

施工段階の違いによるめがねトンネルの地表面挙動の評価

山口大学大学院 学生会員 ○鎌田 和孝
 飛鳥建設(株)関東土木支店技術部 正会員 小原 勝巳
 山口大学大学院 学生会員 岸田 典明
 山口大学大学院理工学研究科 正会員 進士 正人

1. はじめに

近年、交通の利便性向上や地下空間の有効利用を目的として、図-1のようなめがねトンネルの施工数が増加している。めがねトンネルは、都市部での施工が多い低土被り地山、地上構造物や近接構造物の存在などの厳しい条件の中で施工される例がほとんどである。また、都市部でのトンネル施工の特徴として、土地の所有権や周辺環境に配慮するため、設計時には地表面挙動を予測し、施工時には計測をしながら施工を進める「情報化施工」が行われ、地表面沈下抑制など周辺環境へのインパクトを極小化することが望まれている。

本研究は、めがねトンネルを安全かつ環境インパクトを最小に施工するために、実際のめがねトンネルの地表面沈下挙動の計測結果を分析し、めがねトンネルの地表面沈下挙動の発生の傾向、その特徴を分析する。そして、三次元数

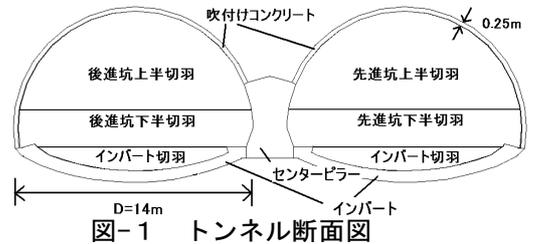


図-1 トンネル断面図

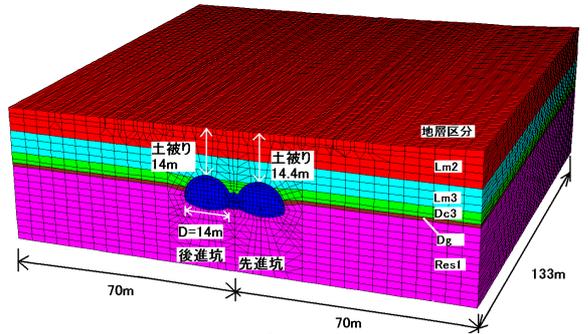


図-2 解析メッシュ

表-1 解析物性値一覧表

地層名	記号	単位体積重量 γ (kgf/m ³)	変形係数 E (MPa)	ポアソン比 ν	粘着力 C (KPa)	内部摩擦角 ϕ (°)
立川・武蔵野ローム層	Lm2	1400	11.80	0.4	39.20	17
下末吉ローム層	Lm3	1500	23.50	0.4	78.50	13
下末吉層(粘性土)	Dc3	1700	9.80	0.4	39.20	10
下末吉層(砂礫)	Dg	1800	19.60	0.4	19.60	35
上部連光寺層	Res1	1800	39.20	0.4	78.50	35
吹付けコンクリート		2400	3920.00	0.2	4900.00	40
インバートコンクリート		2400	21600.00	0.2	4900.00	40
センターピラーコンクリート		2400	21600.00	0.2	4610.00	35

値解析を用いて施工の初期段階から最終的なめがねトンネルの地表面挙動を予測する方法を検討する。

2. めがねトンネルの特徴

今回地表面沈下挙動を検討した A トンネルは片側 2 車線、全長 410m で最大土被り 23.6m、最小土被り 4.2m のめがねトンネルである。掘削工法は NATM の多段ベンチカット方式である。地山等級は D 等級、地質は主に火山灰が堆積してできた関東ローム層である。表-1 に地質調査時の物性値の一覧、図-2 に三次元数値解析で用いたモデル図を示す。トンネル上部には家屋が密集し、地表面沈下に十分に配慮する必要があった。

3. 先進坑と後進坑による地表面沈下挙動の発生状況

既往研究¹⁾から、一般にめがねトンネルでは先進坑時の地表面沈下量より後進坑掘削時の地表面沈下量の方が大きくなる傾向を有する。これは、先進坑掘削の影響により後進坑を掘削するとき地山状態や支保物性などの施工条件が変化しているためであると考えられる。

図-3 に A トンネルのトンネル施工段階における地表面沈下の発生状況を示す。この図から分かるように、A トンネルにおいても、先進坑掘削時より後進坑掘削時の地表面沈下量が約 2 倍となる傾向を示すことが分かる。

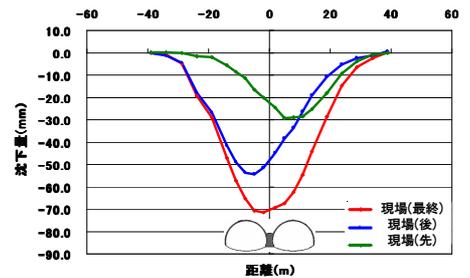


図-3 現場計測結果による地表面沈下量

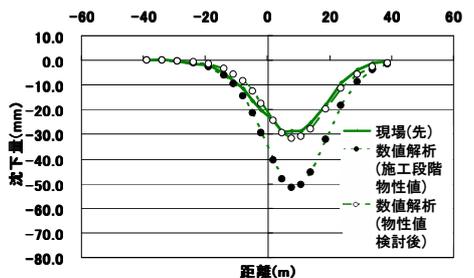


図-4 三次元数値解析結果と現場計測結果による地表面沈下量の比較(先進坑のみ)

4. 先進坑掘削段階の計測結果に基づく最終地表面沈下量の予測に関する検討

表-2 修正後の地山物性値

4.1 解析手法

検討は以下の手順で実施する。

解析手順① 先進坑の地表面沈下と表-1の事前物性値を用いた解析により得られた地表面沈下量を比較する。もし両者が一致すればその物性値を地山物性値として採用する。一致しない場合は、地山物性値を変化させ計測値と解析値の誤差の自乗和が最も小さい物性値の組み合わせを繰り返し計算により求める。

解析手順② 後進坑の吹付けコンクリート覆工が先進坑に比較して弱材齢のうちに切羽が進行することに着目し、計測値と吹付けコンクリート覆工の支保物性値の誤差の自乗和が最も小さい組み合わせを繰り返し計算により求める。

4.2 解析結果

表-2は修正後の地山物性値、表-3は修正後の後進坑の支保物性値である。図-4に先進坑掘削時の地表面沈下と表-1の事前物性値から予測した解析値(●印点線)を比較する。この図からもわかるように、先進坑掘削時の計測値より予想される地山の物性値は当初の調査による物性値よりもかなり良好で、計測結果は解析結果の半分程度となることがわかる。そこで、地山物性値全体を修正し、計測値と解析値の誤差の自乗和が最も小さい組み合わせを求める。図中(○印点線)に地山物性値を80%向上させた結果を示す。この図より計測値と解析値はきわめてよく一致することがわかる。

図-5に、解析手順②により吹付けコンクリートの覆工の支保物性値を変化させた場合における計測値と解析値の比較を示す。この結果を得るために、後進坑の支保物性値を1/5まで低下させている。この図からわかるように後進坑掘削による計測値(青の実線)と解析値(青の点線)の全体的な誤差は少ない。しかし、先進坑の施工位置付近では解析結果は、あまりよく一致していないことが分かる。

通常の吹付けコンクリートでは、材齢3時間で標準設計強度の約3.75~5%、材齢24時間で約12.5~25%が標準的な値とされている²⁾。支保物性値の1/5ということは、材齢で考えると24時間以内の養生時間に該当する。現実の吹付けコンクリートは、24時間で悪く見積もっても設計標準強度の1/2近くまで強度発現するのが一般的であり、吹付けコンクリートの材齢だけでは後進坑施工時の地表面沈下の増加を説明することは難しい。今後は、地表面沈下の要因として、センターピラー(図-1参照)の施工の良否なども検討する必要があると考えている。

5. 結論

本研究で得られた知見をとりまとめる。

- ① めがねトンネルでは、後進坑掘削時の方が地表面沈下が大きく発生する。従って、トンネル施工以前に取得されていた地山物性値及び施工手順を考慮した解析だけでは、最終地表面沈下挙動を表現できず、施工段階での物性値の見直しが有効である。
- ② 地山物性値と後進坑支保物性値を適切に変更することで、最終地表面沈下をある程度予測できることが分かった。
- ③ 吹付けコンクリートの材齢は、めがねトンネルの後進坑掘削時に先進坑掘削時よりも大きな変位が生じるというめがねトンネル特有の問題の要因の一つと考えられるが、それだけですべてを説明することは難しい。

<参考文献>

- 1) 進士正人, 小原勝巳, 若狭紘也, 青木宏一, 中川浩二: めがねトンネルにおける採集地表面沈下量の簡易予測法の提案, 土木学会論文集投稿中
- 2) 小林一輔: コンクリート実務便覧, pp.392-397, 2004.12

地層名	記号	初期値		修正値	
		変形係数E(MPa)	粘着力C(KPa)	変形係数E(MPa)	粘着力C(KPa)
立川・武蔵野ローム層	Lm2	11.80	39.20	21.20	70.60
下末吉ローム層	Lm3	23.50	78.50	42.30	141.00
下末吉層(粘性土)	Dc3	9.80	39.20	17.60	70.60
下末吉層(砂礫)	Dg	19.60	19.60	35.30	35.30
上部蓮光寺層	Res1	39.20	78.50	70.60	141.00

表-3 修正後の後進坑支保物性値

支保	初期値		修正値	
	変形係数E(MPa)	粘着力C(KPa)	変形係数E(MPa)	粘着力C(KPa)
吹付けコンクリート	3920.00		784.00	

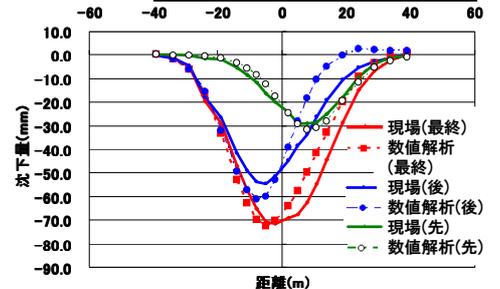


図-5 三次元数値解析結果と現場計測結果による地表面沈下量の比較(物性値変更後)