

供用中のⅠ期線トンネルに近接するⅡ期線トンネルの設計・施工

中日本高速道路株式会社 名古屋支社 岐阜工事事務所 今塩屋勝 吉川真仁
大成建設株式会社 正会員○横山裕史 大塚勇 小原伸高 高橋聡尚 篠崎哲明

1. はじめに

東海北陸自動車道上野第二トンネルのⅡ期線（下り線）は、図-1 に示すように供用中のⅠ期線（上り線）に隣接するトンネルで、最小離隔は約 15m である。近接度区分は「間接影響領域」～「直接影響領域」となっている。そのため、Ⅱ期線トンネル掘削によるⅠ期線への近接施工影響を抑制し、通行車両の安全およびⅠ期線の安定性を確保する必要がある。上野第二トンネル終点側坑口部（STA.891+70～892+40）では、Ⅱ期線の土被りが小さく偏圧を伴う地形である。そこで掘削に先立ち、三次元解析によるトンネル掘削時の予測解析を実施した。予測解析の結果、Ⅱ期線トンネル掘削によるⅠ期線への近接施工影響が確認されたため、補助工法の検討を行った。また、掘削時に得られた計測結果を二次元解析により再現し、補助工法の効果について事後評価を行った。

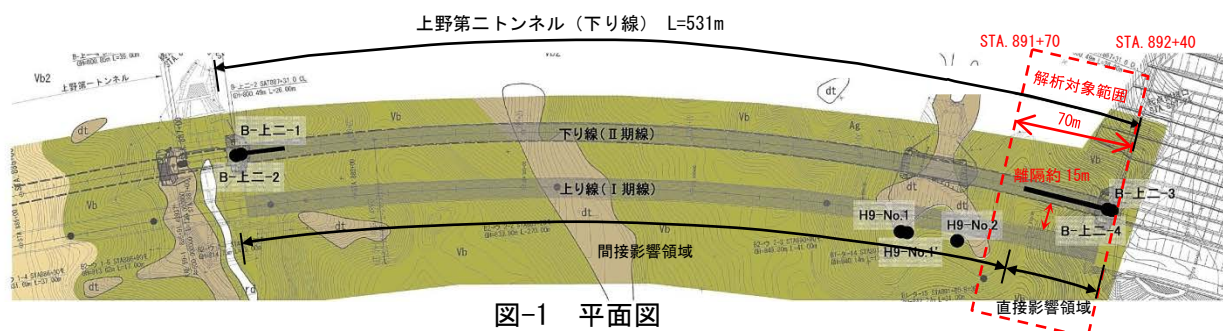


図-1 平面図

2. 地形・地質概要

坑口部の地質は安山岩質の礫・転石が混入する火山碎屑岩（礫岩）で地山分類は DⅢである。土被りは 2～17m である。表-1 に地山物性値を示す¹⁾。変形係数は孔内載荷試験で求め、強度定数は三軸試験より求めた。

表-1 地山物性値

	火山角礫岩 表層部～8m	火山角礫岩 8m以深
変形係数E (kN/m ²)	40,000	140,000
ポアソン比ν	0.35	0.35
単位体積重量γ (kN/m ³)	21	21
粘着力c (kN/m ²)	1,100	1,100
内部摩擦角φ	16	16

3. 三次元解析による予測解析

解析モデル図を図-2 に示す。Ⅰ期線の覆工コンクリートの覆工増加応力（Ⅱ期線トンネル施工開始時からの増分）の許容値はコンクリートの設計基準強度より、圧縮は 5.4N/mm²、引張は -1.08N/mm² となる²⁾。解析の結果、覆工増加応力は、圧縮応力は最大 1.3N/mm² と許容値よりも小さいが、引張応力は STA.892+31 の天端付近内空側で最大 -1.31N/mm² と許容値を超過する結果となった。

4. 補助工法による効果

Ⅰ期線の覆工に許容値を超過する引張応力が生じることから近接影響対策として補助工法の検討を行った。長尺鋼管先受工（以降 AGF と称す）は特殊な設備を導入することなく、既設トンネルに対する影響抑制対策として実績があるため、本検討でも AGF を補助工法として選択した。AGF を考慮した解析を行った結果、Ⅰ期線の覆工引張増加応力は、最大 -1.01N/mm² で、許容値 (-1.08N/mm²) 以下の値となり、AGF の効果を確認できた。

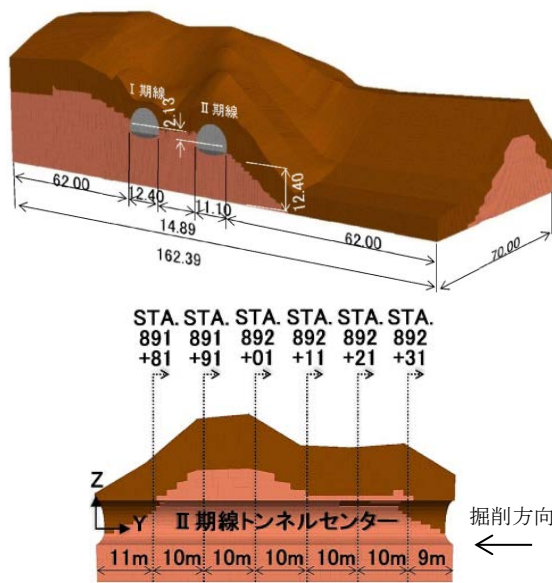


図-2 解析モデル図

キーワード 近接施工, 三次元解析, 補助工法, 再現解析

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木設計部 TEL03-5381-5296

5. 管理基準値

トンネル掘削によるⅠ期線への影響およびⅡ期線の安定性を確認するために計測を実施した。計測項目は10m間隔で行ったⅡ期線の坑内変位計測(A計測)と、Ⅰ期線 STA.892+03 (Ⅱ期線 STA.892+11) でひずみゲージを用いてⅠ期線の覆工増加応力を測定した。覆工応力の計測箇所は天端と両肩部(SLラインから45°の位置)である。

Ⅱ期線坑内変位の管理基準値は予測解析と限界ひずみにより設定した。予測解析でⅠ期線の覆工増加応力が許容値に達する際のⅡ期線 STA.892+31 における坑内変位を管理レベルⅠとした。管理レベルⅡ, Ⅲは、管理レベルⅢを限界ひずみの中央値、管理レベルⅡを管理レベルⅢの75%として設定した。Ⅱ期線坑内変位の管理基準値を表-2に示す。また、Ⅱ期線坑内変位の計測結果が管理レベルⅠを超過しても、Ⅱ期線切羽離れに応じて設定したⅠ期線 STA.892+03 の覆工増加応力の許容値より覆工応力計の計測値が小さい場合は掘削を継続するものとした。

6. 計測結果と再現解析による施工の妥当性評価

表-3にⅡ期線坑内変位の計測結果を示す。Ⅱ期線 STA.892+31 では、天端沈下、内空変位ともに管理レベルⅠを超過したため、AGFの施工範囲を120°から180°に変更した。結果として、Ⅱ期線 STA.892+21 と STA.892+11 で内空変位が管理レベルⅠを超過したが、天端沈下が管理レベルⅠを下回っていること、Ⅰ期線 STA.892+03 (Ⅱ期線 STA.892+11) の覆工増加応力の計測値(-0.14N/mm²)が予測値(-0.31N/mm²)を下回っていることから総合的に判断して、追加の補助工法は実施しなかった。それ以降はⅠ, Ⅱ期線の離隔が少しずつ広がっていくためAGFの施工範囲を120°に戻して掘削を継続した。

AGFの効果と施工の妥当性を確認する目的で二次元FEM解析により再現解析を実施し、地山物性値を同定して、Ⅰ期線覆工の健全性を検証した。再現解析は、Ⅱ期線 STA.892+31 とⅠ期線側に覆工応力計があるⅡ期線 STA.892+11で行った。その結果、側圧係数Kは0.72, 変形係数Eは表層から8m以浅は30(MN/m²), 8m以深は100(MN/m²)の条件で解析を行うと、図-3に示すように、Ⅱ期線 STA.892+31 では、上半は計測値の方が大きい結果だが、下半は計測値とほぼ等しい結果となった。Ⅱ期線 STA.892+11 では、図-4に示すように精度よく再現できた。

再現解析において、Ⅱ期線 STA.892+31 におけるⅠ期線の覆工増加応力はAGFを考慮した場合は許容値以下となったが、仮にAGFを考慮しない場合は許容値を21%超過する結果となった。したがって、再現解析および計測結果の評価からAGFを施工しなければ、Ⅰ期線覆工の健全性を損なう恐れがあったと考えられ、AGFの必要性、施工の妥当性を確認することができた。

7. おわりに

三次元解析でⅠ期線トンネルへの影響予測解析を行い、管理基準値を設定した。またⅡ期線坑内変位を用いて再現解析を行うことで、補助工法(AGF)が近接するⅠ期線への影響抑制効果があることを確認し、Ⅱ期線トンネルを安全に施工することができた。

参考文献

- 1)日本道路公団：試験研究所 技術資料第359号 トンネル数値解析マニュアル, p.3-26, 2002.3.
- 2)中日本高速道路株式会社：設計要領第三集トンネル編トンネル本体工保全編(近接施工), p.24, 2006.7.

表-2 Ⅱ期線坑内変位 管理基準値

	天端沈下量(mm)	上半内空変位量(mm)
管理レベルⅠ	-8	-4
管理レベルⅡ	-25	-50
管理レベルⅢ	-33	-66

表-3 Ⅱ期線坑内変位 計測値

断面	天端沈下量(mm)	上半内空変位量(mm)	AGF範囲
892+31	-14.7	-7.4	120度
892+21	-4.9	-4.8	180度
892+11	-6.8	-6.2	180度
892+01	-4.0	-2.9	120度
891+91	-3.2	-2.5	120度
891+81	-3.1	-2.7	なし
891+71	-3.6	-2.9	120度
管理レベルⅠ	-8.0	-4.0	-

※沈下が負、縮みが負
：管理レベルⅠを超過

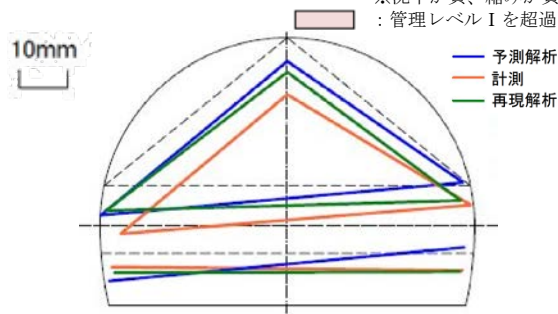


図-3 変形モード(STA. 892+31)

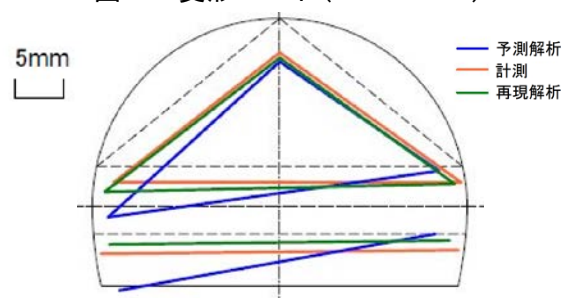


図-4 変形モード(STA. 892+11)