

インバート形状の違いが盤ぶくれに与える影響に関する検討

(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
 (公財) 鉄道総合技術研究所

正会員 ○渡辺和之, 小林寛明, 下津達也  
 正会員 嶋本敬介, 鎌田和孝

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、掘削時は大きな変状が無く、トンネル完成後しばらく時間が経過してから盤ぶくれが顕在化することがある。このような盤ぶくれを防ぐには、インバートが長期にわたって変状しにくい構造となっていることが重要である。そこで本研究では、模型実験および数値解析により、インバートの形状の違いが盤ぶくれに与える影響について検討した。

2. 模型実験

2-1. 実験方法

実験装置の概要を **図-1** に示す。実験に使用したトンネル模型はモルタル製で、新幹線断面トンネルの1/50の大きさである。地山を模擬するものとして一軸圧縮強度約 0.5 N/mm<sup>2</sup>の低強度

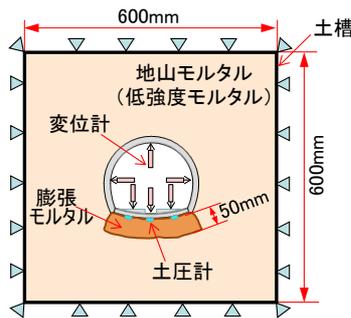


図-1 実験装置の概要

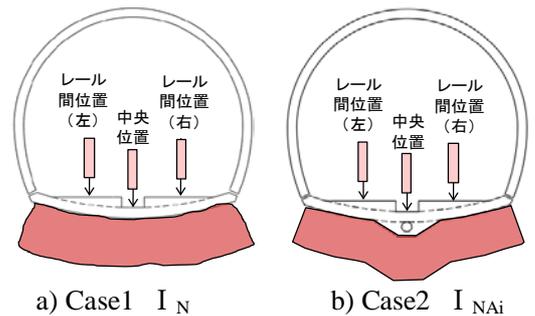


図-2 実験ケース

モルタル (模擬地山) を用い、インバートへの地圧を再現するため、低強度モルタルに対し静的破砕剤を重量比 1:0.3 の割合で混合した膨張モルタルを用いた<sup>1)</sup>。実験ケースを **図-2** に示す。新幹線トンネルの標準的なインバート (I<sub>N</sub>) と、排水管をコンクリートで巻き立てた形状のインバート (I<sub>NAi</sub>)<sup>2)</sup> の2ケースを実施し、盤ぶくれ量は図中の中央位置およびレール間位置の隆起量で評価した。実験の手順は以下のとおりである。

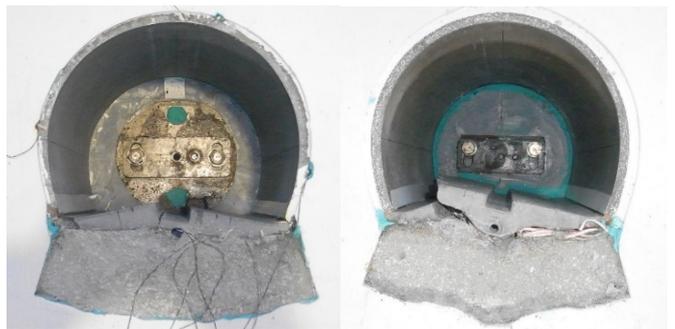


写真-1 実験終了後 (7日間経過後) の状況

- 1) 土槽 (600×600×300 mm) の中央に、トンネル軸方向を鉛直方向としてトンネル模型を設置する。
- 2) 膨張モルタルを打設する空間を確保するために、スペーサーとしてインバート背面に厚さ 50 mm の角棒材を設置する。
- 3) 低強度モルタルをトンネル模型の周囲に打設し、翌日にスペーサーの棒材を引き抜き、インバート背面に空洞を作る。
- 4) 低強度モルタルの打設から 7 日間経過後、インバート背面の空洞に膨張モルタルを打設し、アクリル板の蓋を被せて、鉛直方向の変位を拘束するため、アクリル板をアングル材で固定する。

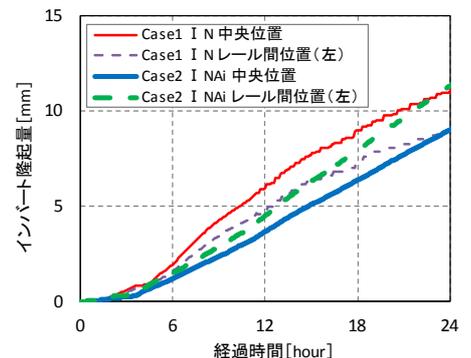


図-3 経過時間と隆起量の関係

2-2. 実験結果および考察

実験終了後の状況を **写真-1** に示す。Case1 では中央通路隅角部、Case2 では中央通路と側壁脚部の中間位置でインバートが破断した。膨張開始からの経過時間とインバート隆起量の関係を **図-3** に示す。Case1 と比べてCase2 は中央位置でのインバート隆起量が小さく、レール間位置でのインバート隆起量が大きかった。

キーワード 山岳トンネル, インバート

連絡先 〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1 TEL:045-222-9083

Case2 の中央位置でのインバート隆起量が Case1 より小さかったのは、排水管をコンクリートで巻き立てて厚みを増したことによると考えられる。よってインバート下の中央排水管をコンクリートで巻き立てることで、弱点部であった中央通路部での破断が発生しにくくなると考えられる。Case2 のレール間位置でのインバート隆起量が Case1 より大きかったのは、インバートが膨張モルタルから分離して浮き上がったことによると考えられる。なお、本実験で使用した膨張モルタルは膨張圧の発現に温度の影響を受けるが、温度条件を揃えることは困難で、Case1 は平均気温約 9℃、Case2 は平均気温約 13℃で実施した。同一温度で実験した場合、Case1 と Case2 のインバート隆起量の差は変化すると考えられる。

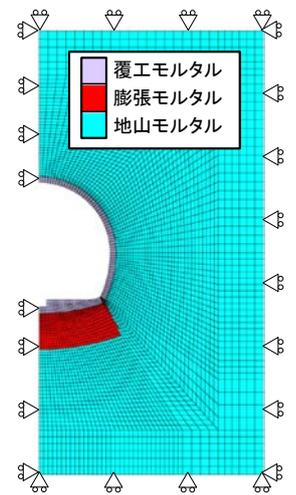


図-4 解析モデル

### 3. 数値解析

#### 3-1.解析方法

温度による影響を排除してケース間の定量的な比較を実施するため、模型実験の再現解析を行った。解析モデルを図-4 に示す。解析は模型実験と同じ寸法で、対象性を考慮して半断面で実施している。膨張モルタルは、要素に対して 100 ステップに分けて 1 ステップあたり 20 kPa の膨張応力を加えることで表現した。解析ケースを表-1 に示す。地山モルタルの変形係数については、過去に実施した同配合の事例より 80 MPa を標準としている。Case3 ではインバートおよび覆工の強度を 18 MPa から 30 MPa とし、それに伴い引張強度は 1.80 MPa から 2.22 MPa に、変形係数も 22000 MPa から 28000 MPa に向上させた。

#### 3-2.解析結果および考察

膨張圧とインバート隆起量との関係を図-5 に示す。Case1 は膨張圧 1.05 MPa のときに隆起量が急増している。Case2 では膨張圧の増加に比例して隆起量が増加した。隆起量は Case1 の 55%程度である。Case3 は Case1 と大きな差が無かった。隆起量の急増はひび割れの急激な進行によるものと考えられる。また、与えた膨張圧はインバートの変形によって軽減するため、実際にインバートに作用している圧力はこれより小さい。

最大主ひずみコンター図を図-6 に示す。Case1 では中央通路隅角部、Case2 では中央通路と側壁脚部の中間位置で引張ひずみが大きくなり、実

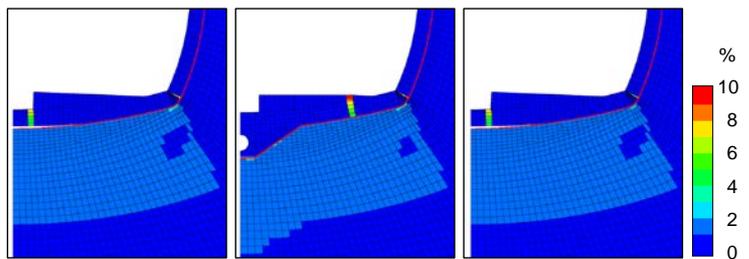


図-5 膨張圧と隆起量の関係

図-6 最大主ひずみ (引張ひずみ) コンター図 (変形 5 倍)

a) Case1      b) Case2      c) Case3

### 4. まとめ

模型実験と数値解析により、インバート形状の違いが盤ぶくれに与える影響について検討した。その結果、排水管をコンクリートで巻き立てる I<sub>NAi</sub>インバートとすることでインバートの変形量を抑制できるが、ひび割れ幅は大きくなるという結果となった。今後、インバートの曲率を大きくした形状や、支保工に下向きロックボルトを施工したインバート構造等についても検討したいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 嶋本他：地山の吸水膨張による山岳トンネルの路盤隆起現象とその対策工に関する研究，土木学会論文集 F1 特集号，Vol.68，No.3，pp.65-79，2012。
- 2) 斉藤他：山岳トンネルのインバート変状に着目した地山評価と対応策，土木学会第 70 回年次学術講演会，III-116，2015。