施工時および完成後のインバート部の変状発生に関する数値解析

(公財)鉄道総合技術研究所	正会員	○嶋本敬介,野城一栄
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構	正会員	小野謹一郎,萩原秀樹,井浦智実

1. はじめに

山岳トンネルでは地盤条件によっては掘削時に大きな変形を生じることがある. そのようなトンネルでは, 完成後にインバート部に変状が発生する懸念が、変形の小さなトンネルに比較して大きくなることが考えられ る.変形対策として、掘削時の一次インバートによる早期閉合や、インバート形状の変更が近年実施されてい る.本稿ではこれらの対策が施工時および完成後の変状発生に与える効果に着目し、数値解析を実施した.

2. 解析の概要

トンネル構造や閉合条件に着目し、トンネル施工時から完 成後の路盤隆起発生まで同じモデルを使用して一連の解析 を実施した.本解析でのトンネルの掘削は3次元逐次掘削に 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).

解析モデルを図-1に示す. 鉛直方向 60m, 横断方向 40m, トンネル延長方向 90m の新幹線断面をモデル化して掘削解 析を実施した.対称性を考慮して半断面の解析とし、上面以 外をローラー支持、上面には土被りが 200m 相当となるよう に残りの荷重を作用させた.また、ベンチ長は5mとした.

解析に使用した地山の物性値を表-1 に示す.地山の想定一軸圧縮強 さを地山等級 Is 程度の内空変位量が生じるように 2MPa(地山強度比 0.5 相当)とし、側圧係数については一般的な値 K=1.0 として相当する 初期荷重を土被りに応じて与え、他の物性値については、既往の文献例 ^{えば2)}を参考にして一軸圧縮強さから決定した.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.



表-1 地山の物性値

項目	単位	物性		
土被り		m	200	
想定一軸圧縮強さ	$q_{ m u}$	MPa	2	
地山強度比	$C_{\rm f}$		0.5	
単位体積重量	γ	kN/m ³	20	
弹性係数	Ε	MPa	206	
ポアソン比	V	-	0.36	
粘着力	с	kPa	580	
内部摩擦角	ϕ	0	31	
ダイレイタンシー角	Ψ	0	10	
側圧係数	K		1	

3. 解析ケース 解析ケースを

3. 解析ケース	 解析ケース										
解析ケースを <mark>表-2</mark> に示す.	ケース	ァーチ部 吹付け厚	ア− チ部 鋼製	アーチ部 ロックホ [・] ルト	一、	次 インバー 吹付け	-ト 外面	本イン 閉合	ンバート 巻厚	外面	早期閉合の 有無
支保パターンを Isp とし,イ	A	150mm	<u>文保工</u> H-150	3m×14本	<u> </u>	厚	<u> </u>	<u>距離</u> (変位収束後)	450mm	<u>半径</u> 13.70m	早期閉合なし
ンバート形状, 早期閉合の有	в	150mm	H-150	3m×14本	-	-	_	10m	450mm	13.70m	本インパート早期閉合
無に着目して計4ケースを設	с	150mm	H-150	3m×14本		_	_	(変位収束後)	600mm	8.11m	早期閉合なし
定した.ケース A, B は通常	D	150mm	H-150	3m×14本	10m	150mm	8.11m	(変位収束後)	450mm	7.96m	早期閉合あり

の新幹線トンネルのインバート形状とした.ケース C, D はインバート半径を小さくしてインバート(一次も 含む)厚を増加させた.また、ケースBは本インバートによる早期閉合、ケースDは一次インバートによる 早期閉合を実施する条件とした.

4. 施工時の解析結果

y=18m 位置における,上半切羽位置と水平内空変位,路盤鉛直変位の関係を図-2に示す.ここで,水平内 空変位は上半切羽到達時点の変位量を0として先行変位を除去し,路盤鉛直変位はCLのコンクリートあるい は吹付け上面の鉛直変位について、インバート閉合時を0と表示した.

- キーワード 山岳トンネル, インバート
- 連絡先 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 TEL:042-573-7266

ケース A とケース B を比較すると,最終的な 水平内空変位はケース A で 94mm に対してケー ス B では 84mm であり,10mm 抑制できている. 一方でケース B では施工時の時点で本インバー トに 12mm の隆起が発生してしまっている.ケー ス C ではインバートを深く掘削することにより, 最終水平内空変位としては 102mm 発生している. ケース D では,一次インバートにより,水平内 空変位は 83mm に抑制されている.なお,一次イ ンバートに 17mm の隆起が発生しているが,本イ

また, y=18m 位置における施工完了時点での 地山のせん断ひずみ分布(図-3)では,早期閉合 ありのケース B, D の方がせん断ひずみが小さく, 掘削による地山の「ゆるみ」を抑制することがで きているものとみられる.

5. 完成後の長期的な変状に対する解析結果

完成後の解析は,施工完了時のゆるみ発生領域 の地山強度を低下させることにより路盤隆起の 発生を表現した.完成後の経過年数と変位量の

関係を図-4 に示す.時間経過に伴い変形が増加し,従来のインバート形状の ケース A, B では隆起が発生している.特にケース B は施工時に 12mm の 隆起が発生し,さらに完成後にもケース A と同程度の隆起が発生している. 一方で,インバート半径を小さくしインバート厚を増加したケース C, D で は大きな路盤隆起は生じていない.

完成後10年経過時点の地山のせん断ひずみ増分の分布を図-5に示す.時間の経過に伴いせん断ひずみが増加しているが、インバート半径を小さくし

インバート厚を増加させたケース C, D ではひず みの増加が小さく抑えられていることがわかる.

6. まとめ

施工時の水平内空変位と、完成後10年間に生 じた路盤鉛直変位(図-6)をみると、早期閉合 (ケース B, D)により施工時の内空変位が抑制さ れ、インバート半径を小さくしインバート厚を増加 する(ケース C, D)ことで完成後の長期的な路盤鉛直 変位を大きく抑制できることがわかる.実際の施工では、 施工時に許容できる変位量、一次インバートの有無およ びインバート形状を組み合わせることで、経済的で長期 的に安定なトンネルを構築できると考えられる.





図-3 施工完了時点の地山せん断ひずみ分布









図-6 施工時の内空変位と完成後の路盤変位

参考文献

1) 嶋本他: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) アイダンオメール他:スクイーズィング地山におけるトンネルの変形挙動とその予測方法について、土木学会論文集Ⅲ, No.448, pp.73-82, 1992.