

# 国道1号線道路下へのR&C工法適用時の安全対策と計測結果 Displacement Measurement results and Safety measures of the Roof & Culvert Method as applied to national road

岩川 真一\* 小松 勇輝\*  
Iwakawa Shinichi Komatsu Yuuki

## 要 約

本工事は、1級河川である葉山川河川改修事業の一環で、日交通量 51,000 台の国道1号線直下に延長 52.5 m の函体（場所打ちボックスカルバート）を設置するものである。施工箇所は東海道新幹線が交差しており、国道1号線を切り廻した開削工法による施工ができないこと、函体の土被りが 1.1 m と非常に小さいことから非開削工法のR&C（アール・アンド・シー）工法が採用された。R&C工法による施工では、各施工段階における国道や東海道新幹線高架橋などの近接構造物への影響を少なくするための施工管理が求められた。

本文では、R&C工法による函体施工時に取り組んだ供用中の国道への影響を抑制するための安全対策と変位計測結果について報告する。

## 目 次

- § 1. 工事概要
- § 2. 路面変位計測管理
- § 3. 各施工段階での路面変位と抑制対策
- § 4. おわりに

### § 1. 工事概要

#### 1-1 工事概要

工 事 名：国道1号葉山川横断函渠設置工事  
 発 注 者：国土交通省近畿地方整備局  
 工事場所：滋賀県栗東市坊袋地先  
 工 期：平成24年2月28日～平成26年2月28日  
 工事内容：薬液注入工注入量 1,344,084L  
 （2重管ダブルパッカー工法）  
 箱形ルーフ工延長 757.5 m (50.5 m × 15 set)



図-1 工事位置

ガイド導坑工 50.5 m × 2 本、断面積 4.2 m<sup>2</sup>  
 函体工コンクリート量 992.0 m<sup>3</sup>  
 （外寸高 5.0 m × 幅 9.9 m、内空高 3.6 m ×  
 幅 8.7 m × 延長 52.5 m (8.5 m + 4 @ 11.0 m)）

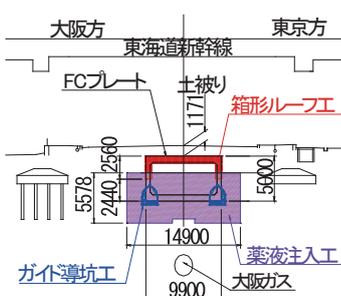


図-2 函体構造断面

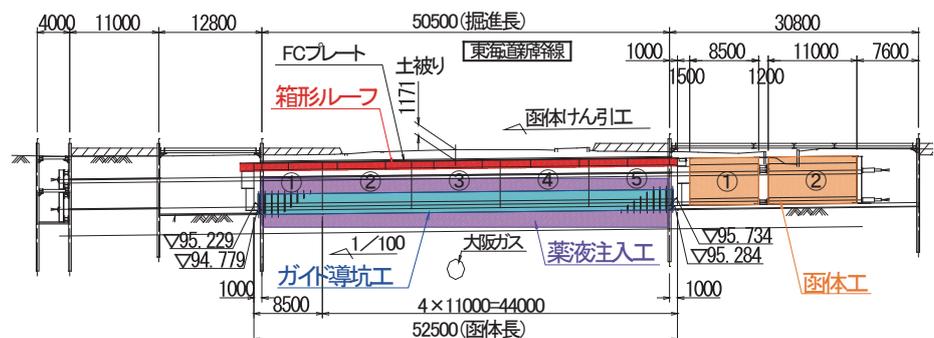


図-3 函体構造縦断

\* 西日本（支）栗東葉山（出）

1-2 施工条件

函体は、日交通量 51,000 台が通過する国道1号線直下を土抜き約 1.1 m で横断する。横断箇所上空には、東海道新幹線の高架橋が横断しており、函体から 4.8 m に橋脚が位置している。さらに、国道中央の地下には、函体下から約 5.5 m の離隔で大阪ガスの供給導管、また、発進立坑上空 (GL+18 m) には、関西電力の特別高圧線 77,000V が位置している (図-4)。函体構築は、これらの重要構造物との近接施工となるため、非開削工法である R&C (アール・アンド・シー) 工法が採用された。

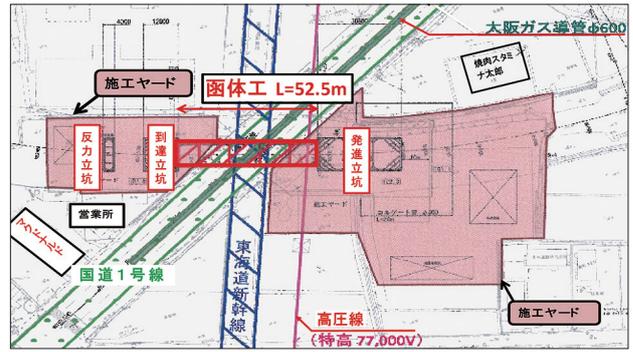


図-4 工事概要

1-3 地質概要

函体施工箇所の土質縦断面を図-5 に示す。当該箇所の地質は、舗装構造の下に厚さ 0.8 m ~ 1.9 m の盛土路床 (B 層)、場所により層厚が大きく変化する沖積粘性土層 (Ac 層)、沖積砂質土層 (As 層)、沖積礫質土層 (Ag 層) が分布し、その下方に洪積粘性土層 (Dc 層)、洪積砂質土層 (Ds 層)、洪積礫質土層 (Dg 層) が分布している。地下水水位は、高さ GL - 3.5 ~ 4.0 m となっている。

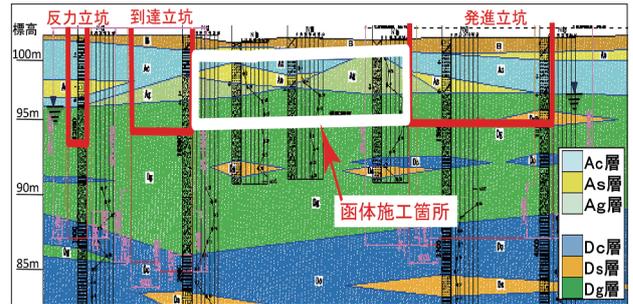


図-5 土質縦断面図

1-4 R&C 工法概要

R&C 工法は、道路や軌道直下において、矩形断面の箱形ルーフを函体 (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、その後、発進立坑内で構築した函体を箱形ルーフと置換設置する工法である。函体の置換設置には、けん引方式と推進方式がある。本工事では、構造物の断面が大きく掘進距離が長い為、大きな推進力が可能となるけん引式を採用した。当該工事における施工順序を図-6 に示す。

第1工程：

- ①発進、到達、反力立坑の構築
- ②地盤改良工 (地下水水位以深を薬液注入)
- ③箱形ルーフ推進 (到達立坑から人力掘削推進)

第2工程：

- ④ガイド導坑の掘削築造 (到達立坑より)
- ⑤第1,2 函体構築

第3工程：

- ⑥反力壁築造 (反力立坑内)、けん引用 PC 鋼線設置
- ⑦函体前面を掘削・函体けん引  
(ルーフジャッキで箱形ルーフを押し出しながら、中押しジャッキ、フロントジャッキを順次使用)
- ⑧箱形ルーフ回収 (到達立坑)

第4工程：

- ⑨第3,4 函体構築、けん引 (⑥~⑧を繰り返す)
- ⑩第5 函体構築、けん引 (⑥~⑧を繰り返す)

第5工程：

- ⑪中押しジャッキ撤去、目地防水 (けん引完了後)
- ⑫最終緊張 (PC 鋼線で函体一体化)
- ⑬函体外周への裏込モルタル注入

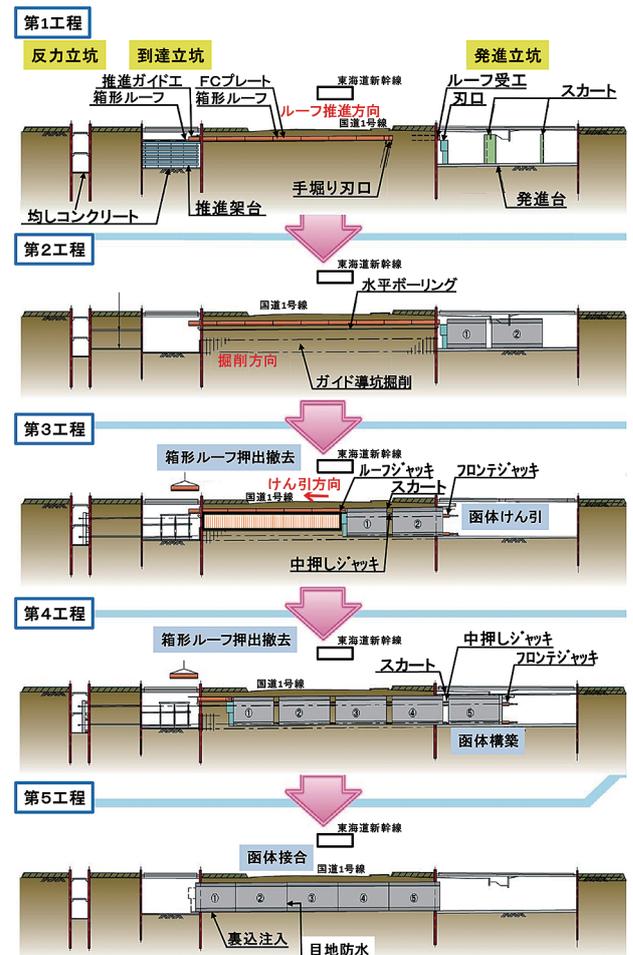


図-6 R&C 工法施工順序

§2. 路面変位計測管理

本工事は、国道の交通機能を終日確保しながら作業を進める必要がある。このため、路面変状を速やかにかつ正確に把握し、路面補修の必要性が生じた場合や、突発的な交通障害が発生した場合にも、社会的影響を最小限に抑えることが必要であった。

2-1 路面変位計測

本工事では、施工による路面影響を迅速に把握するために、路面影響範囲に2m格子の測点(129点)を設け、路面高さ管理を実施した。国道は交通量が多く、人力計測が困難なため、路面計測に自動追尾型トータルステーション(図-7)を使用した。また、施工に伴う路面下の空洞発生を早期に確認するために、水盛式圧力沈下計を用いて地中沈下測定を計14測点で実施した。

計測頻度は1時間毎を基本とし、影響が出やすい箇所については、頻度を10分間隔として重点管理した。

計測値は、リアルタイムに事務所で監視できる体制を構築し、計測値の大きさにより色を変える変位灯(LEC)を用いて、異常を即座に感知できるように『見える化』した。

2-2 路面変位管理基準

路面変位管理基準は、道路修繕管理要綱を参考に定めた。管理値を超過した場合の対策を表-1に示す。また、国道道路管理者、JR東海保線区、バス会社、栗東市、警察署などの関係者と協議を重ね、以下の危機管理体制を構築した。

- ①道路機能障害発生時の緊急連絡体制の構築
- ②異常値計測時、関係者へのメール一斉配信
- ③道路法80条協議(道路占用許可)の事前実施
- ④路面補修体制の構築

補修用資材および交通規制資材の準備  
24時間稼働アスファルトプラント工場の選定

§3. 各施工段階での路面変位と抑制対策

R&C工法では、薬液注入工、箱形ルーフ工、ガイド導坑工、および函体けん引工の施工時に路面への影響が懸念された。各工種毎の路面に影響を及ぼすと考えられる要因を表-2に示す。

表-2 路面変位に影響する工種と要因

工種	路面への影響要因
薬液注入工	・低土被り(約3m)での注入時の隆起 ・急激な注入圧力上昇による隆起
箱形ルーフ工	・掘削時の人為的または通り修正時の過掘りによる沈下 ・障害物撤去や岩ズリ取り除きにより箱形ルーフ断面外にできる空隙による沈下 ・掘削切羽面の崩壊や緩みによる沈下
ガイド導坑工	・土留矢板と地山の空隙による沈下 ・掘削切羽面からの湧水、崩壊による沈下
函体けん引工	・箱形ルーフ・ガイド導坑とカルバート置換え時にできる空隙による沈下 ・長期作業休止時の切羽崩壊による沈下

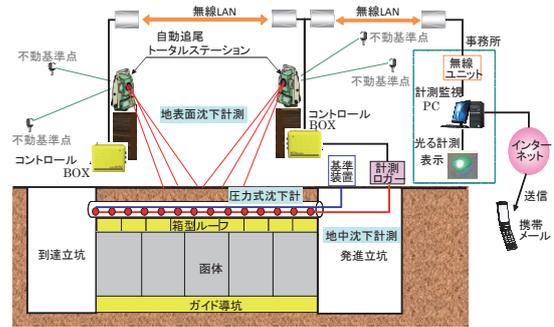


図-7 路面計測システム

表-1 管理値と対策

管理体制	管理値	設置理由	対策
1次管理値(警戒)	±10mm	2次管理値の50% 路面状況の監視を強化し、2次管理値を考慮した準備を行う	・自動計測器測定値と手動レベルの照合 ・緊急資材準備の確認 ・路面監視人配置とレベル計測実施
2次管理値(緊急)	±20mm	道路補修の判断基準 (日本道路協会:道路維持修繕要領) わだち掘れ深さ ・交通量多い一般国道 30~40mm ・高速道路 20~30mm ・段差すりつけ 橋30mm 最も厳しい基準を2次管理値とした	工事を中断し、路面補修実施および施工対策案の検討

3-1 薬液注入工

(1) 注入時の路面変状防止対策

① 注入方向の変更

当初計画では、立坑近傍の地表から斜め注入で、地中から地表に向かって注入する計画であった。しかし、注入圧力が路面へ直接作用し、局所的な路面隆起が懸念されたことから、立坑内からの水平注入に変更し、改良範囲上部への注入を先行して実施した(図-8)。また、水平注入では、指向性グラウチング注入バルブを使用し、注入の吐出方向を下方向へ制御した(図-9)。

② 注入圧力管理

注入圧力の管理には、注入圧力の急激な上昇を防止するために、一定基準の圧力がかかると自動で注入量を抑制し、圧力制御する注入管理システム『COGMAシステム』(図-10)を使用した。また、注入圧力が基準内で

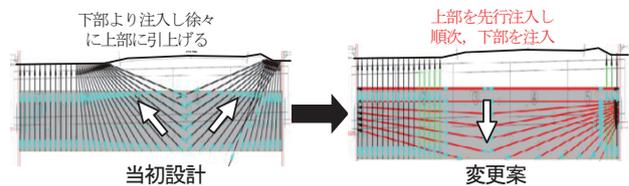


図-8 注入方向の変更

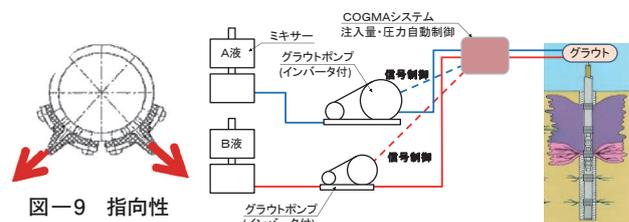


図-9 指向性グラウチング

図-10 注入管理システム(COGMA)

大きく変動した場合には、次の注入箇所へ一時的に移動することとした。

③ 試験施工による路面上昇の確認

指向性グラウチングによる注入ステップ（50 cm 広範囲型）、および設定注入圧力による路面隆起抑制効果を確認するために、発進立坑ヤード内で試験施工を実施した。試験施工は、上段層（GL - 3.5 m）に対する水平注入とし、注入圧力を初期圧力（0.5 Mpa：スリーブパイプからのクラッキングによる圧力上昇後、一定に収まる圧力）+ 1.0 Mpa = 1.5 Mpa に設定して、地表面変位状況を確認した。試験施工の結果を表-3に示す。1次注入時の地表面変位は、最大2 mm 程度隆起とほとんど変動がなかったが、2次注入時に最大5 mm 程度隆起した。しかし、いずれも路面変位の1次管理値（±10 mm）の50%以下であり、路面への影響は少なく、本施工において、試験施工での圧力管理、および注入ステップで施工可能と判断した。

(2) 施工状況と路面変位

薬液注入完了時の路面全体の变位状況を図-11、注入ステップ毎の変位の経時変化を図-12に示す。

本施工1次注入時の路面変位は、試験施工と同様に最大2 mm 程度隆起したが、改良上部への2次注入開始時に薬液が路面上にリークし、劣化している表層が隆起し始めた（写真-1）。このため、交通量の多い国道1号線では、薬液がリークする毎に道路規制し、路面を清掃・補修することが不可能と考え、施工を一次中断し、追加対策を検討した。薬液がリークする経路は、アスファルト舗装とコンクリート舗装の施工継目が考えられたことから、舗装打換えと目地補修によるリーク防止のための追加対策を実施した（図-13）。対策後の改良下部への2次注入では、注入圧力を標準設定値のままとし、注入吐出量を10 l/min から8 l/min に減量し注入を開始した。その結果、路面への薬液のリークは無く、薬液注入完了時の路面変位は、道路中心を頂点とする山形に全体が隆起したが、施工前後の最大変位量を2次管理基準値（±20 mm）以内の18 mm 程度に抑えることができた。

3-2 箱型ルーフ工

(1) 函体設置時の路面変状防止対策

① 掘削時の方向制御と空隙充填

箱型ルーフ工の施工精度は、函体けん引工の施工精度、周辺地盤変状に大きな影響を与える。箱型ルーフが下がり過ぎた場合には、函体けん引のための断面を侵し、所定位置への函体設置ができなくなり、箱型ルーフが上がり過ぎた場合には、函体けん引時に大きな路面沈下を誘発してしまう。そのため、箱型ルーフ推進毎に傾斜計測し、掘進方向を修正した。また、箱型ルーフに予め設置しておいた注入孔から加泥注入材『クレージュック』を掘進毎に充填し、箱型ルーフ背面の空隙充填と掘進時の摩擦抵抗を軽減した（図-14、写真-2）。

表-3 試験施工時の注入圧力と最大路面変位量

初期圧力	0.5 Mpa
最大圧力	1.5 Mpa (クラッキング時除く)
最大路面変位量	+5 mm (1次注入時-1~2 mm, 2次注入時-1~5 mm)

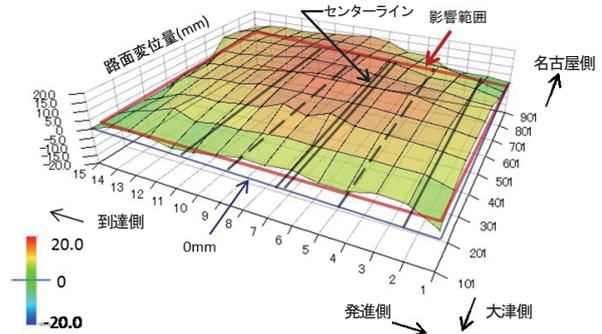


図-11 薬液注入時の路面変動

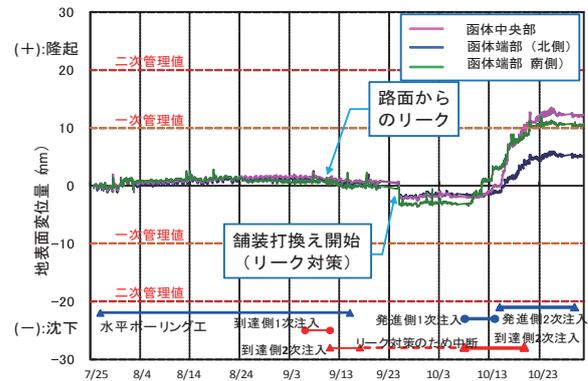


図-12 薬液注入時の路面経時変化



写真-1 路面リーク状況



写真-2 箱型ルーフ内部

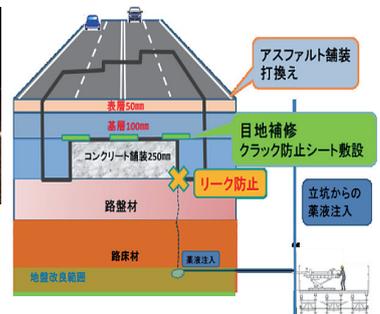


図-13 薬液注入工の追加対策

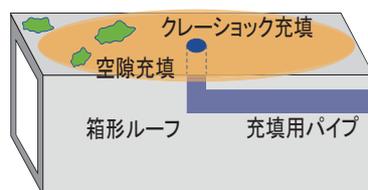


図-14 クレージュック充填状況



写真-3 ゴムパッカー設置状況

② 障害物撤去時の空隙充填

障害物撤去箇所に対しても空隙の大きさに応じた量の加泥注入材を充填した。また、箱型ルーフ掘進時の切羽崩壊などの緊急時に備えて、土留め材として膨張式袋体ゴムパッカー（写真-3）と土嚢を常備した。

③ 掘進時のストローク管理

箱形ルーフの掘進長は、1ストローク50cmを基本とし、軟弱地盤では1ストローク20cmとし、細かな地山状況確認と地山の緩み範囲の拡大を防止しながら慎重に施工した。

(2) 対策実施状況および効果

空隙部への加泥注入材充填は、一時的な効果は見られたが、箱形ルーフを推進する毎に一緒に移動してしまい、何度も注入する必要があった。軟弱地盤箇所では、ストローク長を短くし、地山の安定を計りながら施工したことにより、路面に影響を与えることなく掘進することができた。しかし、路側帯付近で箱形ルーフ前面に出現した支障物（50cm程度の岩塊）撤去時、その上層部の緩い砂質土（砂質路床）が崩れ、舗装下に空隙（60cm幅）が発生した（図-15）。空隙発生後、路面から空隙充填作業を行うとともに、掘進作業を一時中止し、改善対策を検討した。掘進箇所には、弱層部の点在が想定されるが事前に把握できないこと、および切羽から支障物上部の地盤状態を確認できないことから、部分的な開削による箱形ルーフ推進箇所の障害物撤去と地盤の全面置換え（図-16）を実施した。

対策後の箱形ルーフの掘進では、薬液注入時に隆起した路面が全体的に沈下し、当初の路面高に近づき、完了時の最大変位を-5mm程度沈下の1次管理基準値以内に抑え、また、局所的な沈下も防止できた（図-17）。

3-3 ガイド導坑工

(1) 導坑掘削時の路面変状防止対策

① 支保工背面の空隙充填

支保工、土留矢板を建て込むためには、若干の余掘りが必要となる。この余掘り部を放置すると、地山が緩み、路面沈下の要因となる。そのため、側面部空隙は砂・発生土で充填し、締固めが難しい上部空隙は発泡ウレタン（2液タイプ）で充填した（図-18）。

② 切羽への追加止水注入

切羽で湧水等の異常が発生した場合に備えて、追加止水工を行うための水平注入設備を常備するとともに、土嚢および透水マット等の排水材を常備した。

(2) 対策実施状況および効果

函体前面掘削時にガイド導坑側部空隙、ならびに上部空隙の充填状況を確認した。支保工、土留矢板設置後の空隙への地山の崩れは見られず、側部空隙では砂、発生土が十分に充填され、上部空隙では充填した発泡ウレタンが早期に発泡、硬化して、地山と密着しており、空隙を確実に充填できたことを確認できた。

工種の中で最も路面への影響があると考えていたが、上記対策により、局所的な沈下も無く、路面の最大変位量を-5mm程度の沈下に抑制することができた（図-19）。また、施工中、切羽からの湧水やガイド導坑への漏水等は少なく、追加止水注入は実施しなかった。

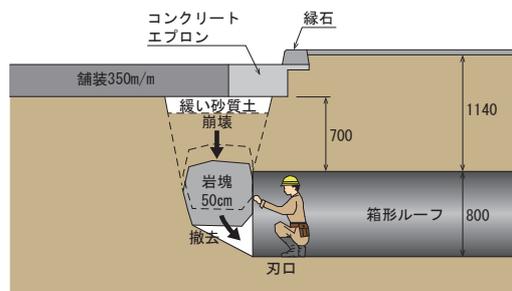


図-15 舗装下空隙の発生状況

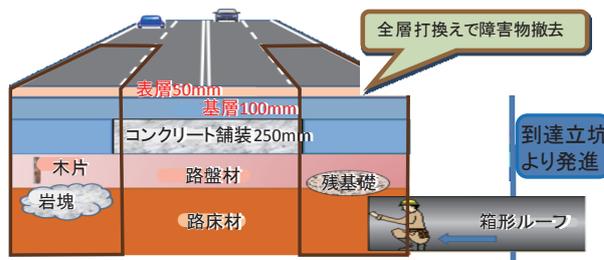


図-16 舗装打換えによる追加対策

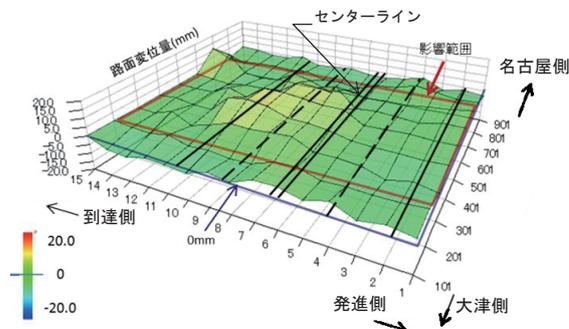


図-17 箱形ルーフ工完了時の路面変位

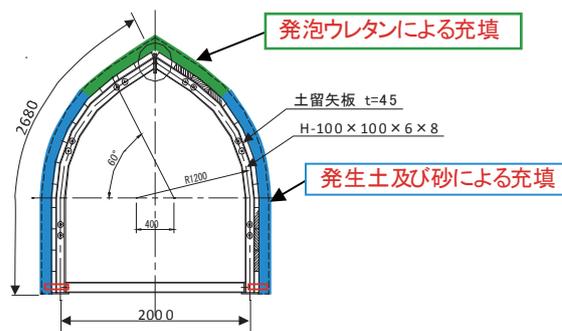


図-18 ガイド導坑空隙充填状況

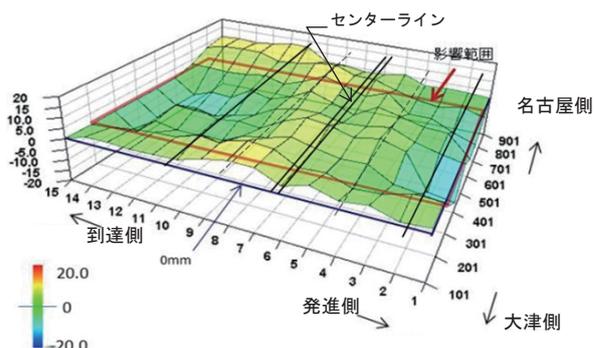


図-19 ガイド導坑工完了時の路面変位

### 3-4 函体けん引工

#### (1) 箱型ルーフと函体入替時の路面変状防止対策

##### ① 施工クリアランスの設定と空隙充填

函体けん引工では、函体けん引による地山の隆起を防止するために、函体上面に地山との施工クリアランスを設定する必要がある(図-20)。しかし、箱型ルーフと函体の出来形精度(掘進方向の通り)が悪いと、広い施工クリアランスを設定する必要がある。この場合、函体背面に大きな空隙が生じ、地山を緩ませる要因となる。そこで、箱型ルーフ施工と函体構築を慎重に行い、箱型ルーフ出来形を上下方向最大+22mm、-10mm、左右に14mm、12mmの社内規格値(許容誤差)50%以下の精度で施工し、函体出来形も社内規格値50%以下の精度で構築した。これにより、地山との施工クリアランスは、当初計画どおりの上部30mm、側面上部10mmとした。

函体けん引時の空隙に対しては、箱型ルーフと同様に加泥注入材を充填し、地山の緩みを防止するとともに、けん引時の摩擦抵抗を軽減した。

##### ② けん引作業停止時の鏡吹付けと監視

函体構築に伴う長期作業休止時(約2ヶ月間)は、切羽面の崩壊を防止するために、高強度吹付けコンクリートを施工した。また、休止期間中は、監視カメラによる監視と押し出し計測を実施した。

#### (2) 対策実施状況および効果

函体けん引時は、加泥注入材の充填により、地山の緩み拡大を抑制したが、函体側面直上の路側帯部に-15~20mmの局所な沈下が発生した(図-21)。そこで、路面補修を実施し、函体けん引時の路面監視を24時間体制に強化した。その後、極所的な沈下は発生せず、函体けん引工完了後の最大変位は2次管理基準値(±20mm)以内の-18mm程度の沈下に抑えることができた(図-22)。また、長期作業休止時に切羽面の押し出しや、路面変位は無く、切羽面への鏡吹付けは、切羽の安定に有効であった。

### §4. おわりに

R&C工法は、非開削・低土被りで函体(ボックスカルバート)を設置できる有効な工法であるが、道路横断部での工事実績が少なく、有効な対策が明確でない。このため、各工程で想定される路面への影響リスクと事前対策を検討し、各工程で適宜実施することにより、路面変位を2次管理値内に抑えることができた。しかし、本施工で直面した路面変位をより抑制するためには、路面変状に大きく影響する舗装版、路面下の地質、および支障物介在の有無等に関する事前調査を充実させ、必要に応じて事前に舗装打換えや支障物撤去作業等を実施することが有効であると考えられる。

また、函体けん引工に関しては、本施工では当初計画の施工クリアランスで施工し、路面変状を抑えることが

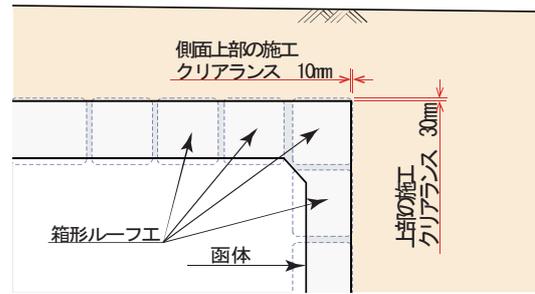


図-20 施工クリアランス

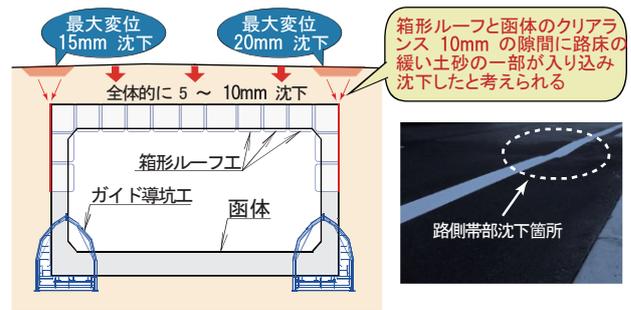


図-21 函体けん引時の路側線付近の沈下状況

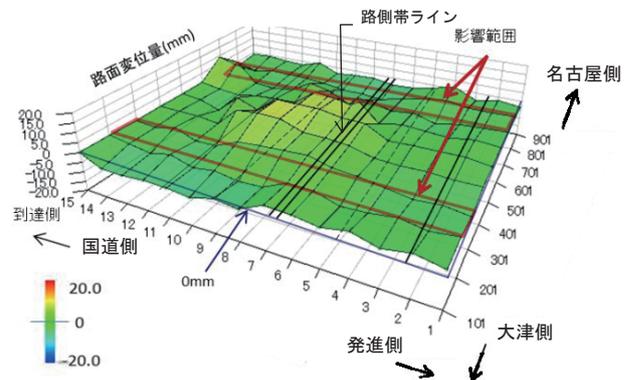


図-22 函体けん引後の路面変位

できたが、箱型ルーフ、函体の出来形精度が悪い場合の地山変形を抑えるための最適な施工クリアランスをどのように設定し、施工管理するかは今後も課題である。

最後に、主要幹線である国道1号線および新幹線高架橋直下での函渠横断という難工事を無事に完成できたことに対し、関係者に深く感謝したい。本報告が今後の道路横断部におけるR&C工法計画の参考となれば幸いである。

#### 【謝辞】

当該工事業業者の近畿整備局滋賀国道事務所様、滋賀県南部土木事務所様、並びにアンダーパス協会様には、本稿とりまとめにあたりご協力いただき、御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) アール・アンド・シー (R&C) 工法技術資料・積算資料/アンダーパス協会, 2008