

膨張性地山における盤ぶくれに対応したインバート設計に関する検討

鉄道・運輸機構 正会員 斉藤 道真, 渡辺 和之
 正会員 十倉昭次郎, 萩原 秀樹
 パシフィックコンサルタンツ 正会員 ○畠山 幸佑, 松長 剛

近年、グリーンタフ地域に堆積した泥岩や凝灰岩に代表されるいわゆる“膨張性地山”において、完成後のトンネルインバートに盤ぶくれが発生し、軌道高さへの影響や場合によってはひび割れ等の変状が発生するケースが確認されている。このような変状については、軌道高さの補正やひび割れの補修、極端な場合には鉛直下向きのロックボルトの打設やインバートの打ち替えといった対応が必要となることもあり、インバート設計の重要性が再認識されている。このような背景を受け、鉄道・運輸機構ではインバート構造の設計について検討を進めており、地山条件に応じたインバート構造のランクアップについて各種検討を行っている。検討においては、インバート下に設置する中央排水工を地山からの地下水と遮断する目的でコンクリート巻立てとし、その場合にインバートの構造安定性に与える影響について検討している。ここでは、中央排水工およびインバートの対策パターンを設定して構造解析を行い、それぞれの形状がインバートの構造安定性に及ぼす影響について比較検討した。

1. 盤ぶくれに伴うインバートの変状の概要

一般にトンネル路盤の盤ぶくれは、インバートの設計・施工不良等が要因と考えられてきたが、近年では標準的なインバートが確実に施工された場合にも変状が発生するケースが確認されている。施工中の変状としては、路盤が隆起し、対策工として実施した吹付けによる一次インバートに写真-1のようなひび割れが発生するケースがある。また、発生事例は少ないものの、完成後の変状としては、インバート上面、すなわち新幹線トンネルでは中央通路において延長方向に連続した引張ひび割れが発生する場合もある。

このような盤ぶくれを引き起こす地質的な要因には、周辺地山の塑性化(いわゆる Squeezing)や吸水に伴う体積膨張(いわゆる Swelling)等がある。したがって、地下水を集水しやすいトンネル路盤部では、地山からの湧水を確実に処理し、路盤部の地山を健全にしておくことが重要といえる。

2. 膨張性地山におけるインバート設計断面の検討

盤ぶくれに伴うインバートの変状に対しては、トンネル底盤部における地下水の処理が有効であることを踏まえ、中央排水工をコンクリートで巻立て、さらにインバートの構造剛性を補強することを目的として、図-1に示す設計断面について検討を行うこととした。

対策断面Ⅰは、中央排水管の周囲をコンクリートで巻立てるものである。中央排水管のコンクリートによる巻立てに関しては、未固結地山における細砂等の引き込み防止の観点で新幹線のトンネルにおいても実績があるが、ここではインバート構造の補強も兼ねて断面形状を大きな規模にすることとした。

対策断面Ⅱは、本インバートよりも小さい半径で吹付けによる一次インバートを施工し、中央排水管の周囲およびインバートと吹付けの間をコンクリートで埋め戻すものである。埋戻しコンクリートと本インバートは同時に打設し、一体構造として機能するように施工を行う。

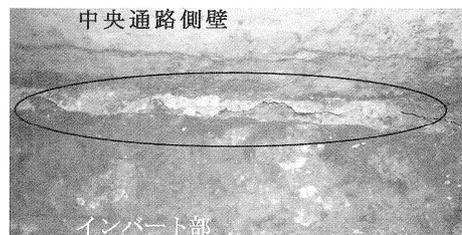


写真-1 盤ぶくれによるインバート吹付けのひび割れ¹⁾

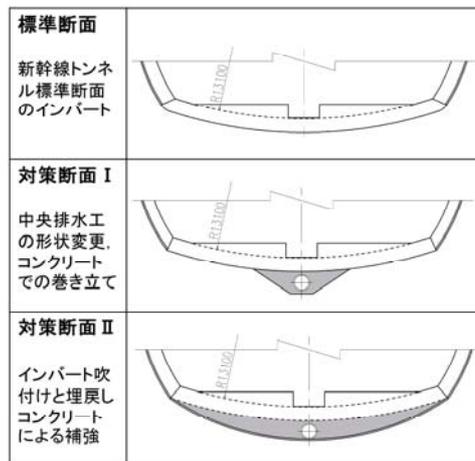


図-1 インバート対策断面

キーワード インバート, 膨張性地山, 盤ぶくれ

連絡先 〒163-6018 東京都新宿区西新宿 6-8-1 住友不動産新宿オークタワー21F TEL 03-5989-8321

3. インバート構造解析による比較検討

3-1. 解析条件

本検討にはインバート部のみをモデル化した FEM 解析を適用し、盤ぶくれを想定した荷重を作用させて、その構造安定性を発生応力度で評価することとした。解析モデル図を図-2 に示す。

解析モデルには弾性モデルを採用し、その物性値には無筋コンクリートの標準値（設計基準強度 $f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$ ，引張強度 $f_t=1.6\text{N/mm}^2$ ，安全係数はすべて 1）を設定した。荷重条件としては、インバート下面に鉛直方向上向きの単位荷重として 10kN/m^2 の分布荷重を載荷させた。また、解析では覆工アーチ部をモデル化しないため、境界条件としてはインバート左端部を鉛直・水平変位固定、右端部を鉛直変位固定とした。

3-2. 比較解析結果

解析結果として、中央通路中心での最大鉛直変位、インバート部の最大引張応力（中央通路中心を含む）、最大圧縮応力を表-1、変形図および引張応力図（それぞれ半断面のみ表示）を図-3 に示す。

盤ぶくれに伴うインバートの変形に関しては、中央通路中心で最大値が発生し、標準断面→対策断面 I →対策断面 II の順に変位量が抑制され、対策断面の変形抑制効果が確認される結果となった。次に、本研究の目的である中央通路上面でのひび割れ抑制効果を引張応力で評価した。その結果、標準断面→対策断面 I →対策断面 II の順に中央通路上面の引張応力が抑制され、本検討で設定した単位荷重に対しては標準断面ではひび割れが発生（図表中赤字）するものの、対策断面を採用することでひび割れが発生しない結果となることが確認された。この結果、インバートの巻厚を極端に大きくせず、中央排水工をコンクリート補強するだけでもひび割れ抑制に対して一定の効果を確認することができた。

4. まとめ

完成後のトンネルで発生している盤ぶくれ対策の一環として、大規模なトンネル断面の変更をせずにインバート上面のひび割れを抑制するためのインバート設計について検討し、一定の成果を得ることができた。今後は、対策断面の具体的な施工方法やインバートの設計変更を判定するための地山の評価等の課題について取り組んでいく予定である。また、本検討では盤ぶくれによる影響を荷重として評価したが、トンネル周辺地山全体の塑性化や押し出しに対しては、別途検討が必要と考えており、膨張性地山での現地調査および計測、周辺地山全体を取り扱った数値解析(例えば②)の導入など、現在検討中の研究成果については別の機会に発表していく予定である。

参考文献

- 1) 渡邊, 藍郷, 鈴木: 供用中の新幹線トンネルで発生した路盤隆起の原因とその対策 Vol. 38 No. 9, pp. 7-16, 2007. 9.
- 2) 松長, 熊坂, 小島, 朝倉: 地山強度の経時劣化を考慮したトンネル変状の予測と対策に関する研究, 土木学会論文集 No. 799/III-72, pp. 75-88, 2005. 9.

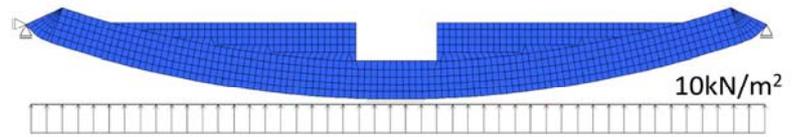


図-2 解析モデル図（解析メッシュ，境界条件，荷重条件）

表-1 解析結果（最大変位，最大応力）

ケース	最大鉛直変位 (mm)	最大引張応力(N/mm ²)		最大圧縮応力 (N/mm ²)
		中央通路最大値	中央通路中心	
標準断面	2.4	3.4	2.5	-2.8
対策断面 I	1.0	1.1	0.6	-1.1
対策断面 II	0.4	0.8	0.5	-0.8

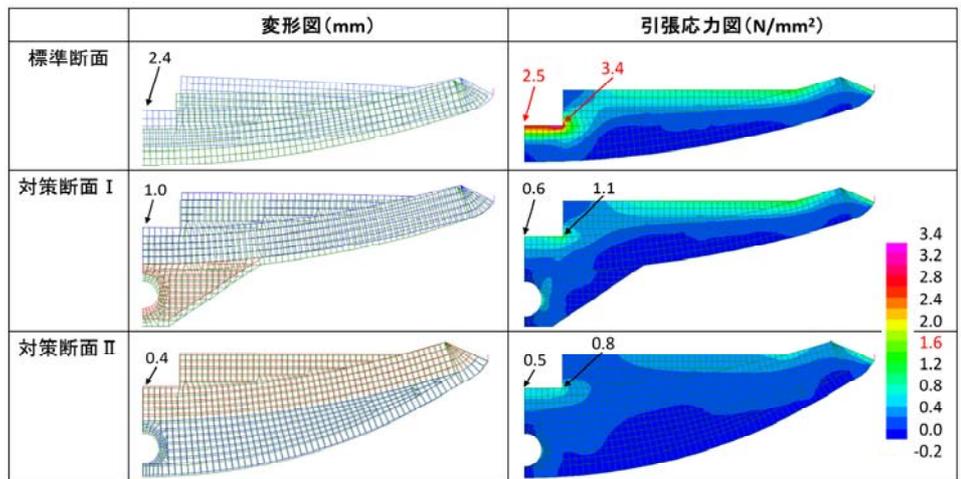


図-3 解析結果（変形図，引張応力図）