

上落合換気所におけるシールドトンネル接続部の施工について CONSTRUCTION OF A SHAFT INTERSECTING WITH TWIN BORED TUNNELS BY TBM AT KAMIOCHIAI VENTILATION BUILDING

伊藤 誠¹・岩井 健²・田沢 誠也³・松田 満⁴

Makoto ITO・Ken IWAI・Seiya TAZAWA・Mitsuru MATSUDA

Generally, ventilation buildings for underground tunnels are constructed by utilizing TBM shafts for launching, arrival or its rotation after completion of the TBM works. However, in this project, construction of the ventilation building was started in parallel with the process of TBM passing right under the base slab. Therefore, the shaft section to connect the tunnels was constructed by excavating between the tunnel segments from an opening at the base slab. The connection was formed to placing reinforced concrete with enwinding main girders of the tunnel lining segments.

Key Words : Bored tunnel by TBM, Cutting main girders of the tunnel lining segments, Shaft

1. はじめに

首都高中央環状線山手トンネルは、東京都目黒区青葉台4丁目を起点に、板橋区熊野町を終点とし、高速3号渋谷線、高速4号新宿線及び高速5号池袋線を相互に接続する全長11.0kmの自動車専用道路である。

上落合換気所は山手トンネルの9箇所の換気所の内の1つであり、新宿区上落合2丁目、3丁目の山手通り直下に開削工法によって構築される。通常、排気・給気のためのシールドトンネルとの接続は、シールドマシンの発進・到達あるいは回転立坑を利用して行なわれるが、本工事では、換気所本体の下床版打設後、本線シールドマシンがその直下を通過し、換気所下床版開口部からシャフト部の掘削、土留め設置を行い、シャフト接続部を構築した。シャフト部とシールドトンネルとは、鋼製セグメントのスキンプレートを切断したあと、セグメント主桁を巻き込む形で躯体構築することにより接続した。

本稿ではこれら施工方法及び施工時に行った計測結果について報告する。

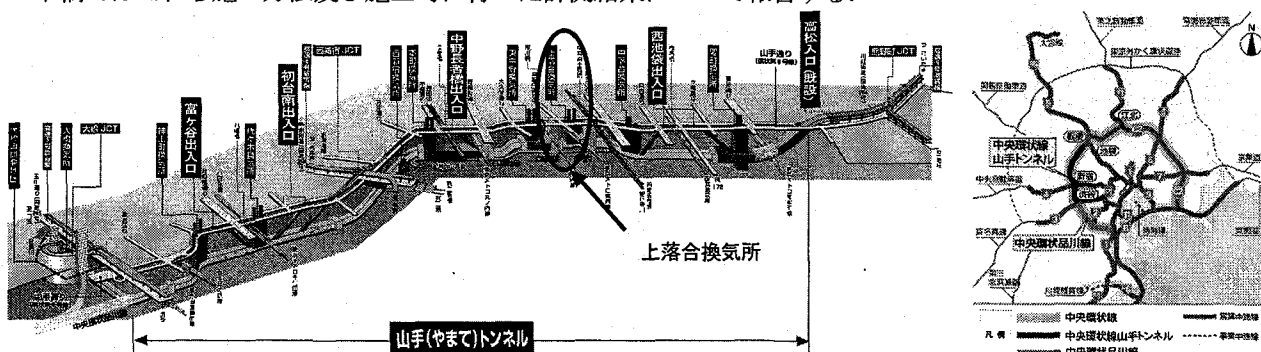


図-1 中央環状線山手トンネル路線図

キーワード：シールドトンネル、主桁の切断、シャフト部

¹正会員 東急建設株式会社 技術本部 土木エンジニアリング部 課長代理

²非会員 東急建設株式会社 首都圏本部 土木施工部 上落合換気所 JV 主任

³正会員 首都高速道路株式会社 東京建設局 池袋工事グループ 工事長

⁴正会員 首都高速道路株式会社 東京建設局 設計第一グループ

2. 工事概要

図-2に上落合換気所の全体平面図、縦断図、図-3にシャフト部断面図を示す。着色部がシャフト部構築範囲である。また、表-1にシャフト部の主要工事数量を示す。

上落合換気所全体の工事区間の延長は約250mであり、本体部の掘削幅は34.3m、掘削深さGL-20mである。シャフト部の施工延長は約25.0mであり、掘削幅が最も狭いセグメント間で約6m、掘削深さはGL-34mとなっている。換気所本体構築のためにSMW壁が土留め壁として施工されており、芯材はEdc層（江戸川粘土層）まで根入れされているが、今回、施工するシャフト部においては側面の土留め壁はシールドセグメントがその役割を果たすことになる。棲部の土留め壁は、逆巻きにてコンクリート壁を構築し、アンカーにて土留めした。

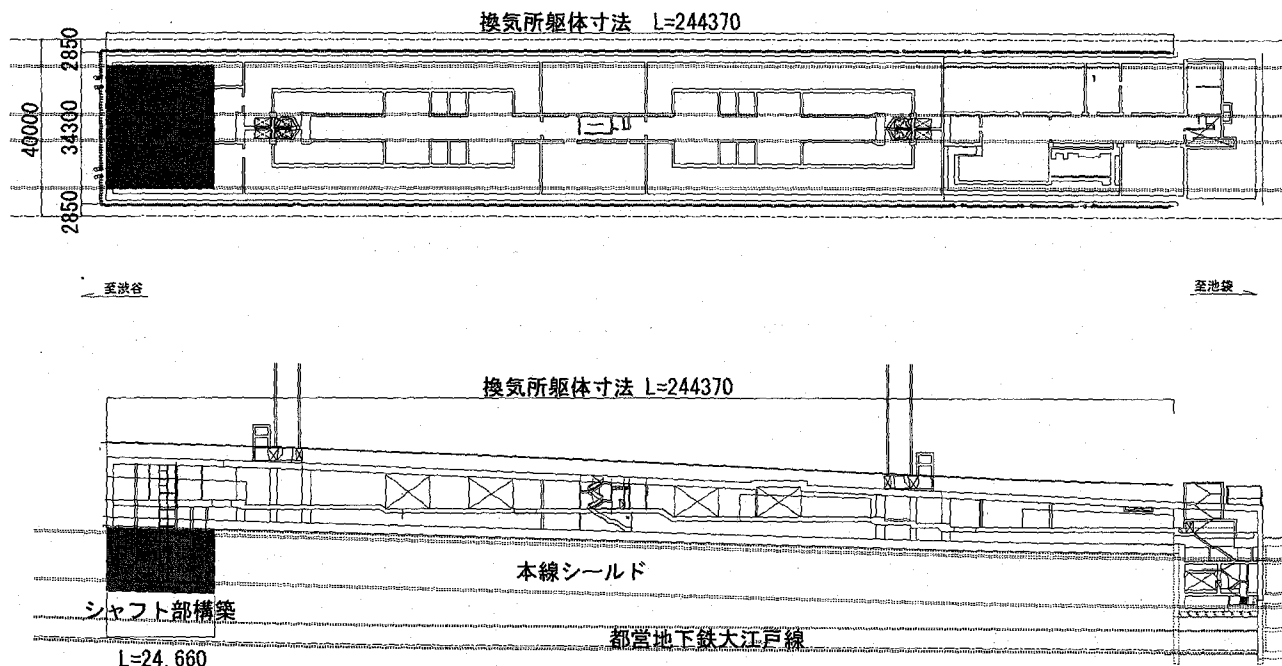


図-2 上落合換気所平面図および縦断図

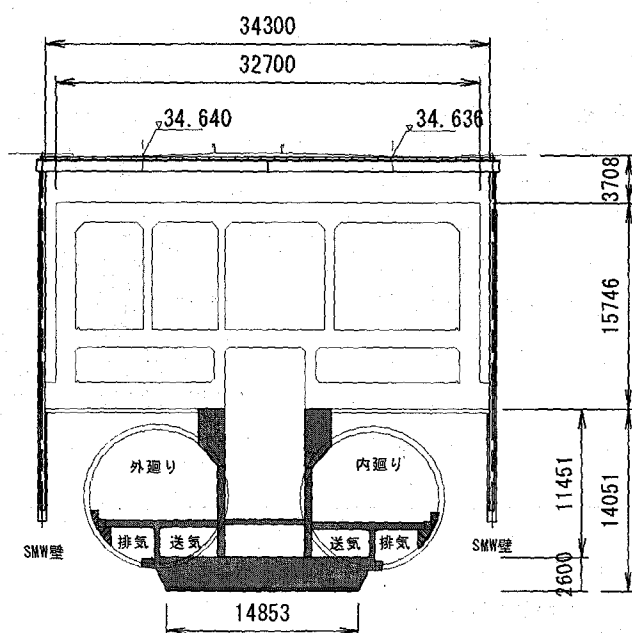


図-3 シャフト部断面図

表-1 シャフト部主要工事数量

工 種	単位	数量
躯体工	m	23
コンクリート	m ³	2000
鉄筋	T	221
仮設工		
アンカー工（残置式）	本	23
切梁腹起工	t	69
土留壁工		
コンクリート	m ³	116
鉄筋	t	13
セグメント撤去工		
セグメント切断工	m	4,914
セグメント撤去工	t	217.4

3. シャフト部施工ステップ

シャフト部施工ステップを図-4に示す。

STEP1：上床梁施工・1段目切梁（切梁⑧）施工

換気所下床版開口部からシャフト部の掘削をする。
セグメント上部には横矢板による土留めを施工する。
鋼製セグメントのスキンプレートを撤去し、主桁（写真-1参照）を巻き込むように鉄筋を配筋し、躯体コンクリートを打設する。

STEP2：3次掘削・2段目切梁（切梁⑥）施工

棲部土留め壁は、コンクリート壁を逆巻きで構築しアンカーによる土留めを施工する。

STEP3：4次掘削（写真-2参照）

STEP4：3段目切梁（切梁⑦）設置・プレロード導入

STEP5：5次掘削（写真-3参照）

事前解析の結果、セグメント直下を掘削することになるため、シャフト施工延長すべてを掘削した場合、本線シールドのたわみが大きくなり、地盤の塑性化の恐れがあることが分かった。そのため、掘削は3分割施工とした。

STEP6：底版構築

STEP1と同様、鋼製セグメントの主桁を巻き込むように鉄筋を配筋し（写真-4参照）、躯体コンクリートを打設する。

STEP7：セグメント間切梁（切梁⑥、⑦）撤去

STEP8：内部支保工水平切梁（切梁①、②、③）撤去

上床梁および底版とセグメントが上下部で接続されたため、水平方向の支保工を撤去する。

STEP9：盛替柱（切梁⑤）設置・セグメント撤去

鉛直荷重を支持する支保工を設置した後、セグメントを撤去する（写真-5参照）。

STEP10：側壁構築

側壁構築後、盛替柱を撤去する。

この後、道路床版の施工を経てシャフト接続部の構築を完成させた。



写真-1 上床梁接続部鋼製セグメント主桁

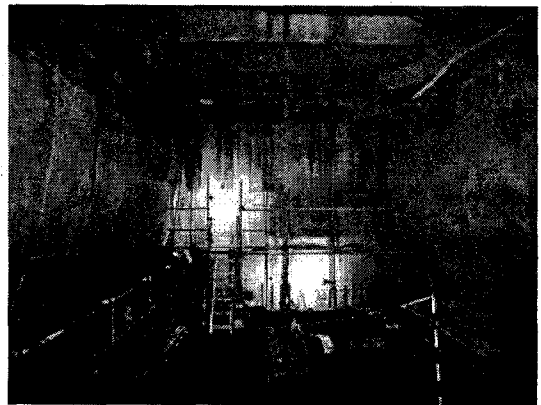


写真-2 4次掘削完了



写真-3 5次掘削状況



写真-4 底版配筋状況



写真-5 セグメント撤去

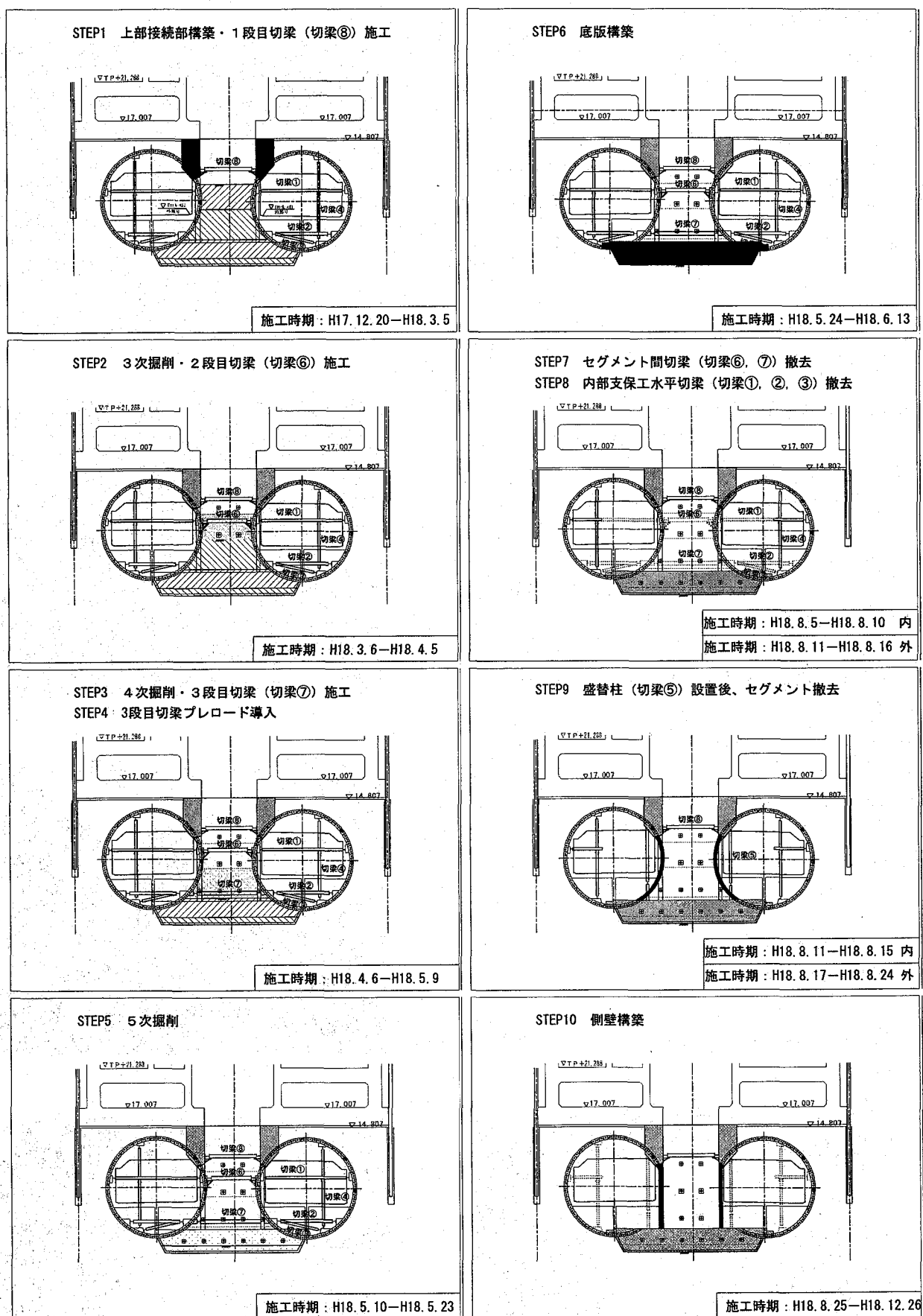


図-4 施工ステップ

4. 施工上の留意点および対応策

(1) 施工上の留意点

シャフト部施工時の留意点として以下の2点が考えられた。

a) 逆巻き施工部のコンクリート

シャフト部上床梁部はセグメントと接続される部分で逆巻き施工される。この部分は鋼製セグメント主桁を巻き込む構造で配筋状態は密であり、かつ逆巻き施工であるためバイブレータによるコンクリートの締固めが困難である。また、施工済みである換気所下床版と一体化を図ることが重要となる。

b) 躯体と接続部の止水方法

鋼製セグメントとコンクリート構造物との接合部分においては性質の違う材料を一体化するという点で、止水上の弱点になりやすく、接続部の漏水は、外周からセグメント継手部のシール材までの間の約 60 mm の隙間が水みちとなって発生すると考えられる。

(2) 留意点に対する対応策

(1)に示した留意点に対して以下の対応策を実施した。

a) 逆巻き施工部のコンクリート

逆巻き施工部のコンクリートには高流動コンクリートを採用し、密な配筋状態、締固めが困難な状況でも十分に充填できる流動性を確保して施工した。また、逆巻き施工であるため、既設コンクリートとの接続部において打設したコンクリートの沈降・収縮による隙間が生じるため、換気所下床版底部にグラウト材注入用ホース(図-5、写真-6)を取り付けておき、逆巻き施工部のコンクリートを打設し、コンクリートが固化した後、無収縮セメントペーストを注入・充填し、打継ぎ部の一体化を図った。

b) 躯体と接続部の止水方法

上部接続部については、セグメントシール材の外側を水膨張性ゴムで充填することによる止水とドレーンにより下流側へ導水した。

下部接続部については、コンクリートに埋め込まれるセグメント部分に水膨張性ゴムを塗布し、コンクリートを打設した後、外周とセグメント継手部のシール材までの間にグラウト材を注入し、水みちを閉塞した(図-6)。

5. 骨組み解析および切梁軸力計測結果

シャフト部の施工については、前節までに示したように、シールドセグメント下部を掘削し、かつ、シールド側部を大きく切開く構造であり、前例が非常に少ない構造である。

そのため、図-4に示す施工ステップを考慮した骨組み解析を実施し、施工時におけるシールドの挙動やシールドセグメントからの躯体コンクリートへの断面力の伝達を考慮した接続部の設計を行った。

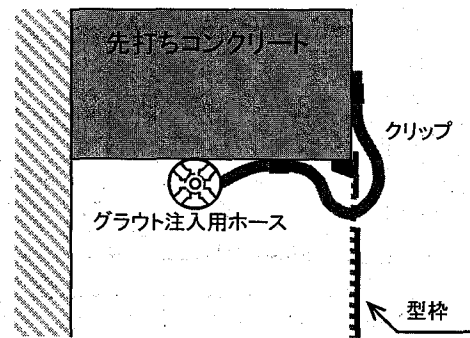


図-5 グラウト材注入用ホース模式図

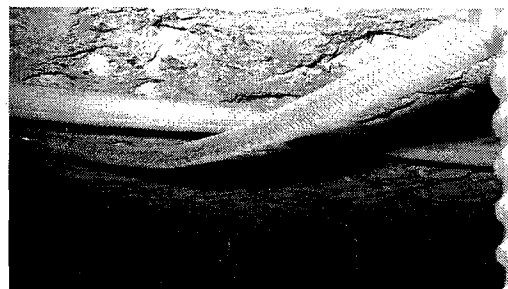


写真-6 グラウト材注入用ホース

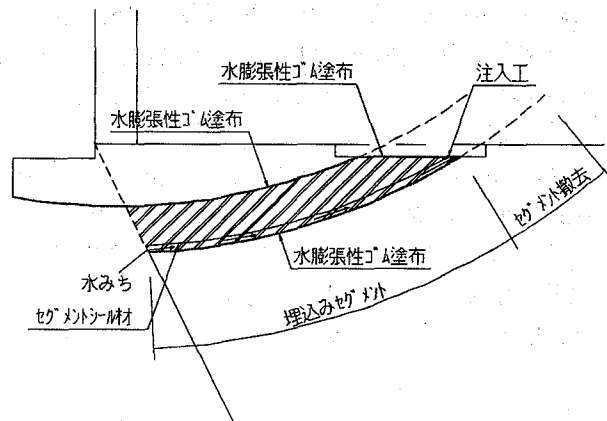


図-6 下部接続部の止水対策

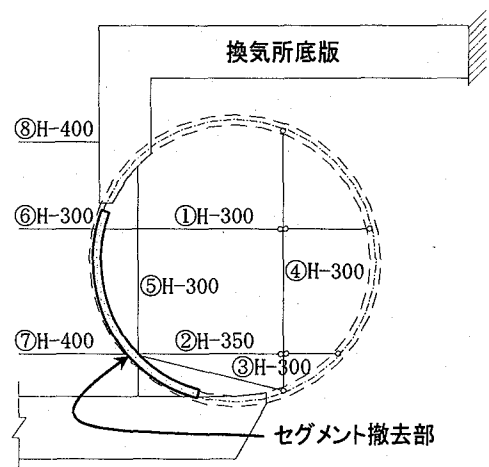


図-7 骨組みモデル図

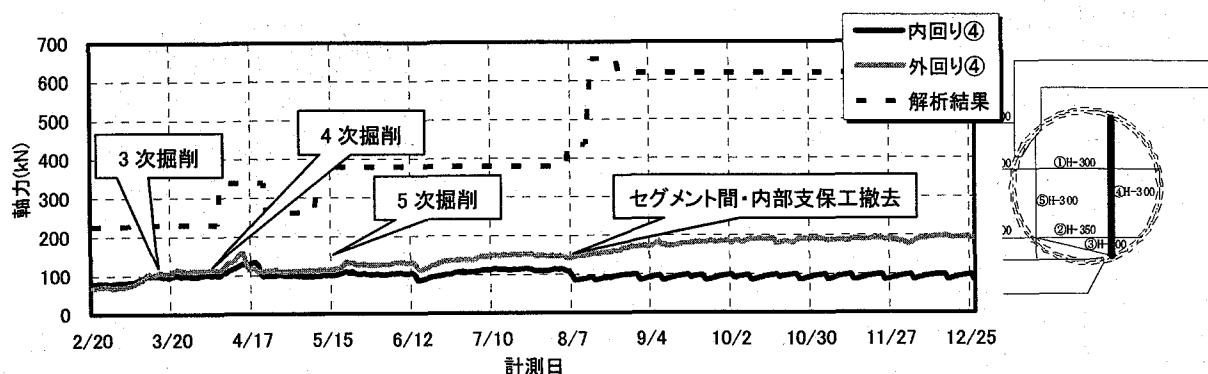


図-8 切梁④(鉛直)の計測結果

骨組み解析は、シャフト部を左右対称とみて、図-7 に示すように片側だけとし、鋼製セグメント及び切梁を梁要素、RC 躯体を平面ひずみ要素としてモデル化した。セグメント内部支保工（切梁①～④）は掘削開始以前に施工されており、セグメント間の掘削が進むにつれて、切梁⑥、⑦、⑧及び鉛直盛替梁⑤を施工した。

各切梁にはひずみゲージを取り付けており、掘削およびセグメント切開き時にシールド側からの荷重の作用状況を把握するため、シャフト部切梁の軸力計測を行った。

ここでは、一例として図-7 に示した鉛直切梁④（H-300）についての計測結果と事前解析結果を比較した結果を図-8 に示す。

計測結果は、解析結果と比較して値は小さいが、掘削ステップが進むにつれて圧縮力が増加するという傾向は事前解析結果と同様である。また、解析結果ではセグメント間および内部支保工撤去時に圧縮力が大きく増加しているが、計測結果では解析結果ほど大きな圧縮力の増加はみられないものの増加傾向にあり、施工ステップを通して事前解析での予測通りの変動であったといえる。各ステップにおける軸力の変動については解析結果と同様の傾向を示していることが分かる。

その他の切梁についても比較した結果、全般的に計測結果は解析結果（管理基準値）よりも小さい軸力値を示した。事前解析では、構築済みである換気所躯体荷重を考慮し、セグメントに作用する上載分布荷重としている。しかしながら、実施工においては、安全を考慮して換気所底版をスタッドジベルにより SMW 壁芯材と連結したため、事前解析で考慮した荷重ほど大きな荷重がセグメントに作用しなかったことが推察され、このことが計測結果と事前解析結果との差異の要因の一つであると考えられる。

6. おわりに

今回、上落合換気所の構築において、シャフト部延長約 25.0 m のシールドセグメントの切開き接続工事を行った。今回行ったようなシールドを切開き、換気所構造物と接続する工事は、近年のシールドの長距離掘進に伴い、効率的かつ合理的な施工という観点から、今後増加する工事と予想される。これまでのように立坑を構築し、コンクリート構造物を施工するよりも、工事費、工期、掘削残土の削減等、経済面及び環境面からのメリットが考えられるため切開き構造は優れているといえる。また、地下構造物及び埋設物の多い場所になれば、掘削面積を小さくし、影響範囲を小さくする効果も考えられる。

しかし、防水という面から考えると、セグメントとコンクリート構造物との接合部分においては性質の違う材料を一体化するという点で、弱点になりやすい。本工事では一部漏水が確認された箇所もあり、更なる止水構造の検討が必要である。

逆巻きのコンクリートについては、セグメントとコンクリート構造物の接合部分でもあり、主鉄筋及び補強筋等で過密な状態であったため、コンクリートの流動性及び充填性を向上させる目的で、高流動コンクリートを採用し、問題なく施工を完了させることができた。