

都心部特有の狭隘な空間における 地下調節池事業の計画および施工

THE PLAN AND CONSTRUCTION OF AN UNDERGROUND REGULATING RESERVOIR PROJECT IN NARROW SPACE PECULIAR TO THE INNER CITY

福田 諭士^{1*}・林 博志²・稲田 義和³・上田 徹⁴

Satoshi FUKUDA^{1*}, Hiroshi HAYASHI², Yoshikazu INADA³, Toru UEDA⁴

In this report, we describe the summary of the Furukawa underground regulating reservoir project, which should be able to handle the occurrence of a flood under the rain of 50mm a hour in Tokyo, it consists of the tunnel-type of reservoir, 3.3km-extension, 7.5m inside diameter, 135,000m³ capacity, and the shaft-type of intake facilities. The tunnel is under construction the way of mud pressure shield method. Tunnel will be departed from the shaft, where is at the Ichinohashi Park, extended 3.3km to the upper, Furukawa to Shibuyagawa. It is located under 35m below, approximately. We emphasize the specific of the shield driving method, and construction management, under the narrow and limited space, the over crowded inner city, giving real examples.

Key Words : underground regulating reservoir, mud pressure shield, inner city

1. はじめに

(1) 渋谷川・古川の概要

渋谷川・古川はJR渋谷駅前の宮益橋を起点とし、渋谷区、港区内を流下して東京湾に注ぐ二級河川である(図-1)。流域面積は22.84km², 延長は7.0kmであり, 渋谷区と港区の区界である天現寺橋を境に上流2.6kmが「渋谷川」, 下流4.4kmが「古川」と呼ばれている。沿川は都市化の影響を受けてビルや家屋が川岸まで密集してお

り(写真-1), 古川においてはほとんどの区間で首都高速道路により河川上空が覆われている。また台風や集中豪雨による大雨の際には短時間で水位が護岸天端付近まで上昇する典型的な都市型河川であり, 過去に幾度か水害に見舞われている。近年では15.6haもの浸水被害や, 東京メトロ南北線麻布十番駅地下ホームが冠水し地下鉄が数時間運休する等社会的な影響も出ている。

古川は, 赤羽橋から上流が中小河川整備区間であり, この区間のほとんどが, 主に昭和初期に整備された護岸である。この護岸は老朽化が進んでいるため抜本的な対



図-1 渋谷川・古川流域図



写真-1 古川の現況

キーワード：地下調節池, 泥土圧式シールド, 都心部

¹ 非会員 東京都第一建設事務所 工事課 Construction Section, Tokyo First Construction Office (E-mail: Satoshi_1_fukuda@member.metro.tokyo.jp)

² 非会員 東京都第一建設事務所 工事課長 Construction Section Manager, Tokyo First Construction Office

³ 正会員 飛鳥建設株式会社 建設事業本部 土木事業統括部 Construction Headquarters, Civil Engineering Management Dept, Tobishima Corp.

⁴ 非会員 飛鳥・東鉄工業・ノバック建設共同企業体 麻布シールド作業所 Azabu Shield Tunnel Project, Tobishima・Touetsukougyou・Novac JV.



図-2 古川地下調節池全体図

策が必要となっており、護岸や地下調節池の整備を進めている。

(2) 古川地下調節池の概要

古川地下調節池は、古川流域における1時間50mmの降雨に対応する施設であり、延長3.3km、内径7.5m、貯留容量135,000m³のトンネル式の地下調節池である。古川地下調節池を整備することにより、古川流域の浸水被害軽減に大きな効果を発揮すると共に、老朽化した古川の護岸整備が可能となる。

地下トンネルは港区立一の橋公園内に築造した発進立坑を起点、上流側へ3.3kmの地点を終点とし、渋谷川・古川直下の地下約30～40mの深さに位置する。(図-2)。区立公園の敷地は極めて狭隘であり、また、約12～15mの河幅に外径約8mのトンネルを収めているため(図-3)、全延長の44%がの曲線区間(R=50m～200m)である。このような施工困難性の高い方式を選定した背景に

は都心部特有の事由がある。

(3) 事業計画の経緯

都心部で大規模事業を施行するに当たっては、事業用地の取得や関係機関との協議調整が大きな課題である。

本事業では、貯留容量135,000m³の調節池を築造するための広大な用地の取得は、事業費の増大や事業の長期化を招く可能性が非常に大きいため、地下トンネル式の調節池の構造を採用した。また、周辺道路直下には地下鉄や占用企業者のインフラ施設が多数敷設されているため、比較的占用物件が少ない河川区域の直下に収める計画とした。これにより、大規模な用地買収を必要とせず事業費の圧縮を図るとともに、その用地取得に要する期間および近接するインフラ施設を所有する占用企業者との協議調整に要する時間も大幅に短縮することが可能となり(表-1参照)、早期に都市の安全性を高めることが出来る。

表-1 調節池のタイプ別比較表

イメージ		
タイプ	地下箱型	地下トンネル型
用地	広大な用地が必要	連続的な公共空間の直下に築造可能
公共企業者等との調整	近接物件数により難航する可能性あり	公共空間直下であれば対象物件も少なくなる
地域	都心部では困難	都心部に適している

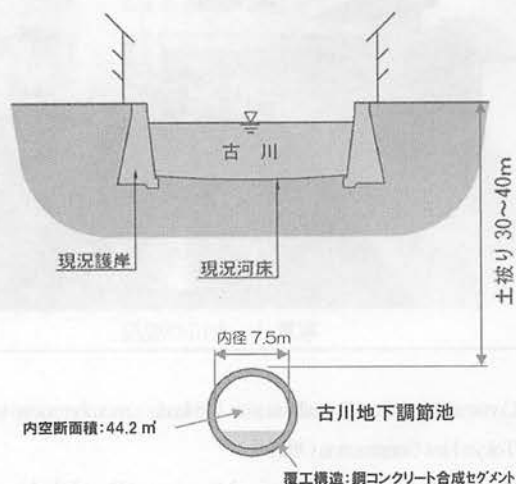


図-3 古川地下調節池標準断面図

2. 古川地下調節池工事の概要

ここからは、現在施工中の工事概要について述べる。

本工事は、港区三田一丁目にある区立一の橋公園内に深さ52.5m、内径14.0m（外径18.0m）、円形の発進立坑を設置し、ここを起点とし、渋谷区恵比寿一丁目を終点とする全長3.3kmの地下トンネルを整備する工事である。

一の橋公園周辺は、商業施設や住居が建ち並ぶ地域であり、多数の大使館も存在する。また、主要地方道環状三号線と都道高輪麻布線に接しており、交通量の多い地域である。なお、一の橋公園は古川を挟んで兩岸に位置し、さらに上空は首都高速道路一ノ橋ジャンクションに覆われ、基礎部も含めて橋脚が近接する公園である（写真-2）。

また、シールドトンネルは首都高速道路の橋脚や、東京メトロ南北線、NTT白金環四とう道などと近接している。

(1) 工事概要

工事の概要は以下のとおりである。

工事件名：古川地下調節池工事（その1）

工事期間：平成21年12月18日～平成24年11月12日

発進立坑：（予定）

立坑内径 ϕ 14.0m

立坑外径 ϕ 18.0m

立坑深さ GL-52.5m（ケーソン刃口先端）

工 法 圧入オープンケーソン工法

シールドトンネル：

仕上内径 ϕ 7.50m

延 長 3,300m

平面線形 直線および曲線

（R=50, 100, 150, 200m）

土かぶり 約30～40m

工 法 泥土圧シールド

覆 工 嵌合方式合成セグメント

鋼製セグメント（二次覆工含む）



写真-2 一の橋公園状況

地質概要として、土質縦断面図を図-4に示す。シールド掘削対象地盤は、全線にわたり上総層群であり、土質としては非常に硬く、あるいは、非常によく締まった粘性土層と砂質土層からなっている。

粘性土層は、粘土が主体であり、シルトおよび細砂が混じっている。また、所々に有機物、炭化物が混入しているが、全体的に含水量が少なく、硬く固結して泥岩状（軟岩相当）を呈しており、N値は大部分が50以上となっている。

砂質土層は、細砂および中砂を主体とする半固結状の地層で、固結粘性土（泥岩）や粗砂の混入が認められる。所々に前述した粘性土層が狭在し、同層とは互層構造にあり、N値は大部分が50以上で、非常に良く締まった状態にあるが、全体的に含水量が多い。

(2) シールド機

本工事で使用するシールド機の形式は、硬質地盤である上総層への対応、発進基地の用地などを考慮して泥土圧シールドを採用した。カッターヘッド形状は、取込みを考慮してスポークタイプとした。（写真-3）

本シールドは、高水圧下での発進であるため、発進部においてシールドで直接切削可能なCFRPロッド（NOMST）を用いた仮壁を採用しており、仮壁切削用に高強度壁用ビットを配置した。また、N値50以上の硬質地盤である上総層を長距離掘進するため、カッタービット

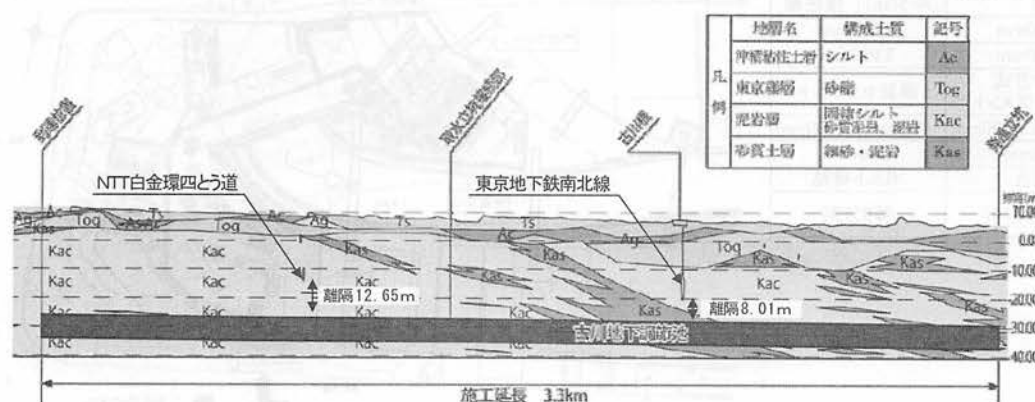


図-4 土質縦断面図

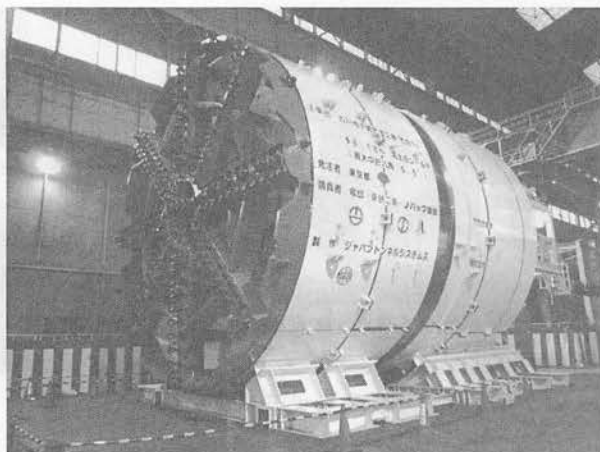


写真3 シールド機

の形状，耐久性を確保し，切削性能を維持することを目的として，ビットを段差配置し，耐摩耗性の高いE3種およびE5種を採用することで掘進距離3.3kmをビット交換なしで施工する計画とした。

(3) セグメント

本工事に用いるセグメントは，取水した洪水を貯留する地下調節池のため，内水压対応とし，かつ，漏水や有害なひび割れおよび損傷の防止に関する実績を考慮し，嵌合方式合成セグメントを採用した。

本セグメントの特徴は，以下のとおりである。

- ① 鋼とコンクリートの合成構造および嵌合方式により，高い耐荷性を有する（図-5）。
- ② 鋼枠およびスキンプレートに囲われた中に，製作工場にてコンクリートが充填された構造のため，セグメント本体の止水性に優れ，施工時に割れ，欠けが生じない。
- ③ 継手面の高い製作精度と4層の止水機構により優れた止水性能を有する（図-6）。
- ④ ボルトレス継手のため内面が平滑である。

さらに長期耐久性を確保する目的で次の対策を行った。

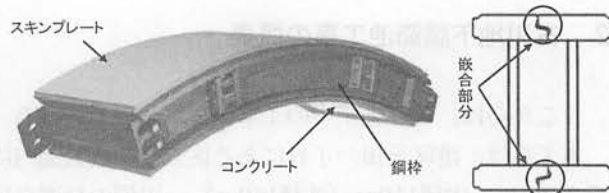


図-5 嵌合継手方式合成セグメント

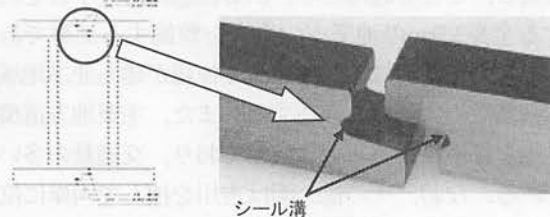


図-6 止水機構図

- ⑤ 内面側継手部は重防食塗装(5mm)を施す。
- ⑥ 内面側主桁鋼材は，腐食代1.5mmを考慮する。
- ⑦ 外面側主桁鋼材およびスキンプレートは，腐食代1.0mmを考慮する。

また，急曲線部（ $R=50m$ ）および取水施設接続部は，鋼製セグメントを使用し，二次覆工を行う。

各セグメントの仕様を表-2に示す。

(4) 仮設備計画

本工事の発進基地である一の橋公園は，古川を挟んで両岸に位置するため，立坑側の右岸に資材ストックヤードと揚重設備を設け，左岸に土砂搬出設備を配置した。

また，周囲を主要地方道環状三号線と都道高輪麻布線に囲まれ，交通量の多い地域であることから，交通渋滞緩和と第三者への安全確保のために，立坑揚重用の門型クレーン（16t）を立坑投入用に加えて荷降ろし専用1基追加して，セグメント等資材の荷降ろし時間を短縮し，資材搬入車両の待ち時間を削減した。さらに，残土搬出用ダンプトラックの入場ゲートと退場ゲートを別に設置して現場内を一方通行とし，ダンプ入退場時の安全確保及び周辺道路の混雑解消に配慮した。発進基地の設備配置を図-7に示す。

表-2 セグメント仕様

適用箇所	R=150m以上	R=100m	急曲線部 (R=50m)	取水施設 接続部
内径	7,500mm	7,600mm		
外径	8,050mm	8,050mm		
セグメント 形式	嵌合方式 合成セグメント		鋼製セグメント	
幅	1,600mm	1,000mm	400mm	1,200mm
桁高	255mm		205mm	
継手形式	嵌合		ボルト締結	
セグメント 分割	6ピース+K		等6分割	

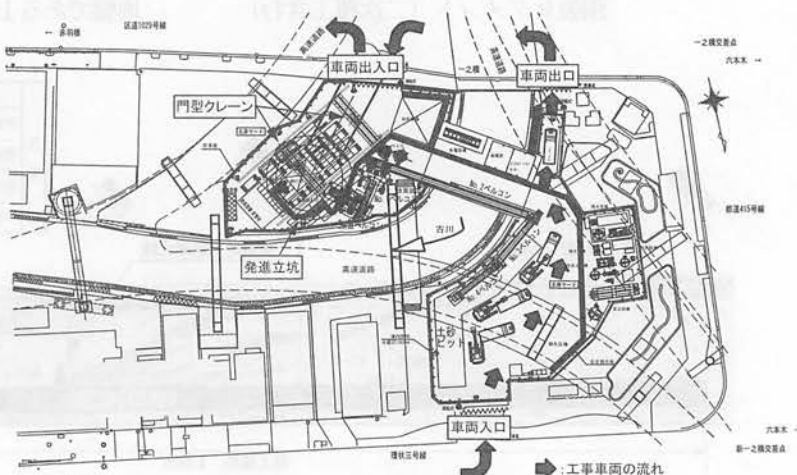


図-7 発進基地設備配置図

(5) 掘進管理の計画と施工

シールドの掘進管理について、下記の内容を重点管理項目とし施工を行った。

a) 切羽土圧管理

掘進時の切羽管理土圧は、静止土圧に間隙水圧と予備圧 (20kN/m^2) を加えた値を上限値とし、主働土圧に間隙水圧と予備圧を加えた値を下限値とした。

発進当初より、首都高速道路橋脚直下を掘進するため、管理土圧は上限値に近い値で管理し、現在の管理土圧は $400\sim 500\text{kN/m}^2$ である。

b) 排土管理

排土量は、ベルトコンベアにベルトスケールを内蔵した重量型計測装置でリアルタイムに計測する。

管理は、過去10リングの計測結果の平均値 $\pm \sigma$ (標準偏差) の範囲に入るように行っている。

c) 裏込注入管理

裏込注入は、掘進速度に連動して注入流量を自動制御できる同時裏込注入装置を採用し、セグメントから注入を行う。計画注入率は、上総層粘性土層で115%以上、上総層砂質土層で130%以上である。

現在は、粘性土層と砂質土層の互層区間を掘進中であり、注入率は、砂質土層を基準として130%以上としている。

d) 塑性流動化管理

チャンバ内の塑性流動性を確保するために、掘削添加材として特殊起泡剤を用いる。粘性土層では、カッタやチャンバ内への掘削土の付着を防止するために、界面活性剤を主成分とする起泡剤 (タイプA配合) (表-3) を使用し、砂質土層では、高水圧下での止水性を高めるために、高分子系増粘材の起泡剤を加えたタイプB配合を用いる。

添加量は、地山土量の30%を標準として、掘削土の性状により調整する。

現在は、粘性土層と砂質土層の互層を掘進中であり、タイプBの配合を30%注入している。

3. 狭隘な空間における施工上の対応

本工事は、限られた工事用地に発進立坑を構築するとともに、全路線の約60%に渡り両岸に首都高橋脚が近接し、曲線区間の多い古川の直下にシールドトンネルを構築

するため、以下の対策を実施した。

(1) シールド機組立の分割施工

発進立坑の発進部内径が14mでシールド機を完全に組み立てるスペースが確保できないため、掘進に直接関係しない部材は、16m掘進してスペースを確保し、仮セグメント開口部から投入して組み立てた (図-8)。

(2) 連続ベルコンストレージカセット装置の坑内設置

掘削土砂の坑内搬送は、長距離、大断面シールドであることから、連続的に大量の土砂が搬送可能な連続ベルコンを採用し、地上部用地の制約からストレージカセット装置 (ベルト収納部) をトンネル坑内に設置した。

(3) シールド掘進に自動方向制御と掘進・セグメント組立の部分同時施工を採用

本工事は $R=50\text{m}\sim 200\text{m}$ の曲線区間が全路線の44%を占め、全路線の約60%に渡り首都高橋脚に近接しているため、高精度なシールド姿勢制御により掘進精度が確保できるシールド自動方向制御システム (FLEXシステム)¹⁾を採用し、掘進精度の向上を図った。このシステムは、ジャイロとピッチング計により検出されるシールド機の姿勢を、各シールドジャッキの圧力を自動調整することにより、計画線形に合致するように修正するものである (図-9)。また、長距離シールドを合理的に施工するため、FLEXシステムを応用した部分同時施工法 (ロスゼロ工法)²⁾を採用した。このシステムは、掘進中にシールドジャッキストロークがセグメント幅に達した時点で、セグメント組立のためにジャッキを引き抜き、FLEXシステムにより他のジャッキの圧力を制御してシールド機を正規の姿勢に保ちながら掘進を継続すること

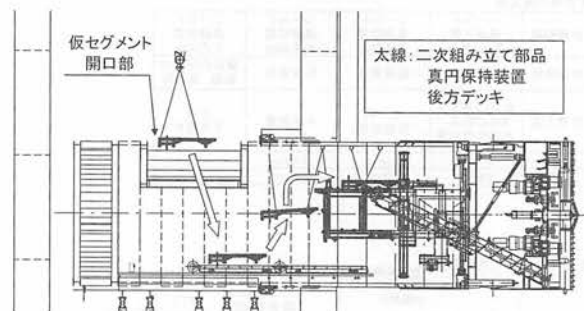


図-8 シールド機二次組立状況図

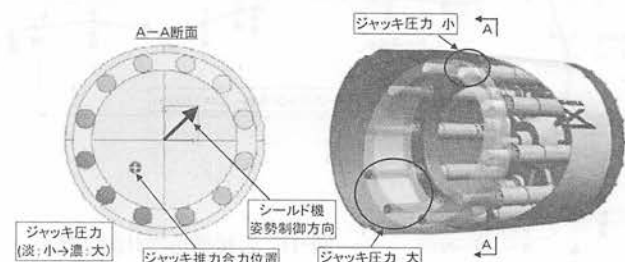


図-9 FLEXシステム概念図

表-3 特殊起泡材配合

	単位	タイプA	タイプB
特殊起泡剤 (界面活性系)	L	30	10
特殊起泡剤 (高分子系)	kg	-	6
水	L	970	984
発泡倍率		8倍	6倍

で、シールド掘進とセグメント組立の同時施工を可能とするものである（図-10）。

(4) 近接構造物の計測管理

シールド路線は、全路線の約60%に渡り首都高速2号目黒線の橋脚下を通過し、東京メトロ南北線およびNTT白金環四とう道の下をそれぞれ離隔約8m、約12mで横断する（図-11）。これらの近接構造物に対しては、管理者と協議を行い表-4に示す管理を行うこととした。シールド機が通過した首都高橋脚目-5、6（最短離隔約19m）および目-11（最短離隔約20m）の沈下と傾斜の計測結果を図-12に示す。計測結果より、シールド通過時においても計測値はほとんど変化せず、管理値以内に収まっていることから、良好な掘進管理が行われたことが分かる。

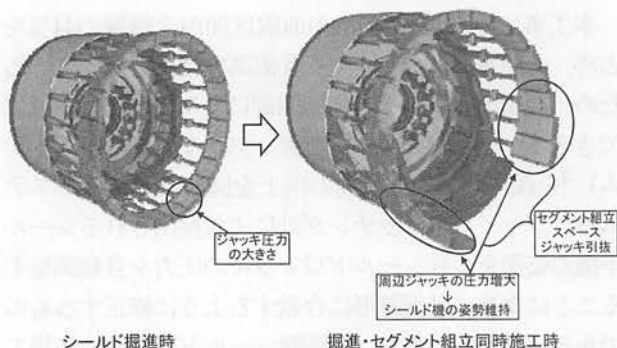


図-10 ロスゼロ工法概念図

表-4 近接構造物計測管理一覧

首都高速2号目黒線橋脚				NTT白金環四とう道			
計測範囲	橋脚17箇所（図-11参照）			計測範囲	シールド通過位置左右30m	シールド通過位置左右27m	シールド通過位置左右27m
計測項目	鉛直変位	水平変位	傾斜	計測項目	鉛直変位	亀裂、漏水状況	目視
計測方法	水準測量	測量	傾斜計	計測方法	水準測量	目視	目視
基準値	4.0mm	2.4mm	2.4分	計測項目	鉛直変位	亀裂、漏水状況	目視
管理値	5.0mm	3.0mm	3.0分	許容値	5.0mm	-	-

東京メトロ南北線			
計測範囲	シールド通過位置直上1箇所	シールド通過位置左右20m	シールド通過位置左右40m
計測項目	内空断面	鉛直変位	鉛直変位
計測方法	断面内測定点9点の鉛直・水平変位測量	沈下計（自動計測）	水準測量
基準値	3.5mm	3.5mm	3.5mm
管理値	5.0mm	5.0mm	5.0mm

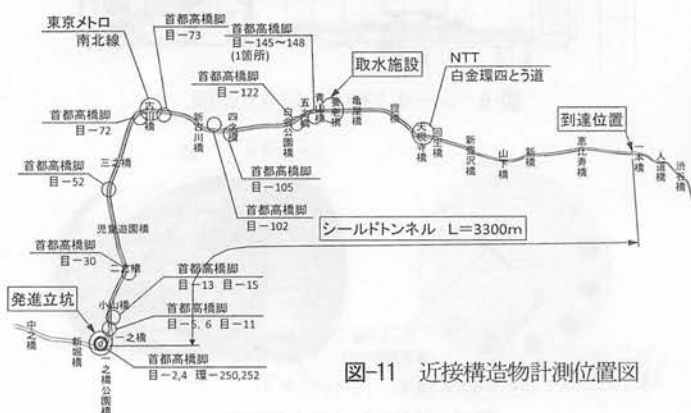


図-11 近接構造物計測位置図

4. おわりに

本工事は、発進基地が交通量の多い幹線道路に囲まれた狭隘な敷地であり、シールド路線は長距離・大深度で、全路線の約60%に渡り近接構造物が存在する非常に厳しい施工条件であるが、首都高橋脚に影響を与えることなく順調に掘進を行っている。今後も引き続き、関係各所や近隣の方々のご協力やご理解を賜りながら、近接構造物に影響を与えることなく、安全第一で施工を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 西明良 他：シールド自動方向制御システム「FLEX」の開発、とびしま技報, No.60, pp.27-36, 2011.
- 2) 西明良, 神谷真一：シールド部分同時施工法「ロスゼロ工法」の開発、土木建設シンポジウム 2005 論文集, pp.151-156, 2005.

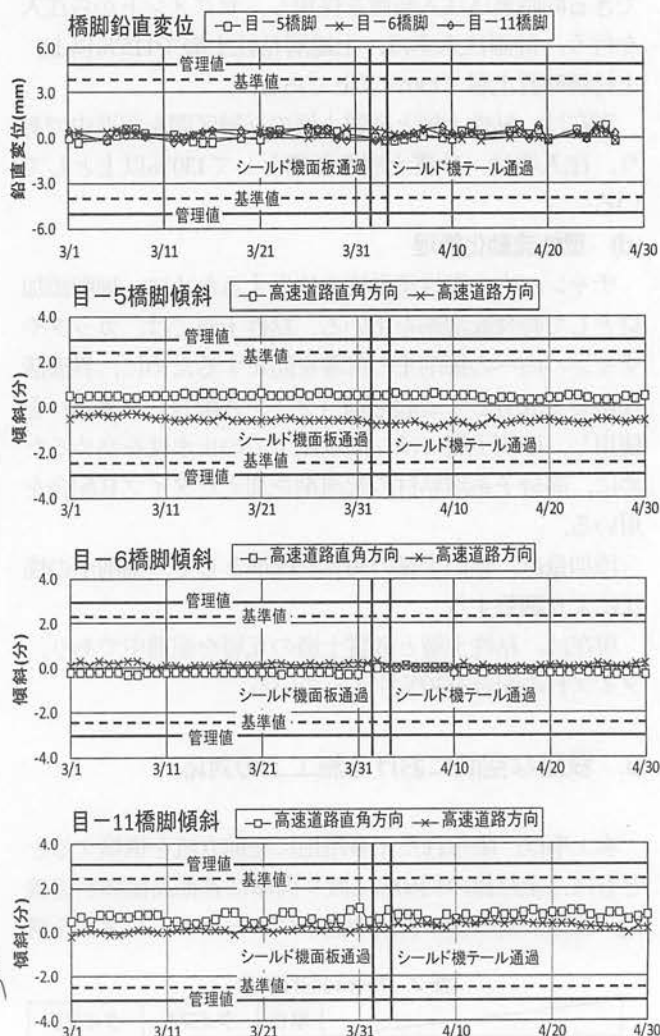


図-12 首都高橋脚目-5、6および目-11の計測結果