

応力解放法のトンネル覆工残留応力測定への適用について

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○田川 謙一

1. はじめに

1999年6月から半年の間に、相次いでトンネル覆工コンクリートの剥落等が発生したことを受け、トンネル覆工の維持管理の重要性が再認識されている。トンネルの検査は、覆工コンクリートの詳細なクラック調査・判定を行い、判定結果によっては必要な対策を行う。検査で発見されたクラックは、初期欠陥か、新たに発生したものかを解明することが、トンネルの維持管理では重要である。本報告では覆工コンクリート内面の応力を取得し覆工厚データと併せて逆解析を行うことによる、クラック発生個所の背面圧力の分布の推定をするため、トンネル覆工内の応力状態を把握する手法として、応力解放法によるトンネル覆工内の残留応力を測定への適用について検討結果を報告する。

2. 実トンネルによる応力解放法の測定概要

実トンネルによる応力解放法の測定は、上下線のアーチ部とクラウン部の計3か所を2トンネル行った。応力解放による内部応力測定では、覆工コンクリート表面にコンクリート用3軸ひずみゲージと熱電対を設置し、乾式コア削孔でコア採取した前後のひずみ差から最大及び最小主応力及び主応力の方向を算出した。削孔直後のひずみ値は、コア削孔作業に伴うコアコンクリートの温度上昇による影響を含むことから、ひずみ値は採取したコアコンクリートの温度が削孔前の温度とほぼ同等になった状態で削孔後とした。なお、測定した削孔前後のひずみ値はロゼット解析の計算方法により算出し、弾性係数はそれぞれのトンネルで行った応力解放法の近傍で採取したコアから静弾性係数の平均値とし、ポアソン比は $V = 0.2$ とした。

3. 実トンネルによる応力解放法の測定結果

2トンネルの測定結果を図1に示す。応力解放法による測定結果は、何れの測定点においても全方向圧縮応力状態 {主応力 (N/mm^2): (+) 引張応力 (-) 圧縮応力} にあり、一般的にこの状態ではひび割れは発生しない。Aトンネル下り線を除けば横断方向の圧縮応力が卓越しており、覆工背面圧力に対してアーチアクションが機能していると読み取れる。各測点間で主応力の絶対値に差があることから覆工厚のばらつきが大きくないとすれば、背面圧力の分布が複雑であることが予想される。Aトンネルでは鉄筋で補強されており覆工の剛性が高いことがプラス要素としてあるが、坑口に近い断面であり土被りが小さいことがマイナス要素として考えられる。Aトンネル下り線側では線路方向にも比較的大きな応力が発生しており、実構造におけるトンネル覆工の複雑な応力状態が伺われる。ひび割れ近傍あるいは先端では一般的に高い引張り応力域であると考えられるが、今回の測定位置では引張り応力が計測されていない。実トンネルより得られた応力解放法による覆工コンクリートの残存応力評価に対する信頼性の確認をするため、次項から試験体にPC鋼棒により圧縮力を導入し、コア採取による応力解放法による残留応力の評価値と導入されたコンクリート応力とを比較する。

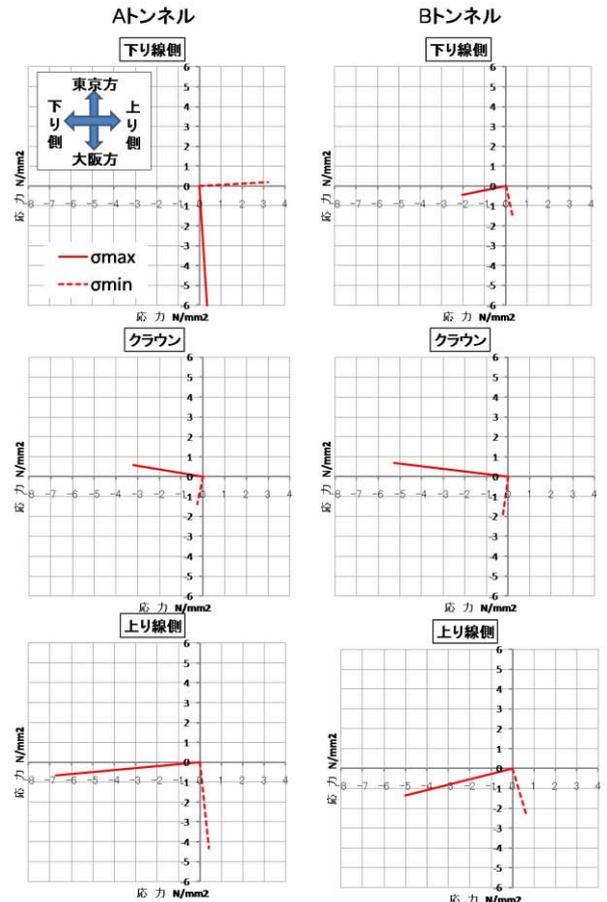


図1 実トンネルの応力解放法結果

4. PC鋼棒による圧縮力を導入した試験体の試験概要

PC 鋼棒によるプレストレス導入した試験体及び、応力変化のモニタ用測定位置(M 1 ~M4)及び応力解放の測定位置(No.1-1~No.4-3)を図2に示す。プレストレスを導入した方向はスラブ面に対して2方向として、一方向には軸力と同時に曲げモーメントが発生し、対象とするスラブ面により多くの圧縮応力が得られるよう PC 鋼棒の配置位置をコンクリートスラブ図心位置に対してオフセットさせて配置した。PC 鋼棒の緊張によって導入した荷重段階を表1に示す。

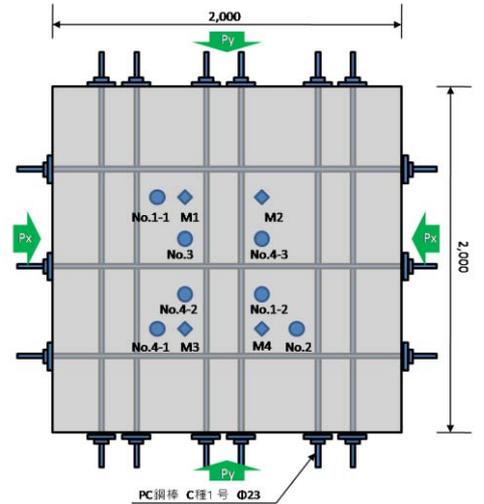


図2 試験体・測定位置概要

5. PC鋼棒による圧縮力を導入した試験体の試験結果

応力解放法で評価された内部応力の信頼性の検討として、応力状態をモニタしている測点は、PC 鋼材緊張前の状態を初期値として、以降の応力状態の変化量を測定しており、No.2~4の各測点シリーズでは No.1 の初期内部応力を含めた応力を評価している (図3参照)。従って、応力解放法の精度を検証するうえで対象とする真値は初期応力を含めて検討する必要がある。

表1 PC 鋼棒による荷重段階一覧

ステップ	荷重導入力		応力解放測定(コア採取No.)
	X方向	Y方向	コアφ100
①	○	○	No.1-1, No.1-2
②	○	175kN	No.2
③	○	350kN	No.3
④	350kN	350kN	No.4-1, No.4-2

プレストレス導入前の初期応力において、PC 鋼材緊張前の状態でコア削孔した No.1-1 及び No.1-2 が示す主応力は、スラブコンクリート内部に対して表面コンクリートの乾燥収縮量が大きいために発生する内部拘束の要因により、何れの測点においても引張応力状態でその応力は 1.2~4N/mm²程度であった。しかし、プレストレス導入後の応力状態が面的に均一であることに対して、初期応力は主応力の方向を含めて不均一である。

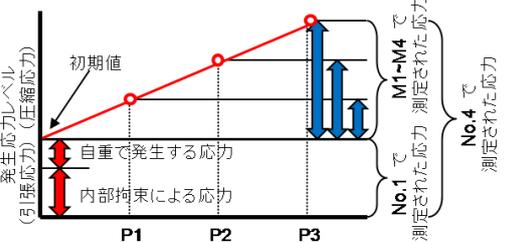


図3 応力状態のイメージ図

応力解放結果を図4に示す。Y方向 350kN/本導入した状態の No.7 測点シリーズでは、コア削孔前後の測定結果を併記して解放による応力変化の状況を示した (No.7-1~No.7-2)。このうちφ100mm コアの No.7-3 を除いた測定点では、コア削孔前の応力に対して圧縮応力が 1.5~2.7 N/mm²減少しており初期応力が 1.2~4N/mm²程度の引張状態であったことを考慮すると、応力正負 (圧縮・引張) としては正しい方向に変化しており、初期応力測定位置との相違はあるが、絶対値としても妥当な範囲にあると考えられる。

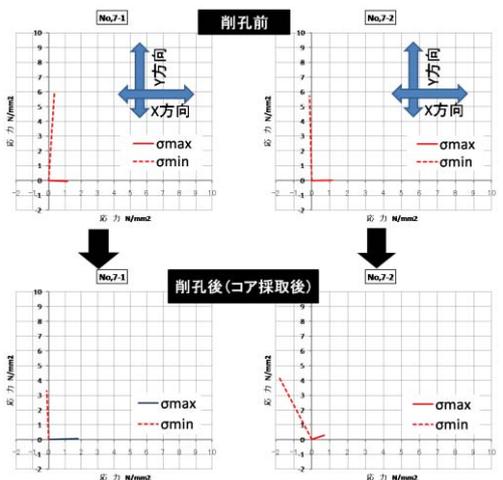


図4 試験体の応力解放法結果

6. まとめ

以上の結果から、プレストレス導入によるコンクリート応力の変化は非常に均一であるが、既往の3軸ひずみゲージによる測定で精度良く評価を確認できた。一方、内部応力の測定精度の検証では、プレストレス導入以前に残存する考慮すべき初期応力の状態が主応力大きさ及び方向が面的に不均一で複雑な状態であったことから、完全な初期応力の補正が困難で応力解放法による主応力評価の精度の検証は定量的には十分にできなかった。しかし、コア削孔前後と初期応力を比較すると大きな乖離はなく、応力解放で評価された応力変化は初期応力成分を含んだ値として信頼できると考えられ、本手法による内部応力の評価は実用上では適用可能であると判断できる。

参考文献

- 1) コンクリートの現存応力測定法に用いる3軸防水型ひずみゲージの開発 第54回年次学術講演会
- 2) コンクリート構造物の残存応力測定法に関する研究 構造工学論文集 Vol. 42A. pp333-340. 1996. 3