

III-99

大断面・偏平トンネル覆工の力学挙動に関する基礎的研究

東京都立大学 学生会員 曹 大明
 東京都立大学 正 会 員 今田 徹
 東京都立大学 正 会 員 西村 和夫

1. はじめに

交通量の増大及び道路の高規格化によって、三車線の道路が多く建設されるようになっている。それにしたがって、三車線のトンネルも必要になった。三車線トンネル断面は 200m^2 を越える大断面となることがあり、これは良好な地質において若干の経験はあるものの、一般的なトンネルとしては従来のトンネルの規模を大幅に越える未経験の分野であり、トンネルの安定性と経済性について十分な検討を加えておく必要がある。

従来のトンネル断面は円形に近い形状が基本的であったが、利用する幅の増大によって、掘削空間が大きくなり、建築限界上部に大きなデッドスペースが生じるので、アーチ部の偏平率が大きな問題となる。そこで、地山の状態に適応し、かつ経済的な断面形状の研究を行わなければならない。楕円形断面の偏平トンネルを造れば、経済的、効率的に有利である。しかし、このような偏平断面トンネルを掘削した実績は少ない、その構造的な安定性は明らかになっておらず、その解明が急がれている。

本研究は、偏平なトンネルの形状が覆工及び地山に与える影響とトンネル覆工構造(覆工断面形状)の効果の問題を検討するため、モデル破壊実験とFEM解析を行ったものである。

2. モデル破壊実験

今回の実験は平面応力、等圧、均一地山状態で行った。

図-1に示すように、鋼製土槽の内壁に載荷用のプレッシャーバックを張り付け、左右(平面内)方向からXYサーボコントローラで圧力を制御し、プレッシャーバックに水を送り、載荷した。トンネル覆工モデルは標準砂と小麦粉を一定の配合で練り混ぜた後水を加え、焼成したものをを用いた。トンネル覆工モデルは偏平度(短軸と長軸の比)と覆工構造(トンネル覆工モデルの断面形状)の相違により4種類製作した(図-2に示す)。地山材料はガラスビーズを用いた。載荷重は一定のステップ($50\text{gf}/\text{cm}^2$ /分)で上げながら、トンネル覆工モデルの破壊形態を観察する。トンネル覆工モデルにクラックが発生する時点の載荷重とクラックが出始めた箇所を記録した。

3. FEM解析

実験で用いた地山材料とトンネル覆工材料の物性と寸法を用いて、弾塑性FEM解析を行った。解析領域は実験槽と同じであり、外荷重を $0.05\text{kgf}/\text{cm}^2$ のステップで上げ、トンネル覆工に塑性化箇所が出るまで計算を行った。解析結果は図-3に示す。

トンネル覆工は天端部では曲げモーメントを殆ど受けず、両サイド部では大きい曲げモーメントを受ける。トンネル覆工モデルが偏平になればなるほど、両サイド部の曲げモーメントが大きくなる。これは、空洞の曲率の大きいところの応力集中が大きくなることを表している。A、CパターンとB、Dパターンとを比較すると、覆工構造(覆工の厚さ)を変えたB、Dパターンの両サイド部の応力集中度は小さくなった。B、Dパターンの最大応力集中度もかなり下がったことが明らかになった。B、Dパターンの応

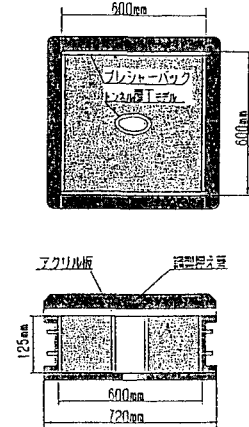


図-1 実験装置

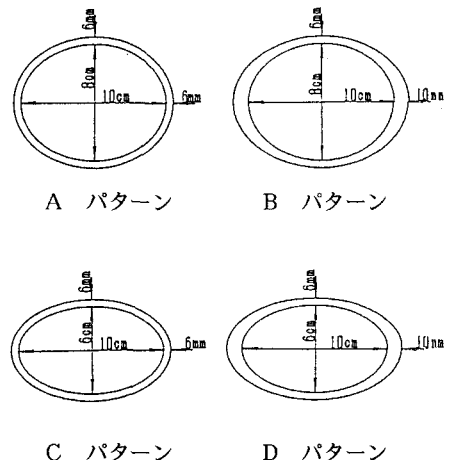
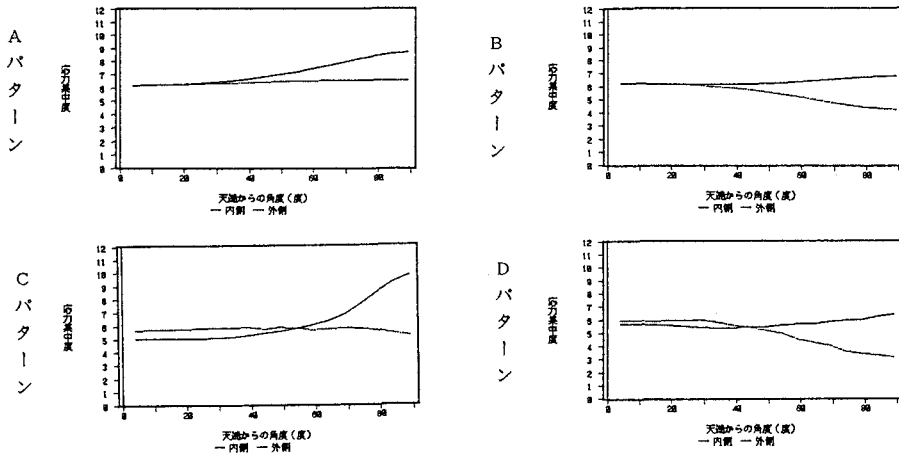


図-2 トンネル覆工モデル形状

力集中度分布図をみれば、覆工内側はほとんど変化していないことが分かる。この点で見れば、B、Dパターンのトンネル覆工が力学的に優れていると思われ、トンネル覆工構造（断面形状）の設計をするときはトンネル覆工構造効果（覆工の厚さの変化の影響）をよく考えて、検討する必要がある。



ここで： 応力集中度＝トンネル覆工内応力／載荷荷重

図－3 トンネル覆工応力集中度分布図（断面4分の1）

4. 実験結果と解析結果の比較

表－1に実験における破壊荷重（クラックの出た時）とFEM解析による破壊荷重（塑性化箇所が出た時）を示す。この結果を見ると、実験値は大体解析値の1/3～1/2程度となっている。この原因として、計算で使ったトンネル覆工モデル材料の物性値はトンネル覆工モデル材料の一軸圧縮試験と三軸圧縮試験の結果を用いているが、このトンネル覆工モデル材料は薄肉円筒の形で製作されるので、材料の物性が変わった可能性が考えられる。

しかし、各パターンの結果を見れば、実験値と解析値との比がほぼ同じであることと実験におけるクラックの出始めた箇所と解析における塑性化し始めた箇所と同じであることにより、トンネル覆工モデル破壊実験が定性的にトンネル覆工の破壊挙動を反映しているものと思われる。

5. 結論

以上の実験と解析を通して、次の結果が得られた。

①、トンネルが扁平になればなるほど、両サイドの内側の応力集中度が大きくなる。トンネル覆工の両サイド部の厚さを天端部より厚くすると、応力集中度を抑えられることが明らかになった。

②、トンネル覆工モデル実験におけるクラックの出始めた箇所とFEM解析における塑性化し始めた箇所とは同じであることと両方の破壊荷重が一定の比になっていることによりトンネル覆工モデル実験の妥当性が検証された。

③、扁平度が大きい程大きな破壊荷重が得られた。しかし、これは、一般的に考えられる傾向と異なった結果となっており、さらに検討が必要である。

6. 今後の展望

今回は平面応力、等圧、均一地山の状態に限り、実験と解析を行った。地山の物性がトンネル覆工の力学挙動に大きい影響を与えるから、今後は各種の地山条件下で実験と解析を加え、大断面・扁平トンネルの寸法効果を考慮入れて、トンネル覆工と周辺地山の力学挙動を明らかにしよう研究していこうと考えている。それに実験と解析結果を大きく左右しているトンネル覆工材料の物性値を再検討しなければならないと思われる。

表－1 実験結果と解析結果との比較

（単位：kgf/cm²）

トンネル覆工	A	B	C	D
モデルパターン	パターン	パターン	パターン	パターン
実験荷重（クラック出た時）	1.18	1.22	1.38	1.80
解析の破壊荷重	3.10	3.25	3.25	3.40
クラックの出始めた箇所	側壁附近	天端附近	天端から45°	天端附近
塑性化し始めた箇所	側壁附近	天端附近	天端から40°	天端から10°