

インバートを有する山岳トンネル覆工の数値解析モデルに関する一考察

(独) 土木研究所 正会員 ○河田皓介, 日下敦, 砂金伸治
国土技術政策総合研究所 正会員 真下英人

1. はじめに

これまで、山岳トンネルの覆工に外力が作用する場合を想定した模型実験を実施し、覆工が破壊するメカニズムの検証や対策を行った際の挙動について検討を行ってきた¹⁾。そこで対策工の一つとして、インバートを有する構造が一定の効果を得られる可能性があることが明らかとなった。しかし、実験結果の特徴として水平方向からの外力に対して、側壁とインバートの接続部が最初に破壊する現象が確認された。これは同部がトンネル構造全体の耐力に影響をおよぼす可能性があることを示唆している。今後、対策のための検討や設計を行うためには、外力によって覆工およびインバートに発生する応力等を検証する必要がある。しかし、現時点でこれらを検証するための手法は確立されているとはいえず、対策については経験的に実施せざるを得ないのが現状である。本稿では、過去の実験¹⁾で得られたインバートを有する覆工模型実験の挙動を再現するための数値解析を行った結果について報告する。

2. 模型実験の概要

図-1 に対象とした模型実験の概念を示す。模型実験は文献 1) の Case2 を対象とし、インバートを有する山岳トンネル覆工を模擬し、水平方向から外力が作用した場合を想定した覆工の挙動について検討を行ったものである。なお、地山は貧配合モルタル、覆工はプレーンモルタルで模擬した。

図-2 に荷重と覆工供試体の変位(以下、覆工変位)の結果を示す。図より、荷重が 450kN 付近で荷重変位曲線の傾きが大きく変化する現象が見られた。水平方向の荷重変位曲線の変化はひび割れ等の観察の結果から側壁とインバートの接続部の破壊によるものと考えられた。また、天端の荷重変位曲線の変化はひび割れ観察の結果から、圧ざによるものと考えられ、図-3(図-2 に示した着目点でのひずみ分布図)に示す、天端の内側の圧縮ひずみが-3000 μ に近い値を示していた。

3. 数値解析の方法

数値解析は非線形解析における解の収束において比較的有利な有限差分法

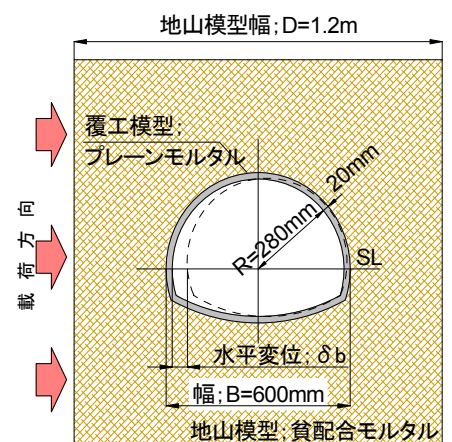


図-1 模型実験の概念図

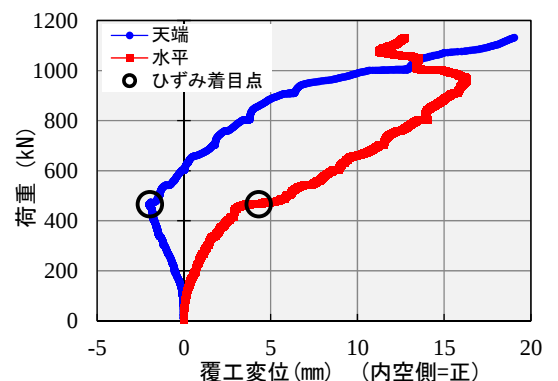


図-2 荷重と覆工変位の関係

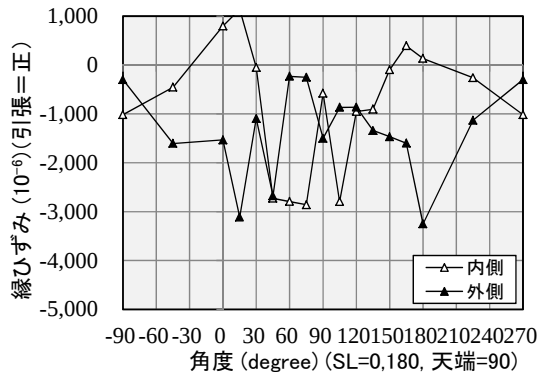


図-3 ひずみ分布図

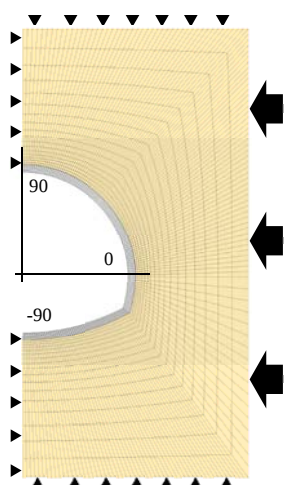


図-4 数値解析モデル

表-1 地山モデルの物性値

ヤング係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
200	0.25

表-2 覆工モデルの初期物性値

項目	値
E; ヤング係数	15 GPa
ν ; ポアソン比	0.2
c; 粘着力	5 MPa
ϕ ; 内部摩擦角	10 degree
ψ ; ダイレーション角	0 degree
引張強度	2.3 MPa

キーワード 山岳トンネル, インバート, 模型実験, 数値解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所 道路技術研究グループ (トンネル) TEL029-879-6791

ログラムにより行った。図-4 に数値解析モデルを示す。モデルの領域は半断面とし、解析領域や供試体の大きさは模型実験と合わせた。地山および覆工はソリッド要素でモデル化した。表-1 に地山モデルの物性値、表-2 に覆工モデルの初期物性値を示す。ここで、地山モデルは弾性体とし、覆工モデルは破壊後にひずみ硬化・軟化するモデル²⁾を適用した。このモデルは塑性ひずみの発生に応じて、粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ 、ダイレイション角 ψ 、引張強度 f_t を非線形に変化させることで破壊後のコンクリートの挙動を再現できるものであり、図-5 に示す特性であると仮定した。

5. 数値解析の結果

図-6 に実験および解析における荷重と覆工変位の関係を示す。荷重と水平方向の変位は数値解析の結果と模型実験の結果がよく一致しており、数値解析では、まず荷重 341kN で側壁とインバートの接続部で破壊が生じ、379kN で天端部の圧ぎが生じた。ただし、天端の変位は荷重変位曲線の変化点まではおおむね一致しているが、その後の挙動に違いが見られ、今後の検討課題である。

図-7 に図-6 に示した着目点（天端の荷重変位曲線の変化点）のひずみ分布図を示す。図より、解析結果の内側のひずみは、側壁とインバート接続部（ -20° 付近）で大きなひずみが発生している。天端（ 90° 付近）では -3000μ に近い値が発生しており、実験結果の内側のひずみも、天端付近で -3000μ に近い値が発生している。これらは、図-8 に示す実験時のひび割れ等発生状況と荷重変位曲線の変曲点からみられる、初期にインバート接続部のひび割れが発生し、側壁部の引張ひび割れ、天端部の圧ぎが発生する現象と類似していると考えられる。以上の結果から、本モデルを用いた解析により実験時に生じていたインバートを有する覆工モデルの挙動を一定程度再現できていると考えられる。

4. まとめ

本検討では、インバートを有する山岳トンネル覆工の力学的挙動について把握するため、模型実験の再現解析を行った。

その結果、水平方向から過大な外力が作用した場合の、側壁とインバート接続部の曲げ破壊および天端の圧ぎといった覆工の破壊に至る挙動をある程度再現できることが分かった。ただし、載荷方向に直交する方向の発生変位に違いが見られたことは検討課題である。

今後は、載荷方向やその他の条件を踏まえた検討を実施し、さらなる再現性の検証を行ったうえで、外力を受けた場合の覆工の挙動および設計手法の検討を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 河田ら：変状対策を適用した山岳トンネルの耐震性に関する実験的考察，トンネル工学報告集，No.23，pp.277-284，2013。
- 日下ら：内巻き補強された覆工の全体耐力に関する要素実験の再現解析，土木学会第 68 回年次学術講演会概要集，III-250，pp.499-500，2013

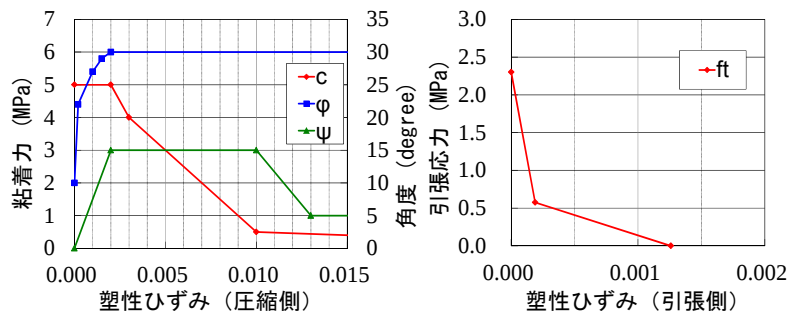


図-5 ひずみ硬化・軟化特性

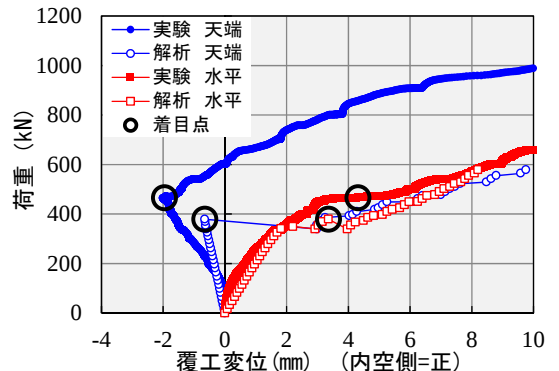


図-6 荷重と覆工変位の関係

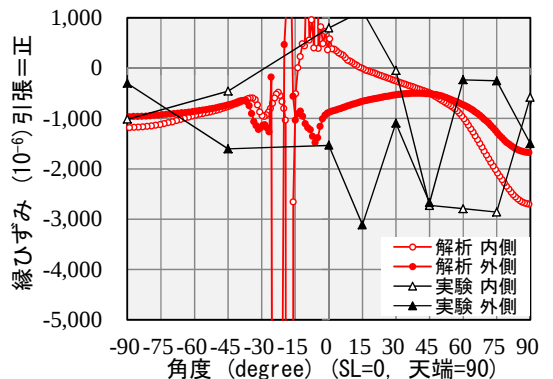


図-7 ひずみ分布図

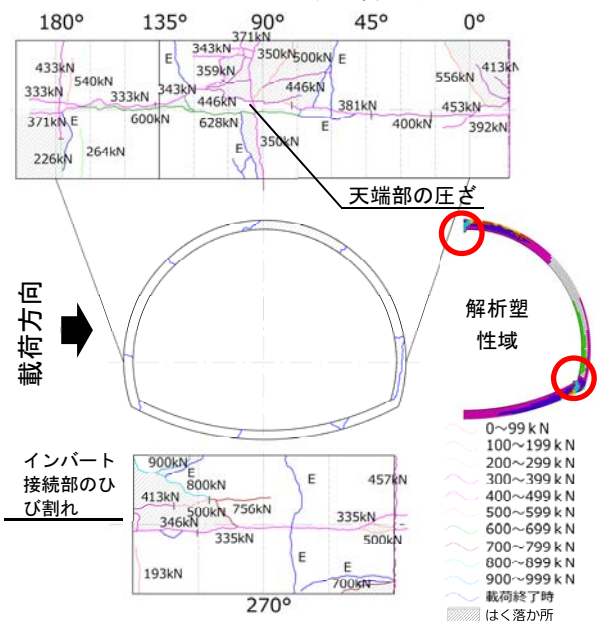


図-8 実験時のひび割れ等発生状況図