

模型実験を用いたインバート形状効果の検証

五洋建設 正会員 ○大森 禎敏, Abeyawardena Devini
 東京都立大学 正会員 砂金 伸治
 国土交通省 九州地方整備局 弓場 進

はじめに

宮崎県宮崎市南部に計画された東九州自動車道 芳ノ元トンネル北工区では、地山からの大きな荷重等により下半とインバート支保工の接続部に写真-1に示す変状が発生した¹⁾。この理由としては、荷重が下半脚部のインバート接続箇所に集中し、支保工の座屈が生じたことによるものと考えられた。このため、当トンネルではインバート形状を表-1のようにトンネル自体が真円に近い形になるように変更した。本稿では、模型実験を実施して既存のインバート形状変更による支保部材に発生する断面力について検証し、力学的な性能を發揮しやすいインバート形状に関する考察を行った内容について報告する。

1. 実験装置および実験条件

検証に用いた実験装置の概要を図-1と写真-2に示す。実験に用いた土槽の大きさは600×600×100(mm)で、土槽には含水比3%に調整した5号珪砂を充填して地山を再現した。また、土槽上部に設置した油圧ジャッキを用いて土被り荷重として約5D相当となる約1.500(kN/m³)まで鉛直荷重を作用できるようにした。5号珪砂の物性値は、三軸圧縮試験(JGS 0524)によって求めた。

トンネル模型は、3Dプリンターを用いて作成し、実際のトンネルとの縮尺比は約1/10とした。模型に使用した樹脂の特性については、あらかじめJIS Z2201に準拠した引張試験を実施して弾性係数を求めた。地山を模擬した珪砂とトンネル模型を作成した材料の物理特性をまとめて次項の表-2に示す。



写真-1 下半支保工脚部での変状

表-1 インバート形状の変更

	支保パターン	概要図
変更前	E-1	トンネル中心 縦横比 H/W=0.66 H=10.40m W=15.65m S L
変更後	E-2	トンネル中心 縦横比 H/W=0.73 H=11.40m W=15.65m S L

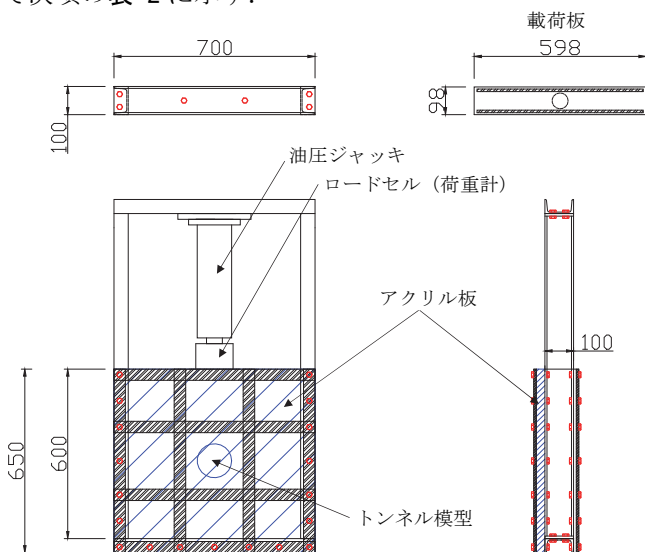


図-1 実験に用いた土槽の概要



写真-2 実験状況

キーワード 山岳トンネル, インバート, 支保的インバート, 模型実験

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8 五洋建設株式会社 土木部門 土木技術部 TEL03-3817-7531

2. 実験結果

図-2 に、図-1 に示した土槽における作用荷重と載荷板の変位(沈下)量の関係を示す。図には、有限要素法を用いたパラメーター解析で得られた作用荷重と表面変位量を併記している。図-2

から、本土槽での作用荷重と表面変位量は比例関係にあることが分かる。

写真-3 に約 1,365 (kN/m²) の鉛直荷重を作用させたときの模型の変形状況に関して、インバート形状を変更する前の支保パターン E-1 と変更した後の E-2 を比較して示す。なお、図-3 の(a), (b)は、実験で得られた支保パターン E-1 と E-2 の作用荷重と模型での軸ひずみの関係であり、負が圧縮である。

写真-3 には図-3 の(a), (b)に示した軸ひずみの測定位置を示している。

写真-3 からインバート形状を変更する前の支保パターン E-1 では、下半脚部が沈下する一方で、インバート中央部分が持ち上がる「盤ぶくれ」現象が見られた。このことから、支保パターン E-1 では支保工の下半脚部には、地山からの荷重によって過大な曲げ応力とせん断力が発生して写真-1 に示した変状に至ったと推察される。一方でインバート形状を変更した支保パターン E-2 については、作用荷重によってトンネル形状がより扁平になるものの、盤ぶくれ的な挙動はなく、下半脚部とインバート接続部分についても支保パターン E-1 のように接続部がせり上がる現象は確認されなかった。図-3 の(a), (b)に示した作用荷重と発生軸ひずみより支保パターン E-1, E-2 ともにインバート中央部分での発生ひずみが引張となっている。また、(a)に示した E-1 では、(b)の E-2 と比較してインバート肩部に該当する④、⑥での発生軸ひずみが小さくなっている。このことから、写真-1 に示した下半支保工脚部での支保パターン E-1 の変状は、曲げ応力やせん断応力が大きくなる一方で、上下半アーチから導入される軸力が小さくなったことが要因と考えられる。

表-2 使用した材料の物理特性

	材料名	単位体積重量 γ (kN/m ³)	弾性係数 E(kN/m ²)	粘着力 c(kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg.)
地山	5号珪砂	13.0	2.5×10^4	3.7	32.0
トンネル	樹脂	10.7	2.6×10^6	—	—

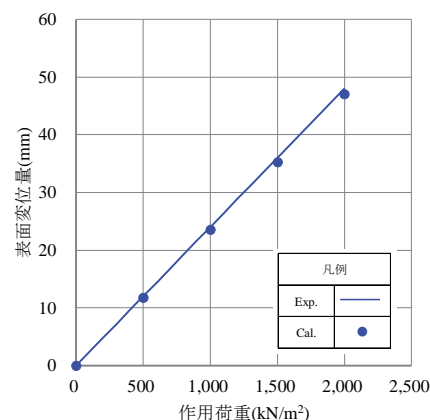


図-2 作用荷重と変位の特性

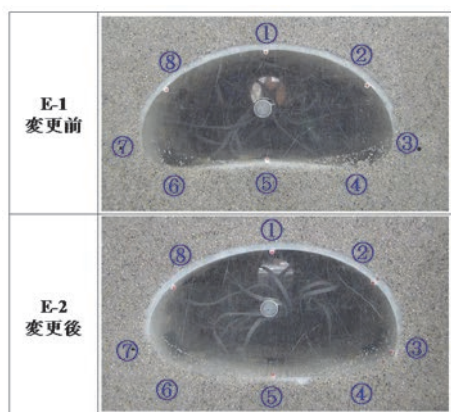


写真-3 模型トンネルの変形状況

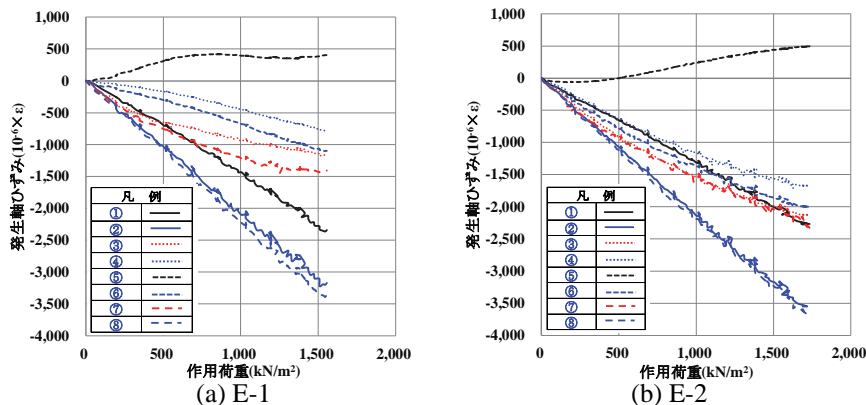


図-3 作用荷重と発生軸ひずみの関係

3. まとめ

本実験の結果、芳ノ元トンネルでインバート形状と、下半支保工脚部とインバート接続部の形状を変更したことによって曲げ応力とせん断応力の応力集中を抑制するとともに、上下半アーチからの軸力伝達がスムーズになったことでトンネルの安定性が向上したと考えられた。

おわりに

本稿では、芳ノ元トンネルを題材にインバート形状の変更がトンネルの安定性に及ぼす影響に着目し、土槽実験を通じて力学的な性能を発揮しやすい形状に関して考察を行った。今後はインバートの接続角度や荷重の作用方向に着目して支保的インバートの効果を実験および数値解析を用いて検証する必要があると考えている。

参考文献

- 1) 弓場進, 森川義博, 藍澤正直, 大森禎敏: 脆弱な日南層群を中央先進導坑を用いて克服, トンネルと地下, Vol.50, No.1, 2019.