

# 設計・施工一括発注方式による 住宅地域直下の地下河川トンネルの施工

Construction of the waterway tunnel under residential area by Design-Build System

石崎牧生<sup>1</sup>・加藤孝幸<sup>1</sup>・目黒 悟<sup>2</sup>・小原勝巳<sup>3</sup>・三上元弘<sup>4</sup>

Makio Ishizaki, Takayuki Kato, Satoru Meguro, Katsumi Obara and Motohiro Mikami

<sup>1</sup>日立市 都市整備課 (〒317-8601 茨城県日立市助川町1-1-1)

E-mail: toshiseibi@city.hitachi.lg.jp

<sup>2</sup>飛島建設株式会社 関東土木支店 日立大沼トンネル作業所 (〒316-0023 茨城県日立市東大沼町4-32)

<sup>3</sup>正会員 飛島建設株式会社 関東土木支店 技術G (〒102-8332 東京都千代田区三番町2)

<sup>4</sup>正会員 応用地質株式会社 東京本社 技術センター (〒305-0841 茨城県つくば市御幸が丘43)

The Design-Build System has been introduced and applied for public construction projects as an effective means to offer low-cost and good quality structures in Japan. An advantage of this order system is efficient to solve site technical issues by using the construction contractor's expertise (cost management and quality and safety securing, etc.) based on site experience, and by unifying the responsibility from design to construction.

This report shows an example of the waterway tunnel constructed under residential area in whole line by application of the Design-Build System. The detailed design is drew with the geological precise investigation at basic design stage and modified with the results of early tunnel excavation. This phased construction is immediate effective for risk reduction of this tunnel construction.

**Key Words :** waterway tunnel, NATM, Design-Build System, neighboring construction

## 1. はじめに

公共工事の執行において、低コストで良質な構造物を提供するための有効な手段として「設計・施工一括発注方式」の導入が検討され、展開されつつある。本発注方式の大きな利点は、施工業者の有する現場技術力（コスト管理能力、品質・安全確保等）を設計に反映させることであり、設計と施工の責任を一元化することにより、対象工事の技術的課題に対して、より効率的な対応を可能とすることと考えられる。

本論は、地表部に住宅等が全線に亘って分布する厳しい施工条件において、土被り5~6mの地下河川トンネル工事を、設計・施工一括発注方式により受注者の技術提案、施工技術力を活かしながら、多くの課題を克服しながら低コストで実施した内容を報告するものである。

## 2. 工事の概要

### (1) 分水路の基本性能および設計仕様

日立市の大沼地区を流れる大沼川は、JR常磐線、国道245号を横断し太平洋に流れる河川幅2~5m、勾配1/100程度の二級河川であり、近年、周辺の都市化により洪水流量が増大し浸水等の被害が発生した。

本工事は洪水対策として旧日立電鉄より下流域に分水路トンネルを設置することにより、大沼川の流下能力を確保するものである。分水路の主な基本性能および設計仕様を表-1に示す。

### (2) 地形・地質条件

トンネル計画地は、水木段丘と呼ばれる海岸段丘上にあり、大沼川により開析された標高15m程度の比較的平坦な谷部に位置する。トンネル区間は、新第三紀鮮新世の多賀層群を基盤とし、これを段丘堆積物の礫質土、浅谷堆積物の粘性土、造成時の盛土

が覆っている。基盤面は比較的平坦であり、トンネル掘削断面は全線に亘り多賀層群中に含まれる。

トンネル掘削の大半を占める泥岩は、一軸圧縮強度が $2\sim 3\text{N/mm}^2$ の亀裂の少ない安定した地山であり、上面から施工基面までほぼ均質で目立った風化は見られないが、全体に砂分を多く含み、湿潤密度が $14\text{kN/m}^3$ 程度と小さい特徴がある。砂岩は層厚 $4\text{m}$ と $1\text{m}$ 以下のものが1層ずつ緩やかに上流側に向かって傾斜して分布する。砂岩層の固結度は低くコアは指圧で崩れる状態である。

トンネルは全線に亘り $5\sim 6\text{m}$ の薄土被りであるが、事前調査により基盤の多賀層群の被りは概ね全線で $2\text{m}$ 以上確保できると予想されていた（図-1）。

### (3) 施工条件

施工箇所周辺は第1種低層住居専用地域等に区分される住宅地域であり、分水路トンネルの大半は住宅が面する幅 $5\sim 6\text{m}$ の団地内市道の直下を通過する（一部は宅地直下）。団地内市道には、ガス管、上下水道管等のライフライン、マンホール、防火水槽等がトンネル上部に密に分布している。また、砂岩層が分布する市道が大沼川と平行する区間（約 $100\text{m}$ ）は河川との近接施工となる。さらに、トンネルの吐口付近では、国道245号および店舗進入路と広告塔直下を横断するほか、汚水管の本管（ $\phi 1500$ ）が僅か $10\text{cm}$ 程度で下方に近接し、これと接続する移設前の汚水管（ $\phi 300$ ）が断面内に残置されている。

トンネル全延長（ $640\text{m}$ ）に亘り、薄土被りでこのような厳しい地表条件で施工されたトンネルの施工事例は少ないと思われる。

表-1 分水路の基本性能および設計仕様

| 項目       | 性能・仕様                                                            |
|----------|------------------------------------------------------------------|
| 河川分流比    | 現河川： $16.0\text{m}^3/\text{s}$<br>分水路： $31.0\text{m}^3/\text{s}$ |
| トンネル設計流量 | $41\text{m}^3/\text{s}$ ( $31.0\text{m}^3/\text{s} \times 1.3$ ) |
| トンネル内空隙率 | 15%以上                                                            |
| 計画縦断勾配   | 1/130 程度（自然流下）                                                   |
| 設計流速     | $7\text{m/s}$ 以下かつ限界流速以下                                         |

表-2 地質層序表

| 地質時代 | 地層名 | 地質記号  | 層相     |
|------|-----|-------|--------|
| 第四紀  | 完新世 | —     | B 盛土   |
|      |     | 浅谷堆積物 | Ac 粘性土 |
|      | 更新世 | 段丘堆積物 | Dg 礫質土 |
| 新第三紀 | 鮮新世 | 多賀層群  | Tms 泥岩 |
|      |     |       | Tss 砂岩 |

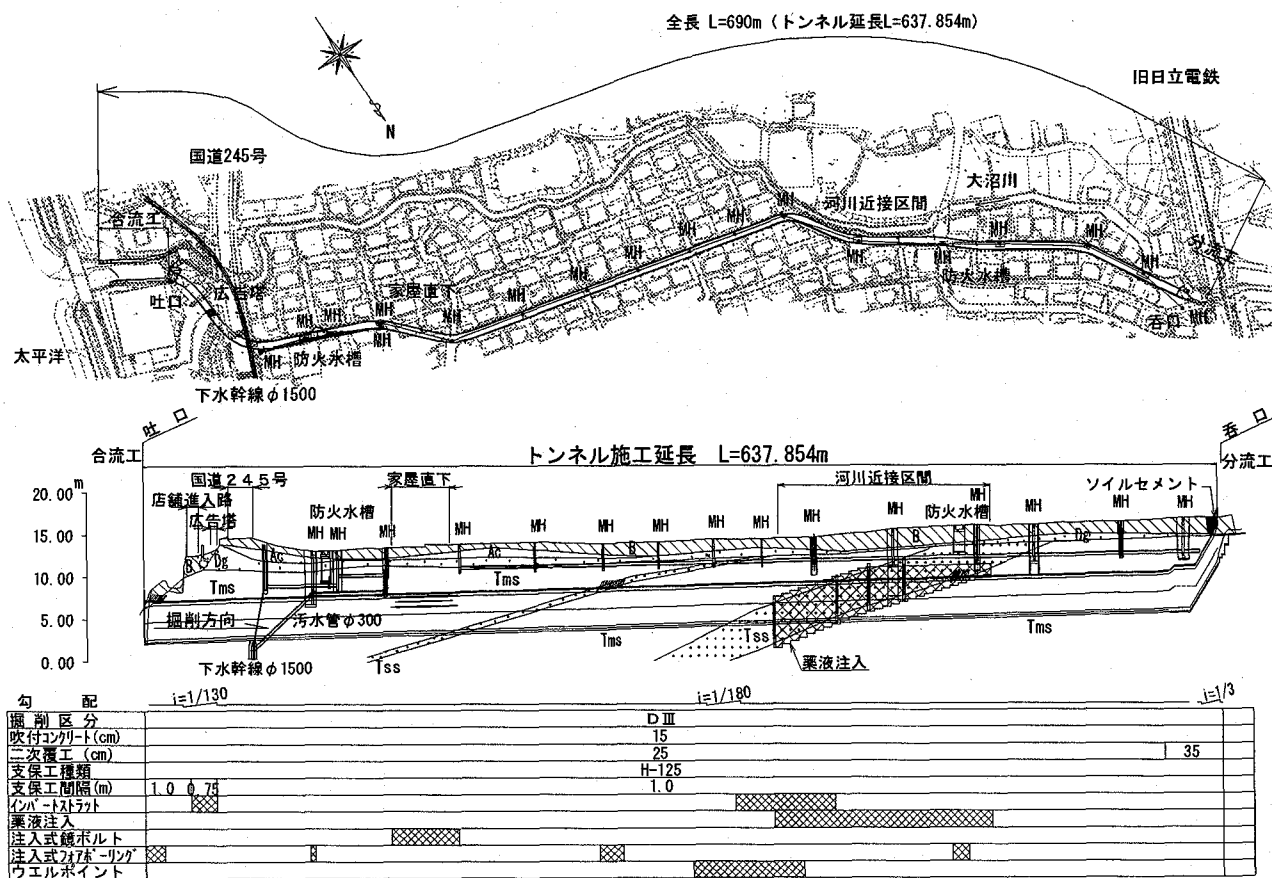


図-1 トンネル平面・縦断図

### 3. 設計・施工一括発注方式の概要

#### (1) 契約方式の概要

本事業は、厳しい施工条件下で実施されることから、安全・品質確保、経済的事業の実施等を図るため、民間の技術力を幅広く活用し技術力による競争を促進するため、設計・施工一括発注方式が採用された。以下に概要を示す。

- ・主にトンネルの学識経験者により構成される技術審査会を組織し、入札前に、技術提案およびコストダウンに関する具体的な提案を施工業者から求め、入札参加の可否を審査した。
- ・落札者は上記審査を通過した者の内の最低価格者とした（技術提案価格競争方式）。

#### (2) リスク分担について

本工事では、リスク分担表に基づき、発注者と受注者のリスク分担を契約時に明確にしている。

概要を以下に示す。

##### a) 発注者の主なリスク分担

- ・地震等の自然災害による不可抗力
- ・想定外の地中埋設物
- ・設計基準、法令類の改正に伴う設計変更

##### b) 受注者の主なリスク分担

- ・設計・施工内容、地盤等の自然条件
- ・施工において生じる環境問題等
- ・施工管理を含む現場のマネジメント対応

##### c) 協議によって分担を決める主な事項

- ・施工に関わらない近隣住民、関係機関との調整
- ・施工に影響を及ぼす社会条件の変化

トンネル工事では、施工時の地盤条件が事前調査による想定と異なる場合、一般に協議対象となるが、本工事では、既設の下水管工事の実績やボーリング調査により全線にわたって地盤条件が明確であること、発注前にそれらの資料を開示し受注者の技術提案を受け入れることにより、受注者の分担リスクとしている。

#### (3) 技術提案の募集

入札前の技術提案では、概略設計を開示した上で、地質条件、施工条件に関する9項目の課題に対する設計・施工両面での具体的な対処方法（施工方法、構造形式、経済性等）の提案を求めた。

応札者の個々の提案内容は、技術審査会において提案の実現性、安全性、品質の確保、社会条件への適合性等を幅広く審査し、提案の妥当性を判定した。

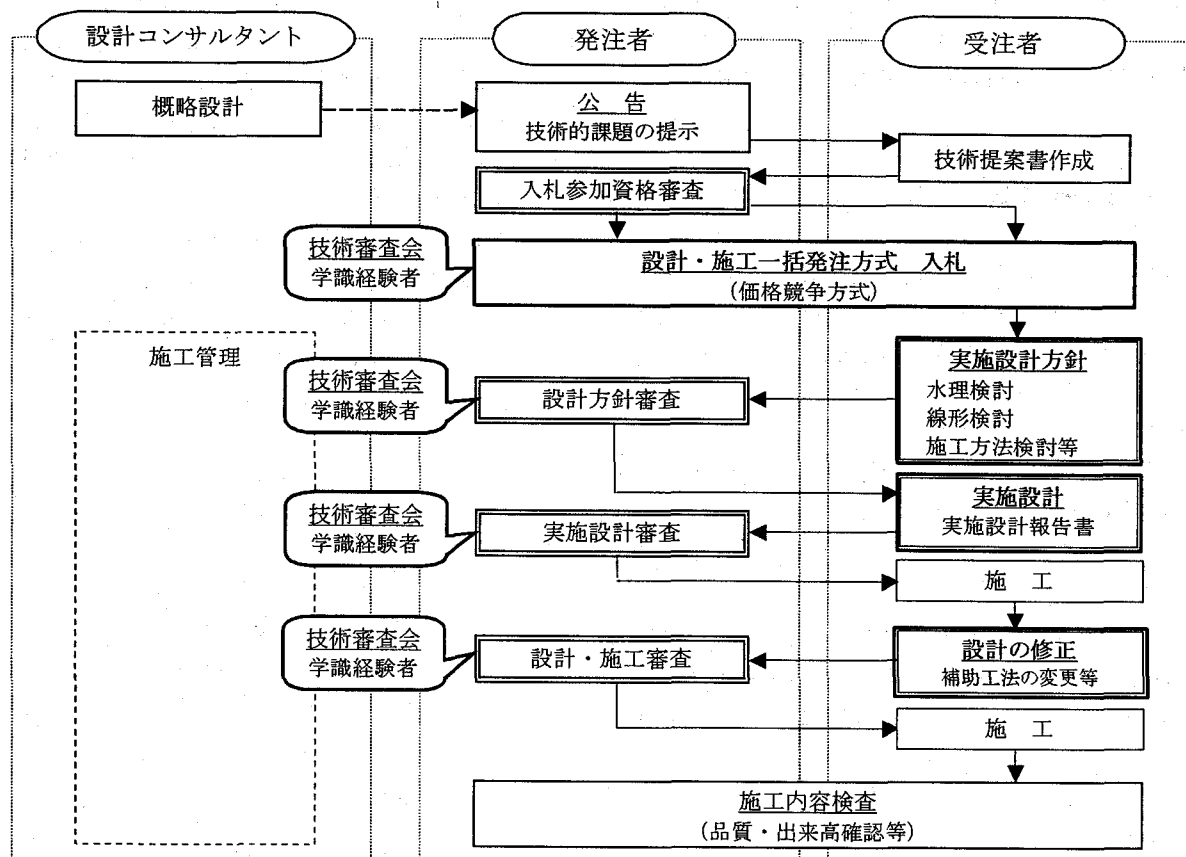


図-2 設計・施工一括発注方式実施フロー図

#### 4. 実施設計の作成フロー

本工事における実施設計の期間は契約後6ヶ月であり、以下に示す手順により作成した。

- ・入札時の技術提案の内容およびこれに基づく設計方針が適切であるかを審査した後、実施設計に着手した。
- ・水理設計およびトンネル設計は契約から3ヶ月後に審査を行い、仮設備および坑口より約50mまでのトンネル工事に着手した。
- ・上記の約50m区間の施工状況および追加調査（ボーリング調査、埋設管類の調査・協議等）を参考に未施工区間の修正設計を行い、6ヶ月後に技術審査会において現場状況を踏まえた最終的な実施設計の審査を行った。
- ・さらに、契約から6ヶ月以降の施工段階では、切羽の地質状況、近接構造物への影響、計測結果等の施工状況を把握した上で、設計の妥当性確認と改善提案について審査を行った。
- ・分流工の設計については、分流比等の要求性能を満足することが必要であり、水理模型実験を外部機関に委託（別途発注）し、設計の妥当性確認と形状を含めた設計の修正を行った。

このように、設計と施工の時期を一部オーバーラップさせることにより、単に設計期間の短縮だけでなく、地質条件とトンネル掘削に伴う周辺への影響をより具体的に設計に反映することが可能となった。

#### 5. 実施設計におけるリスクコントロール

設計・施工一括発注方式では、設計・施工面におけるリスクのほとんどを受注者が負担することになるため、受注者は、実施設計段階から工事実施におけるリスクを的確に予測し、リスクコントロール（主に軽減）を行う必要がある。

本工事の実施設計を行うにあたり、入札時の技術提案を踏襲するとともに、追加ボーリング調査、埋設管類の調査・協議を行い、リスク項目の洗い出しを行った。

実施設計では、これらのリスクに対して、発生の可能性、発生時の被害の規模を主に経験的に予測し、リスク低減が可能な方法を設計に織り込み、対策の選定、対策規模、区間を設定した。

以下、近接施工に関する課題に絞り、実施設計におけるリスクコントロールの例を示す。

#### (2) 住宅地域での崩落・沈下対策（砂岩区間を除く）

##### a) 想定されるリスク

トンネルルートの約9割は住宅地域の幅5～6mの市道直下を土被り5～6mで掘削する。市道を挟んだ両側には木造2階建ての家屋が連続して分布するほか、市道を外れて家屋（2戸）の直下を掘削する。

市道には、下水道のマンホール、防火水槽（40m<sup>3</sup>）等が分布し、一部はトンネル掘削断面に干渉する。

これらの区間については、以下の要因により、地表面沈下の増大による家屋等近接構造物の変状、あるいは切羽崩壊等により道路陥没が生じた場合の通行者の被災等が想定される。

- ・基盤面の凹凸により安定した泥岩の被りを確保できずに、上部の砂礫層が流出する。
- ・マンホール埋戻し土（飽和砂質土）が流出する。

##### b) 対策の選定

トンネルルートが固定されている以上、上記のリスクを避けることはできないため、以下の対策を計画しリスク低減を図った。

- ・トンネル掘削は、緊急時を考慮し、施工機械選定の自由度が高く切羽の状況変化に対して対応しやすい全断面タイヤ工法を選択した。また、これに伴い、掘削断面形状を2R馬蹄形より幌形に変更した（図-3）。
- ・既存ボーリング調査に加えて追加ボーリング、サウンディング、宅地造成前の地形図等により地表から基盤面の深さを探り、トンネルルート沿いの基盤面コンター図を作成した。これにより、事前に泥岩の被り、地下水の集まりやすい箇所を把握した。
- ・トンネルの縦断勾配を1/130から1/180に変更し、安定性の良い泥岩の被りを大きくすると共に、トンネル上部の下水管、マンホール、防火水槽等との離隔を拡大した。これによるマンホール

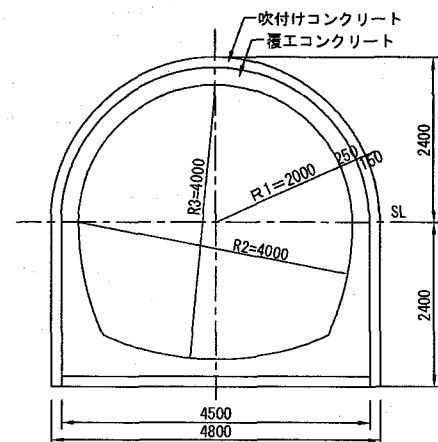
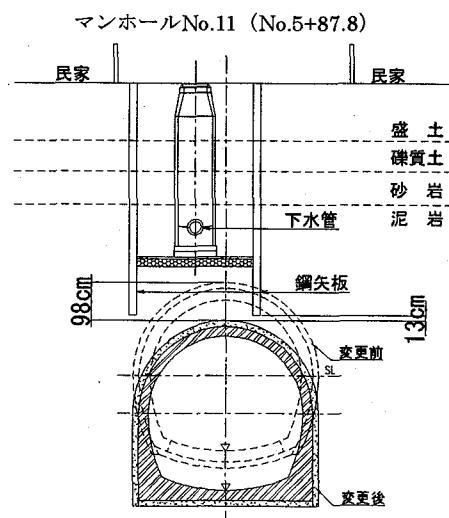


図-3 トンネル標準断面図

とトンネル天端との離隔変化の例を図-4に示す。ただし水路勾配を緩やかにしたことによる流量の変化により、トンネル内空断面を拡大した(上半半径を $R=1.95\text{m}$ より $R=2.0\text{m}$ に変更)。

- ・泥岩の剥りが2m以上の区間では無対策でも切羽安定性が確保できると予想し、泥岩上部の滞水砂礫層からの地下水の引込みを防止するため、原則として先受け工は施工しないこととした。
- ・住宅直下でも同様の理由から、鏡の安定を確保することで天端の崩落を防止できると判断し、AGFに代えて $L=6\text{m}$ の注入式鏡ボルトを3mピッチで計画した(図-5)。
- ・2箇所のマンホールについては埋戻し土がトンネル掘削断面内に出現するため、トンネル掘削に先立ち地表からの薬液注入により改良を行う(図-6)。
- ・防火水槽については、掘削前に水槽内の水を空にしてから慎重に掘削を行う。



マンホールNo.12 (No.5+45.6)

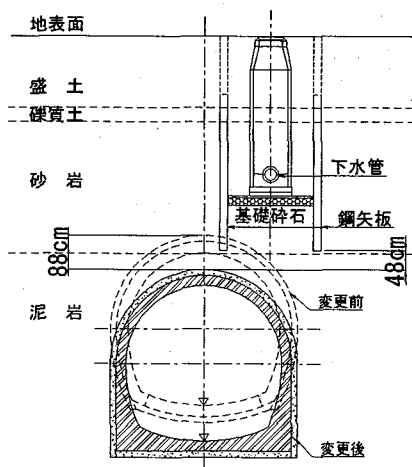


図-4 トンネル縦断の変更による離隔の確保

### (3) ライフラインの防護

#### a) 想定されるリスク

団地内の市道には、ガス管、上下水道管、NTTケーブルが縦横に埋設されており、トンネル掘削によるガスの漏洩による事故の発生、供給停止に対する補償等のリスクが想定される。

#### b) 対策の選定

はじめに関係機関と協議を行い、埋設管の位置、種類、材質に対して許容沈下量を設定した。

トンネル掘削による沈下量の予測解析および先行掘削区間(約50m)の実績を考慮し、砂岩層区間に分布するガス管については後述する薬液注入時の影響、トンネル掘削による地盤のゆるみの発生等を考慮し、トンネル掘削に先立ちガス管の管種変更を行うなどの追加処置によりリスクを低減した。

- ・ダクトイル管および鋼管の一部をポリエチレン管とする。これにより、沈下許容値(保安処置沈下量)は、15mmから50mmとなる。
- ・沈下棒の設置による沈下量の測定を行う(横断面は全数設置)。

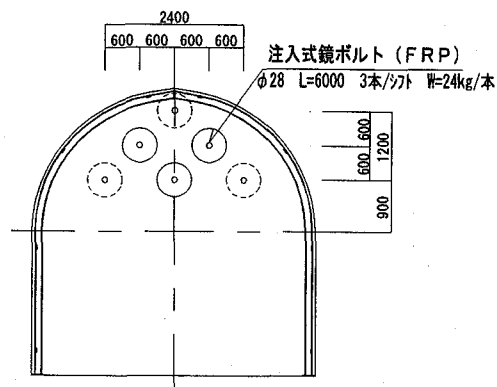


図-5 家屋直下における注入式鏡ボルト

マンホールNo.26 (No.1+49.951)

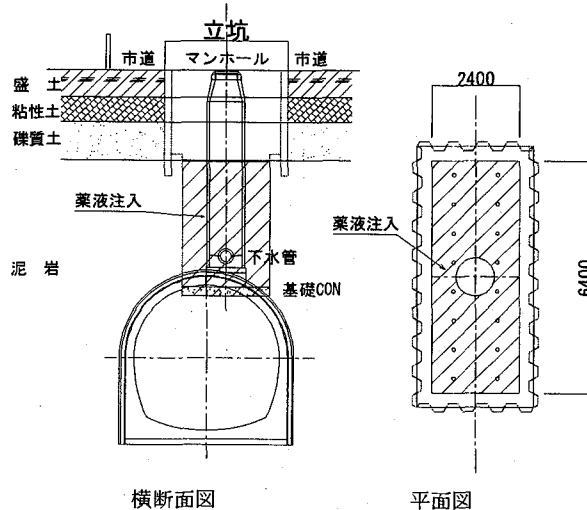


図-6 マンホール埋戻し土の改良の例

#### (4) 河川近接部の切羽安定対策

##### a) 想定されるリスク

トンネル中間部の約100mの区間において、現河川（護岸）と最小約5mで近接する。この区間に分布する固結度の低い砂岩層（層厚約4m）は、多少のセメンテーションにより流砂が生じる範囲ではないと予想されたが、パイピング等により河川水を引き込んだ場合には、トンネルの安定性が急激に悪化し、トンネル上部の広範囲の陥没による道路、家屋への被害、坑内作業員の人命に対する深刻な被害が生じるリスクが予想される。

##### b) 対策の選定

本区間の施工条件に対して以下の対策により、リスクの低減を行った。

- ・河川水の浸入を防ぎ切羽の安定性を高めることを目的とした薬液注入を砂岩層を対象に実施する(図-7)。
- ・現況河川は擁壁による護岸が行われているが、底面は蛇かごによる侵食防止処置のみで地山が露出しているため、シート養生の上に底版コンクリートを打設して河川水の砂岩層への浸透を防止する。

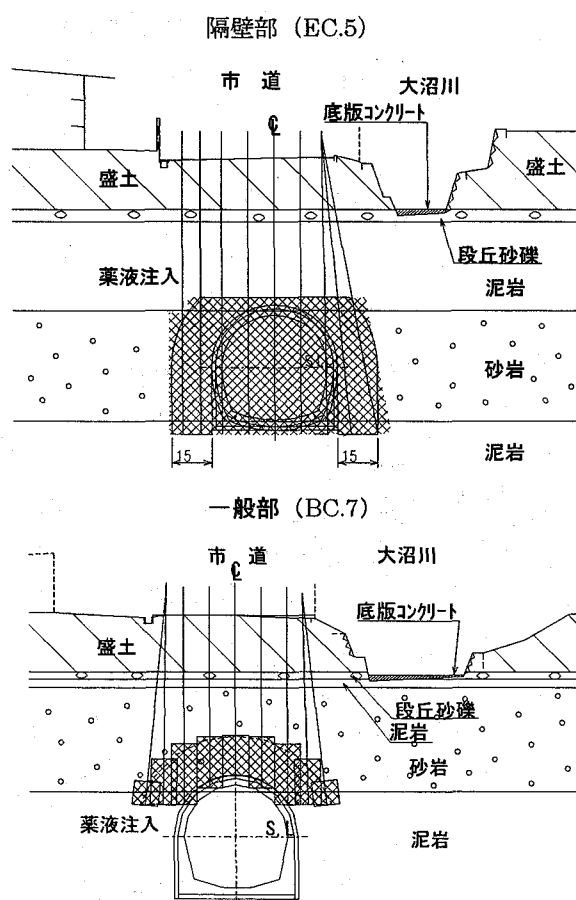


図-7 河川近接部の薬液注入

#### (5) 広告塔の防護

##### a) 想定されるリスク

坑口から40m付近のトンネル直上には広告塔（h=約16m）があり、フーチング直下の掘削を行うため、広告塔の転倒等による国道通行者の被災および店舗の営業補償等のリスクが想定される。

##### b) 対策の選定

上記リスクについては、広告塔が国道に面しており、転倒等による被害規模の特定が難しく、以下の方法により、リスクを低減した。

- ・H鋼+コンクリートにより基礎部の補強を行い、支持杭によりアンダーピンニングを行う。
- ・広告塔への影響範囲のトンネル掘進長を75cmとし、インバートストラット（H-125）により早期に支保の閉合を行う。

図-8に、補強断面図を示す。

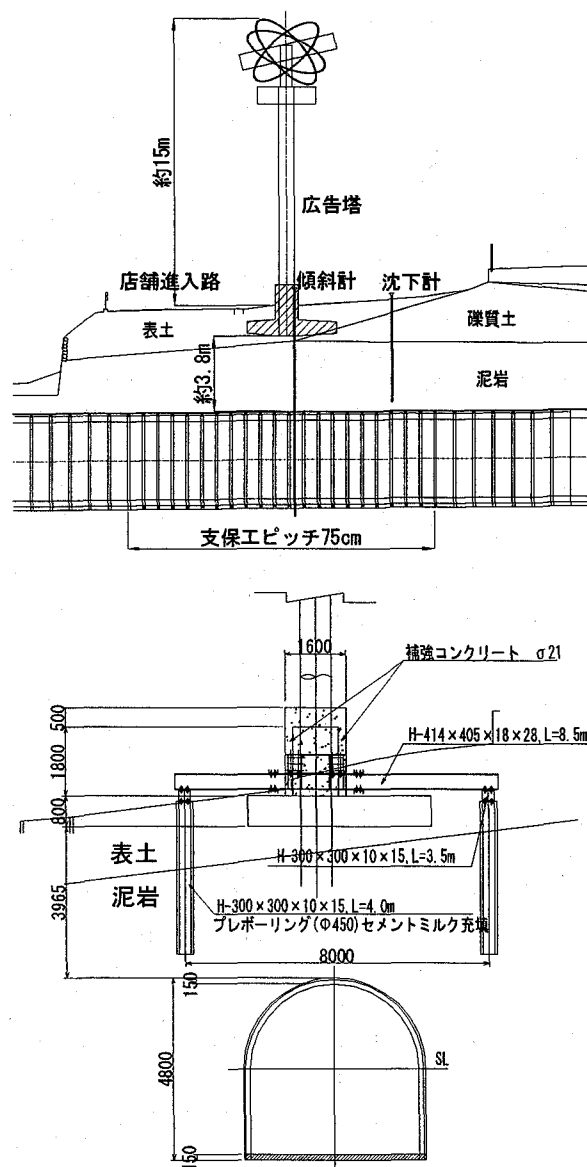


図-8 広告塔補強断面図

## 5. 施工結果

本トンネルの施工上の課題である「切羽の安定」および「近接施工」について施工結果を以下に記す。

### (1) 切羽の安定

#### a) 泥岩部の施工

泥岩の被りが2m以上確保できる区間については、想定どおり切羽は安定しており、補助工法を追加せずに掘削が可能であった。

図-6に示すマンホールの埋戻し土に対して地表面から実施した薬液注入は、周囲が泥岩であるため元々あった地下水が滞留し、注入材が十分に浸透しなかったことから、坑内からの注入を併用して施工した。

#### b) 砂岩部の施工

砂岩層の区間は、図-7に示したように事前に地表面から薬液注入を実施したため、掘削時の切羽の安定性を確保できた。ただし、防火水槽、マンホールの他にも埋設管調査で予想以上に地下埋設物が密に分布していることが分かり、地表からの事前の注入が困難な箇所については、坑内から補足注入を行うことで対処した。

砂岩層上面がトンネル底盤から接近する区間では、被圧地下水の処理が必要と予想されたため、事前にウエルポイントの設備を準備しておき施工を進めたところ、底盤から1m程度まで砂岩層上面が接近した段階で泥岩の亀裂から地下水の湧き出しが発生し始めた。このため、ウエルポイントによる強制排水を行い、水頭低下により支保脚部の安定を確保しながら以降の掘削を行った（図-9）。

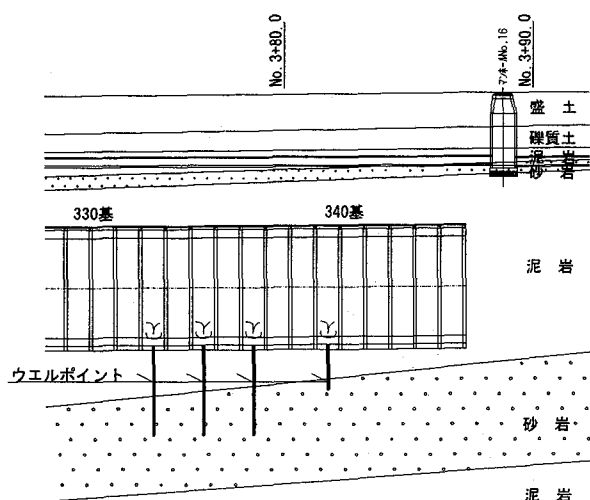


図-9 砂岩層へのウエルポイント

### (2) 近接施工

トンネル掘削によって生じる地表面沈下は、事前解析等により数mm程度と予想されたが、管理上は20mm程度の沈下が生じることを想定して施工を開始した。しかし、実際には、泥岩部で1～3mm、砂岩部で2～4mmと小さく、事前検討における理論式（Limanovの式）、FEM解析の結果とほぼ同等であり、家屋等の近接構造物への影響は皆無であった。

## 6. まとめ

本工事においては、設計・施工一括発注方式の実施において以下の点が有効であったと思われる。

- ・本発注方式では受注者のリスク分担が多くなるため、受注者によるコスト縮減に歯止めがかかりやすいが、本工事では、概略設計時に地盤条件に対する調査と設計的な評価を充分に行ったことにより、契約時において地盤を含めた施工条件が十分に明確となり、コスト縮減に効果があった。
- ・設計期間と施工期間をオーバーラップさせたことにより施工状況を設計に反映できたため、補助工法の必要性などをより精度良く判断できた。
- ・学識経験者による技術審査会を組織し、審査・助言をいただいたことにより、発注側と受注側の間に未施工区間の施工に対する方針を充分に共有できた。

なお、今後さらに設計・施工一括発注方式の有効性を高めるためには、工事におけるリスクが事業全体のリスクの一部であるとの認識に立ち、経験的、定性的な現状のリスク管理を定量化し、発注者と受注者で共有することが必要と思われる。

謝辞；本工事の計画から施工までを遂行するにあたり、多くの助言をいただいた技術審査会の先生に深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 小林潔司：リスク工学と地盤工学，土と基礎，No.52，vol.4,pp.41-50，2004.
- 2) 国土交通省：設計・施工一括発注方式導入検討委員会報告書，2001.