

# トンネル避難連絡坑の本坑接続における 3次元 FEM 解析の実施

中日本高速道路株式会社 高度技術推進部 正会員 海瀬 忍  
 中日本高速道路株式会社 金沢支社 敦賀保全・サービスセンター 正会員 鈴木 俊雄  
 中日本高速道路株式会社 金沢支社 敦賀保全・サービスセンター 正会員 堀川 敬

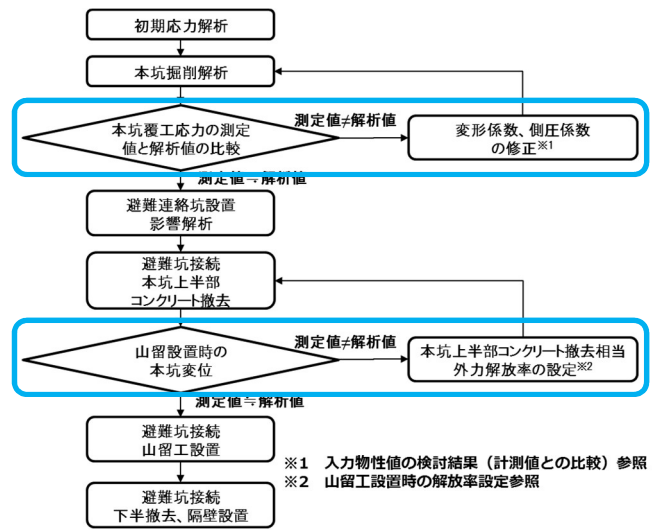
## 1. はじめに

中日本高速道路(株) 金沢支社 敦賀保全・サービスセンター管内では、安全性向上を目的に、トンネル避難連絡坑の設置間隔が長いトンネルに対して、追加の避難坑および避難連絡坑の設置工事を順次進めている。

現在、北陸自動車道 敦賀IC~今庄IC間にある葉原トンネルの上下線間に避難坑を設けて上下線それぞれの連絡坑を供用している本坑に接続する工事を実施中である。本工事において避難連絡坑の本坑接続時に、監視のために設置している本坑計測値に増加傾向がみられたため、供用線への影響を考慮して、本坑および避難連絡坑に補強工事を実施することとなった。補強工事の実施にあたっては、その効果を検証するために、3次元 FEM 解析を実施し、避難連絡坑接続による本坑への影響および補強対策工の効果等を確認したことから、解析結果および解析における留意点について報告するものである。

## 2. 3次元解析の流れ

解析はただ行っただけでは、その数値の信頼性が低いため、今回は、現地で本坑覆工コンクリートから採取したオーバーコアリング値と、工事計測値である本



※1 入力物性値の検討結果（計測値との比較）参照  
 ※2 山留工設置時の解放率設定参照

図-1 3次元解析フロー

表-1 解析ステップ

	STEP-1	STEP-80	STEP-82
概要図			
備考	・初期応力の計算	・下半土半掘削	・本坑補強ロックボルト打設
	STEP-110	STEP-113	STEP-118
概要図			
備考	・避難連絡坑 (D1区間) 上下半：31~32m掘削、上半：30~32m支保設置	・追加補強対策実施	・山留工および下半中央部撤去 ・インパーストラット設置

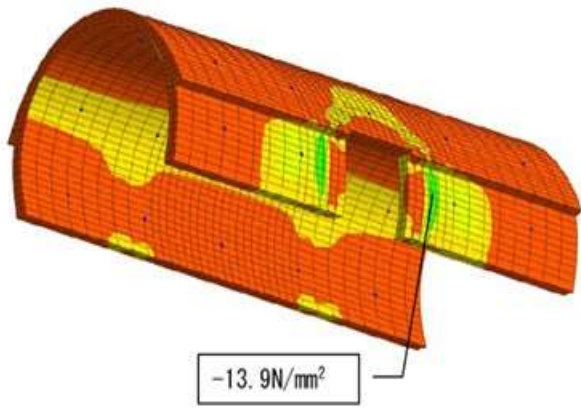


図-2 隔壁有りの主応力値

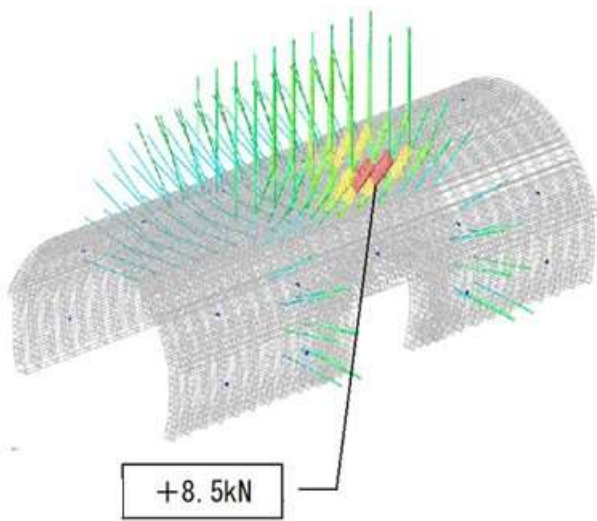


図-3 隔壁有りの追加補強ロックボルト軸力

坑変位の値を用いて、図-1に示す3次元解析フローを設定して、フローの青枠部分の段階で各値とフィッティングするように、変形係数、側圧係数、応力解放率（本坑上半部コンクリート撤去相当として）を変更してのパラメトリックスタディを行い、工学的に近似値になったと判断できた段階でステップ解析を進める手法で解析精度の確保を行った。

### 3. 解析モデルと解析ステップ

解析手法は3次元FEM解析として、モデルは本坑および避難連絡坑を構成する支保構造を施工ステップごとに数値が追えるメッシュ割りとした(節点:14,074, 要素:203,112)。入力物性値等はトンネル解析で一般的に用いられている数値を参考にして設定し、解析ステップは矢板工法による本坑建設時⇒避難連絡坑設置⇒補強ロックボルト・隔壁等の補強工までの施工ス

テップを基本として、必要に応じて増減させて最終的には118ステップと非常にステップ数の多い解析となった(表-1)。

### 4. 解析結果のまとめ

- ・補強の隔壁を設けることにより、側壁部分の覆工応力が15%程度( $15.4\text{N/mm}^2$  [圧縮側] ⇒  $-13.9\text{N/mm}^2$  [圧縮側])低減する(図-2)。
- ・隔壁施工前と後で、サンドルによる山留材撤去後の側壁の応力変化がない( $-13.9\text{N/mm}^2$  [圧縮側] ⇒  $-13.9\text{N/mm}^2$  [圧縮側])ことから、本来側壁にかかる応力が隔壁に分担が行われていると推測される。
- ・追加補強ロックボルトの軸力が14%程度( $9.9\text{kN}$  ⇒  $8.5\text{kN}$ )低減する一方、補強ロックボルトは避難連絡坑の接続時に $31.7\text{kN}$  [圧縮側]であったが圧縮軸力が減少している(図-3)。隔壁の有無で軸力が $17.4\text{kN}$  [圧縮側]から $19.2\text{kN}$  [圧縮側]となり軸力の引張側への変化が減じている。このことから、隔壁を設置することでロックボルトへの負担が軽減され、全体として安定しているものと考えられる。

以上より、隔壁を設けることにより山留材撤去時の発生応力の低減が図れる等の結果となったことから、隔壁を施工しての山留材撤去を行うこととする。

隔壁下部のストラットについては、解析上は応力低減効果に顕著には現れなかったが、実現象として想定外の力がかかった場合、閉合効果が発揮されると考えられること、また、供用後の応力変化に対するリスク低減を考えストラットの施工は行うものとする。

また、施工上の注意点としては、下半掘削時の下端部の形状が応力伝達上重要となることから、解析上示されていることから(完成時の覆工コンクリートの最大主応力:形状変更なし: $15.4\text{N/mm}^2$  ⇒形状変更あり: $13.9\text{N/mm}^2$ )、下半足付け部分に応力集中が起こらないように、擦り付けに注意することが必要である。

### 5. 今後の課題

現在工事は、本解析結果をもとに追加補強工事を実施し、連絡坑接続工事は順調に進捗している。今後、工事で得た各種計測値と解析値との比較を行うことにより、今回解析精度確保のために行った、オーバーコアリング値の採用および本坑上半部コンクリート撤去相当外力解放率の設定について検証を行っていきたい。