

高速鉄道トンネル内の圧力変動に対する覆工の挙動把握

- 応力解析モデルの構築 -

大崎総合研究所 正会員 新美勝之・若原敏裕・野澤剛二郎

東海旅客鉄道 正会員 梶川 徹・宮本雅章・渡瀬 久

1. はじめに

高速で走行する列車が、トンネルに進入あるいはトンネル内を進行する際、トンネル内に急激な圧力変動が発生する。この圧力変動の大きさは、列車の進入速度や長さ、対向列車との関係、車両の断面積がトンネル内空に占める割合などにより異なる。現在では、数値解析技術と計算機能力の発達により、このような圧力変動を3次元モデルで再現できるようになってきており、ある条件のもとでは約0.15気圧の圧力上昇が発生するという解析結果もある¹⁾。大気圧よりも高い圧力が急激にトンネル覆工に作用した場合、それはトンネル覆工を内空側から地山側に押す力となる。その結果トンネル内空は膨張し、覆工はトンネル軸に垂直な断面内で周方向に引張状態になる。覆工は無筋コンクリート構造物であるため、このように引張が発生するトンネル内の圧力上昇は厳しい条件となる。一方、通常の鉄道や道路トンネルの覆工の設計は主に過去の経験に基づいており、実験や数値解析を用いた安全性の検討は、土圧等の地山側からの圧力に対してはなされているが、上記のような内圧の急激な変動に対しては、ほとんど検討されていない。

本論では、有限要素法による応力解析により、トンネル覆工の圧力変動に対する安全性を検証することを目的に、覆工地山側の導水材の影響を考慮したトンネル覆工の解析モデルを構築する。そして、その妥当性を山梨実験線トンネルでの計測試験結果に基づいたシミュレーション解析により確認する。

2. 応力解析モデル

解析は、図-1に示す様なトンネル軸直交断面での平面ひずみ問題として扱った。トンネル覆工の地山側には、止水目的の防水シートと、導水性向上のための導水材（4.2mm厚）が配置される。本論では、この導水材の影響に着目してモデル化を行う。解析モデルの構築にあたり、次の2点を仮定した。

- ・地山は支保工により完全に支持され、覆工には地圧が作用しない
- ・圧力変動による変形は、覆工と覆工地山側に配置された導水材のみに生じる

解析対象のモデル化は4節点ソリッド要素を用い、覆工と導水材は周方向に32分割し、また覆工は厚さ方向に3分割した。境界条件は、覆工の端部と導水材の地山側の節点変位を拘束した。要素分割を図-2に示す。覆工コンクリートの材料定数は、計測地点で採取した覆工ボーリングコアの圧縮試験結果等に基づいて、表-1に示す値を用いた。

導水材の物性に関しては、試験により厚さ方向に受ける荷重

表-1 覆工コンクリートの材料定数

ヤング係数	E_c	32.8 kN/mm ²
ポアソン比	ν	0.2
単位容積質量	γ	2.35 t/m ³

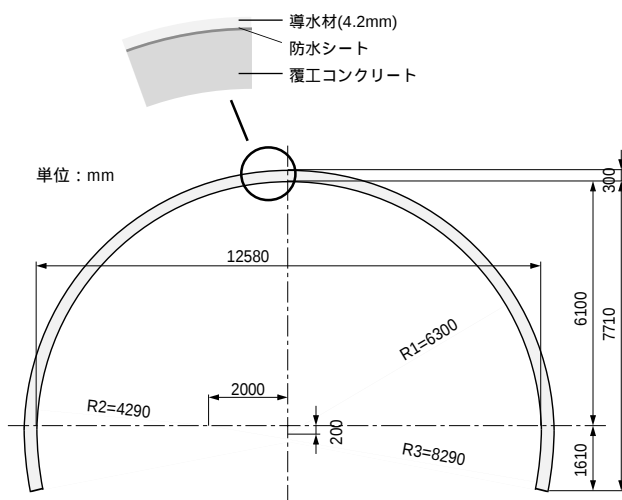


図-1 解析対象

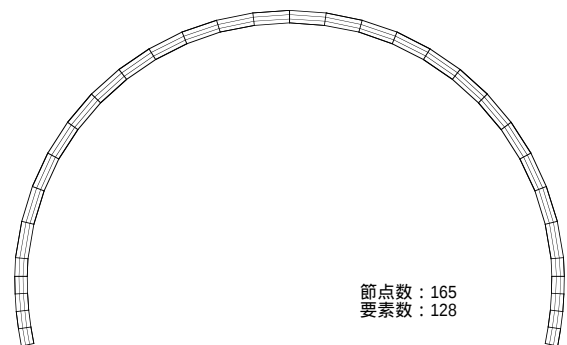


図-2 要素分割図

キーワード：高速鉄道，トンネル，覆工，数値解析，圧力変動，解析モデル

連絡先：〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-2 富国生命ビル TEL.03(3508)8011 FAX.03(3508)2196

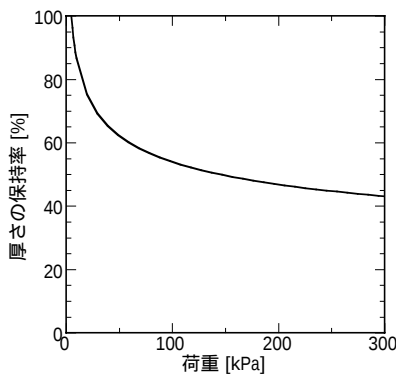


図-3 導水材が受ける荷重と
その厚さの保持率

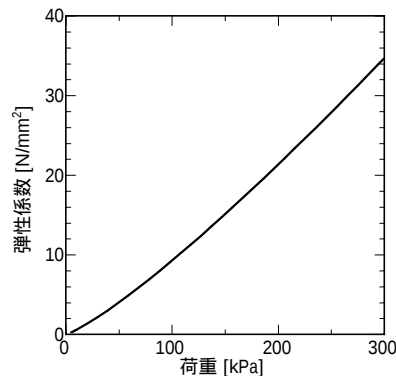


図-4 導水材が受ける荷重と
弾性係数

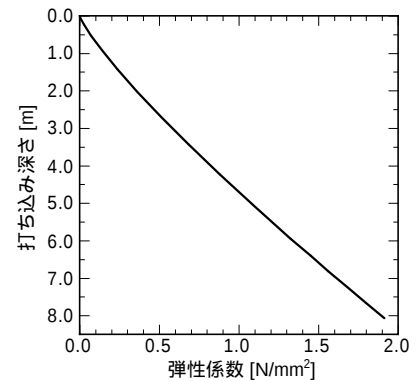


図-5 導水材の弾性係数の分布

と厚さの保持率の関係が得られている（図-3）．この関係から、荷重を受けている状態での接線弾性係数を導き出すと、図-4に示すようになる．すなわち、導水材は、厚さ方向に受ける荷重が増加すると剛性が高くなる非線形特性を示す．一方、覆工地山側に配置された導水材は、施工の際覆工コンクリート打設時の圧力を受けて圧縮されると考えられる．この圧力を静水圧分布と仮定し図-4の関係をを用いて、導水材の弾性係数の分布を、コンクリート打ち込み深さの関数として図-5に示すような分布に定めた．そして、要素毎に各要素の中心位置で評価し設定した．

3. 解析結果および実測結果との比較

解析では、実測により得られた突入波の圧力を参考にして、覆工に内空側から0.037気圧の圧力を一様に作用させた(図-6)．

解析で得られた覆工コンクリート内空側の周方向のひずみ変化分布を、計測値とともに図-7に示す．解析値は、クラウン部と側壁部で小さく、その中間部分で大きくなっており、定性的には計測値の分布とよく一致している．定量的には、全体的に計測値より大きい結果が得られており、その傾向はクラウン部と側壁部において顕著である．この原因として、次のような理由が考えられる．

- ・ 計測を実施したトンネルでは覆工背面の導水材が水を含んでおり、短時間の圧力変動に対しては図-3の試験値よりも剛性が高くなっている
- ・ 実際の覆工コンクリートが、設計よりも厚い
- ・ 実測の場合では覆工に作用する圧力変動は短時間だが、解析では静的に圧力を作用させている

4. おわりに

内圧が変動するトンネル覆工の応力解析モデルを構築し、実測試験に基づくシミュレーション解析によりその妥当性を確認した．覆工内空側の周方向ひずみ変化は、解析では実測値よりも大きい結果になった．しかし、これは安全側の評価になっており、このモデルを用いて安全性を検証することは妥当と考える．

今後は、計測位置での覆工厚さの確認や時刻歴応答解析結果との比較等を行い、さらに解析モデルの検討を行うとともに、種々の風圧条件下等でのトンネル覆工構造の安全性を確認していく予定である．

参考文献

- 1) 渡瀬 久ほか：高速鉄道トンネル内の圧力変動に対する覆工の挙動把握 - トンネル内圧力変動解析 - ，土木学会第55回年次学術講演会，III,2000.

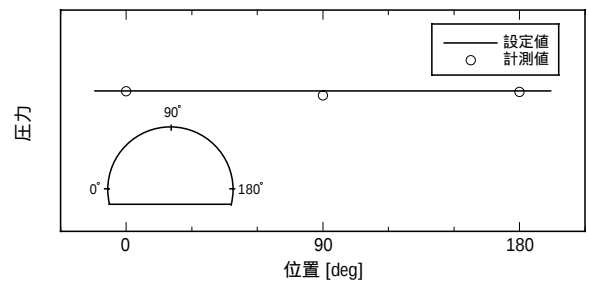


図-6 覆工に作用する風圧

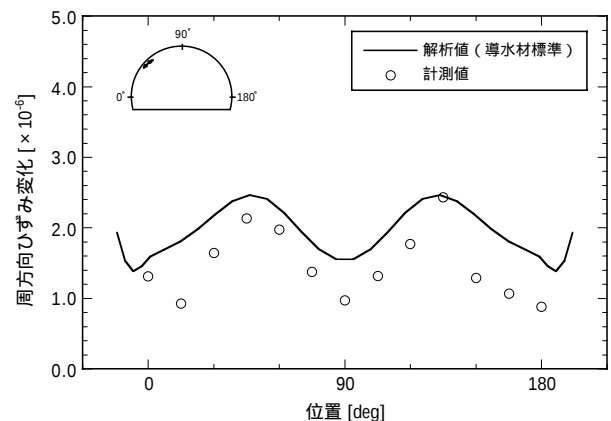


図-7 周方向ひずみ変化の比較