

地表面掘削によるトンネルへの影響予測

国土交通省山口工事事務所 特別会員 大久保雅憲

1. はじめに

一般国道 188 号岩国南バイパスにおいて、愛宕山トンネル(L=662m)工事を施工中である。当トンネルの上部では、愛宕山新住宅市街地開発事業が行われている。トンネル掘削と宅地の盤下げが併行して行われることから、トンネルへの影響が懸念された。本文は、宅地の盤下げに伴うトンネルへの影響予測を数値解析により実施した結果を報告するものである。

2. トンネル施工手順

トンネル掘削と盤下げの関係は、次の 2 パターンに大別される。

(1) 1 次支保後、盤下げ (図 1)

- ① トンネル掘削に影響の大きい直接影響範囲 (2D 範囲) を残して、盤下げを実施。
- ② トンネルを掘削し、1 次覆工まで完了する。この際、吹付けコンクリート応力計等の観測機器を設置しておく。
- ③ トンネル直上部の盤下げ (1D まで) を行う。
- ④ トンネル安定を確認後、二次覆工を施工する。

(2) 二次覆工後、盤下げ (図 2)

- ① トンネル掘削に影響の大きい直接影響範囲 (2D 範囲) を残して盤下げ後、高さ約 30m の仮盛土を実施。
- ② トンネルを掘削し、二次覆工まで完了する。この際、覆工、吹付けコンクリート応力計等の観測機器を設置しておく。
- ③ トンネル直上部の盤下げ (1D まで) を行う。

3. トンネルへの影響予測 (FEM)

トンネル周辺地山は、CM~CH 級の花崗岩を主体としており、地山の挙動は比較的弾性に近い挙動を示すことが考えられることから、解析方法は弾性線形解析とした。表 1 に、地山物性値を示す。この際、トンネル周辺地山の掘削によるゆるみ範囲を反映させるため、在来工法の考え方を参考に、 $0.25B \cong 3\text{m}$ 範囲の地山変形係数は 1/4 に低減した。また、除荷時 (盤下げ時) の変形係数として載荷時の 5 倍を採用している。

表 2 に、支保部材の物性値を示す。一次覆工と二次覆工の間には防水シートを模擬するジョイント要素を加え、引張側の変形に両覆工は切り離されるモデルとしている。

解析ステップは、初期応力計算から始まり、一次盤下げ、トンネル掘削 (40% 解放)、一次支保 (60% 解放)、二次盤下げ、二次覆工、三次盤下げと、実際の施工を再現している。

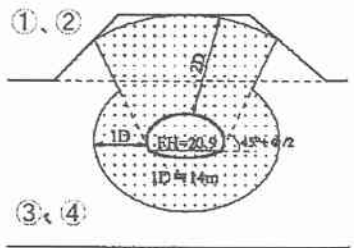


図 1 トンネル施工手順(1)

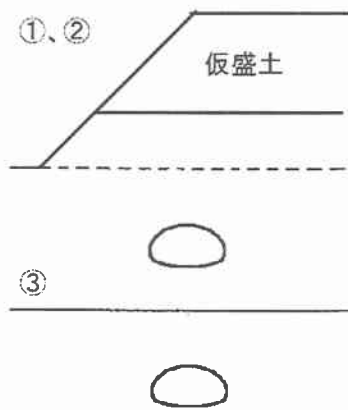


図 2 トンネル掘削手順(2)

表 1 地山物性値

	単位体積重量 tf/m ²	変形係数 kgf/cm ²	ポアソン比
仮盛土	1.90	500	0.4
上部層 : DH 級	2.35	1,400	0.4
下部層 : CM 級	2.40	6,500	0.3
下部層 : CH 級	2.50	11,000	0.3

表 2 支保部材の物性値

	鋼アーチ H-150	吹付け t=15cm		ロックボルト L=4m	二次覆工 t=40cm	防水シート (緑切材)
		初期	硬化後			
解析モデル	ビーム材	トラス材		トラス材	ビーム材	ジョイント材
変形係数 (kgf/cm ²)	2.10E+06	4.00E+04	2.20E+05	2.10E+06	2.20E+05	圧縮時は地山 E。
断面積 (m ²)	3.97E-03	0.15		5.07E-04	0.40	引張時は
断面二次 (m ⁴)	1.62E-05	—		—	5.33E-03	0.001 E。
断面係数 (m ³)	2.16E-04	—		—	2.67E-02	

(1) 一次支保後、盤下げ

解析ケースを図3に示す。盤下げは最も危険側を想定し、第一段階で右側部分を一挙に盤下げ、次に残りの部分を一度に盤下げとした。なお、最終結果は、弾性解析のため一括盤下げした場合のものと同じになる。ケースは、ボーリング等による想定地山のケース1と、地山が悪い場合の影響把握を目的としたケース2である。

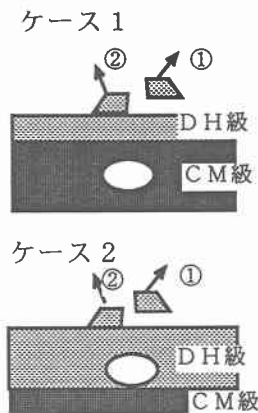


図3 解析ケース

結果を表3に示す。盤下げによ

りトンネルは上方に引っ張られる挙動を示すものの、リバウンド量、一次支保の応力の引張力の増分とも小さく、かつ、圧縮状態で許容応力度内にとどまっていることから、無対策でも盤下げ施工時にトンネルの安定を損なうことはない、判断している。なお、片側盤下げにおいても有害な偏圧等も見られず、盤下げ方法への配慮も不要と考えている。

(2) 二次覆工後、盤下げ

解析結果を表4に示す。まず、吹付けコンクリート応力が 100kgf/cm^2 増加し、 28kgf/cm^2 の引張状態となった。しかし、二次覆工施工後のため吹付けコンクリートに替わって二次覆工の内圧効果が十分期待できることから、トンネルの安定が損なわれることはない、判断している。

次に、二次覆工には最大 6.9kgf/cm^2 の引張応力が作用する結果であった。図4に断面力分布図を示す。トンネルは右上方向にリバウンドする動きを見せ、左SL上部の内空側、CL右部の地山側に大きな引張応力が発生している。この引張応力に対しては覆工をRC構造物として設計し、D19@200の複鉄筋構造とすることで対応可能と考えている。ただし、盤下げ時には、十分な観察が必要であることを示唆している。

4. おわりに

愛宕山トンネルは、執筆時現在(H13.4)、約33mの進捗である。順調に進めば、(1)1次支保後盤下げは晩夏頃に、(2)二次覆工後盤下げは、平成15年度の施工となる。盤下げ施工に際しては、本検討結果を踏まえた計器観測を行い（盤下げのための発破振動に対する観測も合わせて）、管理基準値を定めて観測施工する予定であり、結果は別の機会に報告したいと考えている。

本検討は、関係者からなる検討会を設置して進めた。検討会の座長には、山口大学社会建設工学科中川浩二教授に務めていただき、貴重な指導を得た。ここに記して、謝意を表します。

表3 解析結果（一次支保後、盤下げ）

ケース		天端沈下 mm	S. C kgf/cm ²	H鋼 kgf/cm ²
1	一次支保完了:A	-8.3	-48	-1,410
	片側盤下げ :B	-6.7	-44	-1,260
	B-A	1.6	4	150
	盤下げ完了 :C	-4.7	-36	-1,020
	C-A	3.6	12	390
2	一次支保完了:A	-15.7	-69	-2,250
	片側盤下げ :B	-13.2	-63	-2,000
	B-A	2.5	6	250
	盤下げ完了 :C	-9.3	-46	-1,550
	C-A	6.4	23	700

注1：一次支保完了の天端沈下は、40%解放で0クリアの値

2：天端沈下の一は沈下を示す。

3：S. C、H鋼の応力の一は圧縮を示す。

表4 解析結果（二次覆工後、盤下げ）

	天端沈下 mm	S. C kgf/cm ²	H鋼 kgf/cm ²	二次覆工 kgf/cm ²
一次支保完了:A	-12.9	-74	-2,150	—
盤下げ完了 :B	-5.8	28	-1,450	-6.9~9.2
B-A	7.1	102	700	—

注1：一次支保完了の天端沈下は、40%解放で0クリアの値。

2：天端沈下の一は沈下を示す。

3：S. C、H鋼、二次覆工の応力の一は圧縮を示す。

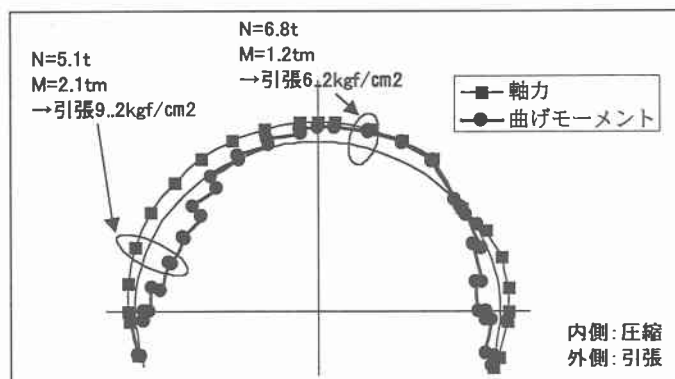


図4 二次覆工の断面力分布図