

九州自動車道路下における R&C 工法による道路トンネルの施工 Construction of Road Tunnel Under Kyushu Expressway by the Roof & Culvert Method

原田 英樹*
Hideki Harada

上田 幸生**
Yukio Ueda

要 約

本工事は、福岡県中央部に位置する筑豊地区における「地域活性化インターチェンジ（鞍手インターチェンジ）」を構築する工事である。高速道路直下（最小土被り 1.8 m）に建設される道路トンネルは、高速道路の防護工として矩形断面の箱型ルーフをボックスカルバート外縁に合致するように横断区間の全長に貫通させ、高速道路横に築造したボックスカルバートをけん引前進させることにより箱型ルーフと置換設置する R&C 工法（非開削工法）が採用された。

本報文では、R&C 工法における施工管理実績について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 発進・到達立坑の設計と施工
- § 4. 箱型ルーフ推進工とその結果
- § 5. 函体けん引計画とその結果
- § 6. おわりに

§ 1. はじめに

福岡県中央部に位置する筑豊地区は、福岡・北九州両都市圏に近接した地理的優位性に恵まれながら、高速広域交通ネットワークの整備等が十分でなく、石炭産業衰退後の産業構造の変化等に伴う人口減少・高齢化の進展・産業活動の低迷など、地域の活力が低下している。

本事業は、高速自動車国道への効率的なアクセスを確保することにより、企業立地をはじめとした地域経済の浮揚、雇用創出の促進、周辺道路の渋滞緩和等を図り、地域の活性化に寄与することを目的とした「地域活性化インターチェンジ」を構築するものである（図-1）。事業主体は、福岡地方公共団体であり、工事は西日本高速道路株式会社に受託されている。

本報文では、当該工事のうち、九州自動車道下での R&C 工法における施工管理実績について述べる。

§ 2. 工事概要

2-1 工事概要

工 事 名：九州自動車道 筑豊工事
 発 注 者：西日本高速道路株式会社
 工事場所：福岡県鞍手郡鞍手町大字中山地内
 工 期：平成 19 年 7 月 18 日～平成 22 年 7 月 1 日
 施工延長：1,110 m
 工事内容：

- ・土 工：25,000 m³
- ・のり面 工：7,000 m³
- ・用・排水 工：4,000 m³
- ・管 渠 工：1 基
- ・溝 渠 工 A：7 基
- ・溝 渠 工 B：1 基（R&C 工法）
- ・舗 装 工：7,000 m²
- ・交通安全施設工：1 式 他



図-1 完成予想図

* 九州（支）土木部土木課

** 土木設計部設計課

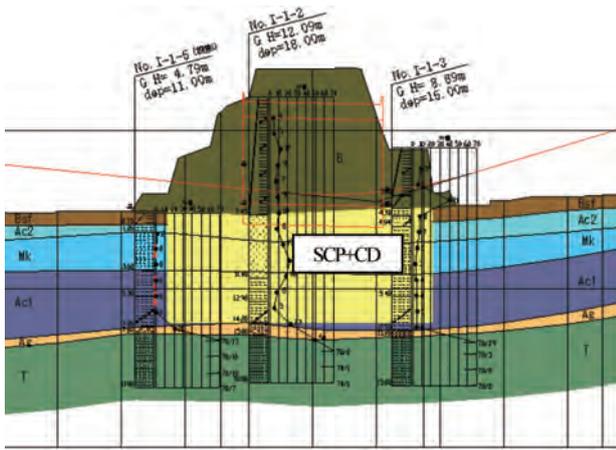


図-2 土質縦断面図

2-2 地形・地質概要

(1) 地形概要

鞍手インターチェンジ（以下鞍手 IC）計画地は、遠賀川の西側、標高 150 m～300 m 程度の小高い丘陵地に囲まれた沖積平野に位置する。計画地には中央部に九州自動車道、南側には J R 新幹線が平行に建設されており、西側は丘陵地を切り開いて施工された鞍手 PA がある。鞍手 IC 計画位置付近の九州自動車道は盛土形式であり、建設当時（1970 年代後半）に盛土の安定化対策としてサンドコンパクションパイルとカードボードドレーンが施工されている。

(2) 地質概要

図-2 に R&C 工法適用箇所の土質縦断面図を示す。当該地質は、沖積粘性土が 6～7 m 程度、その直下には沖積砂礫層、基盤層として第三紀層が分布する。沖積層は、上位より上部沖積粘性土（Ac2）、腐植土（Mk）、下部沖積粘性土（Ac1）が分布し、全体に含水が多く、非常に軟弱な状態である。下部沖積粘性土（Ac1）直下に分布する砂礫層は、比較的締まった状態で薄く分布する。基盤層は、第三紀の泥岩が分布しており、上部 1～2 m 程度は風化が著しい。また、本線盛土下部は、サンドコンパクションパイルとカードボードドレーンによる改良地盤である。

2-3 R&C 工法概要

R&C（ルーフアンドカルバート）工法は、上部の軌道や道路の防護工として、矩形断面のパイプルーフ（箱形ルーフ：標準断面 800×800）と F C プレートを用い、設置するボックスカルバート（函渠工）の外縁に合致するように横断区間の全長に貫通させ、その後端に刃口（鋼製の切羽掘削作業スペース）を設置した函渠を据え付け、トンネル内で切羽を掘削しながら箱形ルーフを押し出すと共に函渠を前進させることにより、箱型ルーフと置き換え設置するトンネル型地下構造物施工法である。図-3 に工法概要図、図-4 に一般断面図を示す。

R&C 工法的主要な特長は以下のとおりである。

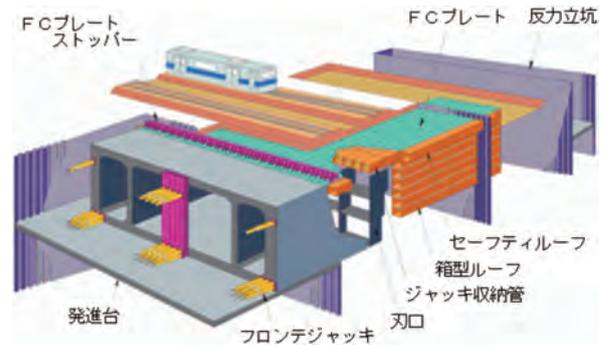


図-3 R&C 工法概要図¹⁾

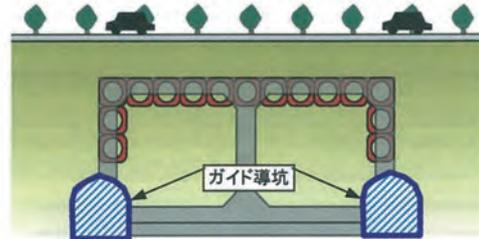


図-4 R&C 工法断面図

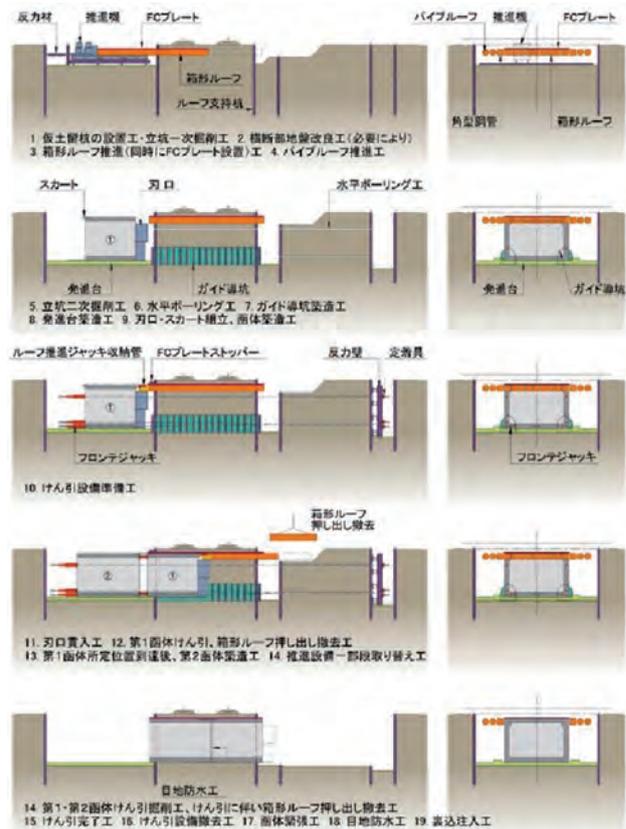


図-5 R&C 工法施工手順図¹⁾

- ①浅い土被りで構造物が構築できる。
 - ② F C プレートにより道路の上床部と縁切りを行い、上部施設の横ずれを防ぐため、高速道路を供用しながらの施工が可能となる。
 - ③箱型ルーフにより、上面の土砂等の流出を防止できるため、安全に施工できる。
- 施工手順図を図-5 に示す。

§3. 発進・到達立坑の設計と施工

3-1 原設計

箱型ルーフ推進およびカルバートけん引のための発進・到達立坑の掘削深さは、高速道路側部で最大 9.75 m であり、鋼矢板による土留工が計画されていた。支保工には、4 段のタイロッドが配置されている。カルバートけん引時に必要となる反力体は、発進・到達立坑の掘削完了後、構築する施工手順であった。図-6 に原設計計画断面図を示す。

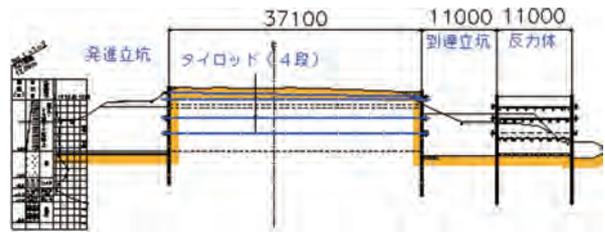


図-6 原設計計画断面図

3-2 タイロッド施工時の問題点

1 次掘削後、1 段目タイロッドの施工を開始したが、高速道路下の支障物によりケーシングの孔曲がりが生じ、設計どおりの削孔ができないことが判った。その後、2 段目も試験的に削孔を行ったが、1 段目と同様の結果となり、かなりの深い位置で支障物のあることが確認された。いずれも中央分離帯付近で生じた現象であったため、既存の排水側溝であると考えられた。

これらの結果、原設計どおりの施工ができないことが判り、企業先との協議の結果、高速道路の供用に影響与えない立坑の施工法を検討することとなった。

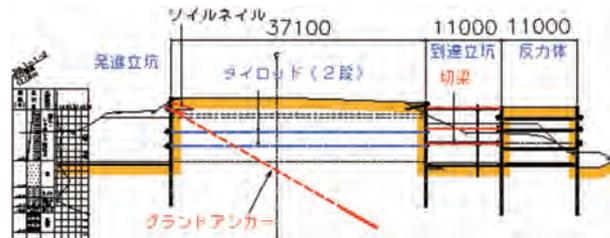


図-7 変更設計計画断面図

3-3 変更設計

先の施工結果より、支障物の存在等、不確定要素が多いため、1, 2 段目に水平タイロッドを施工することは困難であると判断した。そこで、タイロッドに替えて、地表面付近の支障物の影響を受けるリスクの少ないグラウンドアンカー工法への変更を考えた。ただし、発進・到達立坑間は 37 m であり、両方向からグラウンドアンカーを施工した場合定着部が互いに干渉することとなる。よって、発進立坑側のみをグラウンドアンカー工法とした。到達立坑側は、施工手順を変更し、反力体を先行施工することにより切梁工法に変更した。図-7 に変更設計計画断面図、図-8 に土留展開図を示す。また、表-1 に支保の変更内容を示す。

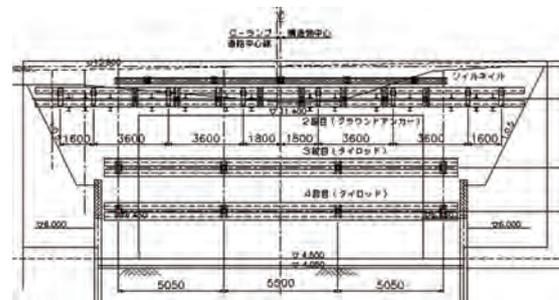


図-8 発進立坑側土留支保工展開図

表-1 発進立坑側 支保工仕様変更内容

段	原設計	変更設計
1	タイロッド φ12.7×2 @2.4m	グラウンドアンカー φ12.7×7 @3.6m
2	タイロッド φ12.7×5 @2.4m	
3	タイロッド φ12.7×6 @3.2m	タイロッド φ12.7×9 @5.5m
4	タイロッド φ12.7×6 @3.2m	タイロッド φ12.7×9 @5.5m

※鋼材はPC 鋼より線を使用

グラウンドアンカー工法は、掘削時には問題ないが、箱型ルーフ推進時にアンカーの鋼材を切断されるため、上部土留工の安定性に問題がある。対応策として図-9 に示すソイルネイルを施工し、土留工の安定化を図った。ソイルネイルは、掘削時に設置することとした。

§4. 箱型ルーフ推進工とその結果

4-1 箱型ルーフ推進工

箱型ルーフ推進工は、函体外面に沿って内側の土中に予め推進により設置することで、以下の2点を防止するという重要な役割を担っている。

① 函体推進時において切羽掘削による地山の緩みが上

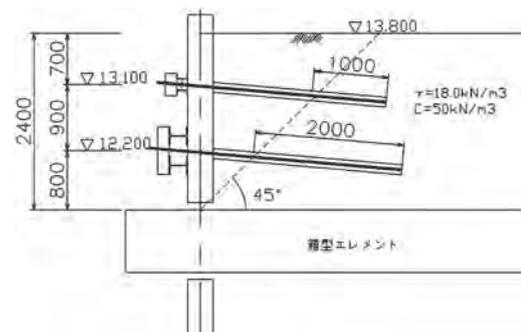


図-9 ソイルネイル詳細図

部に及ぶのを遮断し、路盤の沈下を防ぐ

- ② ルーフ外面に装着した F C プレートは、地山との縁を切り高速道路の上部施設の横ずれを防ぐ

施工に際しては、より高い精度が得られるように入念に推進を行う必要がある。特に、ボックスカルバートと置換するため、上下方向の精度は非常に重要となる。

4-2 箱型ルーフ推進時の問題点

本施工は、水平ルーフ 15 本、垂直ルーフ 8 本の計 23 本のルーフを水平部 3 列、垂直部 2 列の複数列同時施工とする並列推進方式を採用した。掘削はピックハンマーを使用した人力掘削で行い、基準管①は 1 セット、②～⑤は 2 セット（図-10）の推進設備（推進ジャッキ 1,500 kN/台×2 台/列、最大ストローク 500 mm）を使用した。

掘削箇所は、粘性土および礫質土を使用した高速道路盛土部であり、ルーフ上半分に多くの転石が含まれていた（写真-1）。転石の除去に当たっては、ルーフの形状に合わせた除去を行ったが、過掘りが発生したため、掘削土による間詰めを行いながら推進を行った。

この結果、基準管施工時の鉛直方向の精度に影響をおよぼし、基準線に対し -27 mm および +58 mm の誤差が生じた。高速道路本線の沈下は、10 mm であった。基準管完了後、②の箱型ルーフの推進を行ったが、26 m 推進した時点で、高速道路本線に 24 mm の沈下が発生した。このまま推進を続けると更に沈下が生じ最大で 60 mm 程度となり、高速道路本線に影響を与えることが予想されたため対策工を講じることとした。

4-3 対策と施工結果

本線沈下の原因としては、先行掘りおよび転石等による箱型ルーフ上部の緩みの発生と、過掘りの間詰め不足が考えられた。そのため、下記の対策を実施した。

- ① 箱型ルーフ推進の 1 ストロークを 40 cm から 20 cm とし、先行掘りを極力減らすことで、上部の沈下を最小限に抑える。
- ② 刃口先端に鋼材による張出しを設置し、先行掘り時の刃口上部の緩みを抑える。また、刃口下部にソリを設置し、箱型ルーフ推進時の下がり防止する（写真-2）。
- ③ 加泥注入工法（クレーショック）による空隙充填を実施し、周囲の沈下を防止する。

以上の結果、高速道路本線の沈下は、規定値（50 mm）以内で収まり、縦断勾配も 1% 以下であったため、高速道路の走行性に影響を与えることなく施工を終えることができた。しかし、箱型ルーフの精度は大きく鉛直方向に蛇行したため（図-11 参照）、今後の函体けん引時に課題を残すこととなった。

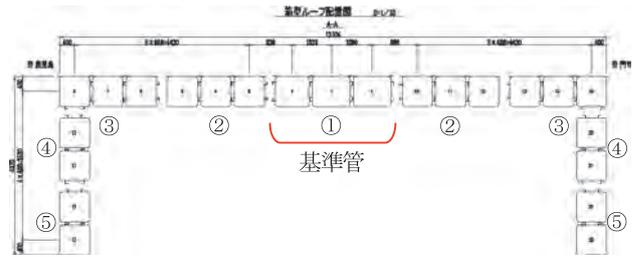


図-10 箱型ルーフ配置図



写真-1 箱型ルーフ切羽状況

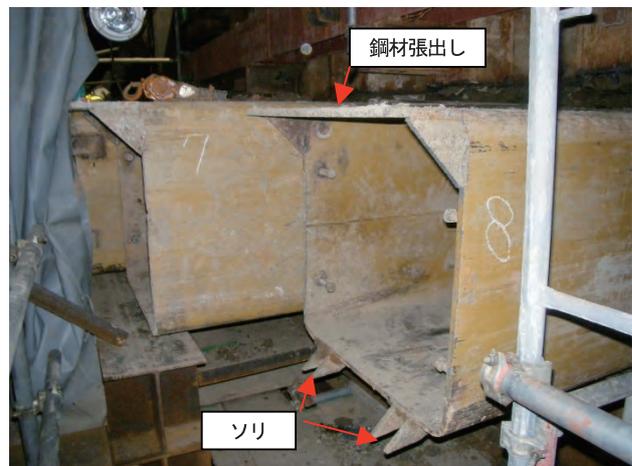


写真-2 刃口改良（張出し，ソリ）

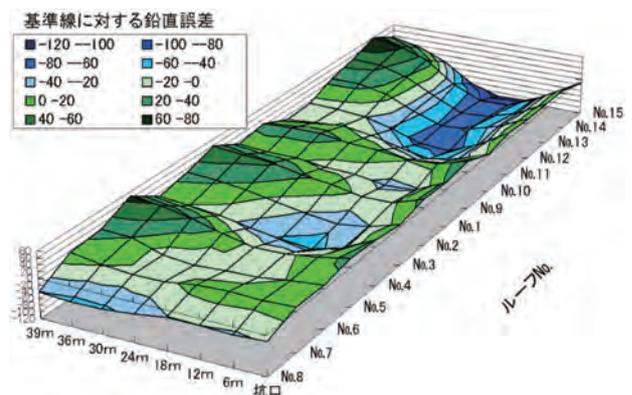


図-11 箱型ルーフ推進工鉛直誤差出来形図

§5. 函体けん引計画とその結果

5-1 発進台の製作

発進台は函体製作と函体けん引の方向性を左右するガイドとして設置するものであり、十分な支持力、仕上がり精度を有するものとし、さらに函体との摩擦抵抗の低減を図る必要がある。

本施工の発進台コンクリート内には、函体けん引方向に13列のレール（H形鋼 150×150×7×10）を設計高±2mm 以内の精度で埋設した。また、コンクリートの仕上がり高はレール天端より2mm程度下げ、函体製作時の隙間には砂を敷設することで摩擦抵抗の低減を図った。

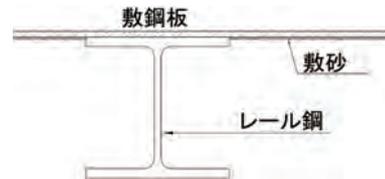


図-12 レール天端詳細図

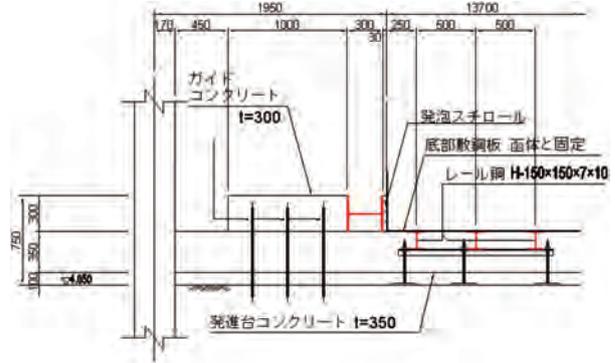


図-13 発進台レール配置図

5-2 ガイド導坑

ガイド導坑は、山岳トンネル方式により小断面のトンネルを掘削し、坑内にコンクリート壁およびレール（H形鋼 150×150×7×10）を各3本設置し函体推進時のガイド工とした。また、ガイド導坑は函体けん引時のPC鋼線の導坑としても使用する。

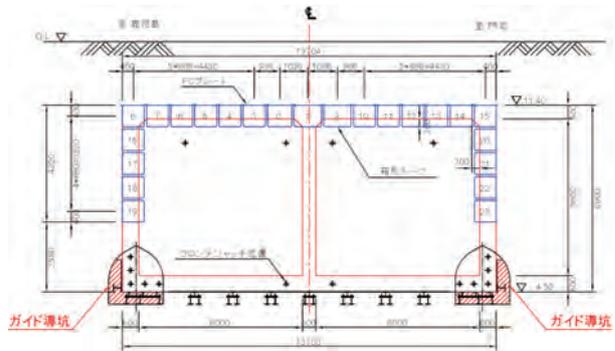


図-14 ガイド導坑設置図

5-3 函体の製作

函体は、敷鋼板、刃口（第1函体）およびスカートコンクリートで一体化し構築する。

敷鋼板は、函体毎に発進台全面に敷設し、ジベル筋にて底版コンクリートと一体化する。発進台のレールと敷鋼板により、函体けん引時の摩擦抵抗を低減する。

刃口は、切羽掘削時の作業空間と支保工として箱型ルーフの端部を支持し、その力を函体全周に分散させ、箱型ルーフを押し抜く反力を函体先端の断面に伝達させる当て枠としての機能がある。また、スカートは、函体分割部の外周プレートで、内部に函体けん引用の中押しジャッキを設置する。

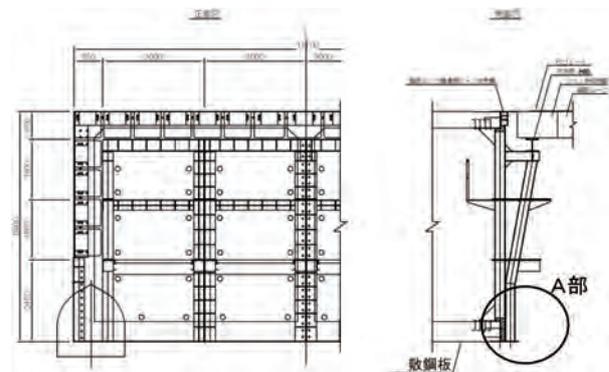


図-15 刃口詳細図

5-4 函体けん引時の問題点

函体構築完了からけん引開始までにけん引準備のため、2ヶ月半の期間を要した。その間に定期的に測量を続けた結果、函体が最大38mm（第2函体）沈下した。事前の支持力照査では問題がないことを確認していたため、この沈下の要因としては、炭鉱地特有の古洞の存在が影響し、函体自重により地盤の応力状態が変化したものと推測される。ボックスカルバート高さの規格値は±50mmであったが、函体けん引時に更に沈下しないこと、また、設計高さにけん引することが課題となった。

また、箱型ルーフの鉛直誤差が大きいため、函体けん引時の高速道路本線の沈下および隆起が懸念された。

5-5 対策と施工結果

函体けん引時は、函体自重を底版下地盤で均一に支持させるため、掘削面に極力不陸が生じない方策を考えた。



写真-3 スカート設置状況

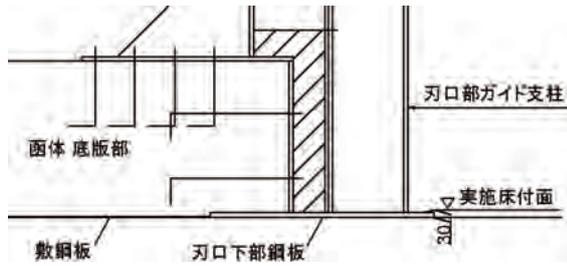


図-16 刃口前方詳細図 (図-15 のA部拡大図)

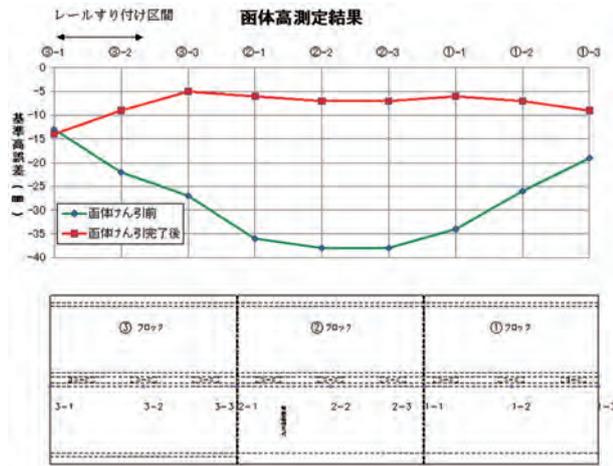


図-17 函体高測定結果

掘削時に刃口前方の掘削を 30 mm 高めで行い (図-16)、けん引時に 30 mm を刃口で削ることで底版部に過掘りによる不陸が生じないように施工上の工夫を行った。また、ガイド導坑のレールは、発進坑口から 8 m の区間で設計高さにすり付け、けん引時に設計高さとなるように設置した。

その結果、すり付け部の最後尾で基準高との最大誤差が -14 mm となり、その他は -10 mm 以内に収めることができた。図-17 に函体測定結果を示す。

また、函体けん引前に企業先と協議し、箱型ルーフ鉛直誤差による高速道路本線への影響を考慮して、事前に本線の切削、オーバーレイを実施した。函体けん引時は、常時高速道路本線の路面沈下計測と監視を行い、箱型ルーフが高い箇所については、けん引と同時に函体と FC プレートの間に砂を詰め沈下を防止した (写真-4)。

その結果、路面の隆起は規定値 (50 mm) 以内で収まり、縦断勾配は 1% 以下であったため、高速道路の走行性に影響を与えることなく、施工を終えることができた。

§6. おわりに

本工事は、供用中の高速道路直下を R&C 工法 (非開削工法) によりカルバートボックスを構築する工事であ



写真-4 砂による間詰め状況



写真-5 発進側完成図

り、高速道路本線に大きな影響を与える懸念があった。しかし、計測管理・施工管理を十分行った結果、高速道路に及ぼす影響を最小限にとどめ、無事に完了することができた。

非開削工事の施工管理について、本工事で実施した内容が、今後の同種工事の参考になれば幸いである。今回は、箱型ルーフ基準管施工後の対策となったが、基準管推進時から本事例で述べた施工上の工夫を行っていれば、高速道路へ及ぼす影響は更に軽減できるものと考えられる。

また、鞍手インターチェンジが開通することにより、筑豊地域の活性化に寄与することを期待する。

謝辞。本工事の施工にあたり御指導いただいた西日本高速道路(株)をはじめ、関係各位の皆様にご心より御礼と感謝の意を表す。

参考文献

- 1) アンダーパス技術協会—R&C 工法資料。