# Ⅰ期線トンネルに近接するⅡ期線トンネルの影響予測と対策工について

大塚 勇1・今塩屋 勝2・吉川 真仁3・髙橋 聡尚4・篠崎 哲明5

<sup>1</sup>正会員 大成建設株式会社 土木本部土木設計部(〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1) E-mail:ohtsuka@ce.taisei.co.jp

<sup>2</sup>中日本高速道路株式会社 名古屋支社(〒501-5192 岐阜県郡上市白鳥町白鳥38-1) E-mail: m.imashioya.aa@c-nexco.co.jp

<sup>3</sup>中日本高速道路株式会社 名古屋支社(〒501-5192 岐阜県郡上市白鳥町白鳥38-1) E-mail: m.yoshikawa.ab@c-nexco.co.jp

<sup>4</sup>大成建設株式会社 上野トンネル工事作業所(〒501-5302 岐阜県郡上市高鷲町鷲見5294-1) E-mail: t-aki@ce.taisei.co.jp

<sup>5</sup>大成建設株式会社 上野トンネル工事作業所(〒501-5302 岐阜県郡上市高鷲町鷲見5294-1) E-mail: shino@ce.taisei.co.jp

上野第一トンネルのⅡ期線工事は、供用中のⅠ期線との離隔が最小約5mとなる近接施工の工事である.Ⅰ期線覆工への影響を抑制するために、三次元および二次元掘削解析を行い、掘削工法、補助工法の検討を行った。近接施工区間には、2つの主計測断面を設け、解析結果と計測結果を比較して解析の入力条件を見直し、適切な補助工法を選定した。解析結果より近接施工区間では長尺鋼管先受工と早期閉合を実施することでⅠ期線覆工に発生する応力が許容値以下となった。計測結果と解析結果を基に、長尺鋼管先受工の打設範囲を設定し合理的な施工を行った。また、解析結果を基に管理基準値を設けて計測管理を行いながら慎重に掘削を進めた。

Key Words: neighboring construction, numerical analyses, monitoring, steel pipe forepiling

#### 1. はじめに

上野第一トンネルは、愛知県一宮市を起点とし岐阜県を経由して富山県砺波市へ至る東海北陸自動車道のトンネルである。施工場所は岐阜県郡上市で、延長527mのトンネルである。上野第一トンネルの平面図を図-1に、縦断図を図-2に示す。

4車線化拡幅整備により暫定2車線で供用している I 期線トンネルに隣接して II 期線を現在施工中である. トンネルの起点側は偏地形が連続しており、 II 期線は谷側を通るため、土被りをある程度確保するために II 期線を I 期線側に寄せる必要があった. そのため、供用中の I 期線トンネルとの離隔は小さくなり、図-3に示すように最接近断面の離隔は約5mの近接施工となっている.

供用中の I 期線トンネルとの近接度区分は「直接影響 領域」(道路中心より2.0D)となっているため,近接施 工に伴い I 期線トンネルへ影響を及ぼすことが考えられる. I 期線トンネルの覆エコンクリートに影響が及んだ場合, 供用中の I 期線を通行止めにすることもあり得るが, そのようなことが無いように解析的な分析を行い, 事前に必要な補助工法の検討を行うことで安全に掘削を進める必要がある.

トンネルは、終点側から起点側に向かって掘削し、間接影響領域を掘削した後に直接影響領域の掘削を行う.

#### 2. 地形および地質概要

地質は火山角礫岩を主体としており、表層部にローム層や崖錐堆積物が1~3m程度分布する。マトリックスの凝灰岩は表層部に近づくと礫とマトリックスが分離しやすくさらに未固結部を伴う。また、コアでは直径20~60 cmの安山岩巨礫を確認しており周囲で産出した礫径では

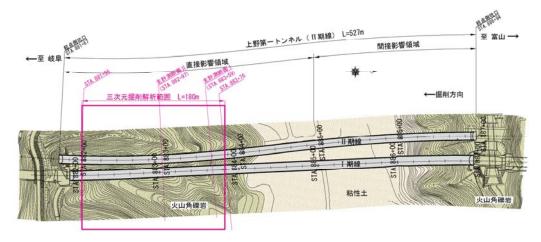


図-1 上野第一トンネル平面図

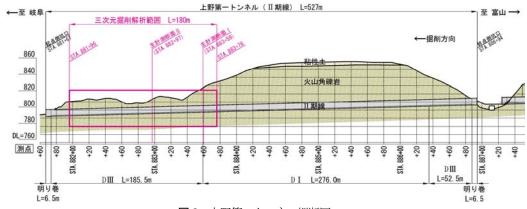
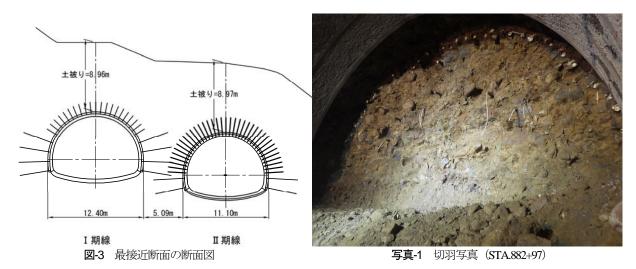


図-2 上野第一トンネル縦断図



直径2mのものが残置されている. 切羽には中規模の玉石 (直径50cm~1m程度) が全体に散在している. 切羽状 況を**写真-1**に示す.

近接施工区間の土被りは $5\sim12$ m程度であるが I 期線と反対側は谷部となっており谷側のトンネル肩部の被りが最小で約3mと極端に薄くなり偏土圧が作用する懸念があった.

I 期線の湧水記録から勘案すると掘削時の湧水は滴水程度であると考えられた. ただし、豊水期における施工では土被りが急激に増す付近において湧水を伴う可能性

があった. 切羽に湧水が着くとマトリックスの凝灰岩が 緩み切羽の自立性が悪くなることが懸念された.

#### 3. 計測の概要

図-1, 図-2に示すように,近接施工区間では主計測断面を2つ設けて, I期線覆工への影響を監視した.

主計測断面 I は,支保パターンがD I からDIIIに変わる断面(STA.883+59)とし,土被りは約25m(2D)である.トンネル離隔は徐々に狭くなっており約6.4mである.

主計測断面IIは,離隔が約5mでII期線トンネルが最も I 期線に接近する断面(STA.882+97)とし,土被りは約 9.0mである.

主計測断面で実施する計測項目を表-1に示す. 各計測 断面の計測工図を図-4, 図-5にそれぞれ示す.

I 期線の覆工応力計とⅡ期線のA計測は,当初設計に含まれており,覆工応力計は約60m毎に,A計測は10m毎に計測することになっていた.実際は追加で計測断面を設けて,覆工応力計は約30m毎に,A計測は5m毎に計測した.覆工応力の測定法は,各測定点にコンクリート用ひずみゲージを貼付け,得られた測定値を応力に換算した.計測されたコンクリートの応力値は非常に小さく,温度の影響を受けるため,追加の計測項目について検討した.

Ⅱ期線トンネル掘削による影響を切羽到達前から把握するために、追加の計測項目としてⅠ期線内に写真画像を用いた内空変位測定と中間地山部に傾斜計と層別沈下計を設置した。画像計測は、各測定点に固定した反射式ターゲットを測定断面近傍に設置したデジタルカメラでフラッシュ撮影し、画像解析をして各測点間の距離を算出するものである<sup>1</sup>.

#### 4. 施工実績

#### (1) 支保パターン・補助工法

Ⅲ期線トンネルは終点側から起点側に向かって掘削した.Ⅲ期線の近接施工区間ではDⅢパターンが採用されている.実際に適用した支保パターン図を図-6に示す.

当初設計では、先受工は長さ3mのフォアポーリングで120°の範囲に施工することになっていたが、 I 期線覆工への影響を抑えるために長尺鋼管先受工に変更した. 長尺鋼管先受工の打設範囲は I 期線への影響度合いに応じて120°~180°とした. 図は120°の場合を示している. 長さは12.5m、1シフト長は9mを基本としたが、 I 期線との離隔が狭い区間は I 期線側の長尺鋼管先受工の長さ、1シフト長を短くして鋼管の先端が I 期線のロックボルトに干渉しないようにした.

切羽の安定を確保するために、長尺鏡ボルトと上下半 鏡吹付コンクリート (t=5cm) を行った。

当初設計でインバートは吹付けコンクリートのみであったが、インバートストラットを追加した.

**図-7**に I 期線の支保パターン図を示す. 上半120°の範囲に長さ3mのフォアポーリングが採用されている.

#### (2) 掘削方法

Ⅱ期線トンネルでは、補助ベンチ付全断面掘削工法により、トンネルを早期に閉合し変形を抑制する掘削方法を採用した。

表-1 計測項目一覧表

箇所	計測項目	
Ⅱ期線内	A計測	
H-88 Mar 1 - 47	傾斜計	
中間地山部	層別沈下計	
I #0/0 da	覆工応力計	
I期線内	画像計測	

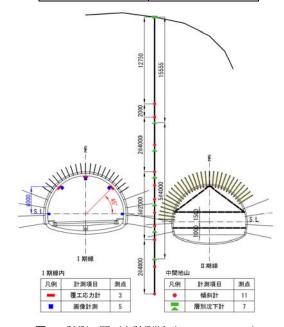


図-4 計測工図 (主計測断面 I:STA.883+59)

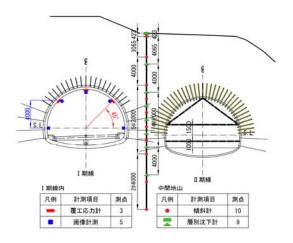


図-5 計測工図(主計測断面Ⅱ:STA.882+97)

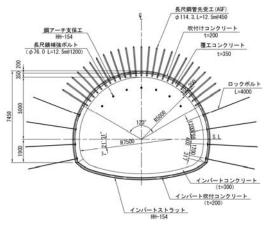


図-6 II 期線の支保パターン図 (AGF120°の場合)

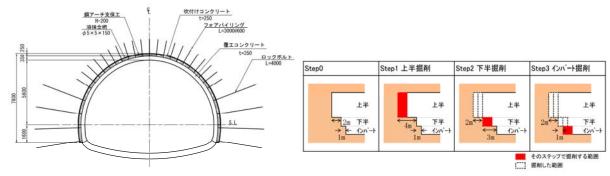


図-7 Ⅰ期線の支保パターン図

図-8 掘削ステップ図

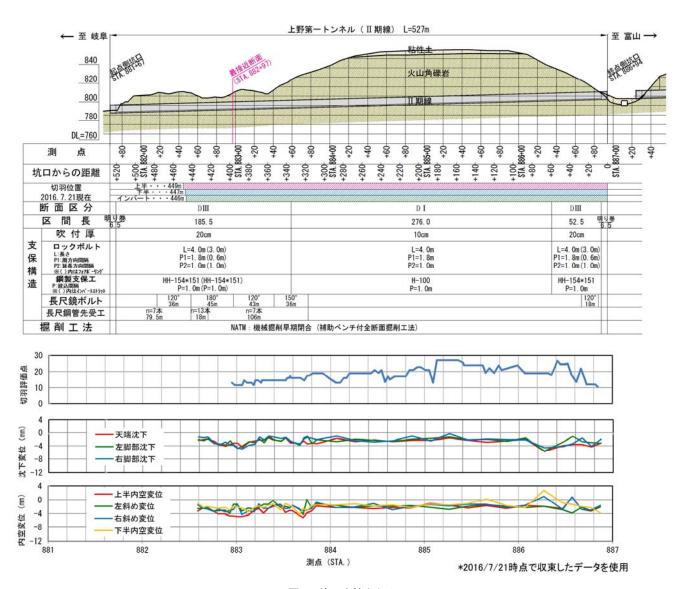


図-9 施工実績まとめ

図-8に掘削のステップを示す.上半と下半の切羽離れを2m,下半とインバートの切羽離れが1mの状態(Step0)から,上半を2m進め(Step1),下半を2m(Step2)掘り,インバートを2m掘削する(Step3)サイクルを繰り返す.上半切羽から5m後方で早期にインバート閉合を実施した.

#### (3) 施工実績まとめ

図-9に施工実績をまとめたものを示す.

起点側のDIIIパターンの区間は I 期線に近接する区間であり、補助工法として長尺鋼管先受工および長尺鏡ボルトを行っており、インバートの早期閉合を採用している。また、この区間は切羽の評価点も悪く、坑内変位も大きくなっている。

#### 5. 検討の流れ

検討のフロー図を**図-10**に示す. 3つの段階を踏んで検討を実施した.

Phaselとして近接施工区間を掘削する前に、三次元掘削解析および二次元掘削解析によって予測解析を行った. 地形、トンネル間の離隔が断面ごとに変化するため、三次元掘削解析を用いて I 期線覆工の応力が最も大きくなる断面を把握した. また、二次元掘削解析により掘削工法、補助工法の検討を実施した.

予測解析で入力した地山の物性値は I 期線の施工時の計測データから求めた値を使っていたため、入力物性値の妥当性を検証するために、Phase2として主計測断面 I (以降、検証断面)の計測結果を用いて二次元掘削解析により再現解析を行い、地山の物性値を同定した。その物性値を使って主計測断面 II (以降、最接近断面)の予測解析を行い、掘削工法、補助工法を検討し、管理基準値を設定した。

上半切羽が最接近断面のIm手前まで掘削した時に,傾斜計の値が管理基準値IIを超えたため,掘削を中断した. I 期線覆工の健全性の確認を行うために,最接近断面で得られた計測データを用いて最接近断面の管理値を再設定した. 切羽が計測断面を通過してないため,Phase3として切羽通過後の収束した計測データを用いて地山の物性値を同定し,今後の掘削する残りの近接施工区間の管理基準値を設定した.

#### 6. 予測解析

I 期線に与える影響について、三次元掘削解析を用いてトンネル掘削時の予測解析を実施した。検討対象範囲を図-1および図-2に示す。地形、トンネルの線形が三次元的に変化するため、三次元掘削解析により、I 期線覆工に対して厳しい断面を把握した。また、二次元解析により補助工法、掘削工法の検討を行った。

#### (1) 解析条件

#### a) 地山のモデル化と物性値の設定

三次元掘削解析は、モール・クーロンの降伏関数に基づいた弾塑性要素として地山をモデル化した. 二次元掘削解析では、電中研方式の非線形弾性要素でモデル化した<sup>2</sup>.

地山の物性値は I 期線掘削時に得られた計測データから算出した変形係数の推定値をもとに決定する. 図-11 に近接施工区間の区間分けと I 期線掘削時に算出した変形係数の分布図を示す. 区間分けの選定理由を表-2に示す

区間①~④で代表断面を設けて二次元掘削解析を実施

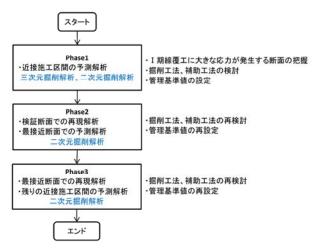


図-10 検討フロー図

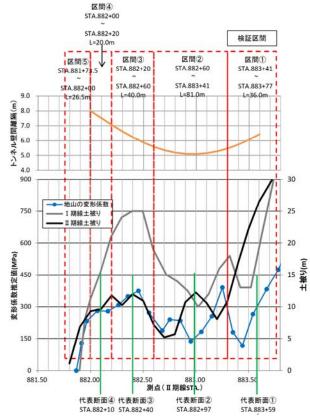


図-11 近接施工区間の区間分けと地山の変形係数

表-2 区間分け選定理由

区間	範囲(Ⅱ期線 距離程)	延長 (m)	選定理由	
1	STA.883+41 ~ 883+77	36.0	Ⅰ期線、Ⅱ期線とも土被りが大きい.	
2	STA.882+60 ~ 883+41	81.0	土被りが小さく,変形係数が小さい. 最接近区間.	
3	STA.882+20 ~ 882+60	40.0	I 期線の土被りが大きい(20m以上).	
4	STA.882+00 ~882+20	20.0	I 期線土被り変化区間.	
5	STA881+735 ~882+00	26.5	坑口区間(I,Ⅲ期線とも土被り10m以下).	

した. 代表断面の地山の変形係数と断面の選定理由についてまとめたものを表-3に示す.

変形係数以外の物性値は地山等級に応じた代表値を採用するものとし、安全側を考慮しDIIの値とした<sup>2)</sup>.

三次元掘削解析では、地山の変形係数を近接施工区間 全体の平均値である250MPaとした.

#### b) 支保のモデル化と物性値の設定

トンネルの支保部材については、吹付けコンクリートをビーム要素(三次元掘削解析ではシェル要素),鋼アーチ支保工、ロックボルトをビーム要素でモデル化する. I 期線トンネルの覆工およびインバートについては、ビーム要素(三次元掘削解析ではシェル要素)でモデル化する.

長尺鋼管先受工は、改良範囲の物性値を変更する方法により行うものとし、先受け鋼管と改良範囲の地山を等価な剛性を持つものとしてモデル化する<sup>3</sup>. その際、注入改良地盤の剛性は、鋼管の剛性に比べて非常に小さいため、これを無視する. 長尺鋼管先受工は10°上向きに打設するため、改良範囲をトンネル壁面から2mとする.

#### c) I 期線覆工の増分応力の許容値および弾性係数

覆工増分応力の許容値は、表4より算定する<sup>4</sup>. I期線トンネルの覆工の健全度は事前調査結果よりB, OKである. I期線の施工時に試験を行って得られた覆工の28日強度結果より25N/mm<sup>2</sup>を覆エコンクリートの強度とする. 増加応力の許容値は圧縮応力が7.5N/mm<sup>2</sup>, 引張応力が1.5N/mm<sup>2</sup>となる.

解析に用いる I 期線覆工の弾性係数は、設計基準強度 との関係 $^{5}$ より、 $2.55 \times 10^{4} (N/mm^{2})$ とする。

#### d) 解析モデル

図-12に三次元解析モデル図を示す. 起点側の坑口盛 土付近を除いたSTA.881+96からSTA883+76までの180m間 とする.

図-13, 図-14に代表断面① (検証断面: STA,883+97) と代表断面② (最接近断面: STA,882+97) の二次元解析モデル解析モデルを示す. 低土被りであるためリバウンド量が多くなることを考慮し,下方領域はIDとした.

#### e) 解析ステップ

解析ステップは、**図-8**に示す実際の掘削手順と同じで、 三次元掘削解析では I 期線トンネルを起点側から掘削後、 終点側から I 期線トンネルを掘削するように解析を行う.

二次元掘削解析では特性曲線を用いて掘削解放率を設定した.補助ベンチ付全断面掘削でインバートを早期閉合するため、掘削解放率は上半、下半、インバートで別々に設定した. 図-15に解析ステップ図を示す.

#### f) 解析ケース

二次元掘削解析では、**図-16**に示すように長尺鋼管先受工を120°の範囲で採用した場合、 I 期線側のSLまで範囲を拡げた150°の範囲で実施した場合で検討した.

表-3 代表断面の地山の変形係数と選定理由

代表断面	位置(Ⅲ期線距離程)	変形係数(MPa)	選定理由
1)	STA.883+59	300	DIとDⅢの境界
2	STA.882+97	220	最接近断面
3	STA.882+40	320	検討区間の中央
4	STA.882+10	280	検討区間の中央

表-4 覆工増加応力の許容値の目安4)

既設トンネル覆工 の健全度判定区分	増加圧縮応力 (N/mm²)	増加引張応力 (N/mm)
В, ОК	0.3 σ <sub>ck</sub>	0.06 ♂ck
Α .	0.2 σ <sub>ck</sub>	0.04 σ <sub>ck</sub>
AA	0.1 σ <sub>ck</sub>	0.02 σ <sub>ck</sub>



図-12 三次元解析モデル図

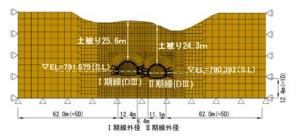


図-13 二次元解析モデル図(代表断面①:検証断面)

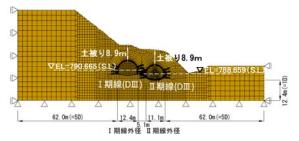
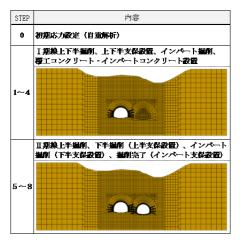


図-14 二次元解析モデル図(代表断面②: 最接近断面)



**図-15** 解析ステップ図

また,通常の9mシフトの場合と,4mシフトで全ての断面で2重(ダブル)となる場合を考えた.

#### (2) 解析結果

#### a) 三次元掘削解析の結果

30m毎に選定した代表断面5断面で I 期線覆工に発生する増分応力をまとめた結果を表-5に示す. 長尺鋼管先受工を採用していない場合の結果である. 許容値を超える断面もあり, 長尺鋼管先受工などの補助工法を適用する必要がある. また, 最接近断面の前後30mの範囲で覆工の増分応力が大きくなっている. そのため, 主計測断面 I の最接近断面を着目断面とする.

#### b) 二次元掘削解析の結果

図-17, 図-18に解析結果を示す.トンネル変形図では II 期線トンネル掘削によって II 期線は横に拡がる変形をする. I 期線覆工の増分応力では,長尺鋼管先受工を  $150^\circ$  の範囲に打設しているため,引張の許容値  $1.5N/mm^2$ 以下の発生応力となっている.

表-6に各区間で I 期線の覆工増分応力が許容値以下となる長尺鋼管先受工の仕様を示す. 最接近断面を代表断面とする区間②では, 150°ダブルにする必要があり, 区間①と区間③では150°必要となる.

いずれの区間でも補助ベンチ付全断面掘削によるイン バート早期閉合を行う.

#### 7. 検証断面の再現解析と最接近区間の予測解析

地山物性値の妥当性を確認するために検証区間 (STA.883+77~+41:L=36m)を設けて検証断面である STA.883+59の計測値と解析値を比較した.解析条件を見直して二次元FEM解析を行い、計測結果を再現した.また、検証区間の再現解析を基に、今後の近接施工区間で予測解析を行い対策工の検討を行った.

#### (1) 計測結果の分析

I 期線覆工への影響を把握するために、傾斜計とⅡ期線A計測に着目して検討を行う。 I 期線はⅢ期線のほぼ真横にあるため、中間地山の水平方向の変位計測によってⅠ期線への影響を把握することができると考える. また、Ⅲ期線A計測は、計測断面を多く設けることができ連続的に地山の挙動を捉えることができる. 主計測断面以外ではメインの計測項目となり、A計測結果とⅠ期線覆工増分応力の関係を把握しておくことが重要である.

I 期線内の計測項目 (覆工応力計, 画像計測) の計測 値は値が小さくばらつきがあるため, 参考値とし大きな動きがないことを確認するために用いた.

#### a) 傾斜計

切羽の進行に伴う変位の経距変化を図-19に示す. 最

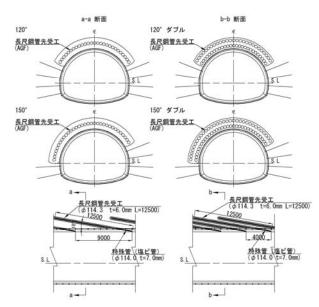


図-16 二次元解析モデル図 (代表断面②:最接近断面)

表-5 I 期線覆工の増分引張応力 (N/mm²)

	STA. 892+07	STA. 892+37	STA. 892+67	STA. 892+97 最接近部	STA. 893+27
内空側	-0.74	-0.95	-1.18	-1.13	-1.08
地山側	-0.61	-0. 85	-1.63	-1.78	-1.98

許容値 (-1.50N/mm²) を超過

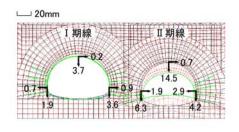


図-17 トンネル変形図 (代表断面①: 150°)

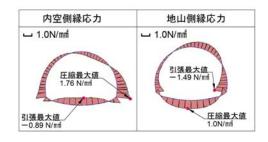


図-18 I 期線覆工応力図(代表断面①:150°)

表-6 各区間で必要な長尺鋼管先受工

区間	代表断面	必要な長尺鋼管先受工
1	① STA883+59	150°
2	② STA.882+97	150°ダブル
3	③ STA.882+40	150°
4	④ STA.882+10	なし

大変位を示す測点の結果である. 切羽が計測断面のlm 手前に来るまでほとんど変形せず先行変位が抑制されて いることが分かる.

傾斜計の計測結果より先行変位が抑制されていること が分かった. そこで,特性曲線を変化させて傾斜計の経 時変化と合うような特性曲線を求めた.

#### b) Ⅱ期線A計測

表-7に計測結果と予測解析の結果を示す. 予測解析との比較では, 天端沈下はほぼ等しいが, 上半の内空変位は計測結果のほうが予測結果よりも大きい. 再現解析では, 側圧係数を大きくする必要があると思われる.

#### (2) 検証区間の再現解析

計測結果と予測解析結果を比較し、以下に示す解析条件の見直しを行う.

#### a) 掘削解放率の見直し

傾斜計の計測結果と予測解析の結果では先行変位の割合が大きく異なったため、切羽到達までの解放率を小さくして傾斜計により計測された水平変位の経時的な変化と合うように特性曲線を求めた.

#### b) 側圧係数の見直し

A計測の変位モードが異なっていたことから計測データに合うように側圧係数を大きくする.

Ⅱ期線A計測の天端沈下と内空変位の割合が計測値と 等しくなるように側圧係数を変化させた結果, 0.85が最 も良く一致した. 予測解析では0.50を用いていた.

#### c) 変形係数の見直し

傾斜計, II 期線A計測結果と合うように変形係数を変化させて求めた結果, 570MPaが最も良く一致した. 予測解析では, I 期線の施工実績から300MPaを用いていた. 変形係数は1.9 (=570/300) 倍となり, この倍率を今後の予測解析で用いる.

#### d) 再現解析結果

上半掘削時と掘削完了時における傾斜計の水平変位の分布図を図-20に示す。上半掘削時では、両者は良く一致している。掘削完了では、インバート掘削によるリバウンドの影響でトンネル下方で変位が大きくなっており最大値は異なる結果となっている。ただし、I期線へ及ぼす影響を考えるとトンネル側方の変位分布に着目すべきである。トンネル側方では約0.7mmの差があるが、両者のモードはほぼ等しい。I期線トンネルが全体的に移動する場合は、I期線覆工には増分応力は作用しないため、モードが再現できていることから、I期線覆工に及ぼす影響については解析で評価できるものと考えられる。

表-8に計測結果と再現解析の結果を示す. 天端沈下, 上半内空変位は良く一致する結果である.

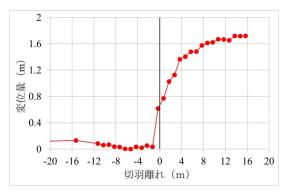


図-19 傾斜計の経距変化図

表-7 II 期線A計測(予測解析との比較)

	沈下量(mm)				
	天端	左肩	右肩	左脚	右脚
計測結果	-3.4	-3.1	-3.2	-3.0	-2.2
解析結果	-3.7	-1.5	-1.2	2.6	29

	内空変位量(mm)				
	上半水平	左斜め	右斜め	下半水平	
計測結果	-3.9	-3.4	-2.0	-4.0	
解析結果	-1.0	-15	-2.1	-0.1	

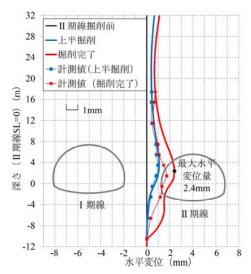


図-20 Ⅰ期線覆工応力図(再現解析との比較)

表-8 II 期線A計測(再現解析との比較)

	沈下量(mm)				
	天端	左肩	右肩	左脚	右脚
計測結果	-3.4	-3.1	-3.2	-3.0	-2.2
解析結果	-33	-1.9	-1.7	0.4	0.4

	内空変位量(mm)				
	上半水平	左斜め	右斜め	下半水平	
計測結果	-3.9	-3.4	-2.0	-4.0	
解析結果	-3.9	-2.2	-2.8	-2.6	

#### (3) 最接近区間の予測解析

検証断面の再現解析の結果を基に今後掘削する区間② である最接近区間の予測解析を行い、管理基準値の設定、 補助工法の検討を行う.

#### a) 解析条件

地山の変形係数は当初想定していた値の1.9倍となったため、I期線の施工実績より求めた変形係数推定値の平均値を1.9倍した値を解析で用いる。事前の予測解析では、変形係数を220MPaと想定していたが、今回は1.9倍して410MPaとする。

解析ケースは**図-21**に示すように、長尺鋼管先受工がない場合、打設範囲が120°の場合、150°の場合で行った。いずれのケースでも補助ベンチ付全断面掘削とし、インバートは早期閉合した。

その他の解析条件については、再現解析と同様とした.

#### b) 解析結果

図-22、図-23に解析結果を示す.トンネル変形図では II 期線トンネル掘削によって I 期線トンネルは全体的に II 期線側に変形する. I 期線覆工の増分応力では,長尺鋼管先受工を $150^\circ$  の範囲に打設した場合,引張の許容値 $1.5 N/mm^2$ 以下の発生応力となっている.

表-9に I 期線覆工の増分引張応力の解析結果を示す. 長尺鋼管先受工を120°の範囲に打設するケース II では若干許容値を超えるが,120°範囲を採用し切羽観察による地山の確認,管理レベルに応じた計測管理を行いながら、最接近区間の掘削を進める.

#### c) 最接近区間の管理基準値の設定と施工管理体制

予測解析の結果から管理基準値を設定した. **表-10**に 施工管理体制を, **表-11**に管理基準値のまとめを示す.

I 期線への影響は水平変位が最も支配的であると考え、 A計測は上半内空変位で管理する.

#### 8. 最接近断面の再現解析と今後の予測解析

#### (1) 検討の概要

最接近断面に設置した中間地山部の傾斜計が管理基準値IIを超え、掘削を一時停止した. その時の上半切羽の位置は上半が最接近断面の1m手前である.

I 期線覆工の健全性を確認するために、最接近断面の傾斜計、最接近断面手前のA計測結果を用いて再現解析を行い補助工法の検討を行った. その結果、長尺鋼管先受工の打設範囲を120°から180°に変更することで I 期線覆工の増分応力が許容値以下になる結果となった. 長尺鋼管先受工を180°打設してから掘削を再開した.

再現解析は、最接近断面を切羽が通過していない段階で実施したため、最接近断面に設置した傾斜計の値が十分に出ていなかったので、インバートの切羽が最接近断面を過ぎた段階で再び再現解析を行った。再現解析の結果を基に今後の予測解析を行い、補助工法の検討と管理基準値の設定を行った。

本章では、切羽通過後の検討結果について示す.

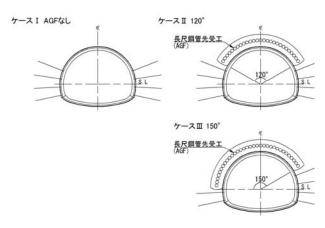


図-21 最接近予測解析における解析ケース

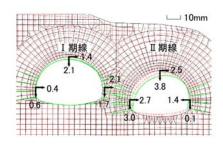


図-22 トンネル変形図 (代表断面②:150°)

内空側縁応力	地山側縁応力
<b>□</b> 1.0N/mm²	□ 1.0N/mm²
圧縮最大值 1.11N/mm	引張最太値 -1.07 N/mil
引張最大値_/ -1.47 N/mm	圧縮最大値 1.07N/mi

図-23 I期線覆工応力図(代表断面②:150°)

表-9 Ⅰ期線覆工応力に発生する増分引張応力

解析ケース	長尺鋼管先受工	発生増分引張応力 (N/mm²)	許容引張応力 (N/mm²)
I	なし	-1.71	-1.50
П	120°	-1.51	-1.50
Ш	150°	-1.47	-1.50

表-10 管理基準値の設定と施工時の対応

管理レベル	施工時の対応	設定根拠
管理レベル I	計測頻度の増加	管理レベルⅢの 50%
管理レベルⅡ	追加対策工の検討	管理レベルⅢの 75%
管理レベルⅢ	工事中止 追加対策工の実施	予測解析の解析値

表-11 管理基準値一覧表

項	目	管理基準値 I	管理基準値Ⅱ	管理基準値Ⅲ	備考
Ⅱ期線 A (上半水		-2.0	-3.0	-4.0	縮みが負
傾斜	計	15	2.2	2.9	Ⅱ期線側 への変位が正

#### (2) 最接近区間の再現解析

検証区間の再現解析と同様に,最接近断面の傾斜計, II 期線A計測の結果から計測結果に合うように二次元掘 削解析の解析条件を求めた.

再現解析の結果,地山の変形係数は170MPa,側圧係数は0.88となった.また,傾斜計の計測結果から特性曲線を求めた.

#### (3) 今後の区間の管理基準値の設定と施工管理体制

今後の施工区間では、傾斜計がないため、Ⅱ期線A計測の上半水平変位で施工管理を行った. Ⅰ期線覆工に発生する増分引張応力の値が許容値の1.10N/mm²もしくは1.50N/mm²となるように、地山の変形係数を変更させ、その時のⅢ期線上半水平変位を解析で求め、それぞれ管理基準値Ⅲ、管理基準値Ⅲとする.

管理基準値と施工管理体制の一覧表を表-12に示す.

#### 9. おわりに

上野第一トンネルのII 期線工事では、I 期線トンネルとの離隔が最小5mとなる超近接施工であった。主計測断面を2断面設け、三次元掘削解析および二次元掘削解析により、計測結果と解析結果を比較し、その結果を次の施工に反映させる情報化施工を実施した。情報化施工により、掘削工法、補助工法を検討し、管理基準値の設定を行った。

補助工法として,長尺鋼管先受工と補助ベンチ付全断面掘削を行った.長尺鋼管先受工は先行変位を抑制し,早期閉合はⅡ期線トンネルの変位を抑えることで,Ⅰ期線トンネルの変形を小さくし,健全性を確保することが

表-12 管理基準値の設定と施工時の対応

管理基準値	上半水平変位 (mm)	設定根拠	施工時の対応			
管理基準値 I	-4.1	管理基準値Ⅲの 50%	計測頻度の増加			
管理基準値Ⅱ	-62	上半部内空側の 増分引張応力が-1.1Nmm <sup>2</sup>	追加対策工の検討			
管理基準値Ⅲ	-8.1	上半部内空側の 増分引張応力が-1.5N/mm²	工事中止 追加対策工の実施			

できたと思われる.

I 期線トンネルの挙動を直接測れない場合の計測管理 を行った施工実績について報告した. 類似の近接施工を 行う際に参考となれば幸いである.

#### 参考文献

- 1) 谷卓也,篠崎哲明,高橋聡尚,林邦彦,今塩屋勝: デジタル画像によるトンネル覆エコンクリートの変 位計測技術の開発と適用,土木学会第71回年次学術 講演会,VI-934,2016.
- 2) 東日本高速道路株式会社,中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社:設計要領第三集トンネル 編(1)トンネル本体工建設編,p.86,2015.
- 3) 日本道路公団試験研究所:トンネル数値解析マニュアル(都市部トンネル解析留意事項編), pp.13-16, 2002.
- 4) 東日本高速道路株式会社,中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社:設計要領第三集トンネル 編(1)トンネル本体工保全編(近接施工),p.24, 2006.
- 5) 社団法人土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], p.39, 2012.

(2016.8.5 受付)

## INFLUENCE PREDICTION AND COUNTERMEASURES OF $2^{\rm ND}$ TUNNEL NEIGHBORING $1^{\rm ST}$ TUNNEL

### Isamu OTSUKA, Masaru IMASHIOYA, Masahito YOSHIKAWA, Tetsuaki SHINOZAKI and Akihisa TAKAHASHI

Uwano-daiichi tunnel has been excavated closely to 1<sup>st</sup> tunnel at minimum distance of about 5m between each tunnel wall. In order to prevent 1<sup>st</sup> tunnel from damaging, prediction analyses have been carried out by using monitoring results. As the result, steel pipe forepiling and early invert closure are available methods for neighboring construction.

According to the result of numerical analyses, control standard values for monitoring are determined properly. This tunnel has been constructed safely and reasonably by applying observational construction methods.