

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 水平坑道同士の交差部の検討

原子力発電環境整備機構 正会員 窪田 茂, 末広 俊夫, 玉田 潤一郎, 藤崎 淳
清水建設株式会社 正会員 ○内海 崇晴, 新美 勝之, 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連接坑道群を有し多くの交差部が存在するという点で、従来の地下構造物とは異なる構造的な特徴を持つ。この構造的特徴を考慮した地震時挙動特性の把握としては、これまでに立坑と水平坑道の交差部を対象にした検討¹⁾が実施されてきたが、本検討では、さらに水平坑道同士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を検討した。

2. 検討条件 本検討は、深度500mの水平坑道同士が直交する交差部を対象とする。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。地盤条件は、図-3に示すように砂質岩と泥質岩の互層地盤を想定した。なお、地盤の弾性波速度については、深度依存性を考慮し、地盤深度および岩種に応じて設定した。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 $M=8.0$ 、等価震源距離 $X_{eq}=25\text{km}$ の条件のもと作成した（図-4）。

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評価するために、応答震度法を用いたパラメータスタディを実施した。検討に際しては、図-5に示す交差部周辺のFEM解析モデルを用い、応答震度法による地震力载荷方向を水平坑道Aの軸に対して 0° から 330° まで 30° ピッチでパラメトリックに変化させて、交差部への影響が最も大きいと考えられる载荷方向を調べた。なお、静的地震力は、地盤の一次元重複反射解析（SHAKE）の結果より、水平坑道の天端と底部の深度の相対変位が最大になる時刻におけるせん断応力と加速度分布に基づき設定した。载荷方向と吹付けコンクリート内の最小主応力及び坑道周辺岩盤の局所安全係数との関係を図-6に示す。同図から水平坑道Aの軸に対して $60\text{-}240^\circ$ 方向に加振する場合が交差部に与える影響が大きいことが捉えられる。

4. 交差部周辺の地震時挙動 図-1に示す解析領域に対して3次元地震応答解析を実施した。解析モデルは、坑道周辺岩盤については8節点ソリッド要素で、支保工については4節点シェル要素とし（交差部周辺は図-5参照）、境界条件は、底面と側方を粘性境界、上端を自由境界とした。そして、図-4に示す地震動を解析モデル底面に入力し、時刻歴で応答解析を行った。

坑道交差部中心天端の加振方向応答加速度時刻歴を、別途実施した坑道が存在しない自由地盤の坑道中心深キーワード 地層処分施設、交差部、耐震設計、地震時挙動、地震応答解析

連絡先 〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3 清水建設株式会社 土木技術本部 設計第二部 TEL：(03)5441-0598

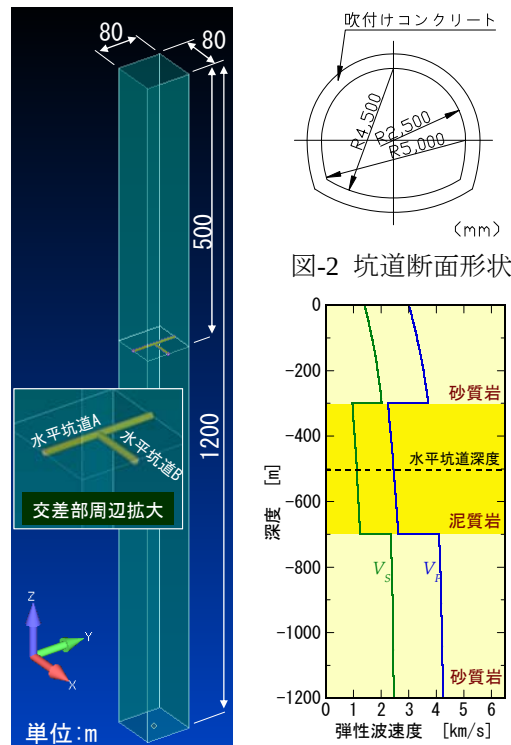


図-2 坑道断面形状

図-1 検討対象

図-3 地盤モデル

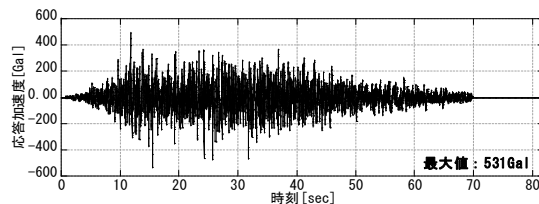


図-4 入力地震動

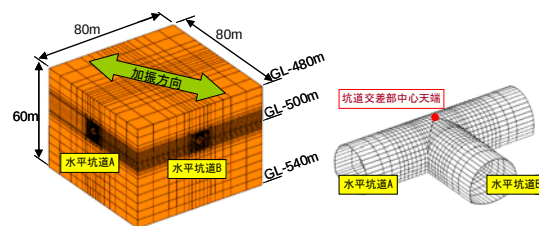


図-5 解析モデル

度の応答加速度と合わせて図-7 に示す。両者は良く一致していることから、坑道交差部が振動特性に与える影響は小さいと考えられる。

次に坑道交差部中心の上下間で相対変位が最も大きい時刻 $t = 14.81\text{s}$ に着目して、支保工と周辺岩盤を評価した。地震時増分による吹付けコンクリート主応力分布を図-8 に示す。坑道交差部では側壁の肩部と下端位置の付近で一般部に対して 1.7 倍程度の主応力が発生している。一方、坑道周辺岩盤に関しては、常時応力に地震時増分応力を重ね合わせて評価した局所安全係数の分布を図-9 に、坑道 A の直交断面で見た局所安全係数の分布を図-10 に示す。図-10 からは、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) 離れた交差部側壁中央で低い値を呈していることがわかる。さらに、坑道右側壁下端の要素に着目し、交差部中心からの距離に対する局所安全係数の変化を調べた結果を図-11 に示す。同図からは、局所安全係数は交差部中心から $1.5D$ 以上離れたとほぼ一定値に収束していることから交差部の影響範囲は $1.5D$ 程度であると考えられる。また、常時と地震時の局所安全係数に関しては、坑道交差部に近いところでわずかな差が見られるものの、両者はほぼ一致していると言える。

5. おわりに 本検討より、坑道交差部が振動特性に与える影響は小さいことが把握できた。また、坑道交差部周辺の岩盤は局所安全係数が一般部より低下するが、常時と地震時ではその差はわずかであり、影響が小さいと考えられる。今後は、水平坑道のなす角度が交差部の地震時挙動に与える影響についても検討を加えていく予定である。

参考文献

- 1) 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 立坑と水平坑道の交差部の検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集 I -507, pp.1013-1014, 2011
- 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

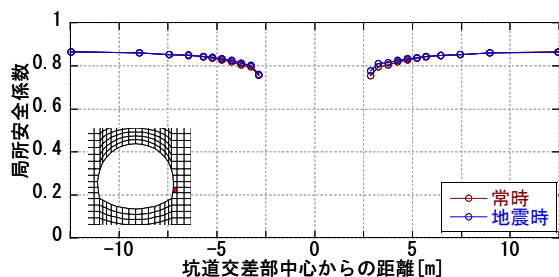


図-11 局所安全係数と坑道交差部中心からの距離との関係

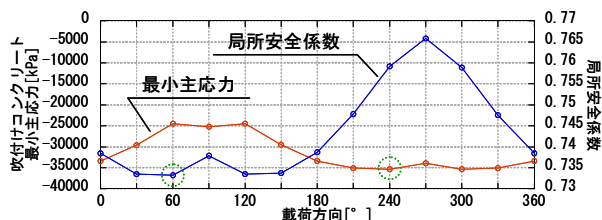
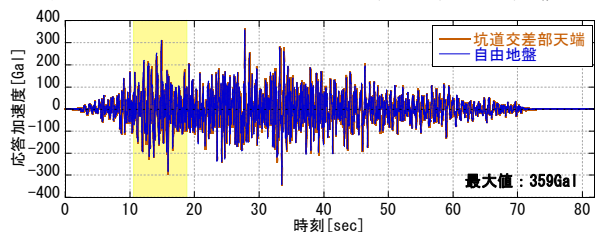
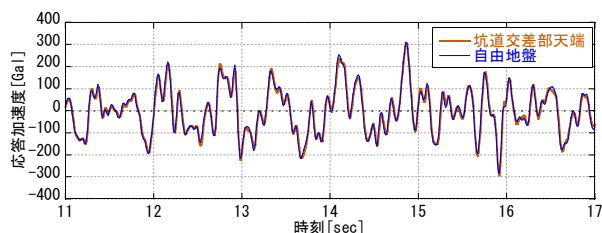


図-6 吹付けコンクリートと周辺岩盤の評価

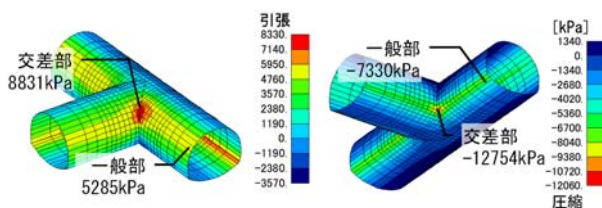


(1) 全時刻



(2) 拡大

図-7 応答加速度



(1) 最大主応力

(2) 最小主応力

図-8 吹付けコンクリートの主応力分布

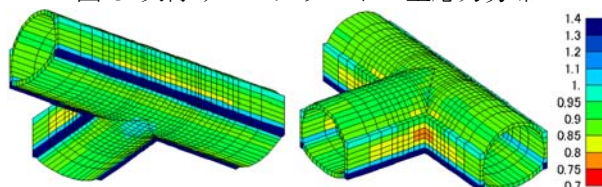


図-9 坑道周辺岩盤の局所安全係数

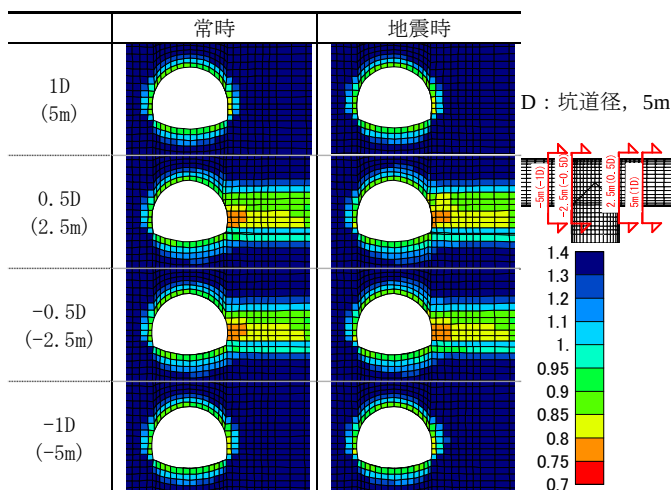


図-10 水平坑道 A の直交断面での局所安全係数分布