

桶狭間勅使線の愛知用水アンダーパス工事

勝山滋郎¹

¹〇名古屋市緑政土木局 昭和土木事務所（〒466-0853 名古屋市昭和区川原通4丁目10）

都市計画道路桶狭間勅使線の整備にあたり、その事業区間にある愛知用水をアンダーパスで横断する計画である。愛知用水を通水した状態で、非開削工法によって箱型のトンネル構造物を造るにあたり、現地条件や用水管理者との交差協議により設計条件や施工条件に著しい制約があった。本稿は、そのような条件の下で立案した施工方法や、施工中の愛知用水の精度管理方法などについて報告するものである。狭隘な施工ヤードと愛知用水開水路の管理値 3 mm（相対変位）という厳しい条件のなかで箱型函渠の非開削工法として採用した S F T 工法の概要を説明するとともに、施工進捗について報告する。

キーワード：アンダーパス，箱型函渠，S F T 工法，愛知用水

1. はじめに

桶狭間勅使線（以下、本路線）は、国道 302 号を起点として豊明市に至る延長約 1.7 km の都市計画道路であり、国道 1 号と国道 23 号を補完する補助幹線道路として、土地区画整理事業により宅地開発が進められる桶狭間地区から国道 302 号へのアクセスの役割を担うものである（図 - 1）。平成 7 年度より順次整備が進められ、全線開通まで約 410 m を残している。当該事業区間には愛知用水幹線水路があるため、一部で車両同士のすれ違いができないような既設のアンダーパスを通行しなければならない、不便を強いられている地域からは本路線の早期開通への期待が寄せられている。

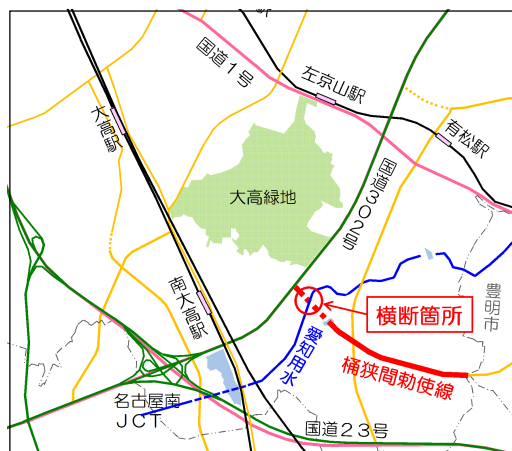


図 - 1 位置図

一方で国道 302 号と愛知用水に挟まれた短い区間で

土地区画整理事業が施行されたことで、住宅が近接しており、あわせて本路線も国道 302 号の開通にあわせて部分的に整備済みのため、工事ヤードや道路計画高に著しい制約がある。また、愛知用水総合管理所（以下、管理者）からは幹線水路に機能障害を生じさせないように厳しい精度管理を求められている。本論文は、この条件下で立案した箱型函渠の非開削工法や仮設計画、愛知用水の管理方法などを報告するものである。

2. 箱型函渠の施工方法

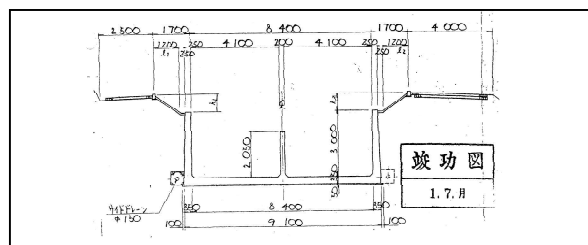
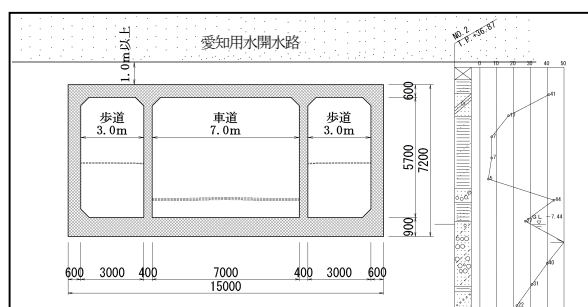
(1) 交差協議と現地整備状況

本計画は、愛知用水幹線水路の下に幅 15 m × 高さ 7.2 m × 延長 30 m（2 径間）の箱型函渠（図 - 2）を設置するものである。交差対象となる愛知用水はⅡ期幹線水路文久山開水路工事にしゅん工している。内空幅 8.4 m × 内空高 3 m の鉄筋コンクリート造の開水路（図 - 3）であり、止水目地板が開水路の縦断方向に 1.2 m 毎に設置されている。交差協議において管理者から求められた条件は「施設用地等管理要領（幹線水路）」（（独）水資源機構愛知用水管理所）に基づき、

- ①箱型函渠と開水路の離隔は、当該構造物の外径あるいは 1 m の大なる値以上確保すること
- ②止水目地部における開水路の相対変位量を 3 mm 以内に抑制して施工すること

という精度管理上非常に厳しいものであった。

条件①に対して、箱型函渠の外径（幅・高さ）は 1 m を大きく超えているが、外径 1 m 以下の防護管（以下、



ルーフ管)を先行して設置し、地盤との縁切りを施すことで、開水路との離隔を最小の1 mにできるものとして了承を得たため、施工方法の検討にあたり、ルーフ管を先行設置する工法が前提となった。

現地では、平成22年度に国道302号が開通し、それにあわせて本路線も国道302号に接道する1街区（延長約70m）が整備済みである。その道路高は開水路との離隔0.3mを想定して決められていた。当該地区周辺は大根山土地区画整理組合事業により宅地開発が進み、本路線の沿線には住宅が建ち並んでおり、既整備部分の道路高を大幅に変更することは困難であった。愛知用水の管理者には現地状況を説明するものの、離隔1m未満では管理要領を遵守できないため理解を得られず、交差協議が締結できない恐れがあった。そのため計画道路高や箱型函渠の形状などを見直すこととした。

本路線は、第4種第2級、設計速度50km/hの道路であり、道路構造令における車道の縦断勾配は最大8%（特例値）である（図-4）。前述のとおり開水路との離隔を1m以上確保し、さらに車道部の建築限界である内空高4.5m以上を確保すると、箱型函渠の頂版厚さを最大600mmとしなければならない、以上に述べた条件を全て満足する施工方法を検討する必要がある。

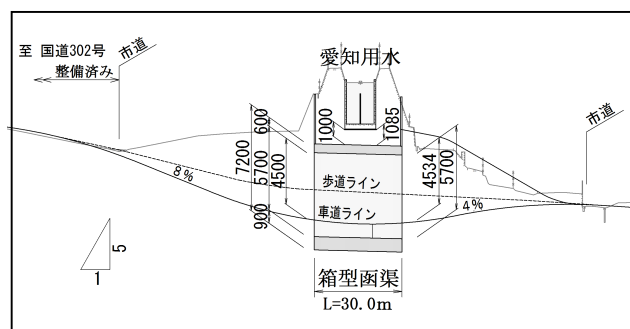


図 - 4 計画縦断面図

(2) 非開削工法比較

鉄道や高速道路などが供用したまま、その直下に道路空間を得るために箱型函渠を設置する施工方法を検討するにあたり、ルーフ管を先行して設置することで低土盛りでの施工を可能とする非開削工法には、R&C工法、SFT工法、HEP&JES工法、URT工法などがある(表-1)。大別すると、R&C工法とSFT工法は先行設置したルーフ管を箱型函渠と置き換える工法であり、HEP&JES工法とURT工法は先行設置したルーフ管に化粧コンクリートを施すことでルーフ管自体を本体構造物の一部とするエレメント工法である。それ以外にもフロンテジャッキング工法のようにルーフ管の下部に施工空間を確保して箱型函渠を推進・けん引する工法もある。しかし、表-1に示すように、いずれの工法もルーフ管の外径が800~1000mmであり、ルーフ管に化粧コンクリートを施すと頂版厚の制限により内空高が建築限界を確保できない。頂版厚を600mmの条件を満足する選択肢は、ルーフ管の設置位置に直接箱型函渠を設置することのできるR&C工法とSFT工法に限定された。

表一 1 工法選定（一次選定）

工法別	置換工法		エレメント工法	
名称	R&C工法	SFT工法	HEP&JES工法	URT工法
土被り				
特徴	躯体の上床部の高さと同壁に合わせ、箱形ルーフを挿入し、躯体底部を掘進・圧入することで置換設置する。	躯体の外面（四辺）に箱形ルーフを挿入し、躯体と一緒に圧入することで置換設置する。	鋼製エレメントをけん引設置して箱型ラメンタを形成し、エレメント内部にコンクリートを充填して、本体構造物とする。	鋼製エレメントを挿入して箱型形状を形成する。PC鋼線で緊張し、エレメント内部にモルタルを充填して、本体構造物とする。

R&C工法とSFT工法の比較を表-2に示す。

表-2 工法選定 (二次選定)

	R&C工法	SFT工法
概略図		
特徴	・躯体掘進作業は切羽の掘削・排土、ルーフ各列毎の推進、躯体推進の工程を繰り返す行い、躯体を所定の位置に設置する。 ・躯体製作は立坑内の明かり部で行うため、品質管理は良好である。 ・ルーフの寸法は800である。ボルト作業はルーフの外側で行う。	・ルーフと躯体を合体し、掘削せずに躯体を推進方式で設置する。躯体推進中、水路下の掘削作業が無く、地盤の緩みの要因が少ない。 ・躯体製作は立坑内の明かり部で行うため、品質管理は良好である。 ・ルーフの寸法は1000である。ルーフ内部でのボルト作業が可能であり、立坑幅が縮小できる。 ・推進力が大きく、R&C工法と比べると、大きな反力力が必要である。
工期	31.5ヶ月	30.5ヶ月
概算工事費	1,063百万円	1,030百万円
施工実績	391件（平成28年3月現在）	28件（平成29年4月現在）

R&C工法は、上部に鉄道や道路など重要構造物がある場合、その防護工として矩形断面のルーフ管を、本体構造物である箱型函渠の外周に合致するように門形に設置し、発進立坑内で製作した箱型函渠を推進ジャッキにより掘進することで置換設置する非開削工法である。

SFT工法は、従来工法であるR&C工法を改良した工法であり、ルーフ管を箱型函渠の横断面全長にわたって口の字形に設置し、箱型函渠を掘進せずに推進ジャッキで押し抜くところがR&C工法と異なる点である。

当現場の場合、工程および経済性の点でSFT工法が有利であり、かつ箱型函渠の設置位置が民地に近接しており、十分な工事ヤードが確保されていない場合の施工性においてもSFT工法が優れている。

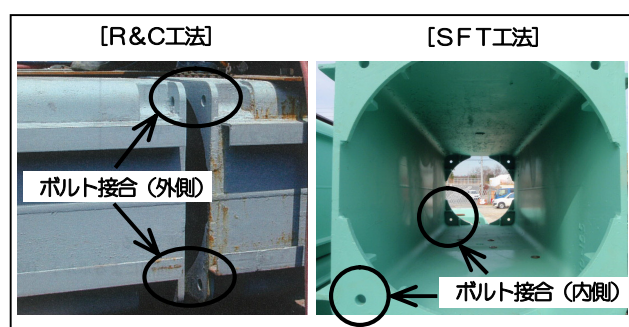


写真-1 ルーフ管の施工性比較

写真-1に示すように、R&C工法で使用するルーフ管はボルトの接合作業をルーフの外側から行うため、狭隘な工事ヤードでは作業の手が入らない。一方、SFT工法では、ルーフ管のボルト接合作業をルーフ内部から行うことができるように改良されており、当現場条件ではSFT工法が最適である。

SFT工法自体は国外を含めて28件（平成29年4月現在）と施工事例が少ないものの施工事例の多いR&C工法を改良した工法のため、施工実績もそれに準ずる信頼性のある工法と考えられ、本路線ではSFT工法を採用することとした。

3. SFT工法

(1) 工法概要

本路線で採用したSFT（Simple and Face-Less Method of Construction of Tunnel）工法は、ルーフ管（□1m×1m）を箱型函渠の全周にわたって設置することで、その外側の地盤と内側の地盤を完全に縁切りすることが可能であり、内側の土砂はルーフ管と鋼矢板で囲むことで、ルーフ管と一体となって押し出される（図-6）。非開削による箱型函渠の推進工法であるにも関わらず、切羽掘削作業が無いという点が大きな特徴である。施工順序は次のとおりである（図-5）。

- ①開水路下に薬液注入を行う。土留工を設置し、発進立坑および到達立坑を築造する。
- ②ルーフ管を箱型函渠の外周に合わせて設置する。同時に発進立坑内で箱型函渠を築造する。
- ③箱型函渠とルーフ管を連結し、一体として推進を行う。前進したスペースに鋼材（スパーサー、ストラット）を挿入する。
- ④到達立坑に押し出されたルーフ管と鋼矢板を撤去し、それらに囲まれた土砂の排出を行う。箱型函渠の推進と、ルーフ管と土砂の撤去を繰り返し行う。
- ⑤所定の位置まで推進した後、発進立坑内で2径間目の箱型函渠（B2）を築造する。
- ⑥再び箱型函渠（2径間）の推進を行い、ルーフ管と土砂の撤去を繰り返し行う。所定の位置まで推進した後、推進設備を撤去して、SFT工法は完了となる

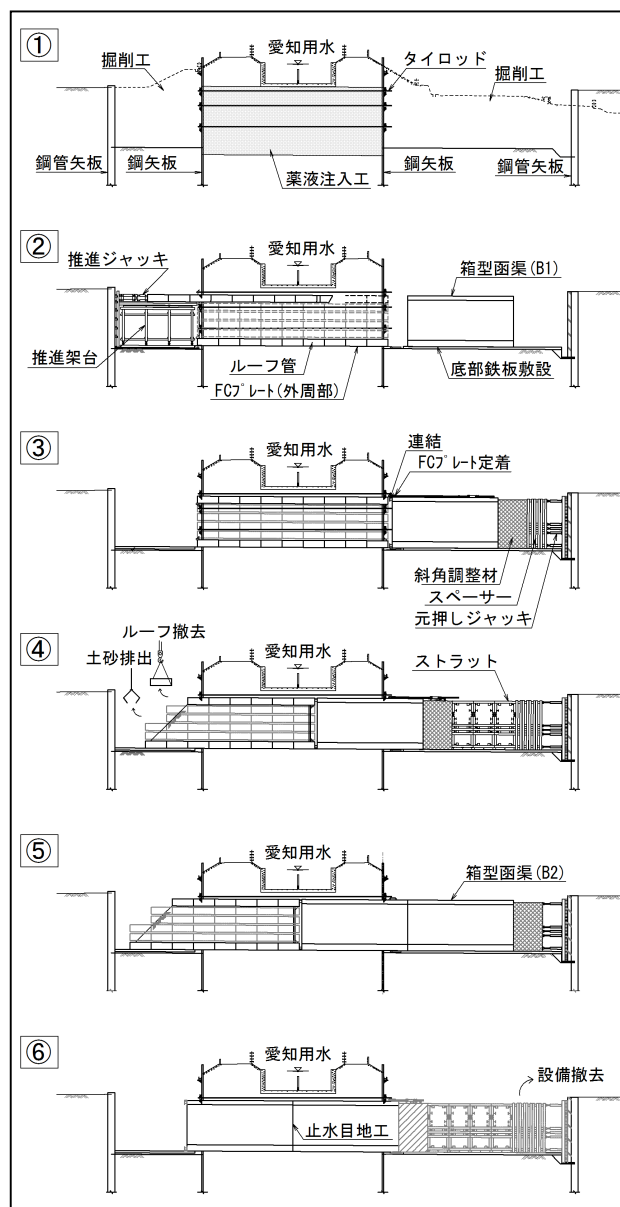


図-5 施工順序

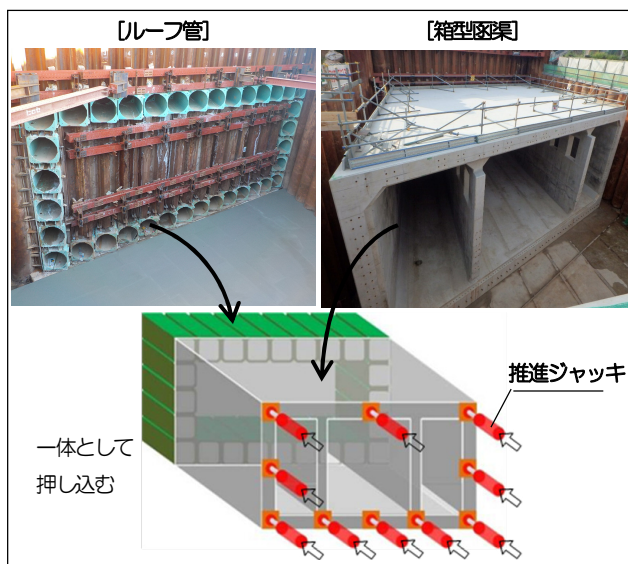


図-6 SFT工法イメージ

(2) ルーフ管

SFT工法の特徴はルーフ管と箱型函渠を置き換えるところにある。ルーフ管には定規の役割があり、その施工誤差が開水路の変位に直結するため、その施工には高い精度が要求される。ルーフ管の推進をオーガのような機械で施工する場合、工期短縮では有利となるが、施工誤差が出やすく、その都度軌道修正を行うことは困難である。そのためルーフ管1本の施工誤差が蓄積されて、全体で大きな誤差となる恐れがある。そこで掘削作業と計測を常時行うことができ、軌道修正が可能であることから、確実性で優位に立つ人力掘削で施工を行った。

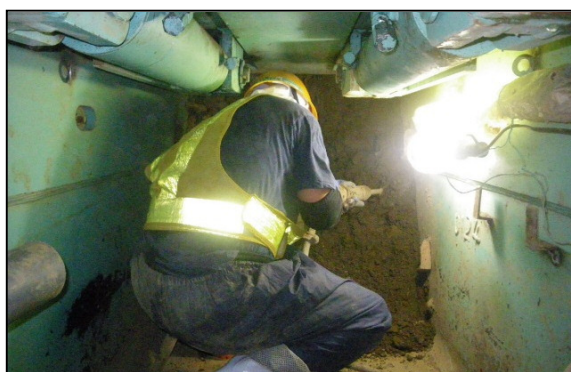


写真-2 ルーフ管の施工状況

(3) FCプレート

ルーフ管を全周に設置することで、ルーフ管で囲われた内側地盤と外側地盤が完全に縁切りされるが、ルーフ管の外側にFC（フリクションカット）プレートを配置して地中に固定することで、箱型函渠の推進時における摩擦低減を図る（写真-3）。箱型函渠の底部には敷鉄板を布設するため、箱型函渠外周面のうち摩擦の影響が最も大きい底面は、鋼と鋼との材料間の摩擦となるようにして推進時の滑りを改善する。

一方、FCプレートが高い推進力に引きずられて推進

方向に変位し、FCプレートに载荷している地盤が移動する懸念がある。そこでFCプレートが一定以上の変位になると固定点まで引き戻すための制御用ジャッキを用意し、所定の位置を確保する

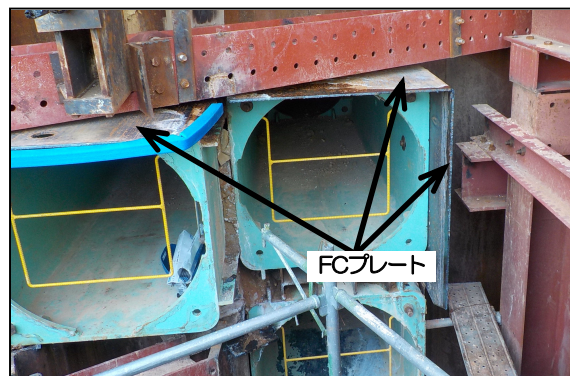


写真-3 FCプレート

(4) 函体推進工

ルーフ管と鋼矢板に囲まれた土砂と箱型函渠を一体で押し出すため、FCプレート等によって地盤の縁切りと摩擦低減を図るとはいえ、非常に大きな推進力を必要とする。推進時に接触する各部材間の摩擦係数を考慮したとき、ケース2のときに推進力が最大となり、65,236 kNとなる（図-7）。これに対して本工事では1,500 kNの推進ジャッキを58基用意する。

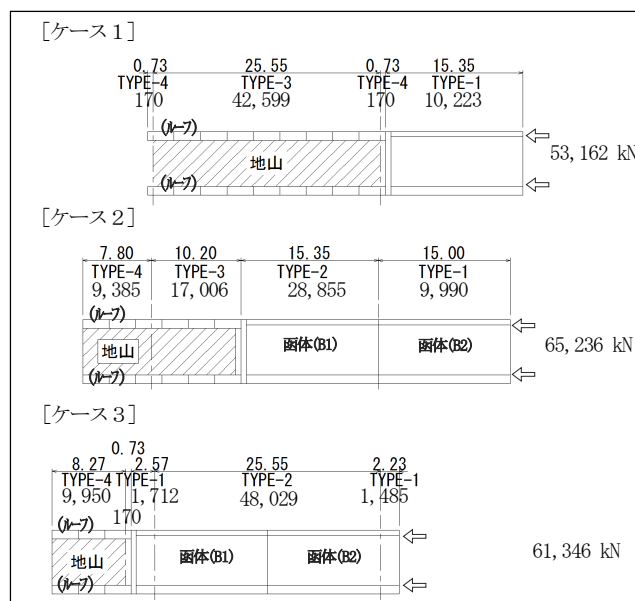


図-7 推進力の検討

4. 仮設計画

(1) 薬液注入

施工箇所の土質状況は、箱型函渠の上端と下端が砂礫で、中央に粘性土を挟んでいる。地下水位は下端付近に位置していることから、止水のための地盤改良は必要ないものと判断した。しかし、以下の項目を目的とした薬液注入が必要であった。

- ①ルーフ管の施工が非開削人力開放型掘削のため、推進時の切羽崩壊を防止する。
- ②開水路下の地盤を改良して、開水路の変位を抑制する。
- ③ルーフ管が立坑を貫通するために土留鋼矢板を切断・開放（鏡切り）するときに防護する。

①，②に対しては、鋼矢板を設置する前に地上から斜め方向に掘削・注入を行った。③に対しては、鋼矢板施工時の地盤の緩みを改良するため、鋼矢板を設置した後に、愛知用水の管理用道路から垂直方向に掘削・注入を行った。

施工方法は、近接する開水路への影響を考慮して二重管ダブルパッカー工法とした。二重管ダブルパッカー工法の長所は、注入予定箇所以外への注入材の逸走を防止し、注入材を長結タイプとすることで、開水路の変位を抑制するとともに、確実な注入効果が得られるところにある。設計通りに注入した結果、鋼矢板の切断・開放時に土砂が自立していた状況を見ると、改良効果は概ね良好であったと考えられる（写真 - 4）



写真 - 4 鋼矢板切断後の地盤状況

(2) 仮設土留工

開水路を挟んで両側に発進立坑および到達立坑を築造するにあたり、施工条件や現地状況、土質状況など、以下の項目を勘案して土留形式を自立式鋼管矢板とした。ただし、立坑四方のうち愛知用水沿いの土留壁はルーフ管の設置のために切断する必要があるため、鋼矢板＋タイロッド方式とした。（図 - 8）。

- ①ルーフ管等の鋼材の吊入れや、押し出されたルーフ管の撤去、土砂の排出など、立坑内作業の支障となるため、切梁式の採用は不可である。
- ②土留壁を官民境界沿いに設置しなければならないため、民地に越境するアンカー式や施工機械が越境する工法の採用は不可である。
- ③近接する開水路や住宅への影響を防止するため、低騒音・低振動の工法とする。
- ④開水路盛土部への施工が可能である。
- ⑤地下水位が床付面付近と想定されるため、土留壁間のセクションの止水は不要である。

タイロッドが愛知用水に縦断的に近接していることや、タイロッドの軸力が鋼矢板と直交しないことが憂慮されたが、愛知用水への変状は見られず、鋼矢板天端の変位は計算値 20 cm に対して 2 cm 程度と小さいものであった。

到達立坑において、南側で確保された作業スペースは仮設土留の設置分も含めて 1 m しかなく、鋼管矢板の径を縮小して 10 cm の作業スペースを確保する設計とした。土圧による鋼管矢板の変位によりスペースがさらに狭隘になることが憂慮されたが、変位は見られなかった。

また、地下水位は立坑床付高付近であるため、立坑底盤へのコンクリート打設以降は地下水の影響を受けることなく立坑内での作業を行うことができた。

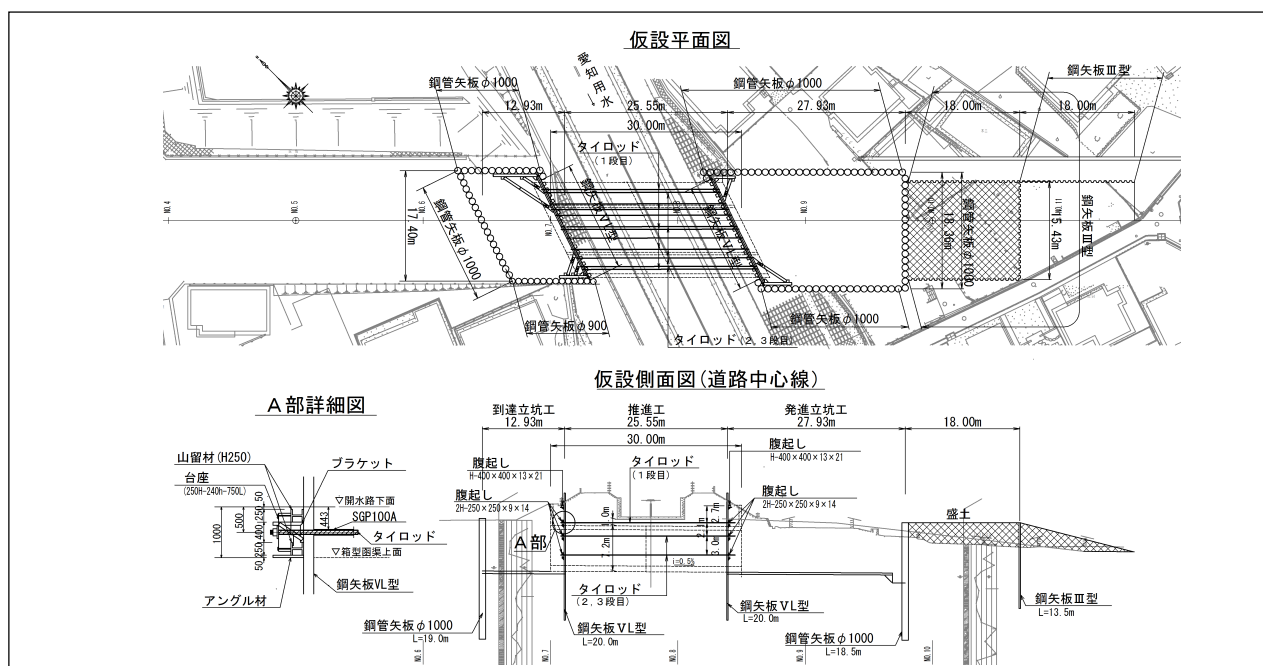


図 - 8 仮設計画図

5. 愛知用水の精度管理

(1) 土地履歴調査

本工事は大規模な非開削工法で行うため、施工中に想定外の地中残置物や土壌汚染が発見された場合、引き戻しが困難であることから、施工前の入念な調査を行った。

地歴調査は、航空写真のほか戦前の旧土地台帳や閉鎖登記簿から行った。当該地は戦前から地目が畑であり、周辺にも旧軍施設の存在は見受けられなかったため、地中残置物や土壌汚染はないものと判断できた。

(2) 工事着手前調査

開水路やその直下の盛土の健全状態が不明であったため、従前からの損傷等が原因となって開水路にひび割れや漏水が発生する懸念があった。また、開水路施工時に使用した鋼矢板が残置されている可能性もあった。そのため、総合評価落札方式（簡易型）における施工上配慮すべき事項として「工事着手前に愛知用水施設の調査を行い、既存の損傷等を確実に把握する方法」を挙げた結果、請負業者から着手前調査に関する有用な提案を受けることができた。開水路には横断面中央に仕切り板があるため、供用したまま半断面ずつ空水状態の切替えを行い、以下の調査を行った。

①開水路周りの盛土に空洞があると沈下の大きな原因となるため、着工前に残置矢板の確認も含め、地中レーダー探査を行った。

②躯体のひび割れを高解像度カメラを用いて撮影し、画像の写真解析を行った。

以上の結果、愛知用水に大きな沈下やひび割れなどの要因となる空洞や損傷は見受けられないことが判った。

(3) 動態観測システム

開水路の許容相対変位量3mmに対し、着工当初から水盛式沈下計、 π 型変位計および傾斜計を設置して愛知用水の24時間動態観測を行っている。水盛式沈下計は絶対変位量を計測するものだが、図-9に示すように、それを目地部の前後に設置し、その計測値の差を相対変位量として管理している。一方、 π 型変位計は目地の開きを、傾斜計は躯体の傾斜を計測している

発進立坑側についてNo.11とNo.12の計測結果を、到達立坑側についてNo.5とNo.6の計測結果を図-10に示す。No.11とNo.12の差、およびNo.5とNo.6の差がそれぞれ相対変位量となるが、いずれも許容値の3mm未満に収まっている。ここで鉛直変位の絶対量に着目すると、薬液注入開始から徐々に隆起が見受けられ、最大5.3mm（相対変位は0.3mm）の変位が見られた。そのため圧力や日施工量を調整しながら注入を行うなど、慎重に工事を進めた。土留工や掘削工など立坑構築においては大きな変位は見られなかったが、ルーフ推進工では、掘削による地盤の緩みに

より、隆起していたと思われる開水路に沈下の傾向が見られた。函体推進工では、箱型函渠が開水路直下に押し込まれた発進立坑側において沈下の傾向が見られた。一方で、到達立坑側では沈下が収束していることから、ルーフ管が押し出されているだけの到達立坑側では大きな変位は見られず、ルーフ管と箱型函渠の連結部の外周差に起因して地盤に緩みが生じてしまうことが推察される。今後、2径間目の函体推進時には到達立坑側の変位にも注視して慎重に施工を進めていく必要がある。

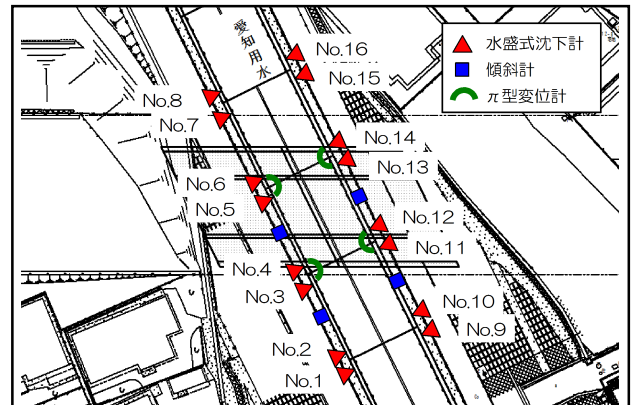


図-9 計測器設置位置

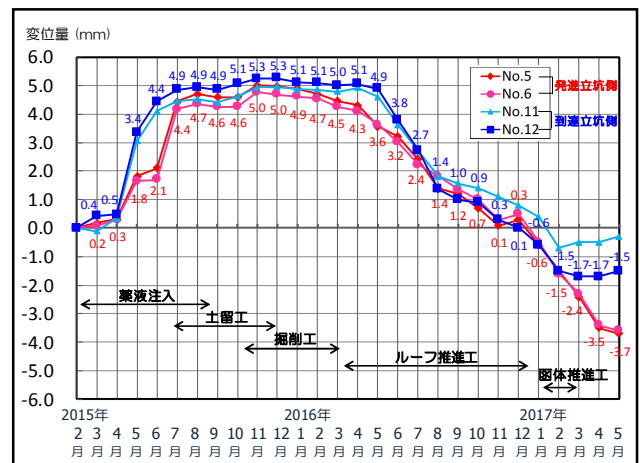


図-10 計測データ（鉛直方向変位）

6. おわりに

本論文では、通水した状態の幹線水路の直下にトンネル構造物を造るという愛知用水アンダーパス工事について、管理者との交差協議条件や現地条件などを鑑みて立案した設計方針や施工方法を報告した。交差協議の締結や総合評価項目の立案、非開削工法や仮設の設計などを苦慮して行ってきたが、平成27年2月の着工から1径間目の箱型函渠の推進完了に至るまで、愛知用水への影響を抑制しつつ慎重に工事が進められている。今後、2径間目の箱型函渠を押し込む工程に入る。ジャッキの推力や愛知用水の動態観測などの施工管理を引き続き行い、地域住民や道路利用者からの早期開通の期待に応えるべく、着実な工事進捗を目指していく。