

被圧地下水位下におけるR&C工法の実施について THE APPLICATION OF R&C METHOD ON GROUND UNDERNEATH CONFINED GROUNDWATER TABLE

中込 芳雄¹・伊藤 健治¹・内田 春雄²・眞柄 拓己²
 Yoshio NAKAGOME・Kenji ITOU・Haruo UCHIDA・Takumi MAGARA

For the Odakyu line at the Shimokitazawa Area, the project for continuous overlapping structure and quadruple lane structure were carried out simultaneously. The structure consists of a 4 lane underground structure.

To avoid traffic congestion, at the Tokyo Circular Routes 7 crossing area, a non-open excavation method was applied.

For the ground underneath the confined groundwater table, the ground was first improved by chemical grouting method, and then excavated by manpower using the R&C method (Roof and Culvert method).

Furthermore, in order to reduce construction time, the box culvert was constructed by using composite precast segments.

Key Words : non-open excavation method, R&C method, composite precast segments, curvex method, void keeper.

1. はじめに

小田急電鉄では、踏切での慢性的な交通渋滞の解消等を目的として代々木上原駅付近から梅ヶ丘駅付近までの約2.2kmにおいて連続立体交差事業を行うとともに、東北沢駅付近から梅ヶ丘駅付近までの約1.6kmにおいて複々線化事業を併せて行っている。

構造形式は、開削工法による4線地下式、下北沢駅～世田谷代田駅間のシールド工法を用いた2線2層式および東京都主要幹線道路である環状七号線との交差部における非開削による4線地下式としている。

本稿は、環状七号線との交差部において、非開削工法であるR&C工法を採用し、被圧地下水対策を実施しながらの施工実績について紹介する。

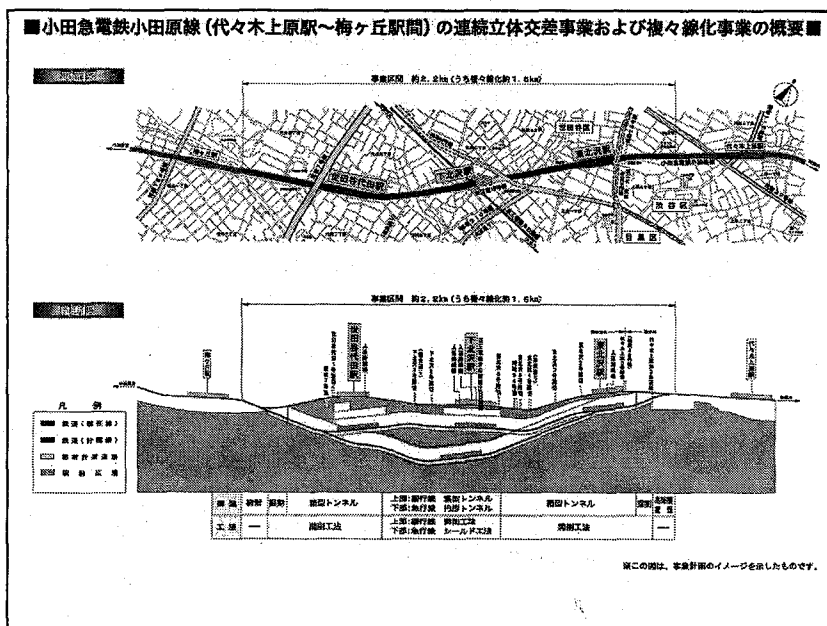


図-1 事業概要図

キーワード：R&C工法、非開削工法、合成セグメント、カーベックス工法、ボイドキーパー

¹ 小田急電鉄株式会社 複々線建設部 下北沢工事事務所

² 正会員 鹿島建設株式会社 東京土木支店

2. R&C工法選択と概要

今回の地下化に伴って、道路管理者である東京都との設計協議において「仮設物を存置しない推進工法」で施工を行うことに決定した。その条件で工法選定を行った結果、仮設物の存置の比較的少ないR&C工法を選定した。

R&C工法は鉄道や道路の直下にボックスカルバートを設置するための工法で、箱形ループと呼ばれる矩形のトンネルを、設置するボックスカルバートの外縁に合致するように横断区間の全長に貫通させ、その後端にボックスカルバートを据付け、ボックスカルバートを前進させることにより箱型ループと置換する地下構造物の設置工法である。水平部の箱型ループには上戴荷重との縁切り用のフリクションカットプレート（以下FCプレート）を設置し、このFCプレートの下で箱型ループとボックスカルバートが置換される工法である。

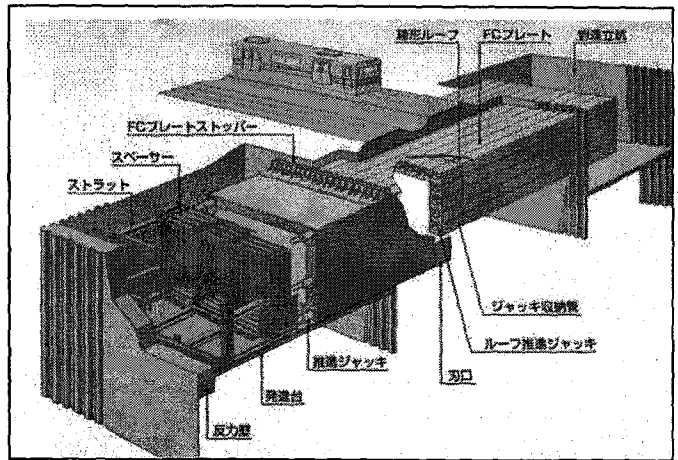


図-2 R&C工法概念図

3. 被圧地下水および埋設物対策

(1) 土質概要

該当区間の土質は上部よりローム、凝灰質粘土、粘土混じり細砂、砂礫、細砂、シルト混り細砂、細砂から構成されている。地下水位は上層にある細砂付近で確認されるが、下層部のシルト混り砂細砂層付近で一度無くなり再び細砂層に入ると地下水を確認できたことより、被圧地下水の存在が確認できる。また最下部の細砂の透水係数が 10^{-5} (m/sec) となっており不透水性が卓越している地層である。

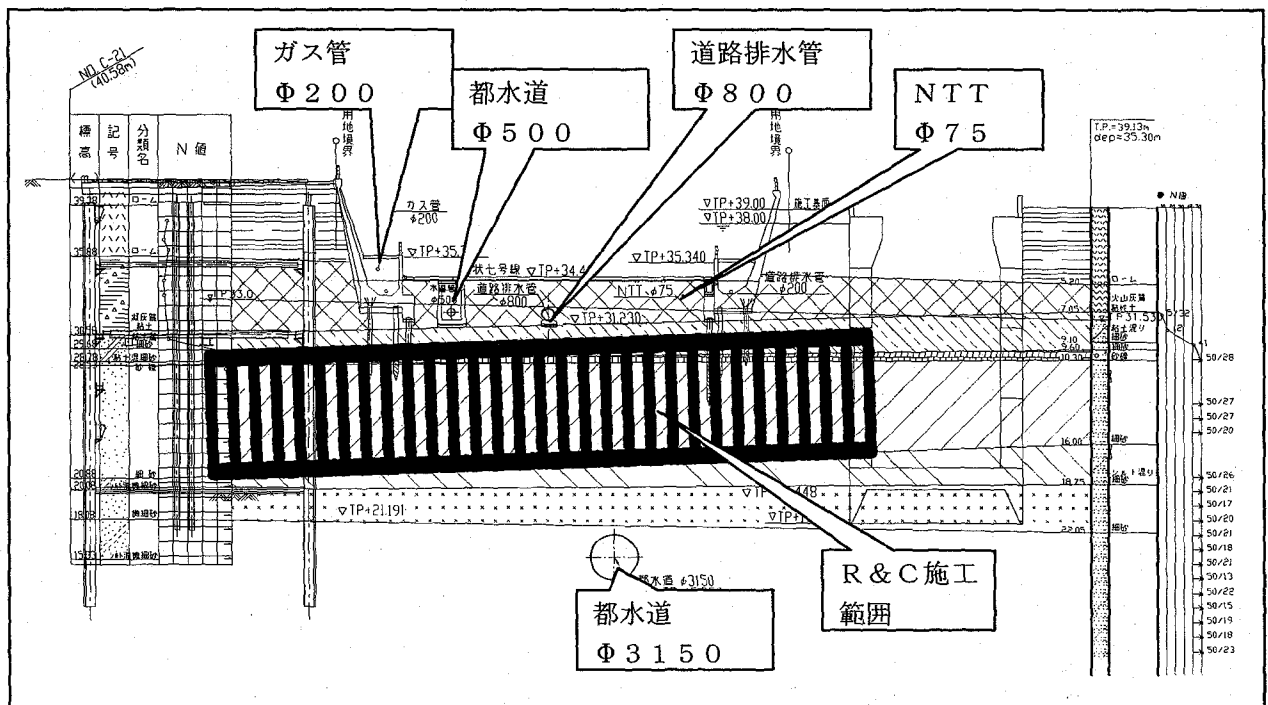


図-3 土質概要と埋設物

(2) 埋設物

非開削トンネル実施箇所上部には、水道管 $\Phi 500\text{mm}$ 、道路排水管 $\Phi 800\text{mm}$ 、NTT管 $\Phi 75\text{mm}$ が、下部には水道管 $\Phi 3150\text{mm}$ が埋設されている。

(3) 地盤改良工法の選定

地盤改良工法は、環状七号線車道部での施工において常設作業帯の設置が不可能なため施工時間が莫大に掛かってしまうことが予測された。そこで環状七号線の両サイドに築造した立坑および道路以外の事業用地から行える工法を、またシルト混じり細砂層以深の地層の止水を確実にし且つ経済性を考慮して薬液注入によるものとした。

しかしながら、今回の改良範囲が立坑内法より広いため通常の水平削孔では改良することが出来ず、また改良範囲上部には地下埋設物が近接しているため削孔先端の位置を把握しながらの削孔が求められた。そこで曲線状の削孔が可能で削孔先端位置をジャイロ計測しながら確認できるカーベックス工法を採用した。注入方式はR&C工法の施工方法が切羽開放型人力掘進作業のため、信頼性が高く又追加注入が可能な二重管ダブルパッカー方式とした。

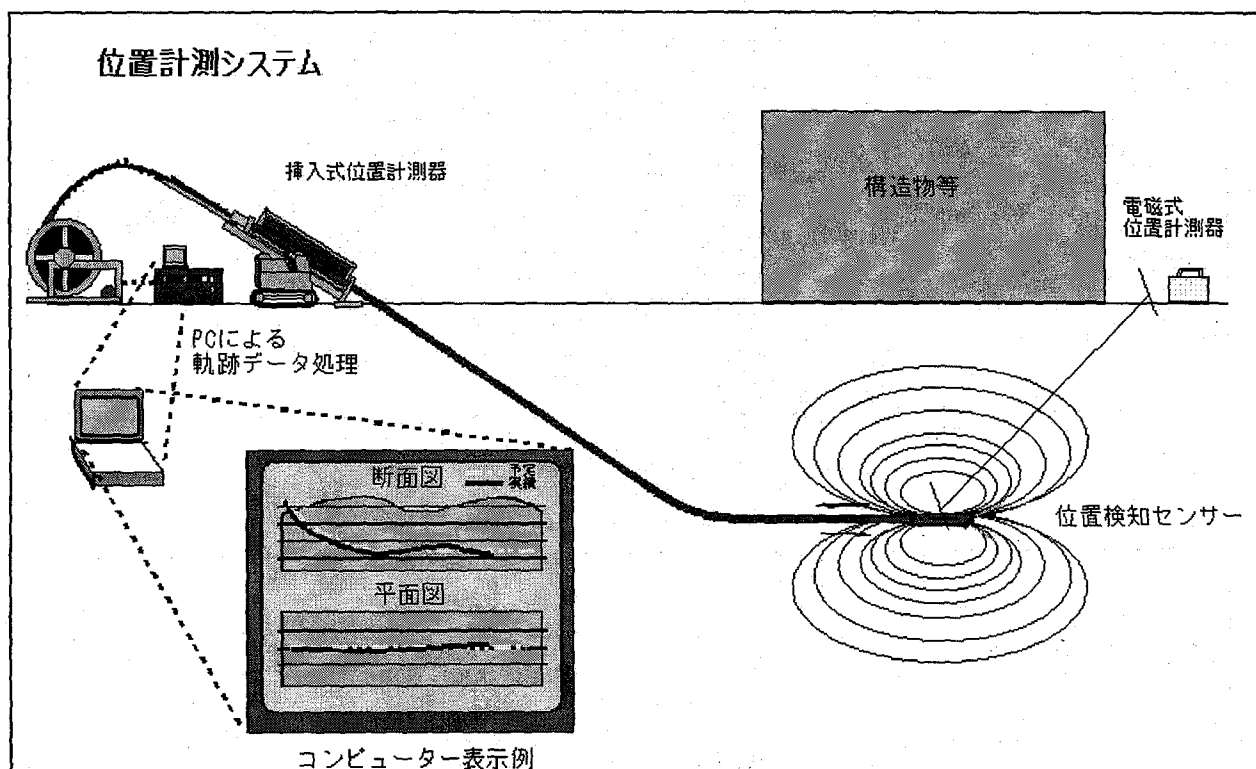


図-4 カーベックス工法の概念図

(4) 注入管理と地下埋設物対策

改良範囲の地下埋設物に対する対応は、ルーフの掘進に対して切羽を全面開放する条件で FEM 解析を行い、掘進に対する沈下量を算出し各管理者と協議を行った。その結果、もっと厳しい管理値となった水道管 $\Phi 500\text{ mm}$ に対して地表面高さで、一次管理値 $\pm 7\text{ mm}$ 、二次管理値 $\pm 12\text{ mm}$ で管理することとなった。

薬液注入は改良範囲の上部から下部に向かって実施した。注入量は一般部 80 / 分、水道管近傍は 40 / 分、注入圧は 1~2Mpa で行った。施工区域の約半数終了時点で隆起が一次管理値に到達し管理者と協議の結果、計画注入量の 50% を注入後、残りを再度施工する方法に変更した。しかし、全体計画の約 80% を施工した時点で二次管理値に達したため、地盤改良を終了せざるを得なかった。図-5-1~2 に地盤改良計画図を、表-1 に注入実績を示す。

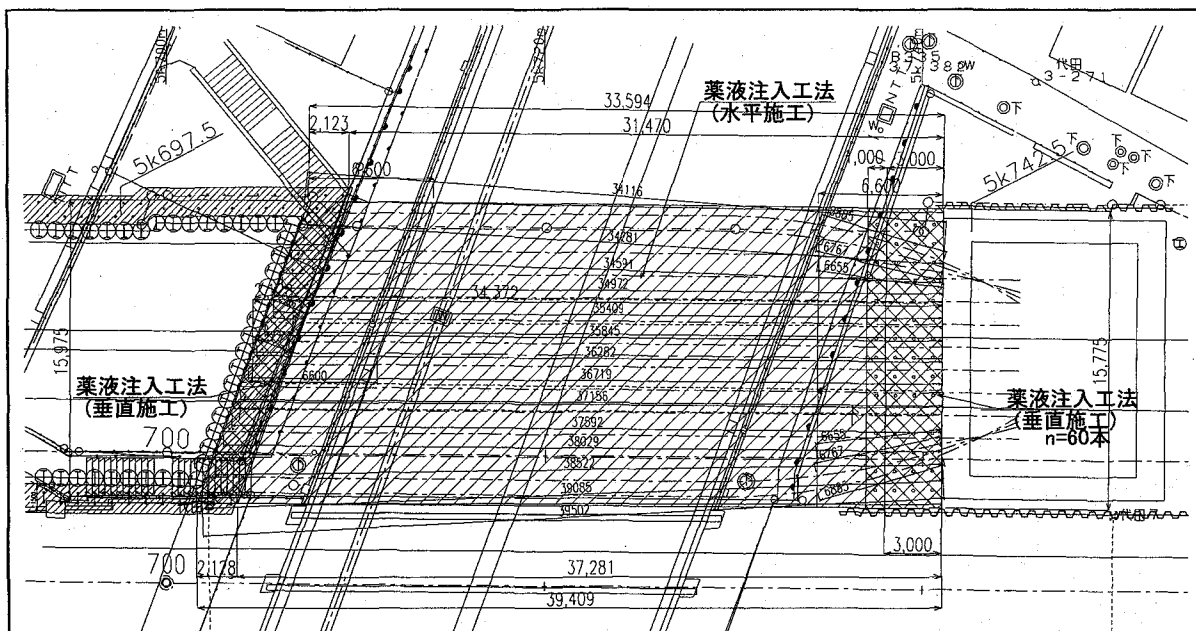


圖-5-1 地盤改良計畫圖(平面)

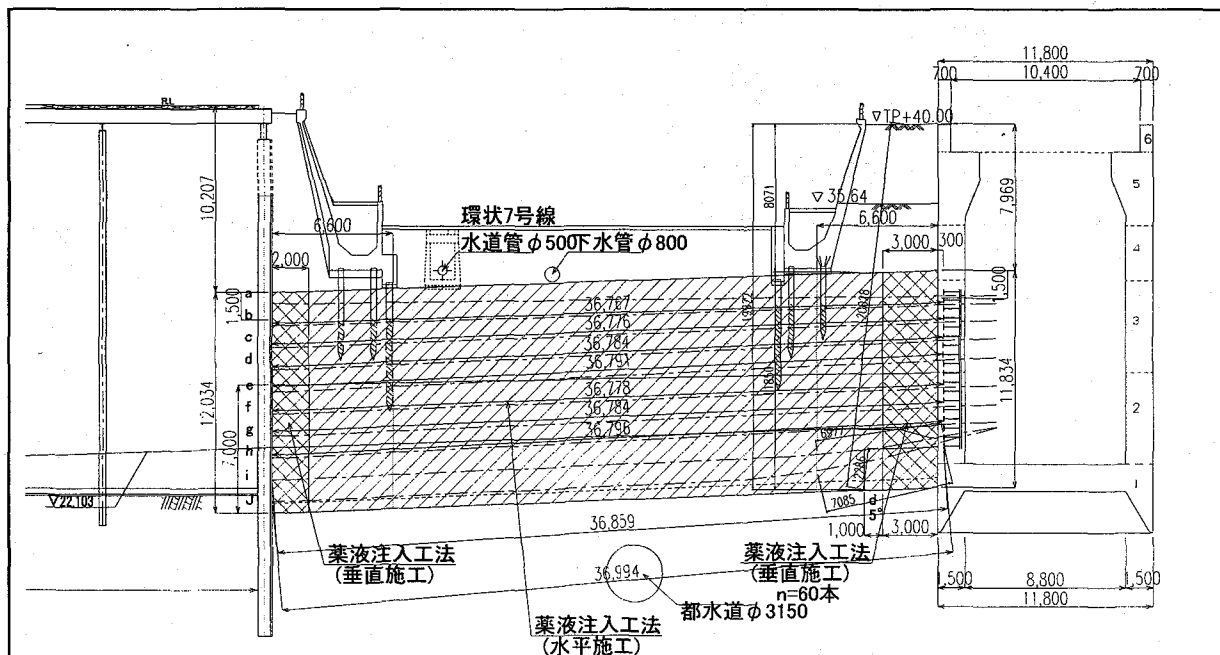


図-5-2 地盤改良計画図(断面図)

表-1 環状7号線交差部注入実績

段 名	注 入 率					地 層
	75%以上	74～50%	49～30%	29%以下	平均注入率	
A段	41.4%	22.6%	1.9%	34.1%	52.8%	粘土混じり細砂
B段	0.0%	13.4%	70.6%	16.0%	27.9%	粘土混じり細砂
C段	81.7%	18.3%	0.0%	0.0%	90.8%	砂礫、細砂
D段	65.1%	34.9%	0.0%	0.0%	83.1%	細砂
E段	58.0%	41.0%	0.0%	1.0%	79.2%	細砂
F段	89.6%	10.1%	0.0%	0.3%	95.5%	細砂
G段	94.8%	4.9%	0.3%	0.0%	97.7%	細砂
H段	93.2%	0.8%	5.2%	0.8%	95.9%	細砂
I段	94.4%	4.5%	0.0%	1.1%	96.6%	細砂
J段	48.3%	51.7%	0.0%	0.0%	74.3%	シルト混じり細砂・細砂
全体平均注入率						79.4%

(5) 効果確認

上記の注入結果より、施工可能か否かの判断をするために道路上より効果確認の地質調査を行った。現場透水試験及び室内透水試験の結果、透水係数は地層上部は 1.0×10^{-4} 、地層下部は 1.0×10^{-5} (m/sec)であることが判明した。5章「R&C ループの施工」で述べる対策工を講じることを計画し、トンネルの掘削を開始した。

4. 地下躯体の構造

(1) 当初計画および問題点

当初計画段階より、水平注入工法で地層に対して十分な止水注入できるか疑問視されていた。そのような状況で、従来どおりのR&C工法では函体の製作・養生に約2ヶ月/函かかり、長時間の掘進停止つまり切羽の開放が長時間必要な方法では施工できないと判断した。

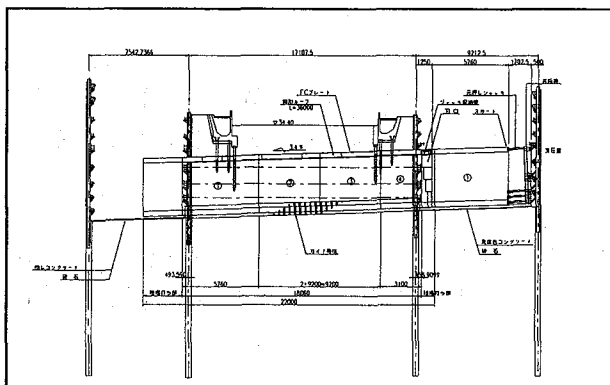


図-6 全体縦断面図(当初)

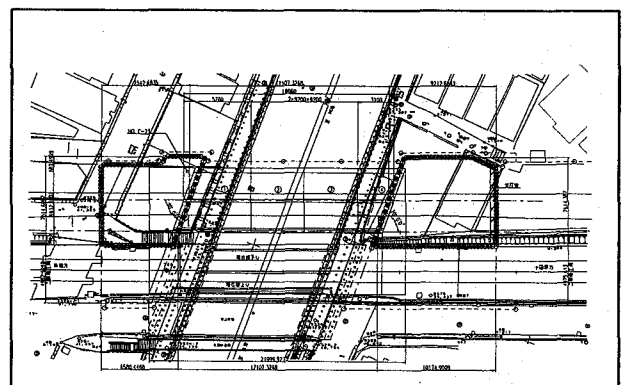


図-7 全体平面図(当初)

(2) 函体のプレキャスト化

そこで上記問題の解決するため函体の製作について検討した結果、函体製作時間を省略できるプレキャスト製品の採用を決定した。

(3) 設計上の課題

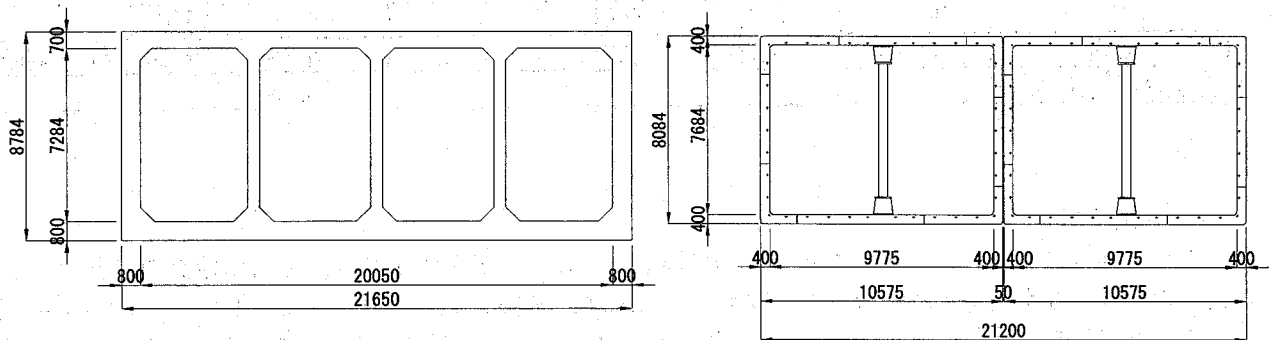
[セグメント構造の選定]

躯体のプレキャスト化による工期短縮を図るにあたり、R&C工法との施工上等の差異に留意してシールド工法のセグメント形式覆工構造を改良して採用することとした。セグメント形式を採用するに当たって、当初は1枚の中壁形式であった中央部の壁については、場所打ち躯体構築のような接続が合理的とはならないため、合わせ壁のように2枚のセグメント覆工を合わせる形式とした。

a)セグメント選定上の特徴

① 建築限界

中央部を合わせ壁構造とするために、建築限界と施工誤差を考慮して設計上許容できる躯体の変位量を設定しなければならなかった。



当初案 現場打ち躯体

変更案 合成セグメント覆工

図-8 現場打ち躯体と合成セグメント覆工

② 矩形形状

通常のセグメントでは円形あるいは楕円形状で軸力卓越の有利な構造体となる。本件では、中央部で合わせ壁構造となることもあり、直線部にアーチ構造を出来ず、矩形をそのまま採用した。このため、曲げ卓越の構造体となっている。

③ 中柱の設置

経済性の観点から上下に分岐して行く線路間については、中柱を設置する構造とし、床版に発生する曲げモーメントを低減して覆工厚の低減を行っている。

b)施工条件への対応

④ 推進工法

元推しで推進施工中は全ての函体に軸力や地盤の抵抗を主とする施工時荷重が発生する。セグメント方式では継手部が柔構造となっているために、施工時荷重による動きを管理できる構造とする形式が必要とされる。

⑤ 相互近接施工

中央部の合わせ壁構造により近接施工となるが、推進工法において最終構造物の函体を損傷させないために、50mmの施工余裕を取った。このため、線路線形を確保するために函体の覆工厚を400mmとしなければならなかった。

c)構造の選定

覆工構造としては、RC構造、鋼構造、合成構造の3構造が考えられる。RC構造については、曲げ卓越の状況下で覆工厚400mmでの設定をすることが出来ず、鋼構造では変位を抑制するには経済的に不利な形状となるため、合成構造を選定することとした。

5 R&C ルーフの施工

(1) 地盤改良結果からの考察

ルーフ施工部の地盤改良が計画どおり施工できなかったため対応策を検討した。問題は水道管Φ500 への影響をいかに抑えるかであり、検討の結果

- ① 水平ルーフ部は被圧水圧が 0.2～0.4MPa 程度であり上部は凝灰質粘土であることからルーフ下部にチェックボーリングを行い、万一未改良部からの湧水がある場合は排水することとした。
- ② 垂直ルーフおよびガイド導坑部は水平ルーフの両端部をボーリングマシンが入る大きさまで拡大し、その中から確認ボーリングおよび補足注入を実施することとした。そのため水平ルーフの配置を図-9の様に変更した。

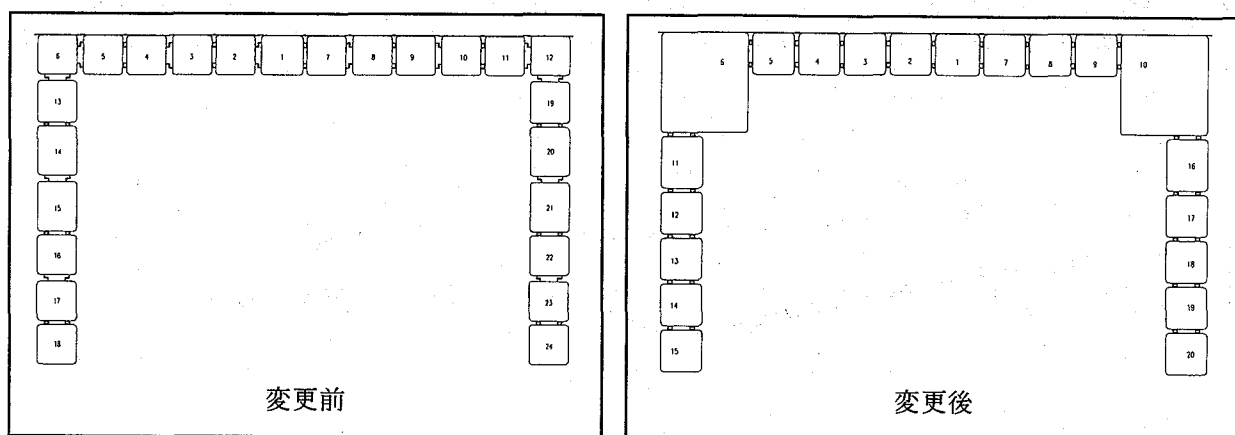


図-9 ルーフ配置図

(2) 周辺地盤の沈下対策

R&C 工法は解放型のトンネル築造工法である。今回ルーフを掘進する地山は N 値50以上の上総層であるため、精度に重きを置いて作業する限り、多少の余掘り(20～30mm)は避けて通れない。掘削による応力開放および余掘り対策として沈下抑止充てんと滑剤機能を併せ持つ「ボイドキーパー」を採用した。掘進作業に伴い注入を実施することにより路面沈下を余掘り量以下の8～10mm程度の沈下に抑えることができた。環状七号線交差部の作業開始から現時点までの水道管Φ500 上部の路面変状を図-10に示す。

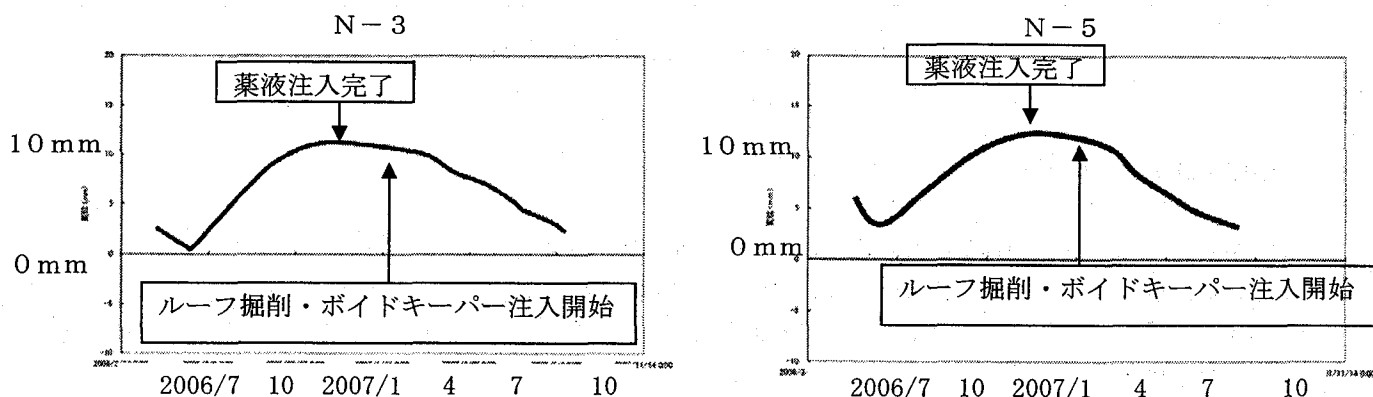


図-10 路面変状

(3) ルーフの施工実績

ルーフの施工は水平ルーフの中央付近の基準管より両端部に向かって施工した。ルーフは可能な限り2本1組で施工し、1組当たり約2週間で掘り終えた(39～42m/組)。施工は昼夜間体制で行った。測量は作業終了時に実施し、作業中の対応としてはレーザーによるセンター表示を行った。施工精度は図-11.12に示すが計画に対しおおむね $\pm 15\text{mm}$ で施工できた。

水平ルーフ完了後は大型ルーフ内からチェックボーリングおよび補足注入を行ったが、その影響で水平ルーフが隆起した。隆起量は補足注入を行った NO6, NO10 ルーフが最大で約 30mm, 基準管で約 10mmであった。一方、路面変状はほとんど変化が見られなかったため、この隆起は大型ルーフ自身の变形とボイドキープの圧縮で対応したと考えている。

ルーフ掘進中の湧水は、水平ルーフ作業中に支障するような湧水は見られなかった。しかし、垂直ルーフ下部2段については環状七号線道路センター付近から3～10ℓ/分程度の湧水がみられ、ポンプ排水しながら掘進を行った。

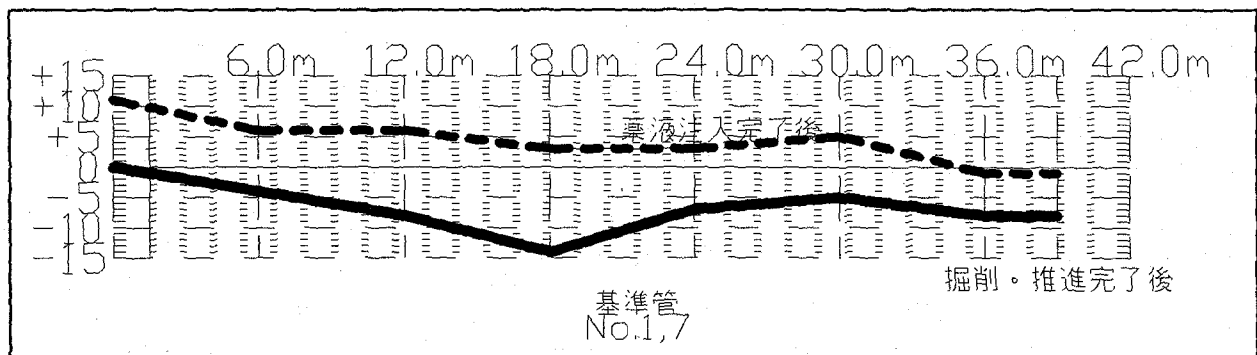


図-11 水平ルーフ施工精度 (基準管)

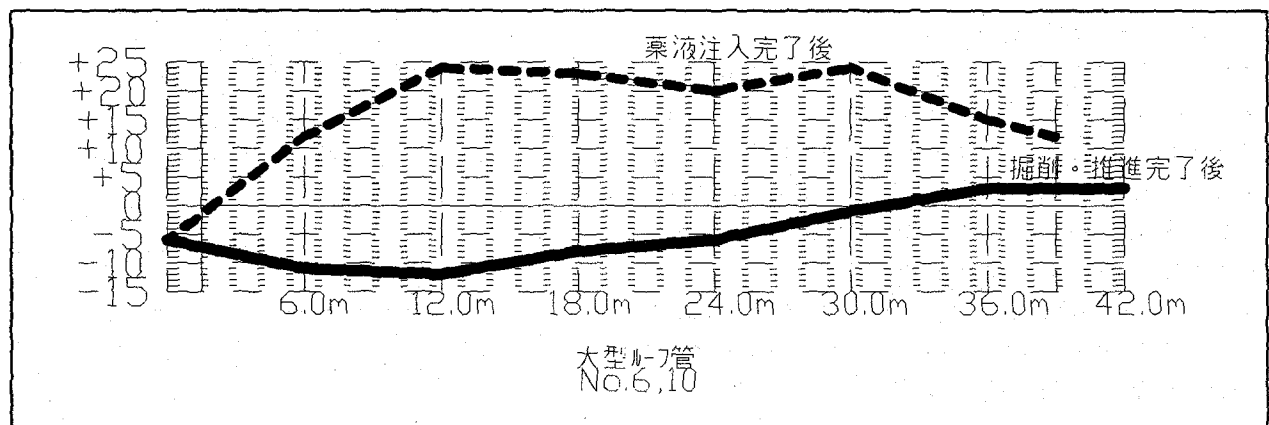


図-12 水平ルーフ施工精度 (大型管)

6 函体推進工事への課題

水平ルーフ内から補足の地盤改良を施工したことにより水平ルーフと FC プレートの付着性は強まっていると考えられる。また R&C 工法は主に鉄道直下に低土被りで地下構造物を築造するために開発された工法であり、土被り5m以上の例は数件にとどまっている。上載荷重と地盤改良による影響で FC プレートとルーフの縁きりがうまくできるか課題が残っている。