

国道1号におけるR&C工法施工事例について

田中 幸一¹

¹近畿地方整備局 奈良国道事務所 京奈和監督官（〒630-8115 奈良市大宮町3丁目5番11号）。

本稿は、国道直下をR&C工法で施工する河川ボックスカルバート工事において、路面変位を抑え、交通の安全を確保する取組みとその効果について報告するものである。

R&C工法は軌道直下を対象とした施工実績や報告は比較的多いが、幹線道路直下での施工事例報告は少ない状況であり、P D C Aを回しつつ施工を進めてきている。

現在の進捗状況は、5 函体で構成される延長約 5 0 m のボックスカルバートの内、第 1, 2 函体の掘削・けん引までが完了し、第 3, 4 函体を構築中である。

薬液注入工、箱形ルーフ工、ガイド導坑工完了までの施工実績を取りまとめている。

キーワード R&C工法, 低土被り, 路面変位抑制, 危機管理

1. はじめに

R&C（アール・アンド・シー）工法は、道路や軌道直下におい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、その後発進立坑にて築造したボックスカルバートを箱型ルーフと置換設置する工法である。カルバートの置換設置にはけん引方式と推進方式があるが、本工事では構造物の断面が大きく掘進距離が長いので、大きな推進力が可能となるけん引式が採用されている。工法概要を図-1に示す。

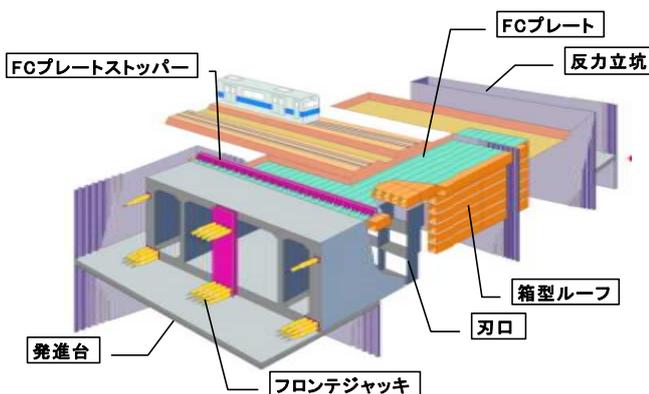


図-1. R&C工法けん引概要¹⁾

(1) R&C工法の選定

当該工事においては、開削工法にともなう迂回路施工が不可能と判断され、非開削工法が求められた。

非開削工法としては防護工の下に躯体を構築するパイプルーフ工法やルーフまたはエレメントが躯体として構

築されるURT工法等との比較がなされ、最も大きな土被りの確保、工期、経済性等から当該工法が採用されている。

(2) 道路横断部における施工実績

R&C工法は1984年に施工されて以来、平成24年10月現在まで379件の施工実績があり、その80%以上が軌道横断部である。道路横断部での実績は61件、その内けん引式の実績は本工事を含め16件と極めて少ない。

2. 事業概要

(1) 河川事業と工事の概要

本工事は、滋賀県が行う1級河川葉山川改修事業の一環で、滋賀国道事務所管内の栗東市坊袋地先の国道1号・東海道新幹線交差部の直下を横断する延長52.5m、内空断面8.7m×3.6mの河川ボックスカルバートを設置する工事である。滋賀県からの委託により滋賀国道事務所が工事を行っている。

葉山川の上流部は、典型的な天井川となっており、昭和36年6月の梅雨豪雨及び昭和57年8月台風による2度の大洪水により家屋への大きな被害を記録している。

現在、河口から6.65kmまで改修が進んでいるが、国道1号横断部付近は現況流下能力が不足し、破堤時に甚大な洪水被害を被るおそれがあるため、早急に浸水リスクの低減対策を講じる必要がある。国道1号横断部を平成25年度に完成させ、上下流の取り付け工事を完成させた後に、平成28年度内に河川の切替工事を実施する予定である。

(2) 近接構造物等の概要

当該ボックスカルバートは、日交通量51,000台が通過する国道1号直下を土被り約1.1mで横断する。

また、同箇所を東海道新幹線の高架橋が横断しており、新幹線橋脚フーチングに対する近接施工となる。

さらに、国道中央地下には約5.5mの離隔で大阪ガス供給導管、発進立坑上空には77,000V特別高圧線が通過し、施工箇所隣接する国道沿線には24時間営業の外食産業店舗や事務所が営業を行っている。

図-2に施工位置図、図-3、4に函体横断面図、縦断面図を示す。

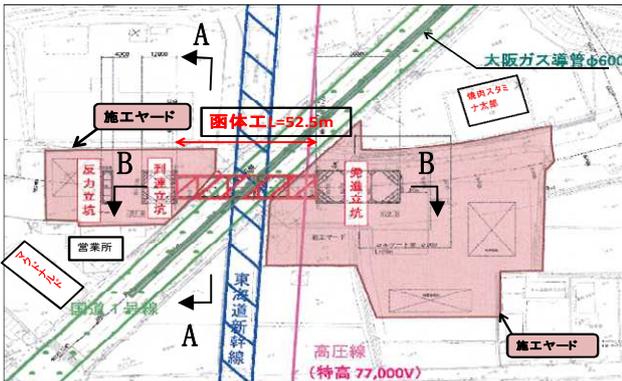


図-2. 施工位置図

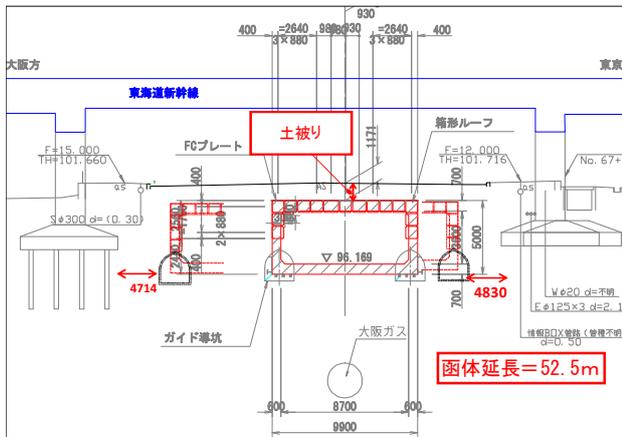


図-3. 函体横断面図 (A-A 断面)



写真-1. ガイド導坑、箱形ルーフの設置状況

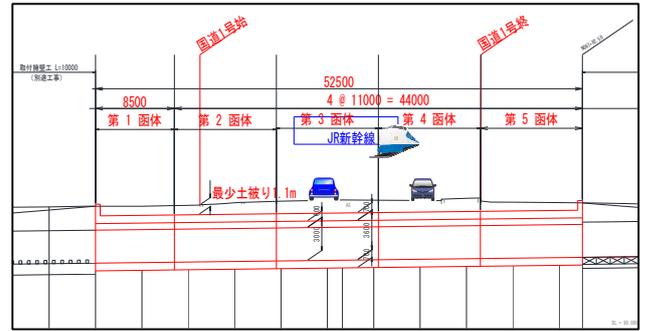


図-4. 函体縦断面図 (B-B 断面)

(3) 地質概要

図-5にR&C工法適用箇所の土質縦断面図を示す。

当該工事範囲の地質は舗装構造の下に沖積粘性土層 (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。地下水位は高さGL-3.5m~-4.0mとなっている。

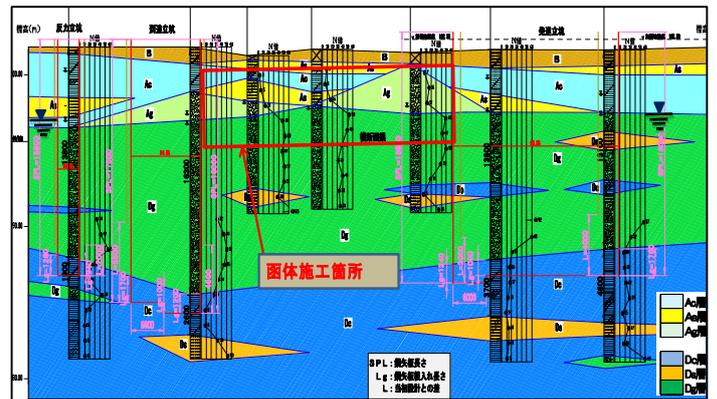


図-5. 土質縦断面図

3. 国道交通の機能確保に対する課題

(1) 施工手順

本工事における施工順序を図-6に示す。また、各工程の概要を以下に述べる。

第1工程：反力、到達、および発進立坑の設置後、けん引工等における止水のために、地下水位以深の地盤改良を行う。次に、到達立坑より、FCプレートを載せた箱形ルーフ推進を行う。

第2工程：箱形ルーフの推進完了後、到達立坑ではガイド導坑及びけん引時に使用するPC鋼線を通す水平ボーリングの施工を行う。また、発進立坑では、第1, 2函体のボックスカルバートを構築する。

第3工程：反力立坑に固定したPC鋼線に反力を取りながら3箇所ジャッキで第1, 2函体をけん引する。その時、FCプレートを残置したまま箱形ルーフのみ押出して、到達立坑で回収する。

第4工程：同様に第3, 4函体、最後に第5函体の順序で箱形ループを押し出しながら、函体をけん引する。
 第5工程：函体が所定の位置に到達後、施工目地防水を行い、函体を接合しPC鋼線で緊張する。最後に函体周辺の裏込注入工を行う。

きるシステムが望まれるが、過去に報告された事例はなく、専門業者の経験により担われている状況となっている。各作業において、路面に影響を与えると考えられる要因を表-2に示す。

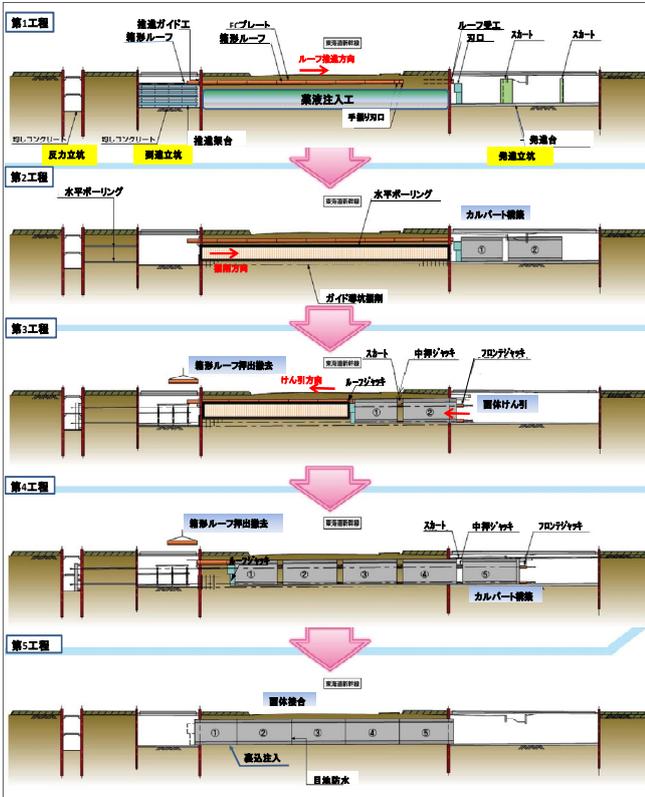


図-6. R&C工法けん引式施工順序図

表-2. 各工種作業で懸念される路面への影響

工種	懸念される路面への影響
薬液注入工	1. 低土被り(約3m)での注入時の隆起 2. 注入圧力上昇による隆起
箱形ループ工	1. 掘削時の人為的又は通り修正時の過掘りによる沈下 2. 障害物撤去や岩ズリ取り除きにより箱形ループ断面外にできる空隙による沈下 3. 掘削切り羽面の崩壊や緩みによる沈下
ガイド導坑工	1. 土留矢板と地山の空隙による沈下 2. 薬液注入工の改良不良による湧水発生や切羽崩壊による沈下

上記リスクに対する対策や施工管理をいかに行うかが課題と考えられた。

4. 国道交通の機能確保に対する対策

(1) 路面変位計測管理

施工による影響範囲の変位を面的かつ迅速に把握するため、路面上に2m格子で129箇所の観測点を設けてレベル計測を行うこととした。また、交通量が多いため人力計測が難しく、自動追尾型トータルステーション(ノンプリズム型)を用いて表-3のとおり管理計画を策定した。

表-3. 路面監視計測

期間	対象	計測範囲	計測頻度
全期間	全工程	全範囲	1時間間隔
重点管理 施工期間	薬液注入工(国道部) 箱形ループ推進工 ガイド導坑工	施工場所を中心とした範囲	10分間隔

(2) 国道管理に対する課題

道路施工においては表-1に示すように終日交通機能を確保しながら、作業を進める必要がある。

表-1. R&C工法の道路横断面部と軌道横断面部との相違

施工箇所	交通の条件	掘進作業が可能な時間帯	横断構造物変位の補修方法
道路横断面部	終日の交通機能確保が必要	作業時間制限なし	夜間規制による道路補修
軌道横断面部	列車通過の無い時間帯あり	夜間等列車間合の長い時間帯	始発列車等走行前迄に軌道整備

したがって、路面変状の正確かつ早期把握、路面補修判断と突発的な交通障害が発生した場合、社会的影響の回避を図る対策が必要であった。

(3) 作業の影響に伴う路面変位に対する課題

本工事目的物は河川ボックスカルバートであるが、工事費のうち約92%が仮設備工事に関するものとなっている。仮設備工事のうち、薬液注入工、箱形ループ工、ガイド導坑工の施工により、路面変位に影響を及ぼすことが懸念される。交通機能を確保するためには、これらの工種の施工が路面変位に与える影響を定量的に評価で

(2) 路面変位管理基準値策定と危機管理体制の構築

路面変位に対する管理値の決定根拠および管理値を超えた場合の対応策を表-4に示す。

危機管理体制の策定にあたっては、国道管理者やJR東海道保線区、バス会社、栗東市、草津警察署などの関係者との協議を行った。

以下に構築した管理体制の主なものを記載する。

① 連絡体制

- ・道路機能障害発生時等の緊急連絡系統策定
- ・路面変位管理値到達時は体制構成員に携帯メールを配信

② 路面補修体制

- ・補修用緊急資材、交通規制資材の備蓄、作業要員の準備

- ・24時間稼働アスファルトプラント工場の選定
- ・路面補修の迅速化を図るため、可能性のある道路障害を想定し、道路法80条協議の事前実施

表-4. 管理基準値と対策

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	・自動計測機器の測定値が手動レベルと合っているか確認 ・緊急資材備蓄の確認 ・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：道路維持修繕要綱) わだち揺れ深さ ・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 以上の中で最も厳しい基準を2次管理値とした	工事を一時中断し、路面補修実施及び施工対策案の検討

(3) 路面変位抑制対策 について

各工種における路面変位抑制対策を以下に示す。

a) 薬液注入工

路面変位対策	詳細対策	日常管理方法
①低土被りでの注入時の路面隆起	<p>1. 立坑内中丘地上からの斜め施工を立坑内からの水平施工へ 立坑からの注入は、施工順序を上から下へと改良することで各層への影響を少なくする。地上からの斜め注入は、注入間隔が均等になるため、より均一な改良を行うことができる。 2. 指向性グラウチング注入ノズルの使用 注入ノズルの位置が下方2方向に設置されており、注入の吐出を下方へ制御できるため上部への影響が少い。</p>	掃削傾角角度(規格値±1.0°)、前傾長(計測管理を全本数計測)
②注入圧力上昇による路面隆起	<p>1. 試験施工より初期圧+1.0Mpa以下で管理 2. COGMAシステムを導入(一定基準の注入圧力がわかる)と、自動で注入量を少なくして圧力を制御する機能を有するシステム</p>	施工時の周辺状況を確認し、異常がある場合、注入中断などの措置

b) 箱形ルーフ工

路面沈下対策項目	詳細対策	日常管理方法
1. 掘削時の人為的又は通り修正時の過掘りによる沈下	加泥注入材(クレーショック)を1推進ごとに充填し、空隙部への充填と推進時の摩擦軽減する。	掘進通りを±30mm以内にする。 昼夜作業開始前の通り計測の実施
2. 支障物撤去時の箱形ルーフ周辺の空隙による沈下	緊急時対策として土囊・ゴムパッキンを立坑内に準備し問詰を行う。推進後加泥注入材を充填。	支障物の大きさから問詰め量を計測し、充填量を確認する。
3. 掘削時の不安定な地山の崩壊による沈下	ストローク長を標準50cm→20cmと短く対応する。	推進計測頻度を多くし、推進精度が悪くなったときは、ストローク長を短くして調整する。

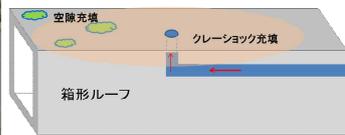


写真-2. 箱形ルーフ内のクレーショック充填状況

C) ガイド導坑掘削工

路面沈下対策項目	詳細対策	日常管理方法
1. 土留矢板と地山の空隙による路面沈下防止対策	・過掘りの禁止する。 ・支保工の側面を砂・発生土で充填。支保工上部に矢板・キャンパを挿入し地山との隙間を少なくする	・支保工間のレベル変位の計測 ・上記よりさらに追加する直上部の箱形ルーフ沈下量を測定する ・昼夜作業開始前の目視及び打音検査による空隙確認
2. 湧水の発生と切羽崩壊防止対策	事前に制作した大型土囊、土囊、ポンプ、透水マットを準備する。薬液注入の止水注入の準備	昼夜作業開始前の切羽スケッチによる地山・湧水の確認

5. 施工時における問題点と追加対策及びその効果

(1) 薬液注入時のリーク防止追加対策とその効果

路面に近い部分における2次注入時に、薬液が舗装打ち継ぎ目から路面上にリークし、その部分に近接して表層が局部的に浮上がるという現象が発生した(写真-3、図-7参照)。原因は、アスファルト舗装とコンクリート舗装の継目から薬液がリークして、劣化していた表層部分を浮上げたものと考えられた。

舗装の劣化に起因する打ち継ぎ目以外の微細クラックおよび、コンクリート舗装とアスファルト舗装の継目に対する止水を確実に行う必要があると考え、図-8のように舗装打換え工と舗装目地補修工を実施した。なお、コンクリート舗装版は路面変位に対しては有効に機能すると考え存置した。また、作業再開時には路面監視人を配置した。



写真-3. 薬液の路面リーク状況

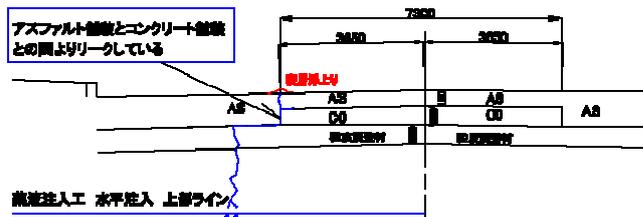


図-7. 路面への薬液リーク概要図

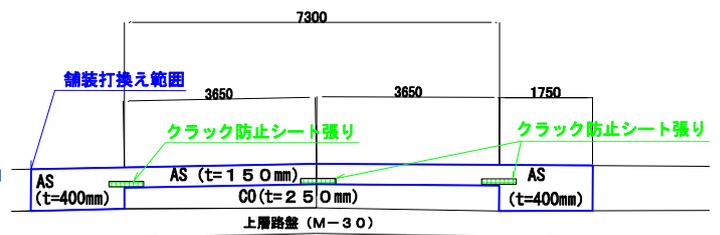


図-8. 舗装打換えによる薬液リーク対策

薬液注入施工完了時の路面変位を図-9に示すが、最大変位+19mmと2次管理値内で作業を終えた。変位形状は中央車線付近の隆起大きく、改良範囲全体に及んでいるものの、追加対策後には問題となるような局所的な隆起はなかった。圧力管理、注入方向の改善などの隆起抑制と舗装打換えによる隆起・リーク対策が一定の効果をえたと考えられる。

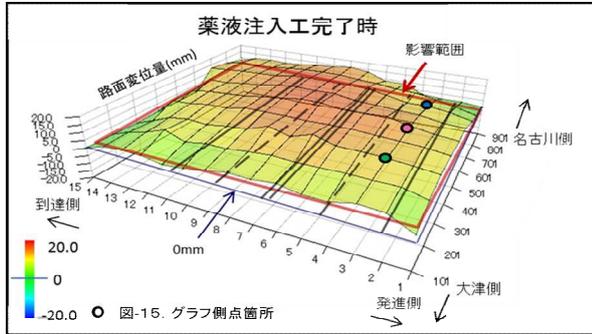


図-9. 薬液注入工完了時の路面変位

(2) 箱形ルーフ掘進時の支障物撤去追加対策とその効果

木杭、コンクリート塊などの埋設支障物が多く発生した箇所においては、掘削面の安定確保のためストローク長を50cm→20cmとして施工を行った。しかし、路側帯付近で箱形ルーフ掘進前面の支障物（最大50cm程度の岩塊）を撤去した時、その上層部の緩い砂質土（路床）が崩れ、舗装下に空隙（60cm幅）が発生した。（図-10参照）

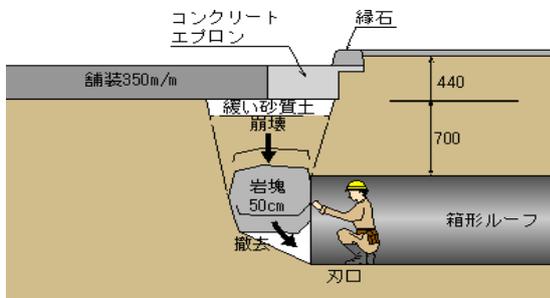


図-10. 舗装下空隙の発生状況

空隙発生後、路面から空隙部充填を行うとともに、掘進作業を一時中止し、改善対策を検討した。今後の施工においても問題となる同様の構造が考えられるが、事前に想定できないこと、ルーフ切羽からは支障物の上部にある地層が確認できないことから以下の追加対策を実施した。

- ① 路面から箱形ルーフ下面深さの範囲で支障物撤去及び路床の置換え（図-11参照）
- ② 2次管理値に達する前に路面補修作業を実施

箱形ルーフ工完了時の路面変位を図-12に示す。全体的に沈下しており、沈下量にばらつきがあるものの、舗装打換えによる支障物撤去の追加対策後は、路面変位を2次管理値内で管理することができた。加泥充填材の

注入、ストローク長の調整によるルーフ推進精度の確保による沈下抑制対策と局部変位に対する路面補修対策により効果が得られたと考える。

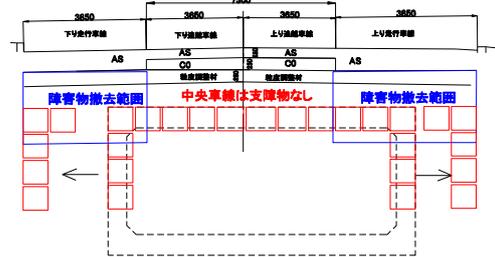


図-11. 箱形ルーフ支障物撤去箇所断面図

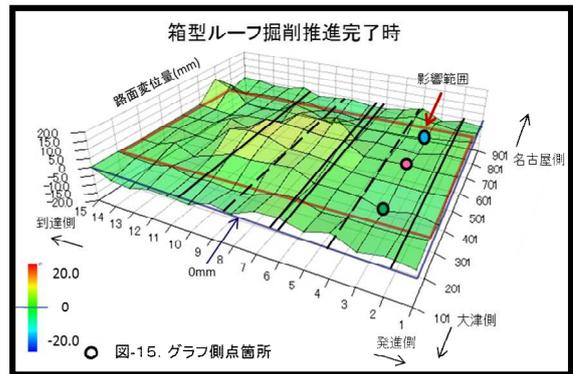


図-12. 箱形ルーフ推進終了時の路面変位

(3) ガイド導坑の追加対策とその効果

箱形ルーフまでの施工をふまえ、事前に想定していた舗装や路床条件の不確実性があらわになった。ガイド導坑施工においてはその不確実性を補うために以下の追加対策を実施した。支保工上部で発生する地山との空隙に対しては、当初検討した矢板やキャンバの挿入のみでは、少なからず地山の緩みが考えられたため、ガイド導坑直上の箱形ルーフや路面の沈下が予想された。このため発泡ウレタンによる注入を実施した。

図-13に支保工上部において実施した対策を示す。

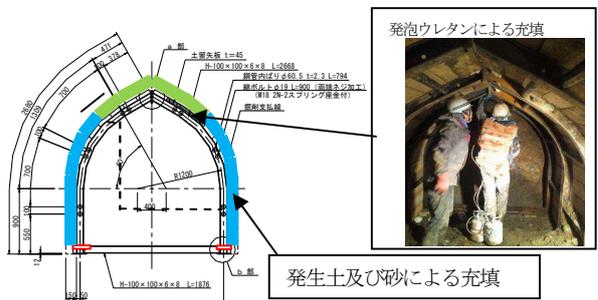


図-13. ガイド導坑の支保工上部充填対策

ガイド導坑掘削完了後の路面沈下量は、箱形ルーフ完了後から最大-7mm、平均で-3mmとなった。また、路面沈下はガイド導坑掘削ラインに沿って見られたが、箱形ルーフ工同様に、2次管理値に近くなった時点で路面補

修作業を行い、車両走行性を確保した。
ガイド導坑完了時の路面変位を図-14に示す。

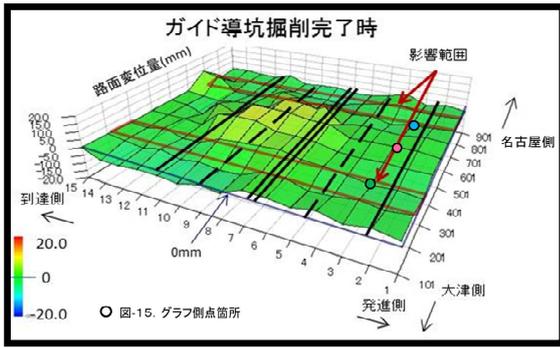


図-14. ガイド導坑掘削終了時の路面変位

6. まとめ

ガイド導坑掘削完了までの路面の変位状況(図-15、表-5参照)は、最大隆起が20mm以内、ガイド導坑掘削後の沈下10mm以内に納まっており、危機管理体制も含め施工管理が有効に機能したと考えている。

薬液注入時の路面へのリークや箱型ルーフ施工により発生した空隙に見られるような路床等の不均一性について確認のできる履歴資料は無かった。そのため試掘調査により道路構造の健全性を確認のうえ、路床を含む舗装打換えを実施した。これにより、通行機能に影響を及ぼす隆起及び沈下を抑制できたと考える。また、局所的な路面沈下に対しては、施工中3度の薄層舗装等を実施し、走行性を確保することができた。

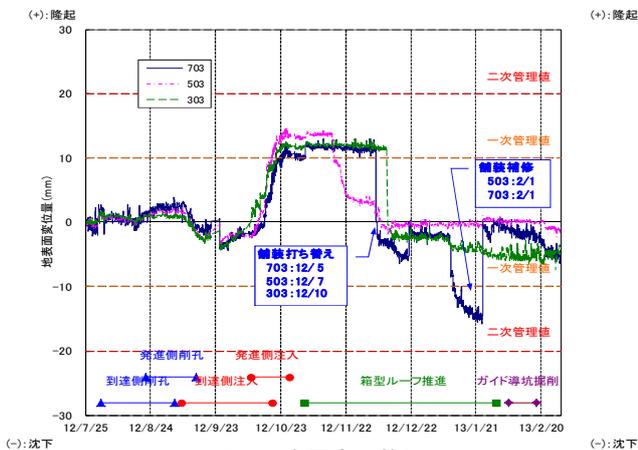


図-15. 路面変位推移図

(地表面変位量は図-9, 12, 14のポイントを示す)

工種	各工事開始時点からの路面変位量(mm)			工事終了時点からの路面変位量(mm)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均
薬液注入工	19.2	0.1	11.0	19.2	0.1	11.0
箱型ルーフ推進工	-17.5	-4.3	-10.2	11.3	-5.7	4.3
ガイド導坑掘削	-7.3	0.2	-3.0	9.3	-6.1	2.2

表-5. 各工程における施工後の路面変位

今後計画されている工事については、舗装版や路床、

路体内の構造や支障物を事前調査し、必要に応じて施工開始前の舗装打換えや支障物撤去作業を行うことが路面変位軽減と交通の安全確保に有効に機能すると考えられる。

施工完了後の箱型ルーフの通り精度は上下方向の最大が+22mm、-10mm、左右にそれぞれ14mm、12mmとなっている。次工程である函体けん引工にて、カルバートと置換される箱型ルーフの通りの施工精度を検証し、カルバートとの置換えにより発生する隙間の充填方法の検討、路面補修準備対策を充実させることで引き続き路面への影響を低減させてゆく必要があると考えている。

道路横断部のR&C工法の施工管理について、従来の暗黙知が形式知へと多少なりとも転換できれば幸いである。

最後にガイド導坑掘削までの施工過程で検討した道路横断部におけるR&C工法の路面抑制対策フローを図-16に示す。

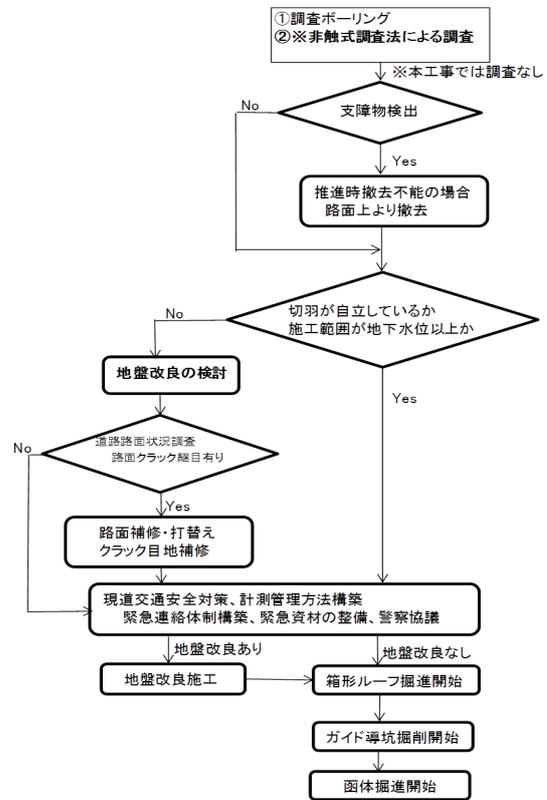


図-16. R&C工法 路面変動抑制対策フロー

7. おわりに

謝辞：当該事業に関わられた技術者の方々に敬意を表するとともに、本稿とりまとめにあたり、ご協力いただきました西松建設(株)の方々にはこの場をお借りして心よりお礼申し上げます。

参考文献

- アンダーパス技術協会—R&C工法資料