

県道直下 3.8 m にトンネルを掘る (近畿自動車道紀勢線 後呂地トンネル工事)

Tunnel Excavation at a Depth of 3.8 Meters below Prefectural Road (Ushiroji Tunnel Work at Kinki Expressway Kisei Line)

岡田 弘*
Hiroshi Okada

岡田 謙吾*
Kengo Okada

要 約

後呂地トンネルは、トンネル坑口部において県道と土被り 3.8 m で交差している。そのため掘削による県道沈下が懸念され、坑口から県道（影響範囲：約 20 m）を抜けた約 43 m 区間にわたって以下の沈下対策工を実施した。

①パイプルーフ工 ②プレロードシェル工法 ③瞬結高強度吹付コンクリート工 ④補助ベンチ付全断面掘削工法による早期断面閉合 ⑤地表面沈下自動計測及び一次インバート施工管理システムによる情報化施工

本稿では、県道沈下対策工の概要とその施工実績について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 施工実績
- § 3. まとめ

§ 1. はじめに

近畿自動車道紀勢線は、大阪府松原市を起点とし、和歌山県和歌山市及び田辺市を經由し三重県多気郡多気町に至る延長約 340 km の高速自動車道である。京阪神と紀南を結ぶ幹線道路として、輸送時間の短縮や一般道路の混雑緩和を図り、地域相互の振興と発展に寄与することを目指している。後呂地トンネルは、この近畿自動車道紀勢線における全長 398 m の二車線道路トンネルである。トンネル掘削工法は、トンネル全線にわたり機械掘削による上半先進ベンチカット工法で計画されている。トンネル位置図を図一に示す。

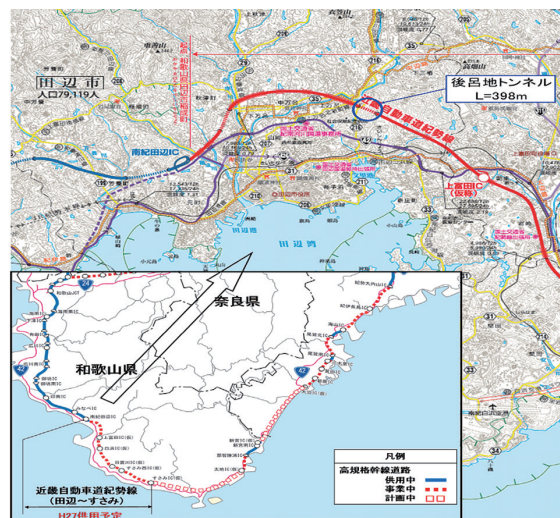
本稿は、トンネルの起点側坑口部直上にて交差する県道に対して行った県道沈下対策工の概要とその施工実績について報告するものである。

1-1 工事概要

発注者：国土交通省 近畿地方整備局

工事名：近畿自動車道紀勢線 後呂地トンネル工事

工事場所：和歌山県田辺市上万呂～新庄町地先



図一 トンネル位置図



写真一 トンネル坑口部の外観

* 西日本（支）後呂地トンネル（出）

工事延長：525 m

トンネル延長：398 m

1-2 起点坑口部の地形・地質概要

坑口部は、写真-1 に示すように県道温川田辺線と土被り 3.8 m で交差し、土被り厚が薄いことからグランドアーチが形成されにくい。地質は、崖錐堆積物が地表より約 8 m 程度堆積し、その下層に軟岩～中硬岩の礫岩が分布する。なお、切羽に出現する崖錐堆積物は、粘土混じりの礫質土より成り、含有する礫は 5 cm 以下が主体で N 値は 15 前後を示している。湧水に関しては、水平ボーリングの結果、崖錐堆積物と基盤岩との境界で若干確認されたのみである。

以上の条件から、トンネル掘削による県道の沈下が懸念され、坑口から県道（影響範囲：約 20 m）を抜けた約 43 m 区間にわたって各種の沈下対策工を実施した。

1-3 県道沈下対策の管理基準

地表面沈下対策の管理基準については、当初 50 mm を基準値としていたが、受注後、地下埋設物の管理者との協議の結果、表-1 に示すように 25 mm を基準として適用することとなった。

そこで、この管理基準値を基に、表-2 に示すようにレベルⅠ～Ⅲの3段階の自主管理レベルを設定し、A～Dの4段階の管理体制とした。なお、自主管理レベルは、管理基準値（25 mm）の 80% にあたる 20 mm を最大許容値として設定している。

1-4 県道直下沈下対策工の概要

グランドアーチが形成されにくい低土被り部でのトンネル掘削に伴う地山の変形により、直上に位置する県道の沈下等の影響を抑制するため、下記の各効果を期待した対策工を入札時の提案技術に含め実施した。

(1) パイプルーフ工

先受け効果による先行変位の抑制と天端部地山の安定性確保、ならびに地中埋設管への影響低減

(2) プレロードシェル工法

トンネル掘削時の周辺地山のゆるみ抑制とパイプルーフ支点効果による先行変位抑制

(3) 瞬結高強度吹付コンクリート工

トンネル掘削時の変形抑制と切羽自立性の向上

(4) 補助ベンチ付全断面掘削工法による早期断面閉合

上半切羽近傍での一次インバート施工による断面閉合で変位の早期収束

(5) 地表面沈下自動計測及び一次インバート施工管理システムによる情報化施工

施工時の変位状況をリアルタイムに監視して安全の確保および施工への早期フィードバック

県道沈下対策工（縦断面図）を図-2、標準断面図（DⅢ

表-1 各地下埋設物管理者による管理基準値

埋設物管理者	管理基準値	摘 要
田辺市水道局	50 mm	
関西電力	25 mm	
N T T 西日本	50 mm	20 mm 沈下で導通検査

表-2 各管理レベルに対する対応と追加対策工（案）

管理体制	A 通常体制	B 注意体制	C 要注意体制	D 厳重注意体制
対応方針	通常監視	監視強化	軽微な追加対策工の検討	追加対策工の検討
計測結果	レベルⅠ未満 10 mm 未満	レベルⅠ～Ⅱ 10～15 mm	レベルⅡ～Ⅲ 15～20 mm	レベルⅢ以上 20 mm 以上
対策工(案)			支保工連結 増ロックボルト	増吹付コンクリート 仮インバート

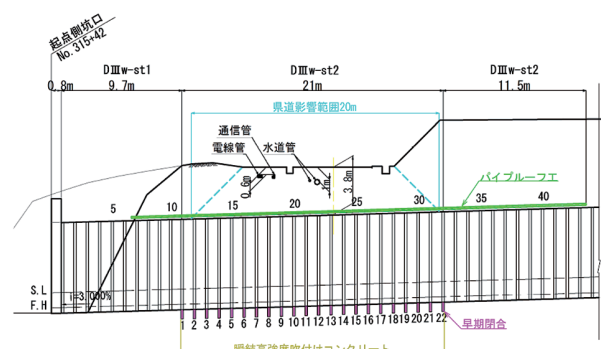


図-2 県道沈下対策工（縦断面図）

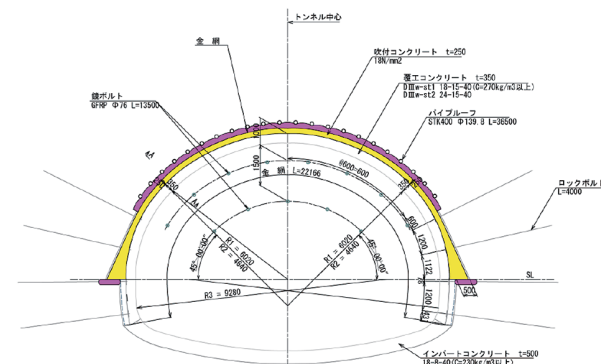


図-3 標準断面図（DⅢw）

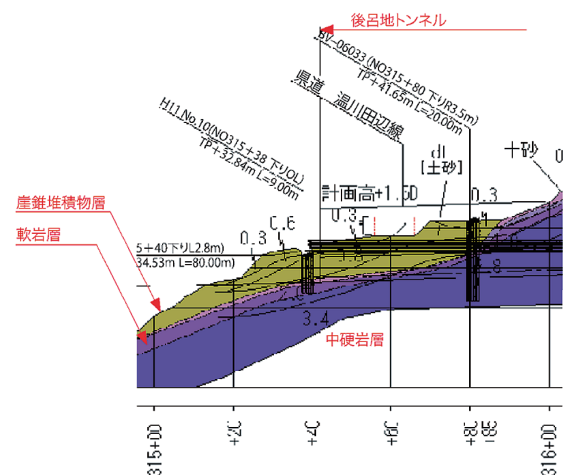


図-4 坑口付近の地質縦断面図

w) を図-3 に、坑口付近の地質縦断面図を図-4 にそれぞれ示す。

§ 2. 施工実績

2-1 沈下対策工の施工実績

(1) パイプルーフ工

県道の地中埋設物は、概ね土被り 1.0 m の位置にある。特に水道管（φ 400）とは離隔が 2.3 m と接近するため、パイプルーフ（L=36.5 m）施工時及びトンネル掘削時に影響を受け易い。そこで、パイプルーフを高い精度で施工管理することにより、先受け効果の向上による先行変位の抑制、トンネル掘削時の天端部の安定性を確保するとともに、地表面及び地中埋設管への影響を低減した。

パイプルーフの施工においては、長距離高精度直線削孔工法の採用により、削孔時のボーリング先端位置を高精度に検知し方向制御を行って、図-5 の通り削孔精度を 1/250 以下で行った。写真-2 に施工状況を示す。

(2) プレロードシェル工法

鋼アーチ支保工と地山との隙間は、周辺地山のゆるみの要因になる。掘削後速やかに地山の荷重を鋼アーチ支保工に伝達させ、パイプルーフの支点効果を高めることが重要になる。

そこで、県道影響範囲（20 m 区間）において、鋼アーチ支保工（脚部と天端部 120° 範囲）と地山との間に特殊耐圧袋を設置し特殊グラウト材を入れ膨張させることで鋼アーチ支保工と地山を直ちに密着させ、支保工脚部の沈下及び周辺地山のゆるみを抑制するプレロードシェル工法を適用した。写真-3 に施工状況を示す。

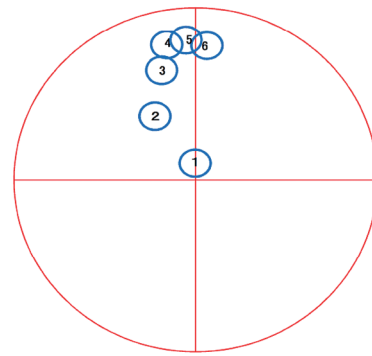
(3) 瞬結高強度吹付コンクリート工

トンネル掘削時の切羽の自立性を向上させるため瞬結高強度吹付コンクリートを毎切羽の鏡に実施した。瞬結高強度吹付コンクリートは、高い粘着力及び拘束力を有し、標準案の長尺鏡ボルトとの相乗効果により切羽の崩壊防止、あるいは地表から浸透してきた雨水に対しては被覆効果により侵食防止に効果的であった。

また、上・下半および一次インバートにも初期強度の発現が早い瞬結高強度吹付コンクリートを使用することで支保効果を早期に発揮し、変位を抑制することができた。表-3 に、瞬結高強度吹付コンクリートの経時変化強度を示す。

(4) 補助ベンチ付全断面掘削工法による早期断面閉合

瞬結高強度吹付コンクリートやインバートストラットのような施工直後から強度の高い支保を採用し、上半切羽の近傍で早期にトンネル断面を閉合・リング構造とすることで、トンネルの変形による地表面（県道）及び地下埋設物への影響を抑制した。写真-4 に施工状況を示す。



計測回数	計測距離(mm)	計測誤差(mm)	精度(目標精度 1/250)	備考
1	6250	22	1/284	
2	12250	41	1/299	
3	18250	62	1/294	
4	24250	77	1/315	
5	30250	80	1/378	
6	34020	78	1/436	

図-5 パイプルーフ削孔精度の記録簿



写真-2 パイプルーフ施工状況



写真-3 プレロードシェル施工状況

表-3 瞬結高強度吹付コンクリートの各時間当たりの強度

ブルアウト引抜き換算強度 (N/mm ²)			コア圧縮強度 (N/mm ²)
材齢 10 分	材齢 3 時間	材齢 24 時間	材齢 28 日
3.8	8.9	20.1	50.8

(5) 地表面沈下自動計測及び一次インバート施工管理システムによる情報化施工

県道温川田辺線は生活に密着した重要路線であり交通量も多い。そこで、施工時における道路の沈下およびトンネルの変形状況をリアルタイムに監視できる情報化施工を採用することで、第三者を含めた安全の確保、施工への早期フィードバックが可能となり、安全・確実な施工の実現に寄与できた。

なお、導入した一次インバート施工管理システム¹⁾は、**図-6**に示すように切羽近傍の側壁肩部に設置したトータルステーションにより切羽の押し出し変位をノンプリズムでリアルタイムに自動計測・監視し、坑内の職員が持つハンディ PC 画面に自動で変位を表示、危険を知らせることができる。また、適宜、一次インバートの掘削高さ(出来形)の計測管理も行える。**写真-5**に PC 計測画面を示す。

§3. まとめ

3-1 トンネル掘削による直上の地表面(県道)沈下計測結果

トンネル掘削による地表面(No.315+65:県道センター)沈下の経時変化と切羽進行との関係を**図-7**に示す。

坑外に設置したトータルステーションによりノンプリズムで道路面を計測した結果、気温の影響により測定結果に一樣な変動が見られるが、道路の最終沈下量は概ね 15 mm 程度であり、追加の対策工は必要としなかった。また、トンネル横断方向の分布を見ると、切羽に向かってセンターよりやや左側で比較的大きな変位が見られた。これは、**写真-6**の切羽状況に示すように、風化し脆弱な崖錐堆積物が左肩部に最後まで存在していたため、沈下量が顕著に発生したと考えられる。

3-2 A 計測の結果

地表面沈下と同一地点(No.315+65)の A 計測結果を**図-8**に示す。瞬結高強度吹付コンクリートの採用および上半切羽近傍での早期断面閉合等により、グラウンドアーチが形成されにくい低土被り部で、しかも風化し脆弱な崖錐堆積物が出現する地山の掘削においても、トンネルの変形・沈下量は 5 mm 程度以内とごく小さいものとなった。

また、本トンネルでは、地表面での最終沈下量が約 15 mm であったことから、**図-8**の測定結果として表れない先行変位および掘削直後(A 計測のターゲット設置前)のゆるみ変位に関しても、パイプルーフ工およびプレロードシェル工法の採用により、約 10 mm 程度と比較的小さな変形・沈下量に抑えることができたと考える。



写真-4 一次インバート施工による早期断面閉合状況

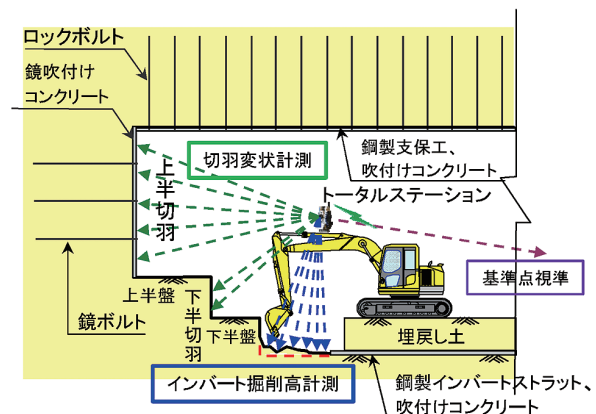


図-6 一次インバート施工管理システム概念図



写真-5 切羽押し出し変位の PC 計測画面

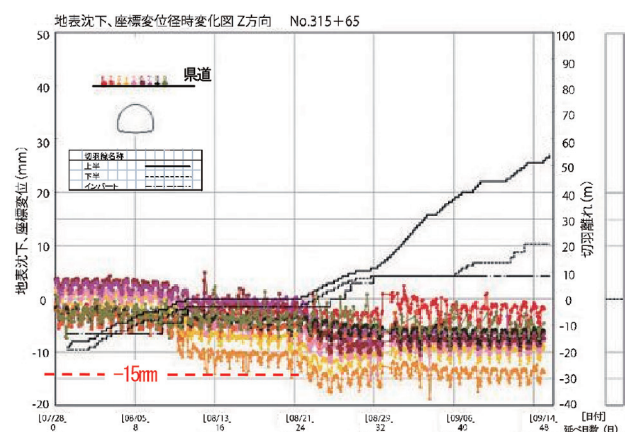


図-7 地表面(県道)沈下測定結果

3-3 まとめ

後呂地トンネルにおいて、当初から計画されていたパイプ工による沈下抑制効果を検討するために簡易FEMを行っている。その結果、算出された沈下量は 33.3 mm であった。したがって、パイプ工以外に実施した断面早期閉合、プレロードシェル工法および瞬結高強度吹付コンクリートの導入等により、沈下量が約 15 mm に低減できたことから、これらの工法により約 55% の沈下抑制効果が得られたと考える。

このように、トンネル上部に道路、地下埋設物等の重要構造物がある場合、できる限り沈下・変形量を抑制し、より安全側の施工を行うために考える全ての対策工を採用してしまうケースがある。そして、その施工の良否については、比較対象がないため、地表面沈下量の数値だけで判断するという結果になっている。今後、トンネル中間部にも低土被り部 (1.0 D) があるため、同様の地質であれば、異なる対策工を行い、発生する地表面沈下、内空変位による比較検討を行い、コスト等を含めた施工の妥当性について総合的に検証したいと考えている。

謝辞：ご指導、ご協力いただいた国土交通省近畿地方整備局をはじめ、本社トンネル委員会、技術研究所、土木設計部、その他関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 石山宏二，山下雅之 他：早期断面閉合における一次インバート施工管理システムの開発，土木学会第 66 回年次学術講演会集，VI-394，2011



写真-6 切羽 (No.315+65) の状況

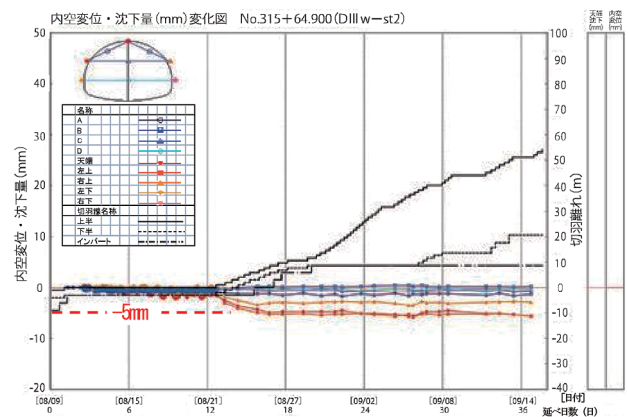


図-8 内空変位沈下測定結果