

インバート構造が施工時および完成後の変状に与える影響に関する数値解析

(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 ○小林寛明, 下津達也, 渡辺和之
正会員 嶋本敬介, 鎌田和孝, 野城一栄

1. はじめに

山岳トンネルにおいて, 掘削時の内空変位や完成後の盤ぶくれが問題となることがある. こういった変形の対策として, 掘削時に一次インバート支保工を採用することやインバートの形状を変更することが考えられるがそれらの効果は定量的には明らかになっていない. そこで本研究では, インバートの形状や一次インバートの支保構造等をパラメータとして, トンネル掘削から完成後の盤ぶくれ発生までを対象とした数値解析を実施する.

2. 解析の概要

本解析でのトンネルの掘削は 3 次元逐次掘削 (ベンチ長は 5m) によりモデル化し, 完成後の変状発生は施工時の地山の緩みの影響を考慮した地山の強度低下で表現した¹⁾. 完成後の解析については実トンネルの変状再現解析結果を基に強度低下と経過年数を予め関連付けており, 完成後 10 年経過時までの解析を実施している. 解析モデルを図-1 に示す.

解析に使用した地山の物性値を表-1 に示す. 地山およびコンクリートは Mohr-Coulomb の破壊規準に従う弾完全塑性体としてモデル化し, コンクリートは引張破壊による軟化についても表現した.

解析ケースを表-2 に示す. インバートの形状として, 図-2 に示す I_N , I_{NAi} , I_{Si} の 3 パターン²⁾について検討している. Case2 については, 図-1 の正面図のようにインバート下の中央集水管を数値解析上モデル化している. 中央集水管周りの砕石は $E=10\text{MPa}$, $\nu=0.1$ の弾性体と仮定して解析を行った.

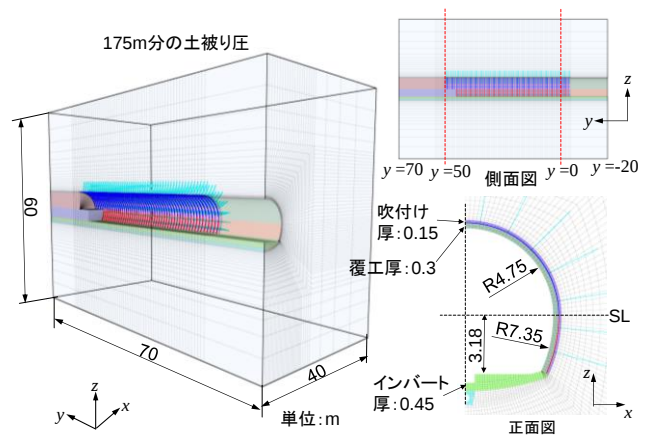


図-1 解析モデル図

表-1 地山の物性値

物性	単位	物性値
土被り	h	m
土被り	h	200
想定一軸圧縮強さ	q_u	MPa
想定一軸圧縮強さ	q_u	2.0
地山強度比	C_f	
地山強度比	C_f	0.5
単位体積重量	γ	kN/m ³
単位体積重量	γ	20
弾性係数	E	MPa
弾性係数	E	206
ポアソン比	ν	-
ポアソン比	ν	0.36
粘着力	c	kPa
粘着力	c	580
内部摩擦角	ϕ	°
内部摩擦角	ϕ	31
ダイレイタンス角	λ	°
ダイレイタンス角	λ	10
側圧係数	K_0	
側圧係数	K_0	1.0

表-2 解析ケース

Case	インバート形状・構造	中央集水管等	早期閉合
1	I_N	なし	しない
2	I_N	あり+砕石	しない
3	I_{NAi}	あり	しない
4	I_{Si}	あり	しない
5	$I_{Si} + \text{RB } 3\text{m} \times 4 \text{ 本}$	あり	しない
6	I_{Si} (一次 I: 吹付け)	あり	する
7	I_{Si} (一次 I: 吹付け + RB $3\text{m} \times 4 \text{ 本}$)	あり	する
8	I_{Si} (一次 I: 吹付け + H150)	あり	する
9	I_{Si} (一次 I: 吹付け + RB $3\text{m} \times 8 \text{ 本}$)	あり	する

* 一次 I: 一次インバート

Case4, Case5: 本インバートとしてモデル化
Case6~Case9: 一次インバート吹付けとしてモデル化

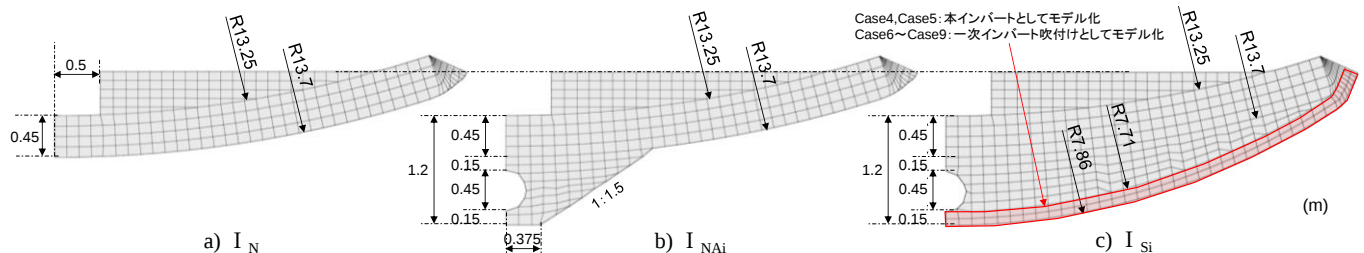


図-2 インバート形状

キーワード 山岳トンネル, インバート

連絡先 〒914-0055 敦賀市鉄輪町一丁目2街区9 TEL: 0770-47-6315

3. 解析結果

y=25m 位置の各ケースの掘削時に発生した水平内空変位を図-3 a)に示す。上半切羽が 1m 通過した時点から計測を開始したとして、それ以前に発生した変位は先行変位と考え除いている。SL+1.5m 位置の水平測線の内空縮小を示している。

y=25m 位置の各ケースの完成後 10 年間で発生した盤ぶくれを図-3 b)に示す。CL (センターライン) 位置での盤ぶくれを示している。

Case1~Case5 は上下半掘削までは同じ解析であり、インバート掘削の掘削量が異なるが、掘削量が増えるほど内空変位が増加していることがわかる。一方で完成後の解析結果によると、インバート掘削量が多いほど盤ぶくれは小さくなっている。インバートの曲率を大きく、厚さを厚くすることは完成後の盤ぶくれを防ぐために効果的であるが、インバート掘削時に不安定となりやすいと考えられ、注意を要する。

Case6~Case9 については閉合距離 10m で早期閉合が行われており、範囲が内空変位を 2 割程度抑制できていることがわかる。また、Case6~Case9 については、I_{Si}形状であることもあり、完成後の盤ぶくれは小さくなっている。ただし、Case4、Case5 のように早期閉合をせずに I_{Si}形状とした場合よりは盤ぶくれが発生している。これは、Case6~Case9 では早期閉合により、一次インバートが本インバート施工前に損傷を受けていること、また、Case4 や Case5 ではインバート下地山を十分応力解放してから、すなわち押し出すエネルギーを解放してから本インバートを打っているため、地圧の作用が小さいことが考えられる。

インバート支保工としてのロックボルトの効果は内空変位の抑制に対しては見られないが、完成後の盤ぶくれの抑制には効果が見られた。一方、インバート支保工としての鋼製支保工は完成後とともに建設時の変位抑制効果も見られる。本解析ではロックボルトのモルタルやコンクリートについて弱材齢強度を低下させてはいないため、この傾向は詳細にモデル化するとさらに顕在化すると考えられる。

図-4 に完成後 10 年経過時の地山の塑性領域と覆工の最大主ひずみ (引張ひずみ) を示す。インバート構造を強くすること、あるいは早期閉合をすることでインバート下地山の塑性領域が小さく抑えられていることがわかる。ひび割れについては、I_Nでは中央通路隅角部でひずみが大きくひび割れが発生しているが、I_{NAi}では断面変化部でひび割れが発生していることがわかる。

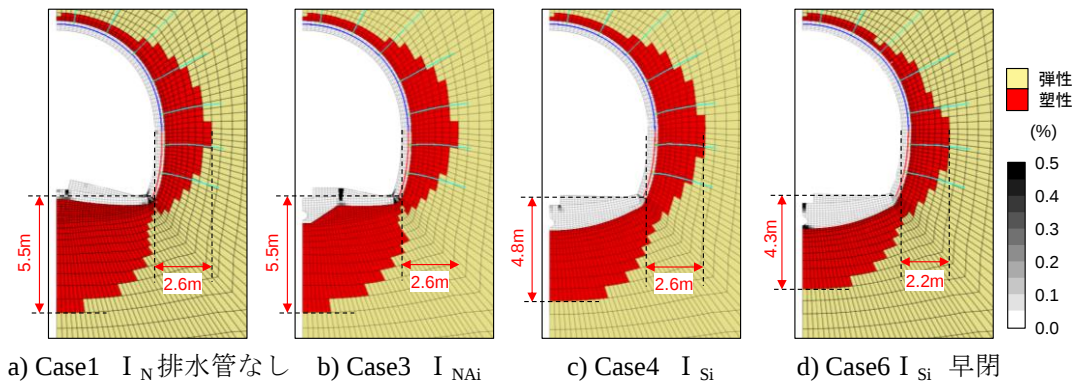


図-3 解析結果

参考文献

- 1) 嶋本, 野城, 小島, 塚田, 朝倉: 建設時の影響を考慮した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, Vol.69, No.2, pp.105-120, 2013.
- 2) 斉藤, 渡辺, 十倉, 萩原, 畠山, 松長: 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, 土木学会第70回年次学術講演会, III-117, pp.233-234. 2015.9