

# 27 工程管理

## トンネル坑口上部変状箇所における のり面補強対策工の設計方針について

無所属

大成エンジニアリング株式会社

施工管理部次長

幸山一成○

五洋建設株式会社

土木営業本部主任

上野淳

大成エンジニアリング株式会社

施工管理部課長代理

石野法道

### 1. はじめに

当該工事は、東海環状自動車道東回り可児御嵩IC～土岐JCT間付加車線事業6.0kmのほぼ中央に位置している久々利第二トンネル（L=299m）と久々利第一トンネル（L=202m）のトンネル工事である。本工事は、供用路線の近傍でトンネル掘削を実施するため、供用トンネルへの影響を監視しながら施工する必要があった。坑口は急峻な地形に位置し、特に久々利第二トンネル終点側坑口（掘削開始側）は、偏土圧を受けやすい地形を呈しており（図-1）、トンネル掘削中における地山の変位が懸念されていたが、20m掘削した時点で坑口付近に急激な変位が発生した。幸い、供用

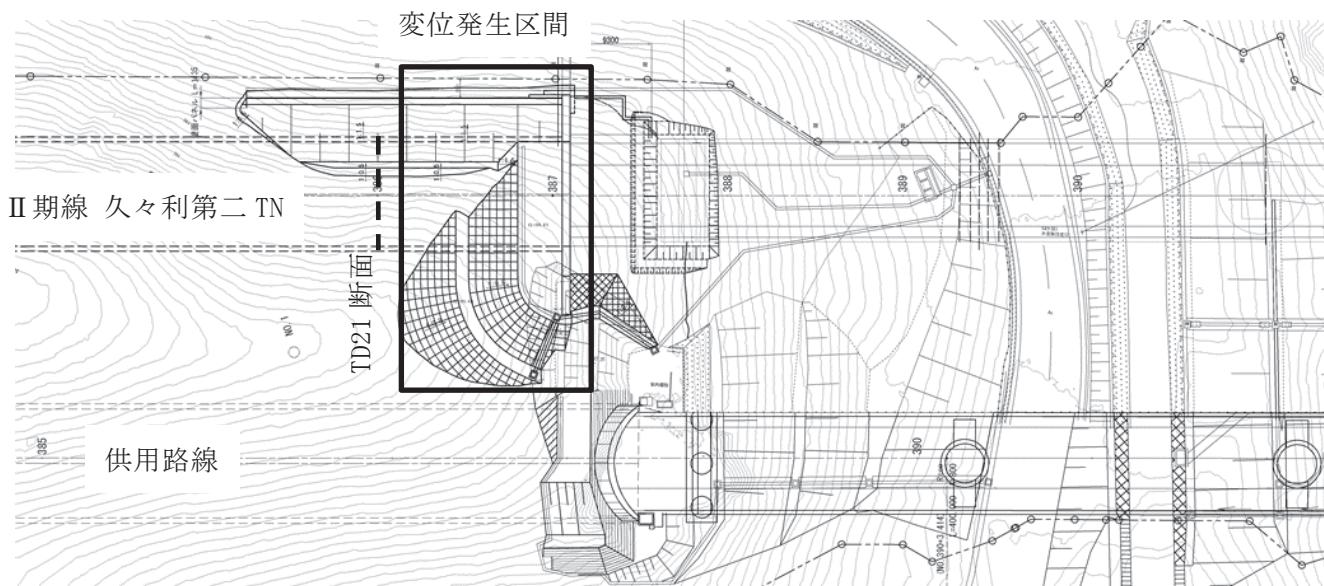
路線への影響は確認されなかったが、恒久的なのり面安定対策が課題となり、本報文は、その際の設計方針を示したものである。

#### 工事概要

- (1) 工事名：東海環状自動車道  
久々利第二TN他1TN工事
- (2) 発注者：中日本高速道路株式会社  
名古屋支社
- (3) 工事場所：岐阜県可児市久々利
- (4) 工期：令和3年2月6日～  
令和6年10月24日（変更予定）

### 2. 現場における問題点

久々利第二トンネルは、供用路線への影響を考



慮し、坑口部のトンネル変位計測（A計測）の管理基準値を通常より厳しく定め、供用路線へ影響が出る前に対策を講じられる体制を構築した。しかし、掘削開始から僅か20m掘進した段階で坑口付近に急激な変位が発生し、半日（12時間）で管理基準値を突破した。

現場は、トンネル掘削を一時中止し、供用路線へ影響が出ないように対策工をⅡ期線トンネル側から計画・実施することにより、供用路線へ影響を出さずに偏圧地形部分を突破することが出来た。

ここで、今回発生した変状のメカニズムについて計測結果から推測、整理し、今後同じような変状が起りうるのか、また、その際ののり面安定対策をどう設計するかが課題となった。

### 3. 変位事象の考察

今回の変状については、下記のとおり考察した。

- 1) トンネル坑口部は尾根部の風化が厚い部分が長雨に曝されたことにより間隙水圧が増していったと想定される。
- 2) トンネル掘削によるゆるみが発生した際に雨水の影響で岩片同士を接合する粘着層が流出し、トンネル上方の地山が割目から離する方向に土圧として作用していたと想定される。

これらのことから、想定外の土荷重がトンネル支保に作用し相対的に土被りが薄い谷側に応力が発生したと推定し、図-2に、計測結果から推測される荷重分布図を示す。

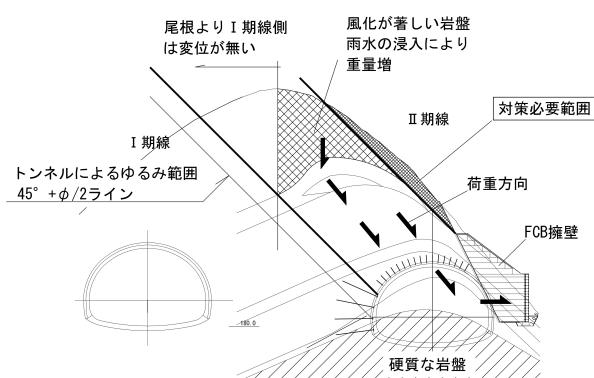


図-2 変状発生のメカニズム図

図-2で示した想定ゆるみ範囲は、変状対策として実施したトンネル補助工法で受け持っている。

しかし、FBC擁壁上部のり面については過去の表層崩壊の形跡があったこと、トンネル変位が発生したこと、供用後の恒久的な安全確保及びのり面下の市道への安全確保を考慮し、のり面安定対策が必要と判断した。

そこで、のり面の変位とトンネル内空変位の関係性を整理し、トンネル内空変位が以下のいずれの影響に起因するのかを再度検証した。

1. トンネル掘削
2. 上部のり面
3. 1,2 の複合同時の影響による動き
4. FBC擁壁単体の動き（1,2 に関連していない）

検証期間は、①導坑拡幅開始から1次支保完成までと②1次支保完成5ヶ月後で行った。

- ①導坑拡幅開始から1次支保完成までの変位の挙動

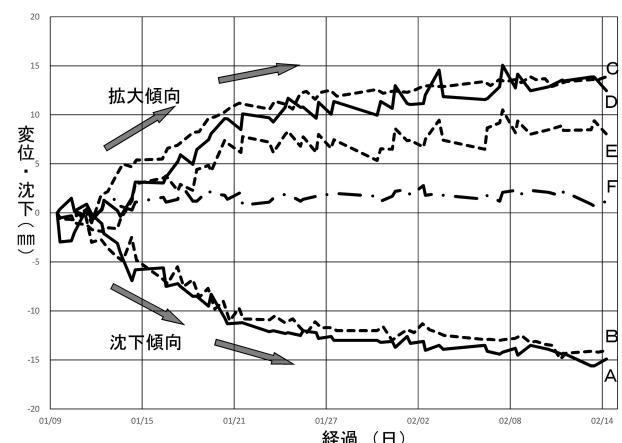


図-3 1次支保完成までの経時変化図

TD21断面（図-1参照）の経時変化図を図-3に示す。導坑拡幅時、トンネル坑内の天端沈下（A）と地表面沈下（B）は同様の挙動を示している。拡幅完了後2/14時点の沈下量も同様の値を示した。また、トンネル内空変位（C）と地表面変位（D）、FBC平面変位（E）は、同様の挙動を示しており、拡幅完了後2/14時点の変位量も同様の値を示していた。しかし、FBCの沈下（F）は発生していなかった。

平面変位が見られた箇所をFBCと地表面に分

けて確認すると 地表面変位は、地山尾根部から FCB側（谷側）に変位していることが確認された。

TD21断面において、トンネル中心上で7.1mm、FCB天端で12.7mmの変位量を確認した。坑内内空変位はFCB側上半のみ、8.2mm FCB側（谷側）に変位していた。

## ② 1次支保完成 5ヶ月後の変位の挙動

TD21断面の経時変化図を図-4に示す。経時変化は計測誤差を含み、バラツキが大きい為、近似曲線で示した。久々利第二トンネルが貫通した4月10日以降、すべて横ばい（変位が無い）となり、トンネル坑内・地表面共に変位量は±5mm以内に収まっていることを確認した。

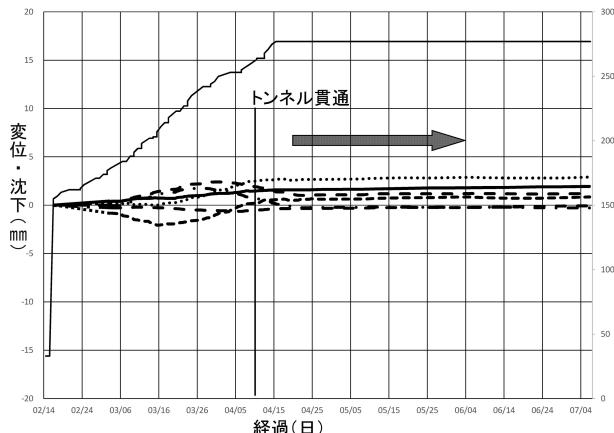


図-4 1次支保完成から5ヶ月の経時変化図

以上①、②より、導坑拡幅時は、トンネル掘削に伴う内空変位量と同量の変位が地表面、FCB擁壁に確認出来ることから、これらの変位はトンネル掘削の影響によりトンネル上部の地山（のり面）が谷側に動いたことによるものだと推察できる。

導坑拡幅完了後の2月14日以降は、貫通した4月10日から影響を受けなくなっていることが図-4より確認出来る。これらより、変位はトンネル掘削の影響に起因して発生したといえる。また、貫通後、地山側からの変位を受けていないことから、今後変位が発生するリスクはかなり低いといえる。以上のことからトンネルの変位は収束し、今後、大規模な変位は発生しないと結論付けた。しかし、トンネル掘削で緩んだ範囲ののり面へはのり面補強は必要と判断した。

## 4. のり面安定対策の設計方針

久々利第二トンネルの終点側坑口は、建設のために設置した仮桟橋工がないと到達できない急峻な場所にある。なので、供用後、同じ場所で変位、変状が発生しても容易に対策工を講じることが不可能であり、それら現地特性を考慮する必要があった。下記に検討した内容を記す。

- 1) トンネル掘削でのり面が緩んだ範囲（表層から1m）を想定すべり線とし、安全率が「1」になるように想定C,  $\phi$ を逆解析から算出した。
- 2) 一般的な対策である吹付のり枠工（F-300 2m×2m）+鉄筋補強（L=2.0m）に対する安全率を算出した結果、安全率は、「1.12」となり、計画安全率「1.20」を満足する事が出来なかった。
- 3) 次に補強鉄筋3.0mで同様に算出した結果、安全率は「1.24」と計画安全率以上となった。
- 4) 新たに設置した傾斜計のボーリング結果から得られた地山の地質条件を基に補強鉄筋3.0mで再度算出した結果、安全率は、「1.07」と計画安全率を確保することが出来なかった。
- 5) 地山の地質条件から新たに想定すべり線（図-5）を設定し、計画安全率「1.20」を確保できるように安定計算を実施した結果、鉄筋補強5.0mで、表層から1mのゆるみに対する安全率は「1.48」となり、計画安全率「1.20」以上を確保することができた。

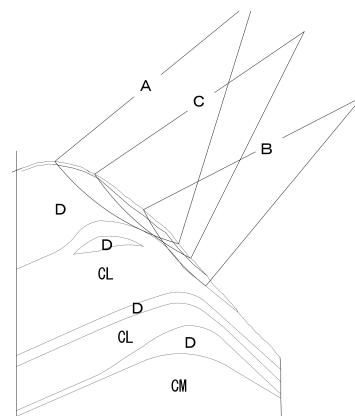


図-5 更なる安全確保の為の想定すべり線

これは、鉄筋補強2.0mの際の対策に対し、安全率が1.32倍向上したことになる。

計算結果を図-6の表内に示す。

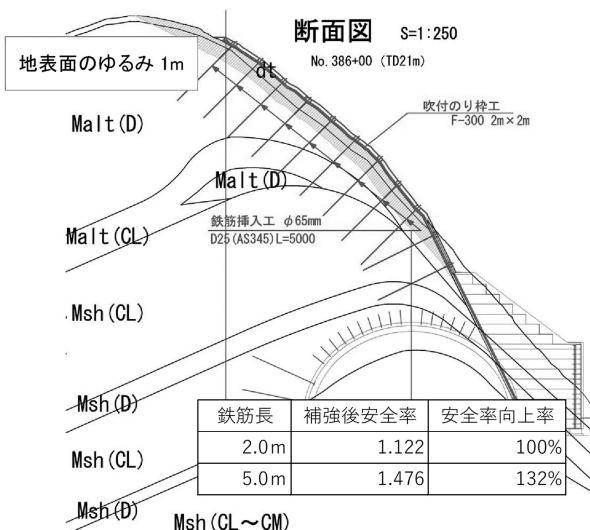


図-6 補強後安全率の比較

現地の条件等を踏まえ、のり面安定対策工は、吹付のり枠工 (F-300 2m×2m) + 鉄筋補 (L=5.0m)で設計する方針とした。

## 5. 現時点での評価と改善すべき点

久々利第二トンネルの変状は、偏圧地形を呈していることが事前に分かっていたにも関わらず、発注前に実施した調査ボーリング結果(TD20m付近)のみを参考に設計し、坑口部の地山劣化を評価出来なかったことが今回の変位の要因の一つと考え、反省点と考える。通常であれば、偏圧地形対策としては、抱き擁壁(コンクリート擁壁)が妥当であるが、ボーリング結果を用いてFEM解析を行った結果、偏土圧は発生しない。との結果であった為、掘削土量が抑えられるFCB擁壁としてしまった。ただ、トンネル施工中のA計測の管理基準値を下げていたことで供用路線への影響がなかったことは不幸中の幸いであった。

今後同様な偏圧地形を呈している場合は、まず、抱き擁壁による設計を検討し、工程見直しを含め、早急に発注者と協議する必要があると考える。

また、今回検討したのり面安定対策工は、開通後の実施が困難であるため、通常より高めの安全

率を用いた設計とした。当初設計からこのような設計は出来ないが、何らかの変位が予測されているのであれば、地質調査を追加で実施し、標準計画+ $\alpha$ の計画提案を行い、対策工の安全率を向上させることにより、供用後の地山変位リスクが軽減されるのであれば、提案すべき案件であると考える。

最後に本工事の施工にあたり多大なるご指導を頂きました、中日本高速道路株式会社の皆様方に厚くお礼申し上げます。

以上