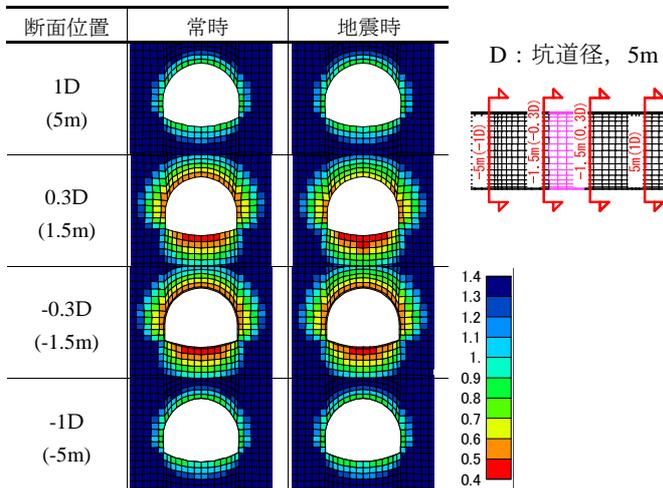
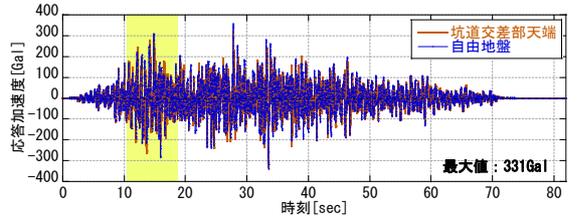
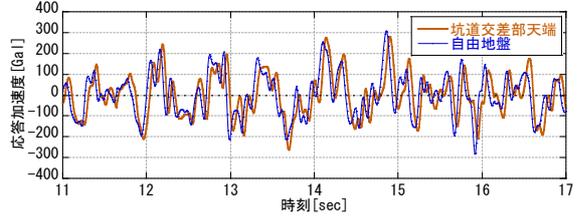


図-10 水平坑道直交断面での局所安全係数分布

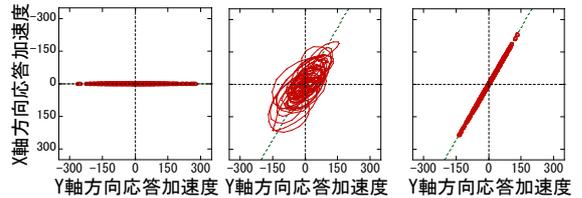


(1) 全時刻



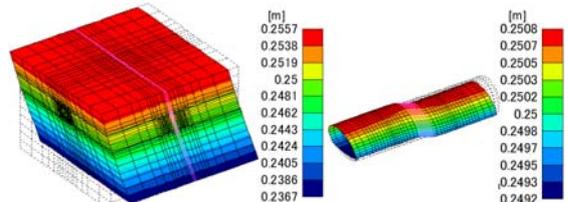
(2) 拡大

図-4 応答加速度



(1) ケース1 (2) ケース2 (3) ケース3

図-5 弱層交差部中心天端の応答加速度(Gal)



(1) 岩盤 (2) 吹付けコンクリート

図-6 変形形状(変位 1000倍)

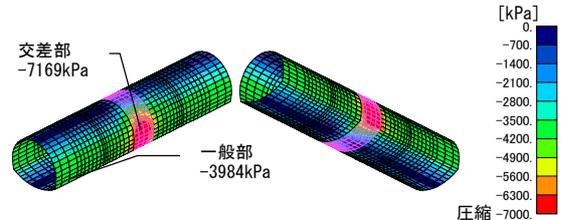


図-7 吹付けコンクリート最小主応力分布

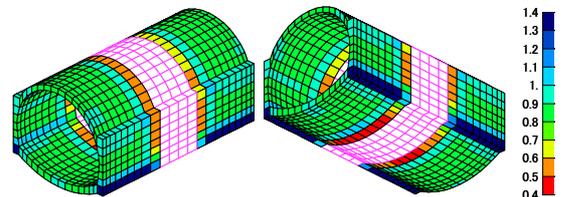


図-8 周辺岩盤の局所安全係数分布

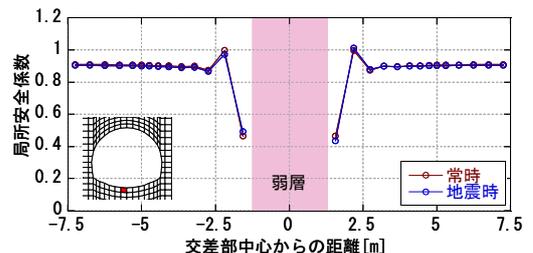


図-9 局所安全係数と交差部中心からの距離との関係