盤ぶくれに対応したインバート構造の効果に関する数値解析

鉄道総研 〇正会員 水谷 真基 野城 一栄 嶋本 敬介 鉄道・運輸機構 正会員 磯谷 篤実 小林 寛明

1. はじめに

鉄道山岳トンネルのインバートには、一般的な地山では無筋コン クリート製で巻厚 45cm の円弧状のものが用いられている¹⁾. この 設計で問題なく供用されているトンネルが多くを占めるが、供用開 始後に盤ぶくれが発生し、対応に多大な費用と時間を要した事例も ある^{例えば 2)}. 盤ぶくれに対応したインバート構造として、半径の変 更、巻厚の増加、RC 構造の採用等の方策が考えられ、これらの効 果についての研究^{例えば 3)}もあるが、定量的に比較された例は多くな い. 筆者らはこれらの盤ぶくれに対応したインバート構造の効果に ついて、数値解析により定量的な検討を行ったので報告する.

2. 検討の対象としたインバート構造

検討の対象はNATM による新幹線トンネルのインバートである. 基準¹⁾によれば,一般的な地山では I_Nインバート(R=13.7m, t=45cm)

(以下, インバートを省略して単に I_N 等と表記)が用いられるが, 盤ぶくれの恐れがある地山の場合は,将来の盤ぶくれに備えるため の対策がされた構造として, I_{Si} (R=8.11m,中央排水工を抱き込み R を小さくする)が用いられた事例もあるほか, I_{NAi} (I_N の構造上 の弱点となる中央通路部を部分的に増厚)なども提案されている²⁾. 本研究では,上記の3構造に加え, I_N15 cm 増厚(I_N の巻厚を全体的 に 15cm 増厚), I_NRC (I_N を RC 構造(複鉄筋 D25@250mm)とす る)も加えて計5ケース(図-1)について検討を行った.

3. 解析条件

解析では、実際のトンネルをモデル化し、コンクリートの圧縮破 壊後の軟化挙動を考慮した数値解析手法 %を行い、インバート部分 の耐荷性能を調べた.具体的には、平面ひずみ要素でモデル化した インバート部に、盤膨れを想定して下方から鉛直上向きの分布荷重 (節点荷重)を与えることにより解析を実施した.

図-2 に解析モデルの例を示す.対称性を考慮して半断面のモデ ルとした.ここで、インバート部分のみモデル化し、インバートと アーチ側壁との接合部については、回転を許容するものとし、端部 の XY 方向の移動をコンクリート相当の地盤ばねで支持したもの (以下、境界条件 A) と、XY 方向の移動を完全に拘束したもの(以 下、境界条件 B) の2通りの条件を設定した.実際の接合部は境界 条件 A と B の中間的な挙動をするものと考えられる.解析に使用 した入力値を表-1 に示す.

キーワード トンネル, 盤ぶくれ, インバート

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 トンネル研究室 TEL:042-573-7266



図−1 解析ケース



図−2 解析モデル

表-1 解析に使用した入力値

	項目	入力値	備考
コンクリート	圧縮強度 f'。	24 N/mm ²	一般的な値
	引張強度 f	1.9 N/mm ²	0.23×f'c ^{2/3}
	弾性係数 E。	2.5×104 N/mm2	設計標準より
	引張弾性係数 E	2.5×104 N/mm2	$= E_c$
	ポアソン比ッ	0.2	設計標準より
鉄筋	鋼材種類	SD390	一般的なもの
	主筋	D25@250mm	複鉄筋
	主筋のかぶり	75mm	一般的なもの
	弾性係数 E _c	200 kN/mm ²	設計標準より
	引張降伏強度 f _{svk}	390 N/mm ²	設計標準より

4. インバート部の変形状況およびひずみ分布

I_N, I_{NAi}, Isを例に取りインバート部の変形状況およびひずみ分布 を図-3に示す.ひずみは Von Mises ひずみであり,引張により生じ たひずみ, 圧縮により生じたひずみの両方が白色で表示されている が,トンネル内空側が引張,地山側が圧縮である.境界条件 A, B いずれも,変形は,インバート中央部が最も隆起するような形態と なる.ひずみは,インバート端部を除けば,インバート中央部,特 に,中央通路周りで大きくなる.ただし,部分的に巻厚を大きくし た I_{NAi}はひずみの発生形態が変化し,インバート中央部から巻厚が 変化する付け根の部分にひずみ発生箇所が移動した.

5. 盤膨れ圧(荷重)と変位の関係

図-4 に盤膨れ圧(荷重)~変位曲線を示す.無筋の場合は,盤膨れ圧の増加により,ひび割れが発生すると変形が急増して剛性が大きく低下する.無筋の4ケースについては,ひび割れが発生するときの盤ぶくれ圧(以下,耐荷重),ひび割れ発生前の剛性,ともに, $I_N < I_N 15 cm$ 増厚 $< I_{NAi} < I_{Si}$ となり,インバート中央部の巻厚が増加するに従って大きくなる傾向である. $I_N RC$ は、剛性は変わらないものの,境界条件A ではひび割れ発生後に変形が急増することはない.これは、境界条件A は曲げが支配的でひび割れ発生後に鉄筋が有効に作用したためと考えられる.なお、 $I_N RC$ を除き境界条件A/B で上記した傾向は概ね変わらないが、耐荷重は境界を固定している境界条件B の方が大きい.

6. トンネルの耐荷重・剛性の評価

無筋コンクリートの I_N においても一定の耐荷力を有しており, 荷重の作用を想定する必要がない一般的な地山条件であれば, I_N が 適切と考えられる.一方, I_{Si} は耐荷重,剛性とも I_N の倍以上であ り,地山条件が悪く,将来的に大きな盤ぶくれ圧が作用する恐れが ある場合等に有効であることがわかった.また, I_{NAi} は I_N と I_{Si} の中 間的な耐荷重,剛性を有しており,かつ, I_N15 cm 増厚と同程度以上 で,建設時も大きな問題がなく,不良地山とまでは判断されないが, スレーキングを生じやすく,地山強度比が比較的小さい条件などで, 将来的な盤膨れのおそれを未然に小さくしたい場合などで有効と 考えられる. I_NRC についてはひび割れ発生後も剛性が急激に低下 せず有効性が認められる.なお,鉄筋量により挙動は大きく変化す るので別途詳細な検討が必要である.

参考文献

- 1)鉄道・運輸機構:山岳トンネル設計施工標準・同解説 2008.4
- 2) 小林他:長期的な盤膨れに対するインバート構造の抑制効果に関する基礎的研究,土木学会論文集 F1, Vol.72, No.3, 2016.
- 3) 斉藤他: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 討,第70回土木学会年次学術講演会,Ⅲ-117,2015.
- 4) 野城他: 圧縮破壊後の軟化を考慮した無筋コンクリート山岳トンネル覆工 の数値解析手法に関する研究, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.4, 2009.



(b)境界条件 B 図-3 変形状況およびひずみ分布







図-4 盤膨れ圧(荷重)~変位曲線