

現地計測結果に基づく長尺鋼管先受工の数値解析モデル化手法の検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○巽義知, 日下敦, 佐々木亨, 東京都立大学 砂金伸治

1. はじめに

山岳トンネル工法における天端安定等を目的とした補助工法の設計は過去の事例を参考に行うことが一般的であるが、近年では数値解析により検討する事例も多く見られる。数値解析にはモデル化等の仮定の違いで様々な手法が存在するが、それらのモデル化の特徴について実測データを踏まえて比較検証した事例は少ない。そこで本稿では、近年、適用事例が多く報告されている長尺鋼管先受工（以下、先受工）に着目して現地計測を行い、数値解析結果と比較した結果を報告する。

2. 計測概要

対象としたトンネルは、補助工法に先受工（ $\phi 114.3\text{mm}$, $L=12.92\text{m}$, 1シフト6m）と注入式長尺鏡補強工（ $\phi 76.3\text{mm}$, $L=12.5\text{m}$, 1シフト9m, 以下、鏡補強工）を実施した2車線の道路トンネルである。計測は図-1の位置で、A計測（天端沈下, 内空変位）、先受工鋼管曲げモーメント、鋼アーチ支保工吹付けコンクリート軸力、および吹付けコンクリート軸応力について実施した。

3. 解析概要

本解析は3次元有限差分法解析コードを用いて行った。解析モデルを図-2に示す。解析領域は、掘削断面から左右方向は5D（D:トンネル直径=12.6m）、下方は2D、上方は実際の土破りに合わせて掘削面から15mとした。境界条件は、上面は自由境界、側面は鉛直のみフリー、下面は完全固定とした。地質の境界は、計測の先受工施工断面における切羽観察記録と付近のボーリング調査結果をもとに設定し、トンネル延長方向に一律とした。トンネル形状はA計測断面と同様とした。先受工鋼管、鏡補強工鋼管、および支保工の物性値は表-1の通りとした。なお、断面右側のロックボルトと左側の注入式フォアボーリングはモデルの簡略化のため省略した。

掘削方式は早期閉合を伴う全断面工法とし、上半と下半間3m、および下半と1次インバート間3mで上半と1次インバートを同時に1mずつ掘削し、支保工を掘削箇所後方1mまで逐次設置した。先受工と鏡補強工は、実施工の間隔（6m, 9m）で、掘削進行に伴い逐次設置した。これらの手順で貫通まで掘削解析を行った。

解析ケースと物性値は表-2の3ケースとした。ケース①は、地山の物性値を地質調査結果によるものとし、先受工の注入による地山の改良効果は不明としてモデル化していない。ケース②は、天端沈下量の実測値に解析値が近づくように①から地山の变形係数を調整（5倍）した。ケース③は、②から、先受工の注入による改良効果として先受工周囲の地山の变形係数を②の4倍（①の20倍）に変更した。なお、地山は弾性体、側圧係数は1とした。

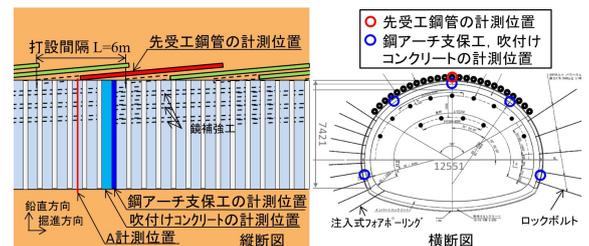


図-1 計測位置図

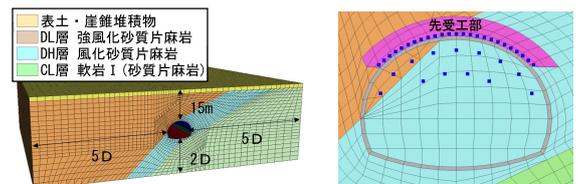


図-2 数値解析モデル

表-1 解析物性値

部材	規格	要素	変形係数 (MPa)	ポアソン比	断面二次モーメント Iy (m ⁴)
先受工鋼管	$\phi 114.3\text{mm}$ $t=6.0\text{mm}$	Beam	210000	0.2	3.00×10^{-6}
鏡補強工鋼管	$\phi 76.3\text{mm}$ $t=5.2\text{mm}$	Beam	210000	0.2	6.20×10^{-7}
鋼アーチ支保工	H-200×200 ×8×12	Beam	200000	0.2	4.72×10^{-5}
吹付けコンクリート	t=25cm	Solid	4000	0.2	

表-2 解析ケース・物性値

解析ケース	概要図	岩種区分	解析物性値			
			単位体積重量 (kN/m ³)	変形係数 E (MN/m ²)	変形係数 (先受工部) E (MN/m ²)	ポアソン比 ν
ケース① (E:地質調査結果)		崖堆積物	18.0	4.9	-	0.45
		DL層	19.0	24	24	0.44
		DH層	19.0	96	96	0.44
		CL層	23.0	260	-	0.35
ケース② (E:5倍)		崖堆積物	18.0	4.9	-	0.45
		DL層	19.0	120	120	0.44
		DH層	19.0	480	480	0.44
		CL層	23.0	1300	-	0.35
ケース③ (E:5倍+先受工部E:20倍)		崖堆積物	18.0	4.9	-	0.45
		DL層	19.0	120	480	0.44
		DH層	19.0	480	1920	0.44
		CL層	23.0	1300	-	0.35

キーワード トンネル, 補助工法, 数値解析, 長尺鋼管先受工

連絡先 〒305-8516 つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 道路技術研究グループ(トンネル) TEL 029-879-6791

4. 解析結果

現地計測と数値解析における、天端沈下、内空変位、先受工鋼管の曲げモーメント、および鋼アーチ支保工軸力と吹付けコンクリート軸応力の収束値をそれぞれ図-3~7に示す。

天端沈下量と内空変位は、図-3、図-4の通り、下半掘削前の計測結果はばらつきが大きく比較対象とすることが困難であったため、下半掘削開始から、計測の沈下量が最大となった計測位置からの上半掘削距離が20mとなるまでで比較した。天端沈下量と内空変位は、それぞれ図-3、図-4より、計測値3.5mm、5.6mmに対し、ケース①が16.4mm、-2.6mm、変形係数を上げたケース②が4.4mm、1.9mm、ケース③が4.2mm、1.6mmとケース②、③の方が計測値と概ね近い値を示している。

鋼アーチ支保工軸力は、図-5より、天端±60°付近においてケース①よりも変形係数を上げたケース②の値が計測値に近く、さらに先受工周囲の変形係数を上げたケース③の値が計測値により近い結果となった。

吹付けコンクリート軸応力は、図-6より、天端部分のみ各ケースの値が実測値と比較的近い結果となった。

先受工鋼管の曲げモーメントは、図-7(a)(b)より、計測で、切羽直近で正、後方で負の曲げモーメントが発生する形状が、解析の全ケースでも同様に現れた。

切羽近傍における数値解析による補助工法の変位抑制効果等の検討の可能性を示唆するものと考えられる。しかし、図-7(c)のように、切羽が離れるにつれ計測値と解析値は乖離した。また、値は計測値と比べ、他の指標とは逆にケース①の方が近く、先受工周囲の変形係数を上げたケース③は小さい結果とった。先受工の改良範囲の影響を詳細に検討する必要があると考えられる。

5. まとめ

本検討の条件下では、先受工の曲げモーメントが計測で、切羽直近で正、後方で負となる形状が、数値解析でも同様に現れる特徴が確認された。しかし、数値解析において、地山や、改良効果として先受工周囲の変形係数を上げた場合に天端沈下量や鋼アーチ支保の軸力は計測値に近づくが、先受工の曲げモーメントは計測値より小さくなる特徴が確認された。また、先受工の曲げモーメントは切羽が離れるにつれ、計測値と乖離する特徴が確認された。今後はそれらの特徴を踏まえ、他現場でも実測データを得つつ、実務において数値解析を行う際の留意点等の整理を進めたい。

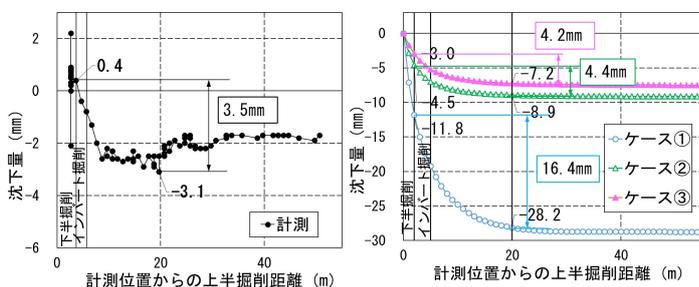


図-3 天端沈下

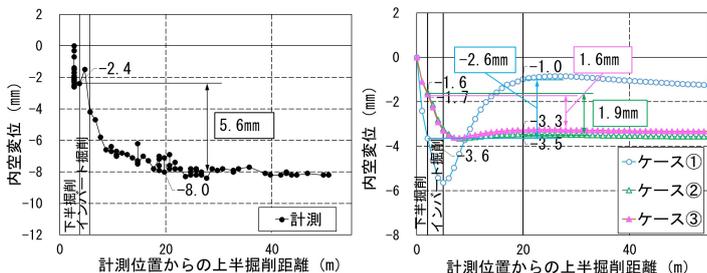


図-4 内空変位

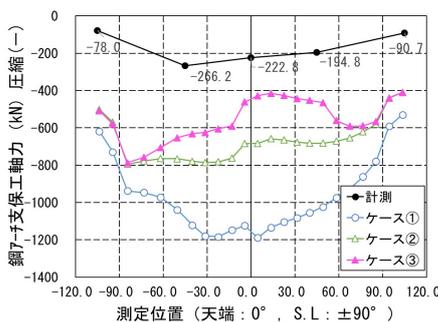


図-5 鋼アーチ支保工軸力収束値

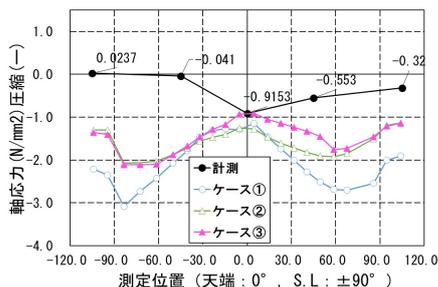


図-6 吹付けコン軸応力収束値

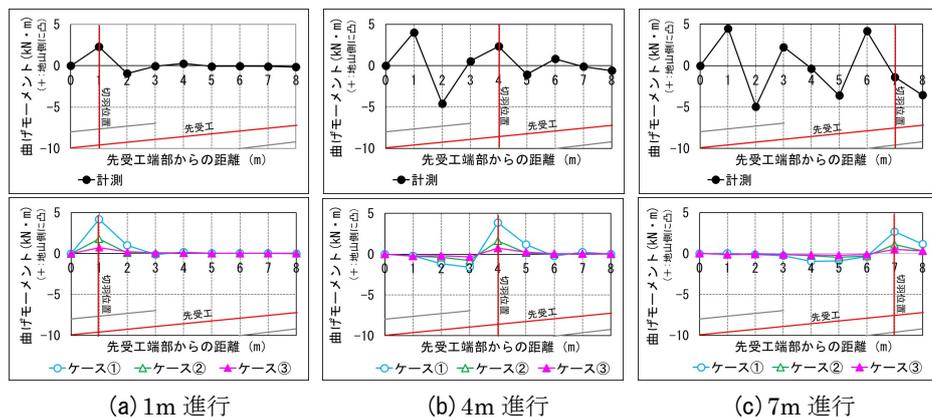


図-7 先受工鋼管の曲げモーメント