

### トンネル交点部に設置する縦坑3連貯水槽の解析検討と計測結果

戸田建設(株)	名古屋支店	正会員	○戸田 一生
鉄道運輸機構	北陸新幹線建設局	正会員	松本 浩司
戸田建設(株)	北陸支店	正会員	内藤 将史

#### 1. はじめに

北陸新幹線高丘トンネル(南)工事は、長野県中野市に位置する丘陵地を縦断する高丘トンネル(全長6,944m)の長野側、延長2,932mを建設するものである。トンネル掘削は、斜路(作業坑)から本坑に接続し長野方および上越方の本坑掘削を行った。当工事では、斜路(作業坑)と本坑の交差部に、トンネルの湧水を貯留・排水するための貯水槽を計画・構築した。地質は、一軸圧縮強度が1 N/mm<sup>2</sup>程度の低強度で亀裂質のシルト層を主体としており、極めて変形性が大きい地山であるため、貯水槽をライナープレートによる3連の縦坑形式で計画した(図-1)。また、変形性の大きい地山条件において、安全に貯水槽掘削を行うため、FEM解析を実施して本坑および斜路への影響予測を行った。本報では、これら解析検討の内容と実施工の計測結果について報告する。

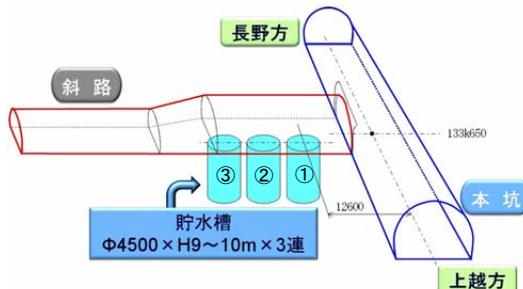


図-1 斜路-本坑交点部の模式図

#### 2. 技術課題

貯水槽の基本設計土圧は、道路橋示方書・同解説「下部構造編(ケーソン基礎の設計)」に準拠し、地表面からの土圧算定式で設定されていたが、土被り50mの斜路インバートの地下に構築する貯水槽では、トンネル掘削による地山応力状態が影響すると想定された。そのため、3連貯水槽の掘削による斜路および本坑への影響予測と設計土圧の妥当性検討、対策工立案が技術課題であった。

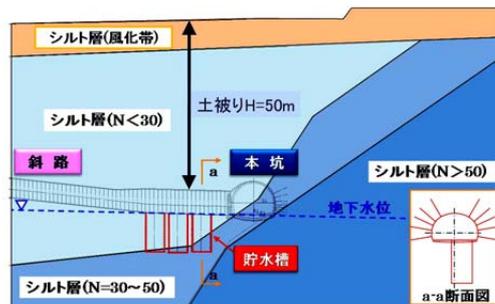


図-2 地質縦断面図(斜路軸方向)

#### 3. 解析方法

検討手法は、斜路-本坑の交点部に貯水槽を掘削する複雑な構造条件であること、変形性の大きい地山条件でトンネル掘削-貯水槽掘削の地山応力状態を再現する必要があることから、三次元FEM弾性解析を適用した。本解析において、地山応力状態を再現するため以下の解析条件を考慮して掘削解析を行った。

- ① トンネル掘削時の天端沈下最大値 52mm が生じるよう地山の变形係数を調整し、トンネル掘削後の地山応力状態を再現した。
- ② トンネル掘削解析における応力解放率 $\alpha$ は、近傍の計測とFEM逆解析の実績に基づき、掘削40%、支保後60%に設定した。
- ③ 貯水槽掘削時の応力解放率の設定根拠がないため、安全側の設計を目的にライナープレート、リング支保工設置後に100%応力解放する解析を行った。

#### 4. 解析結果および計測結果

(1) 仮設部材の応力照査

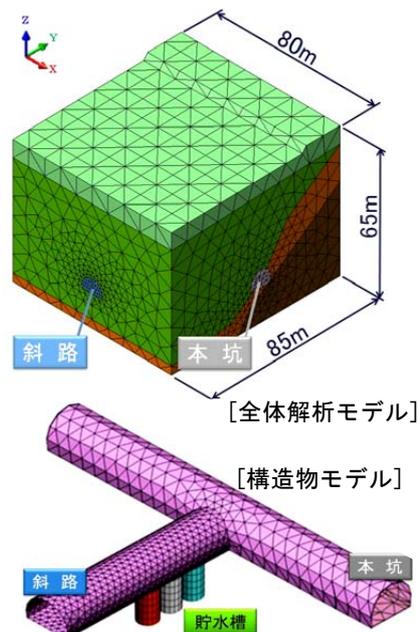


図-3 三次元FEM解析モデル

キーワード トンネル 貯水槽 縦坑 FEM解析

連絡先 戸田建設名古屋支店土木工事部 名古屋市東区泉 1-22-22 TEL052(951)8543 FAX052(961)4543

三次元FEM解析結果の断面力から、仮設部材の応力照査を行った。ライナープレートの断面力図を図-4に示す。応力照査を行った結果、貯水槽③におけるGL-4.5~6.0m 発生応力が許容応力度  $180\text{N/mm}^2$  を超える結果となった。そのため、貯水槽③の設計ライナープレート厚を許容応力度を満足するよう、 $t=2.7\text{mm}$  から  $t=3.2\text{mm}$  に変更した。なお、リング支保工 (H-150) の発生応力は、許容応力度  $210\text{N/mm}^2$  内の値であった。

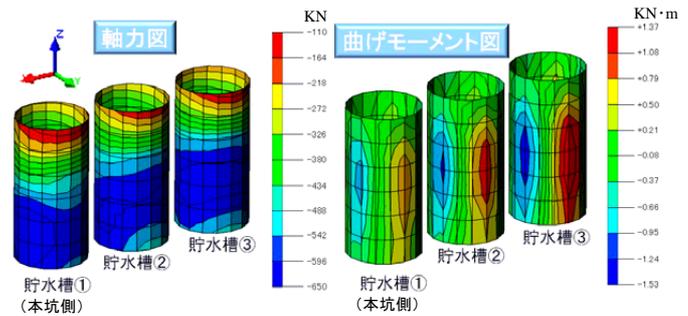


図-4 ライナープレートの断面力図

(2) 仮設部材変位の解析結果と計測値の比較

FEM解析結果では、図-5に示すように、斜路横断面方向 (Y方向) の土圧が同直角方向 (X方向) の土圧に比較して大きくなるため、斜路横断面方向に潰れる内空変位の変形モードとなった。

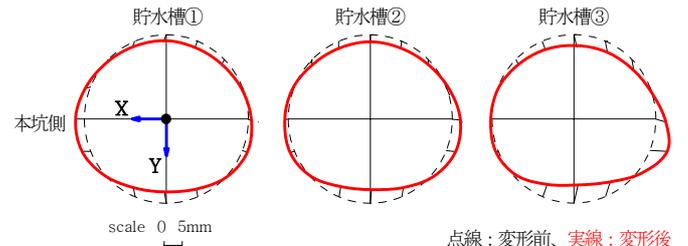


図-5 GL-6.0mにおける変形モード平面図

次に、解析値と実測結果の比較例として、図-6に貯水槽①GL-4.5mにおけるXY方向内空変位の実測計測値の経時変化を示す。実測結果も、X方向へ拡大し、Y方向へ縮小する内空変位を示しており、解析結果と同様な変形モードとなっている。また、内空変位の絶対値も概ね解析結果と計測値は一致している。

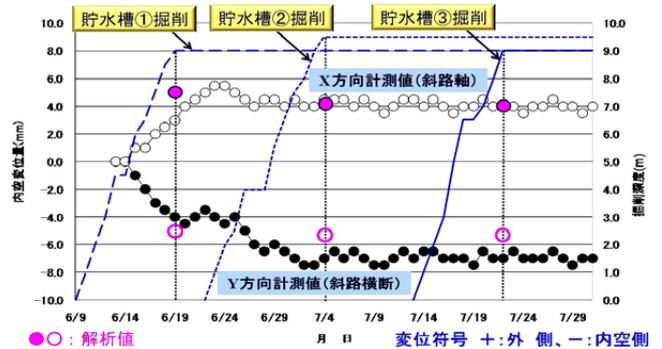


図-6 貯水槽①GL-4.5m内空変位の経時変化

(3) 斜路・本坑変位の解析結果と計測値の比較

図-7に貯水槽①斜路断面の天端沈下・内空変位の経時変化を示す。貯水槽掘削による斜路の変位増分は、解析結果で最大2mm程度と予測されたが、計測変位増分値は天端沈下・内空変位とも4mmとなり、計測誤差範囲 ( $\pm 1\text{mm}$  程度) を考慮すれば、ほぼ変位量のオーダーとして一致した結果となっている。なお、本坑への影響は解析結果の変位増分0.4mmに対して、計測値変位増分は計測誤差範囲+変位増分=1.4mmに近い2mmであった。

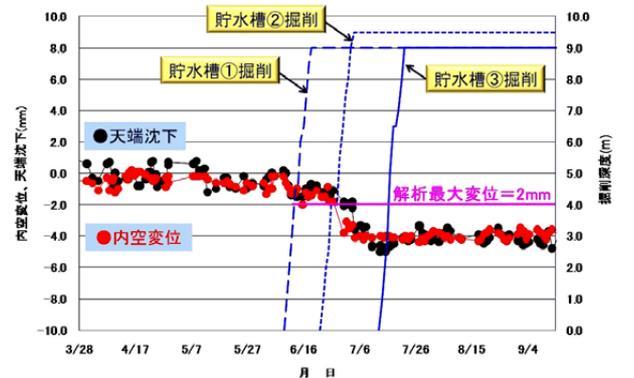


図-7 斜路断面の天端沈下・内空変位の経時変化

(4) 設計土圧の見直し

解析結果による仮設部材の断面力は軸力が卓越していることから、等方等圧による軸力算定式(1)より側圧  $P_h$  を算定し、設計土圧の推定を行った。

$$N = Ph \times r \quad \dots \dots \text{式 (1)}$$

ここに、N: 軸力 (kN)、Ph: 側圧 ( $\text{kN/m}^2$ )、r: 貯水槽半径 ( $=2.25\text{m}$ )

最大軸力  $614\text{kN}$  を式(1)に代入して側圧を求めると、 $Ph=273\text{kN/m}^2 > \text{設計 } 240\text{kN/m}^2$  であり、上記で述べたように解析結果による変位と実施工における計測値が概ね一致していることから、本体コンクリート構造物の設計土圧として  $Ph=273\text{kN/m}^2$  を採用した。

5. まとめ

斜路一本坑交点部の貯水槽の施工にあたり、変形性が大きい地山条件でトンネル掘削～貯水槽掘削の地山応力状態を再現するため、三次元FEM解析を適用した結果、解析結果と計測値は概ね一致しており、解析検討が十分に有効である結果が得られた。今後、本検討実績が類似工事の参考になれば幸いである。