

関係者連携による鉄道(TX線)直下の雨水函渠等工事について

独立行政法人都市再生機構
宮城・福島震災復興支援本部 福島復興支援部基盤工事課
小園江 雅彦

1. はじめに

公共工事を取り巻く環境は、特殊工法の技術革新、計測管理技術等のIT化の進展、更には、新技術や企業のノウハウなど価格以外の要素を含め総合的に評価する総合評価発注方式の導入により、品質、安全面において大きく変化してきている。しかし一方では、このような状況下においても工事中の事故、公衆災害など安全面において問題が生じている実態がある。

本稿は、このような課題・背景の中、(独)都市再生機構(以下「UR」という。)がつくばエクスプレス沿線開発の一環により整備してきたつくばみどりの里(萱丸地区)において、URとして前例のない鉄道直下部の雨水函等地下埋設管の築造工事に係る設計・施工、鉄道事業者・受注者と連携した安全協力体制、施工段階における積極的な創意工夫等に関して報告するものである。

事業手法	土地区画整理事業	地区面積	293ha	計画人口	21,000人
概要	つくばエクスプレス線(以下、「TX線」という。)の沿線開発の一環で、茨城県つくば市のみどりの駅を中心に整備された開発地区				

2. 工事概要

(1) 鉄道横断工事の概要

- ・工事名：平成23年度高岡川第2号雨水幹線他工事
- ・発注：独立行政法人都市再生機構茨城地域支社(当時)
- ・受注者：鉄建建設(株)東京支店
- ・工期：平成24年1月25日～平成25年3月15日

(2) 工事内容

- ・雨水函渠(R&C工法) □2.8×1.4m、L=26m
- ・污水管(小口径推進工法) φ300、L=26m
- ・農水管(小口径推進工法) φ500、L=19m
- ・施工時間(横断工事以外の範囲) 8:00～17:00

(横断関連工事の範囲) 20:00～5:00、鉄道直下部 0:40～4:00

【参考：土質等条件】

シルト混じり細砂：N値6

セメント改良部：C=215KN/m²、高圧噴射改良部：C=600KN/m²

※推進工の施工地盤として、非常に珍しい改良土による高強度地盤(N値50相当の固結土)

地下水位：函上1.2m 透水係数：10⁻¹～10⁻²cm/s(原地盤推定値)

(3) 雨水函渠の施工方法(R&C工法(Roof & Culvert)の概要)

雨水函渠の築造においては、鉄道に影響を与えないための施工方法としてR&C工法を採用するとともに、終電直後から始発電車直前までの深夜4時間足らずの短い時間帯に施工を行うもの。また、雨水函渠築造に併せて、小口径推進工法により污水管、農水管を埋設する工事である。

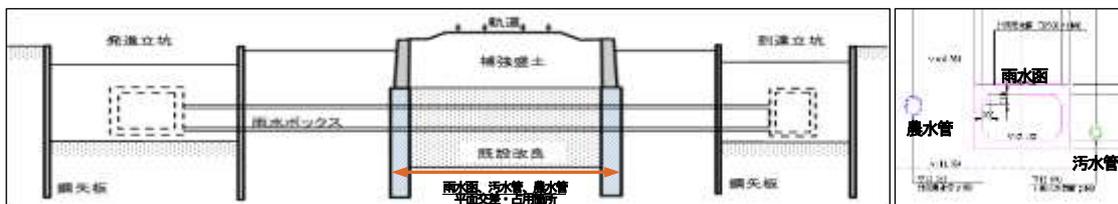


図-1 R&C工法推進断面図(縦・横断面図)

(写真-1 A-A断面)

(写真-1 B-B断面)

3. 雨水(管)等地下埋設管の計画概要と工事上の課題等

(1) 原計画の概要

TX線を横断する地下埋設物計画は、図-1のとおり雨・汚水の交差点、農水管の交差点の2か所としており、周辺整備に当たり、雨・汚水の実施設計に着手した。その実施設計段階において、TXとの交差協議リスク、TX・東京電力鉄塔との近接工事上の技術的な課題が明らかになった。

(2) 雨水(管)等の埋設ルートにおける課題、対応策

工事実施においては、各種課題を解決し、関係機関協議を整え、安全かつ確実な施工を行う必要がある。各課題、問題点等については、リスク回避、リスク低減の視点により排水ルート、工事実施内容の見直し案を策定し、最適な埋設ルートを確定した。(表-1、図-2参照)

課題項目	原計画案の問題点等	対応策の検討、見直し計画
課題① ・各埋設管の交差(横断箇所)協議上の課題 ①-1:A部 農水管 ①-2:B部 雨水、汚水	・交差箇所2か所(横断管3種類)に対しては、工事上及び維持管理上の問題等によりTX会社との交差協議の難航が懸念された。	・TX交差協議において、交差箇所の集約を要望。 ・下記②、③、④の課題検討と併せ、埋設ルートは、影響する約20haの流量計算を見直し、下水道管理者(つくば市)の承認を経て排水ルートを変更。 ⇒ 集約したB部による交差協議を成立 ⇒ 各種工事リスク対応の集中化
課題② ・幅4m人道BOX直下への雨水・汚水管埋設上の技術的課題	・基礎底部との離隔が少なく、占用断面的に余裕がない。 ・鉄道直下部の施工上の物理的、技術的な懸念があった。 ・施工上の課題リスクが高い。	・詳細検討により必要な離隔を確定し、専門業者数社に対し、工事上の課題等ヒアリングを実施。 ・A部箇所の横断は、物理的に厳しいと指摘。 ⇒ 総合的判断により、交差箇所をB部に変更 ⇒ 施工上の課題リスクを回避
課題③ ・既設農水管の移設工事(土地改良区)実施上の課題	・土地改良区によるTX協議、工事実施体制上の問題(技術者の人員不足)が想定された。 ・交差箇所及び埋設ルート上の問題(他埋設管との関連)	・URから土地改良区に対し、交差協議、工事実施上の課題等を提供し、自ら工事の意向を確認 ⇒ URが、土地改良区からの委任により設計施工 ⇒ 雨、汚水管を含め最適ルート、占用位置を設定
課題④ ・近接施工上の技術的課題 ④-1:TX線の並行埋設 ④-2:鉄塔近接部の埋設	・近接車道内に埋設深6m以上の条件下での施工 ・東京電力鉄塔基礎から離隔1~2mでの埋設工事 ・上記における近接施工上の変位、沈下等の問題が懸念。	・掘削による変位等の変状防止対策が必要。 ・対策工を実施しても変状リスクあり。 ・原案においてリスクの低減が厳しい ⇒ ルートの変更により、工事リスクを回避

表-1 埋設ルートにおける課題、対応策

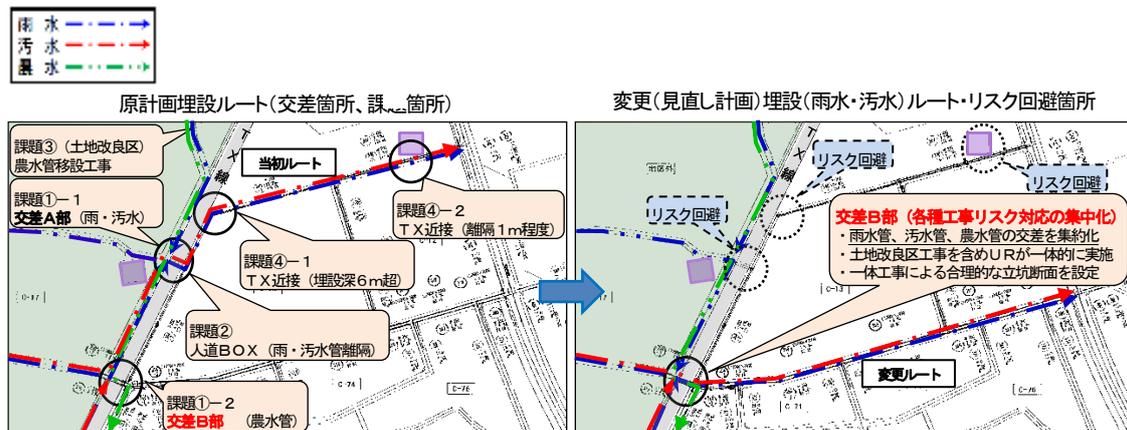


図-2 埋設ルート(交差箇所、課題図)

4. 鉄道横断工事上の制約等、鉄道事業者との連携

(1) 鉄道直下・近接部における工事実施体制

鉄道関連工事は、一般的には鉄道事業者が行うが、首都圏新都市鉄道(株) (以下「TX会社」という。) の工事実施体制上の問題により、UR自ら施工を行う必要があった。

また、URとしては、本工事の実施に当たっては、鉄道施設の安全確保、鉄道運行への影響を与えない確実な工事実施体制、施工方法、計測管理など万全な体制で臨む必要があった。

(2) 作業時間制約と安全施工対策、工事管理体制

作業時間については、横断工事以外の範囲は、8:00~17:00、横断関連工事の範囲は夜間工事として20:00~5:00、鉄道直下部は線路閉鎖後の0:40~4:00という厳しい制約があった。

R&C工法の施工は、この厳しい時間制約により長期にわたっての安全施工が求められ、工事期間中における工事監督体制、夜間工事体制及び緊急時の体制確保が必要であった。

(3) 鉄道事業者(TX会社)との連携

上記に示した各種制約の中、鉄道運行に影響を与えず無事に工事を完成させるため、設計、施工の各段階においては、TX会社との連携体制を構築し、協力・支援等を確保した。

5. 工事実施上の制約、その対応

(1) 鉄道事業者(TX会社)からの工事実施上の制約等

① 工事上の制約 (鉄道運行に関するもの)

- ・ TX線は、長ロングレール使用の軌道により、首都圏のJRを除く通勤電車では初めての最高速度130 km/hという高速鉄道であり、また、他の鉄道路線と比較しても気象変化に強く、ダイヤ遅延がほとんど無いというのが大きな特徴である。
- ・ 鉄道近接施工工事中における鉄道の運行においては、一般的には徐行運転をするが、TX会社からは「一切の徐行運転をしない」との制約が付与された。
- ・ 函渠等埋設工事の工法・施工方法の選定においては、この与条件をクリアする必要があり、万全な安全設計が必須であった。

② 工事の影響による許容変位

- ・ 設計時の整備目標変位については、新幹線軌道並みの厳しい条件に対応する必要があった。
(軌道変位許容基準：警戒値 2.8mm、工事中止値4.9mm、限界値7.0mm)

(2) 施工方法の協議・選定

施工方法については、TX会社との協議により鉄道運行に支障を来さない非開削工法とし、先行ルーフ工法、シールド工法、密閉型ボックス推進工法、パイプルーフ先受け工法等の中から、周辺への影響、施工性、施工日数、経済性、施工実績等を総合的に評価し、先行ルーフ工法(R&C (Roof & Culvert) 工法)を選定した。

(3) 万全な設計審査・照査対応(鉄道専門コンサルタントによる第三者照査の導入)

① 照査体制の強化

実施設計成果の設計審査・照査は、通常的设计業務受注者に加え、函体への外力によるFEM解析結果、鉄道施設への影響、施工方法に関する検証に関しては、別業務による鉄道工事の設計経験が豊富な専門コンサルタントによる第三者照査を導入し、照査体制を強化した。

② FEM解析断面数の強化

解析断面の設定は、一般的には外力の大きな主要断面とするが、本設計においては、施工段階における函体、鉄道敷きへの変状の全体像を把握するため、施工段階毎の設定とした。

③ 上記取り組みによる効果

専門コンサルタントならではの綿密な細部にわたる照査に加え、TX協議においては、この取組み姿勢が強く評価され、大きな課題がなく協議を整えられたことは大きな成果であった。また、鉄道への影響については、各施工段階毎のモデル化によるFEM解析(Finite Element

Method:有限要素法)により、工事初期段階からFEM解析予測と実態の関係性の確認を行うことが可能となり、施工時における変状予測に役立てられた。

(4)軌道敷きの変状測定、不測時への対応

①工事実施時の軌道の変状測定

- 掘削作業に際しては、終電車通過後直ちに軌道の測定を行い、異常が無いことを確認し、図-3の流れに沿って、軌道専門業者による軌道測定、軌道に設置した変位測定等の自動観測を行い、許容されている変位内であることを確認し工事を進めることとした。

②簡易工事桁の設置管理(写真-2参照)

- R&C工法は、沈下等による鉄道への影響が発生しない工法として位置づけられているが、過去の事例から100%影響が出ないものでないこと、改良体の中を推進するという特殊な地盤条件下での施工であることから不測の事態が懸念された。
- 万が一の事態にも対応可能な対策として、簡易工事桁を設置し、計測管理を行いつつ施工を行う方法を採用した。



写真-2 簡易工事桁設置状況

(5)安全管理協定

本工事は、鉄道施設の地盤改良体の中を推進させるという一般的ではない施工条件、また、鉄道運行に支障を与えず工事を完成させるという目的のため、TX会社とUR間において、『安全管理に関する協定書』を取交わし、相互連携した万全な体制の下で工事を実施した。

工事の責任がURであっても、鉄道の安全運行の責任はTX会社にあることから、本協定書においては、工事の着手に先立ち、工事実施上の協力依頼、安全管理上の対応、双方の役割分担等、相互協力体制により工事を行う旨の確認内容としたものである。

【管理協定項目】(主要項目を記載)

- ・鉄道運行上の安全確保に必要な立会確認(人員体制確保)、立会い範囲の明確化
- ・鉄道事業者としての各種立会い確認の他、各種工事実施上の安全確保に関する助言提言
- ・工事途中におけるTX会社、UR(施工業者を含む)合同の施工打合せ(月1回以上)
- ・異常時における臨機の対応、助言(異常時の緊急連絡体制の確保、緊急対応)



写真-3 R&C工法施工状況

6. 施工方法の概要、施工上の取組み

(1) R&C工法の概要

① 函体推進概要 (図-3 参照)

- ・ 鉄道を防護する防護工として、矩形断面の箱型ルーフ (0.8m×0.8m) を函体の外縁に合致するように横断区間に先行的に貫通。(写真3-①参照)
- ・ 箱型ルーフ内部の土砂は、作業員がルーフ内に入り込んで手作業で掘り、推進ジャッキで押しは掘り、押しは掘りを繰り返す。(写真3-②参照)
- ・ 今回工事では、この箱型ルーフは5本設置。(写真3-③参照)
- ・ 次に函体を箱型ルーフに沿って推進工法により押し出す。
- ・ BOX内部の土砂掘削→BOX押し込み→BOX継ぎ足し→箱型ルーフ押し込み・・・この一連の作業を順次繰り返す。(写真3-④参照)

② 函体推進における計測管理工

- ・ 軌道計測は、高低、通りを自動計測し監視モニターにより監視。(写真3-⑥参照)
- ・ 函体の計測において、通りはトランシット、高低測量はレベルにより管理。

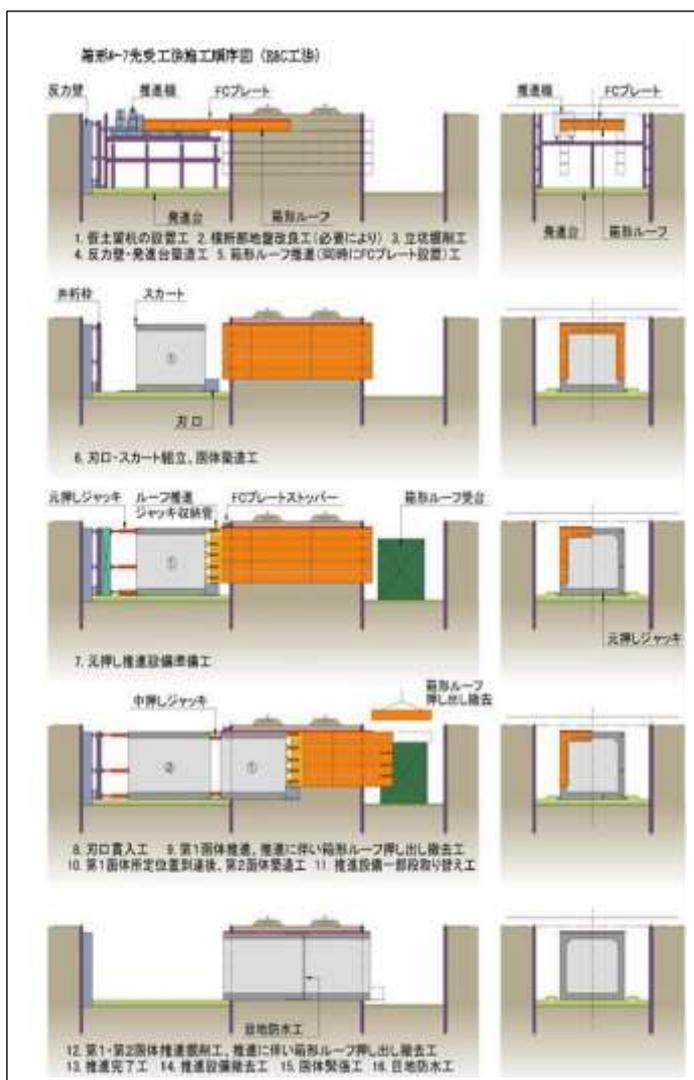


図-3 R&C工法施工手順 1)

(2) 現場での創意工夫(総合評価方式による技術提案項目)

本工事は、入札参加申請時に「企業の技術力」について記述した競争参加資格確認申請書等(以下、「申請書等」という。)を受付け、価格と価格以外の要素を総合的に評価して落札者を決定する総合評価方式の適用工事で、申込時に提案した技術提案項目について、現場における詳細検討を実施した上で、具体的な取組みに結びつけたものである。

① 夜間作業時の周辺住民対応 (夜間作業時の騒音・振動の低減)

推進工事は、下流側から上流側に推進するのが一般的であるが、本工事においては、縦断勾配が緩く上流側から下流側に推進することの技術的な検証が実施できたことから、発進立坑と到達立坑を入れ替え、主な夜間作業を住宅地の反対側で行うことを可能にした。

② 鉄道敷に影響を及ぼさない薬液注入工の選定 (より効果的な注入工法の選定)

標準工法は、少しずつゆっくりと注入することにより変位の低減は期待できるが、膨大な時間と手間を要し、施工効率の改善が課題であった。標準工法より、軌道への変状の影響が少なく、施工効率の改善効果の高い、『DCI多点注入工法』に提案変更した。(図-4 参照)

この提案工法は、低吐出量のポンプを用いて多数の注入ポイントから同時に注入し、変位等の計測管理をしながら、地盤変状をほとんど生じさせない施工が可能である。(表-3 参照)

工法	標準工法	提案工法
項目	ダブルパッカー工法	DCI多点注入工法※
注入速度	・6～10リットル/min	・1～4リットル/min
注入方式 ・注入時間	・1孔1ポイント注入の ステップアップ方式 ・時間が長い	・32台のポンプで 分散注入 ・時間が短い
地盤変状の 影響	・地盤の変状は小さい	・地盤変状は ほとんど生じない

表-3 薬液注入工法の比較

※DCI : Displacement Control Injection

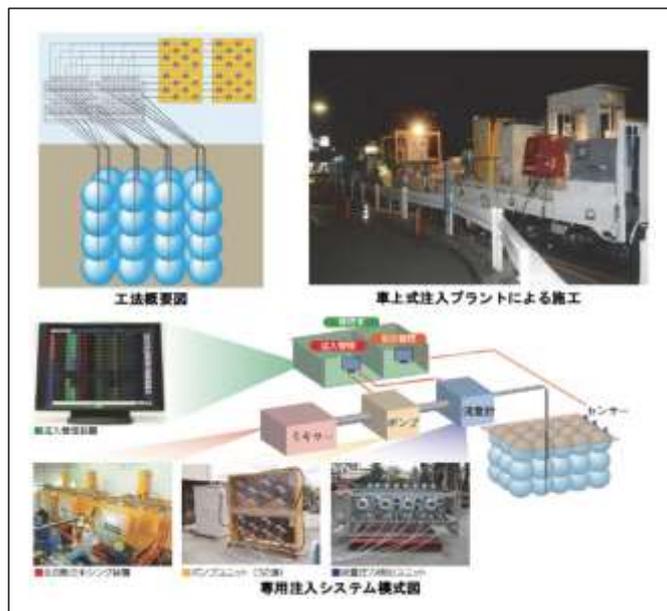


図-4 薬液注入工法の比較 2)

(3)現場におけるトラブル対応

施工途中において、上段(3列) ルーフ推進時、線路下中央付近から推進力が当初推定より増大する事象が発生した。ルーフ推力は設計最大推力2500KNに対して、No. 1ルーフmax2200KN、No. 2ルーフmax2800KN、No. 3ルーフmax3400KNとなり、想定以上の推力が生じ、推進が困難となった。

【原因と対策】

- ・トラブルの原因は、線路下の地盤改良体の硬さがルーフ管の周面摩擦力の増大に繋がったと考えられた。ルーフ管の周面摩擦力上昇に対する対応策としては、ルーフ管内部からルーフ外周に滑材を注入し、摩擦抵抗の低減を図った後に、推進工事を再開した。
- ・この原因究明と対応策の検討に際しては、受発注者相互協力の下、非開削工法の施工実績が豊富な受注者側の技術スタッフの支援も得て、対策工法を選定し、時間ロスを最小限に留めた。

7. おわりに

本事案は、URにとって前例のない鉄道直下部の工事であり、工事上の各種リスクを最小化する必要性から、TX横断箇所を含めた上下流約20haの排水流域の計画を見直し、その上で横断工事としての具体的な実施設計を行い、R&C工法として設計成果を取りまとめた。

具体的な工事においては、軌道直下のほぼ中ほどで推進機が前にも後ろにも動かなくなるといった予想外のトラブルに見舞われたが、TX会社、受注者との相互連携による協力体制によって工事を進め、各種難題を解決してきたという自負があったからこそ、この予想外のトラブルにも関係者間の総合力によって対応策を検討し、大きな時間ロスもなく推進の再開となったと感じる。

今、四年前を振り返り、“鉄道運行に支障を与えず無事に工事を完成”させられたことは、「広範囲に及ぶ地下埋設管ルートの見直し検討に始まり、他機関の工事実施内容まで踏み込み、URとして如何に関係者と連携し安全かつ確実な設計・工事を行うか」といった課題認識の下で取り組んだこの一連の総合的なマネジメントによって成し得たものと改めて実感した。

建設業界においては、ICT、AI技術等の新たな視点での新技術、施工管理技術等が生み出されており、今後ますます多用されるものと思われるが、どのような状況下にあっても現場を動かすのは人であり、安全第一という工事関係者の意識が重要であるのは言うまでもない。

土木技術者として、技術面、安全面はもとより、昨今のICT等情報化の進展を的確に捉えつつ、継続的な自己研鑽に努め、社会から信頼される技術者となり日々の職務にまい進していきたい。

【参考文献】

- 1) アンダーパス技術協会—R&C 工法資料
- 2) 鉄道ACT研究会ホームページ : <http://www.rail-act.org/index.html>