

営業線直下施工による地下化工事

Construction Method of Underground Railway Line Under Operating One to be Replaced

伊倉二三男*
Fumio Ikura

富田 正浩***
Masahiro Tomita

岡野 昭博***
Akihiro Okano

崎山健二郎**
Kenjiro Sakiyama

塩月 知道***
Tomomichi Shiotsuki

要 約

大都市圏の通勤輸送力の増強は、大きな社会的課題であり、鉄道の複々線化や乗り換えの効率化等が進められている。また、鉄道の地上線は踏切があるため、道路の交通渋滞の大きな要因となる。そのため、鉄道（駅舎を含む）の高架化、地下化は、非常に重要な事業のひとつとなっている。本報告は営業複線直下での鉄道地下化工事であり、線路支持機能を併せて持つ土留め壁（泥水固化壁（BHW工法）、モルタル柱列杭壁（BH工法））、狭隘空間での土留め壁打設、複線を一体で支持する工事術、躯体構築および一晩の地下線路への切替えについて報告している。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 概要
- § 3. 工事の特徴
- § 4. 狭隘空間における土留め壁の施工
- § 5. 工事術の構造と架設
- § 6. 掘削
- § 7. 躯体構築
- § 8. 線路切替
- § 9. おわりに

§ 1. はじめに

本工事は、東横線の混雑解消のための「東横線複々線化事業」（参考文献1）、2）の一環として行われた大岡山駅改良工事である。大岡山駅は、目蒲線、大井町線の接続駅であり、当社は、大井町線の大岡山駅アプローチ部（北千束駅側）を担当した。

施工地点は、両側に家屋が密集した都市地域である。鉄道敷地幅は約10mであり、仮線（線路を一時支障のない場所へ移動）方式による施工が不可能なため、現状線（活線）の直下工事となる。特に、仮受桁設置および新設軌道への切替の工事は、約3時間の線路閉鎖時間内に行った。

工事は、平成3年8月に着手、4年10ヶ月を経て大井町線の地下構造物が完成、平成8年6月に線路地下化切

* 関東(支)大岡山(出)

** 関東(支)南台(出)

*** 土木設計部設計課

替工事を行い、大井町線の地下化が完了した。

表-1 数量一覧表

§ 2. 概要

2-1 工事概要

工事名：東横線複々線化工事に伴う大岡山駅改良工事
(土木工事，第2工区，その3)

企業先：東京急行電鉄株式会社

工期：平成3年8月～平成9年3月

場所：東京都大田区北千束2丁目～3丁目（東急大井町線）

2-2 数量

表-1に本工事の数量一覧表を示す。

2-3 地質概要

(1) 地形

本工事区間は大井町を起点とする4k211m～4k626mの区間で、武蔵野台地の中で荏原台と呼ばれる洪積台地上に位置する。荏原台の両端は2つの浸食谷に挟まれている。

(2) 地質および地下水位

荏原台の地質構成は、上部から関東ローム層、凝灰質粘土層、東京層（粘土および砂質土・砂礫層）、および土丹層となっている。河谷低地は沖積層に覆われている。荏原台部の自然水位とローム層の地下水位は一致しており、GL-4m程度で地形に対応した形に分布している。図-1に地質縦断面図を示す。

2-4 施工順序

本工事の施工順序を図-2に示す。

土留壁工			
BHW杭	φ500	H-300×300×10×15	ℓ=15.0m
BH杭	φ500	H-300×300×10×15	ℓ=15.0m
軌道仮受工			
工事桁	63スパン	延長372m	495 tf
工事桁架設時掘削			3,323 m ³
本掘削工			
掘削工			36,000 m ³
土留支保工			576 tf
躯体構築工			
コンクリート			5,850 m ³
鉄筋			1,000 tf

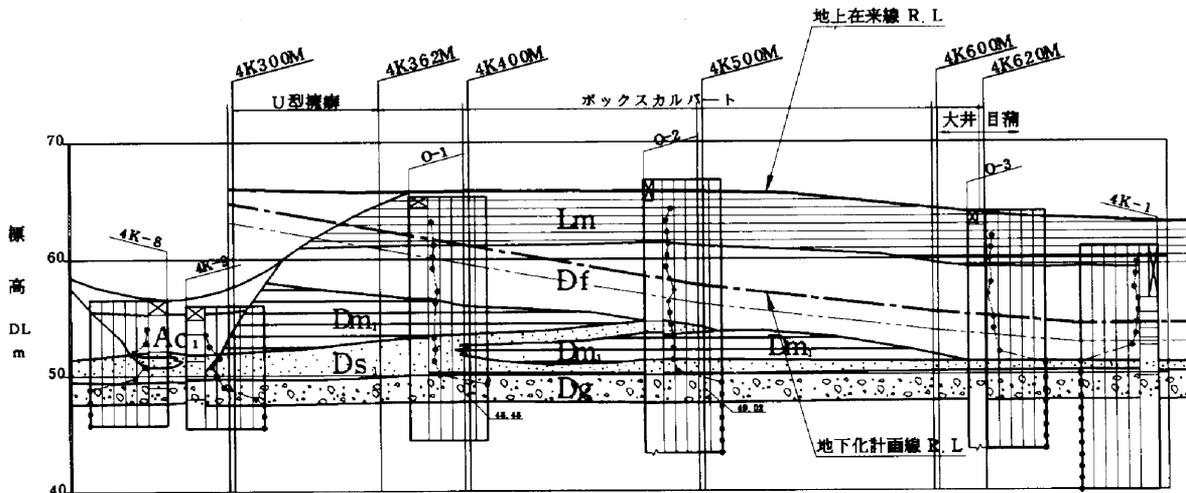


図-1 地質縦断面図

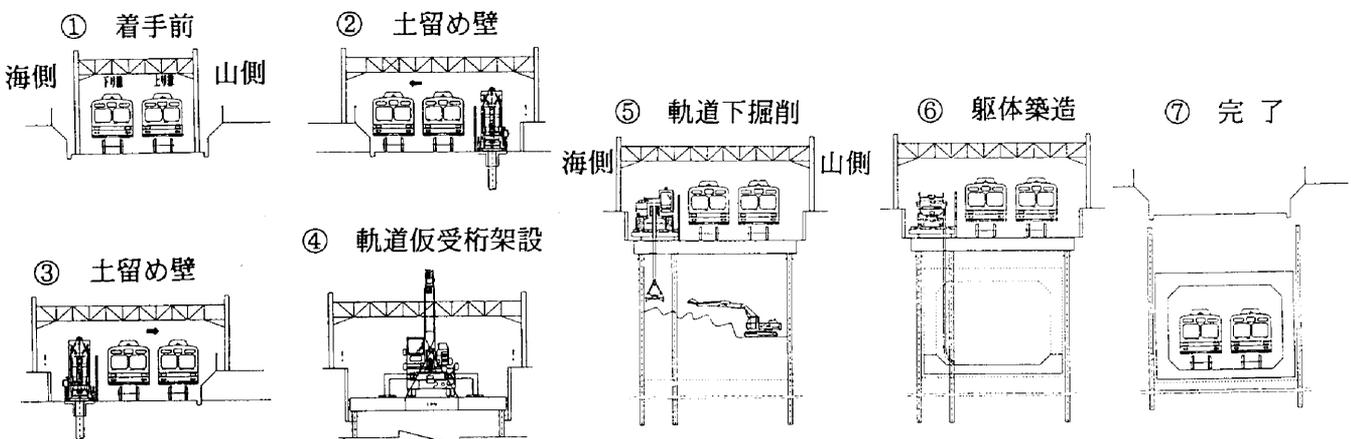


図-2 施工順序

§ 3. 工事の特徴

本工事の技術的特徴を以下に示す。

① 土留め壁

土留め壁は、全幅員から複線軌道分を差し引いた約3mの狭隘幅員下における施工となった。施工法は、BHW工法あるいはBH工法+遮水注入とした。また、軌道を仮受する必要があったため、土留め壁は工事桁支持杭兼用とした。

② 工事桁架設とその構造

工事桁は、複線一体の仮受構造（横桁・縦桁方式）とした。工事桁スパンは標準を6.0mとした。

③ 狭隘空間における土砂搬出

軌道に沿った作業ヤードは約3mの幅員であるため、掘削土砂の搬出はこの幅員で行った。

④ 線路切替工法

線路切替は、短時間に工事桁を撤去または移動することが求められ、周辺状況等の条件により、クレーンによる撤去、工事桁扛上（後日撤去）および工事桁横引き（後日撤去）の3方法を行った。

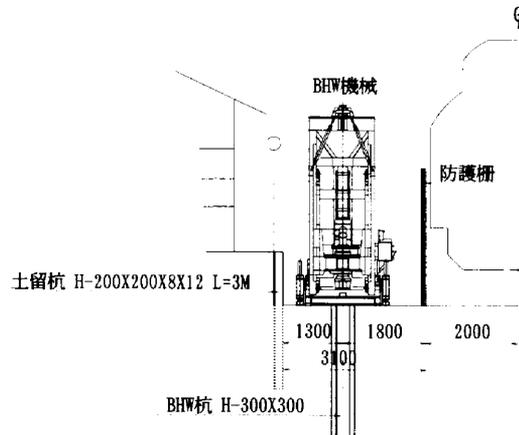


図-3 BHW機械配置図

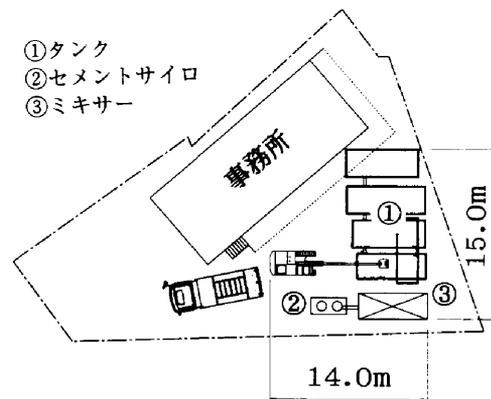


図-4 プラント配置図

§ 4. 狭隘空間における土留め壁の施工

4-1 土留め壁打設工法の選定

土留め壁は、狭隘空間における施工が可能で、かつ工事桁の支持杭としての機能を持つことが条件となった。また、掘削深度は0~11.5mの範囲になり、遮水壁としての機能が必要な範囲がある。

上記条件を満たす土留め壁工法として以下を選定し、施工した。

- ①BHW工法……………施工幅員3m以上
- ②BH工法+遮水薬液注入……施工幅員3m以下

4-2 BHW工法

(1) 施工要領

① 施工機械配置およびプラント配置

機械配置を図-3に示す。プラントは当社現場事務所用地内へ集約し、最長200mの配管によって流体輸送を行った。プラント配置図を図-4に示す。

② 施工順序

施工順序を以下に示す。

- step1 ガイドウォールの構築
- step2 削孔（3回）
- step3 泥水置換（固化剤）、ブロー
- step4 H型鋼建込み 5m×3本継ぎ

(2) 固化壁の設計と配合

① 溝壁の安定

BHW工法による施工にあたって、溝壁の安定の検討を行った。検討は、当社の「溝壁の安定プログラムFD1800CL」によって検討を行い、線路が近接しているため、列車荷重を考慮した。検討の結果を表-2に示す。

表-2 溝壁の安定検討結果

モデル	半円筒型モデル	三次元円筒型モデル	プロトジャコフ型モデル
F _s	2.57 ≥ 2.0	2.10 ≥ 1.2	1.32 ≥ 1.0

② 泥水の管理

溝壁の安定や掘削土砂運搬等に対し、泥水管理を行った。当該工事では、ペントナイト濃度を7%、比重1.15~1.20とし、管理を行った。

③ 泥水固化壁の設計強度

泥水固化壁の設計強度の設定は参考文献5)に従った。固化壁の設計荷重強度は最大土圧強度11.0tf/m²とした。なお、H型鋼のピッチは最大680mmであり固化壁とH型鋼との取り合いは図-5のようになる。

当該工事では、設計基準強度を固化壁のせん断応力および圧縮応力の検討より、5.0kgf/cm²とした。

④ 配合と強度

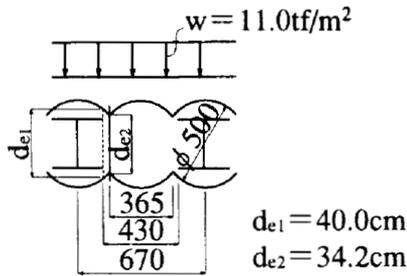


図-5 泥水固化壁断面図

設計基準強度 5.0kgf/cm^2 を踏まえ、固化液には泥水 1m^3 に対しセメント 300kg の配合とした。室内試験では、28日強度で約 10kgf/cm^2 が得られた(参考文献2))。

また、原位置の泥水固化壁をコアボーリングし、試験を行った結果を図-6に示す。図より、床付部において所要の設計強度が得られているため、当該工事において問題は無いと判断した。

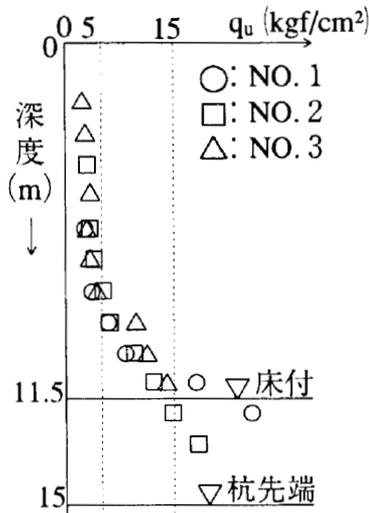


図-6 泥水固化壁圧縮強度試験結果

また、深度の増加に伴い強度が増加している点は、泥水(固化剤投入)置換を下方より行っていることが主な理由とされる。この傾向は杭先端支持力確保の点では有利である。

(3) 支持杭としての考え方と構造

BHW工法の問題は、砂礫層の貫入が困難であることが挙げられる。特に支持杭としての機能を考慮する場合には弱点となる。当該工事では、支持層として砂礫層が存在したため、以下のように考えた。

- ・H型鋼を泥水中に建込む際、小型パイプロハンマーにて砂礫層まで貫入させる。
- ・列車荷重は横桁を通じ1点に集中して作用するが、H型鋼の頭部を全て連結し、荷重の分散を図る。
- ・杭先端部の固化壁の強度が充分に発現した場合(約

15kgf/cm^2)、先端面積をH型鋼の幅分考慮できるものとし、H型鋼の頭部連結は最小限にとどめる。

当初上記の計画に対し、頭部連結はRC製の梁構造、あるいはH型鋼の梁構造として全面連結として考えていたが、図-6より、杭根入れ部において十分な強度が得られたため、頭部は溝型鋼材による最小限の連結長さ(3.5m)とした。

杭の支持力に関する先端部負担面積を図-7に示す。

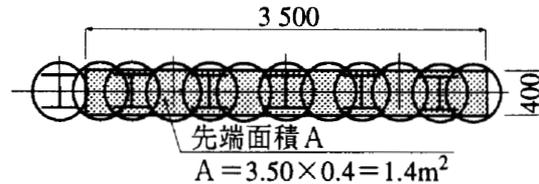


図-7 杭先端部負担面積

なお、杭材の荷重分散の程度および固化壁の一体性(施工目地に対するもの)を確認するため、H型鋼にストレインゲージを張り付け、ひずみ測定を行った。その結果、荷重分散および固化壁の一体性が確認できた。詳しくは、参考文献3)、4)にて記述されている。

4-3 BHW工法

(1) 施工要領

① 施工機械配置およびプラント配置

施工機械配置を図-8に示す。プラントはBHW工法のものを用いた。

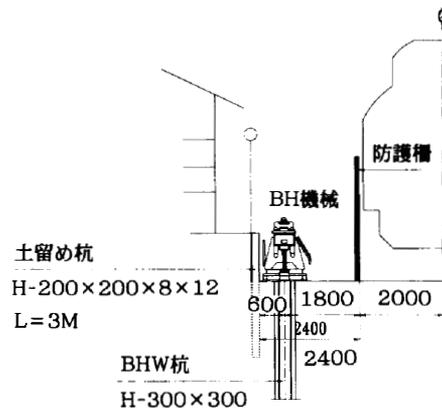


図-8 BHW工法機械配置図

② 施工順序

BH杭(支持杭部)の施工順序を以下に示す。

- step1 削孔(砂礫層貫入50cm)
- step2 モルタル打設
- step3 H型鋼建込み(モンケン300kgf)
- step4 遮水薬液注入(単層注入工法)

(2) 支持杭としての考え方

BHW工法は単杭であり、支持杭部は支持層である砂礫層

への貫入を行った。ただし、列車荷重が集中的に作用するため、所要の支持力が得られなかった場合の列車に対する影響が大きい。従って、載荷試験を行い負担させる杭の本数を決定した。

(3) 載荷試験

載荷試験は現場内にて施工した杭にて行った。試験の結果、第1限界荷重=71tf/本、第2限界荷重=112tf/本が得られた。従って、最大設計反力が約26tf/箇所であることより、杭1本で十分な安全率が確保できた。載荷試験結果を図-9に示す。

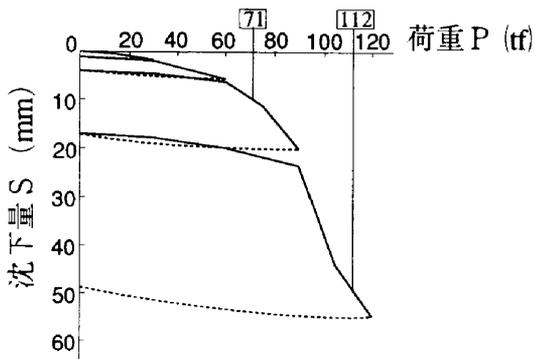


図-9 荷重-沈下曲線

§ 5 工事桁の構造と架設

5-1 工事桁の構造

(1) 構造上の特徴

工事桁の構造上の特徴を以下に示す (図-10)。

①複線を一体的に支持する構造であること

軌道方向に対し、直角に横桁を設置し、両側の杭 (土留め壁) にて支持する構造とした。縦桁は軌道を直接支持する役割を持ち1軌道に対し2本を配置した。

②桁設置時に縦桁に枕木が設置されていること

桁の設置を短時間に行うため、縦桁にはあらかじめ枕木を取付け、施工時にはそのまま搬入、設置を行えるようにした。

③横桁と縦桁の固定側接合部は、ボルト接合であること

設置済みの横桁と当日最初に設置される横桁との間に、縦桁を設置したが、その接合部は取付けが短時間に行えるボルト接合 (摩擦接合) とした。

④結合部の構造は、固定および可動とすること

縦桁の両端部の支持条件は、温度による軌道方向の変位の吸収および設置を容易にすることの2点より、固定および可動の構造とした。特に固定側については架設時の施工性から縦桁と横桁のクリアランス20mmを確保した。

なお、線路線形はR=300mの曲線部であったが、工事桁においてはカントを0とし、列車の制限速度をV=30km/hとした。

(2) 桁の製作

桁受け杭位置および線路中心の事前測量を行い、製作データを作成し、全ての桁について仮組を実施し検査した。また、重要溶接部については、超音波検査を実施した。

5-2 工事桁の架設

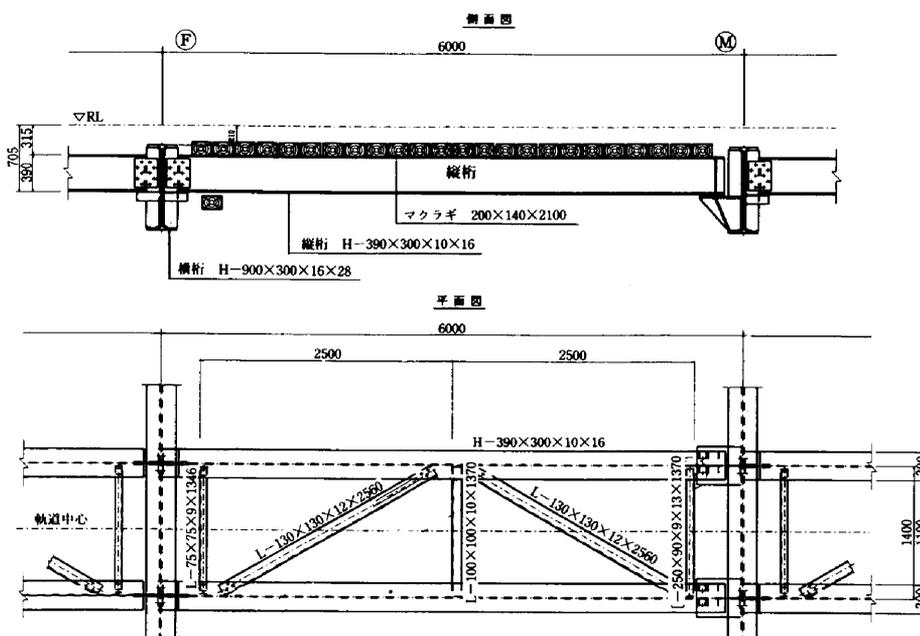


図-10 工事桁図

(1) 軌道敷内覆工

軌道内に木製で、覆工して夜間の作業通路を確保し、掘削土、桁材を搬入した。

(2) レール破線およびクリップボルト除去のための事前作業

桁架設に先立って、レール高調整、カント調整（カントをなくす）を行なった。以下の理由よりレール継目の位置変更および増設を行った。

- ①横桁上に継目を設けるためレール継目位置の変更
- ②作業が複雑な踏切部での施工性を確実にするためのブロック化

昼間（架設日）には、破線作業に備えレール止めクリップボルトの点検・整備を行った。

(3) 掘削

掘削、土砂積込み・搬出（ $V=60\text{m}^3/\text{スパン}$ ）のサイクルタイムを検討し、施工の確実性を高めるため、掘削土の搬出を極力少なくする方法とした。

用地片側に幅約3.0m、深さ2.5mの残土ピットを設け（昼間施工）、架設時の掘削土の半分（約 30m^3 ）を仮置きし、本掘削時に搬出した（図-11）。

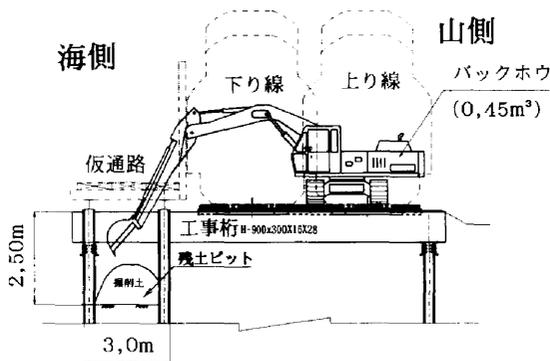


図-11 残土ピット（工事桁架設部）

また、軌道内掘削の実績のあるオペレーターを採用した。掘削は重機（ 0.45m^3 バックホウ）を2台使用し、き電停止確認後開始した。重機配置は、回転時に干渉しない様に向かい合い、各々左旋回とした（写真-1）。

起点側の重機は、残土ピットへ土捨し、終点側の重機は、大型ダンプ（3台）に積み込み搬出した。

(4) 桁架設

縦桁は、事前に枕木、タイプレートを事前測量データに従って取付けた。ただし曲線部（ $R=300\text{m}$ ）は、タイプレートのみレール復旧時にとりつけた。

桁架設（25tラフタークレーン）は、前吊りで行い架設順序は横桁1本、縦桁2連（上下線）とし横桁を仮固定して線縦桁を設置しボルト締付、次に、横桁と桁受けプレートにインサイドドリルで穴開けをして、ボルト締付を



写真-1 掘削状況

表-3 桁架設サイクルタイム

工種	時間	横桁1本、縦桁2連					記	事
		1	2	3	4	5		
1. 重機・クレーン搬入出	10'	上り0:41	下り0:42					レール破線(下り線)実施 既設本架設(復旧)完了 大群前橋上り架設
2. 線路破線(L=25m×4)	40'							(下り線より架設)
3. 架線振り	30'							バックホウ0.45m³2台 大型ダンプ2台(小型ダンプ1台) 当夜桁材搬入 大型トラック2台
4. 工事桁部掘削	60'							
5. 工事桁（横桁）架設	30'							
①. 横桁	20'							
②. 縦桁	30'							
6. 線路復旧	40'							
7. 架線戻し	15'							
8. 端部土留及び埋戻し	30'							
9. 沈下測定及び*1点検	30'							初電通過後実施
*. 線路閉鎖	10'							
*. き電停止	40'							

行った。

桁架設のサイクルタイムを表-3に示す。

§ 6. 掘削

土砂掘削は狭隘部での活線下の施工となる。工事桁架設時に使用した残土ピット部上部に約3mの作業通路を確保し、深掘バックホウ、および油圧クラムシェル（ 0.25m^3 ）を用い2tダンプに積み込んだ（図-2⑤参照）。また、線路下の掘削はショートリーチ（ 0.3m^3 、2～3台）で土砂を順送りし、クラムシェルの下まで搬送した。空頭の確保できない場所はベルトコンベアによる人力掘削とした。

2tダンプに積み込まれ掘削土は一時仮置き、大型ダンプ（10t）に積み替え処分場へ運搬した。

§ 7. 躯体構築

(1) 躯体標準断面

躯体構築工は図-12に示すU型擁壁（ $L=114\text{m}$ ）およびボックスカルバート（ $L=166\text{m}$ ）を施工した。

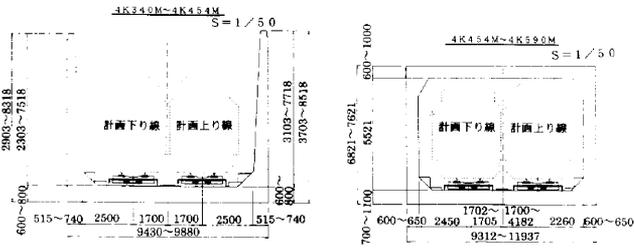


図-12 躯体標準図

(2) 中間杭の躯体による仮受構造

切替え前にボックスカルバート内の中間杭を撤去する必要があるため、頂版にて中間杭を仮受けすることとした。工事桁と頂版のクリアランスが小さく従来の補助鋼材による仮受けが困難な箇所には、図-13に示すような杭とコンクリートの付着力で支持力を確保した。これにより補助鋼材の削減と工期の短縮が図れた。

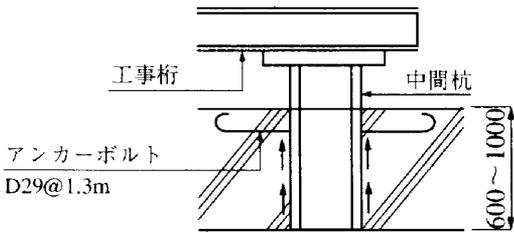


図-13 中間杭の躯体による仮受構造

また、企業先の室内実験で以下の結果が得られている。

- ①スラブ厚70cmに対して約80tf/本の支持力がある。
- ②補助鉄筋は終局荷重付近で有効に作用する。
- ③100万回繰返し荷重試験において安定している。

(3) 躯体の施工時応力の考え方

切梁撤去時の切梁反力は上留め壁 (BHW) と躯体側壁

で負担するものとして、土留め壁と側壁を重ねばりモデルにて解析し躯体側壁の配筋の補強を行った。その際の躯体鉄筋の応力は残留するものとして完成後の設計に考慮されている。

§ 8. 線路切替

線路切替は、横引部、扛上部、クレーン撤去部の3タイプ、B~Fの5ブロックに分けた。工事桁撤去区間(約180m)の分割ブロックを図-14に示す。横引部(図-15)、扛上部(図-16)は、後日、クレーンで桁を撤去する。各ブロックには指揮職員1人と担当職員2~3人を配置し、ブロックごとに色違いのゼッケンを作業員全員に配布し、作業分担の周知徹底を図った。

表-4に各ブロックの桁移動に関する実績を示す。

表-5に線路切替の全体サイクルタイムを示す。

§ 9. おわりに

今後の課題を以下に示す。

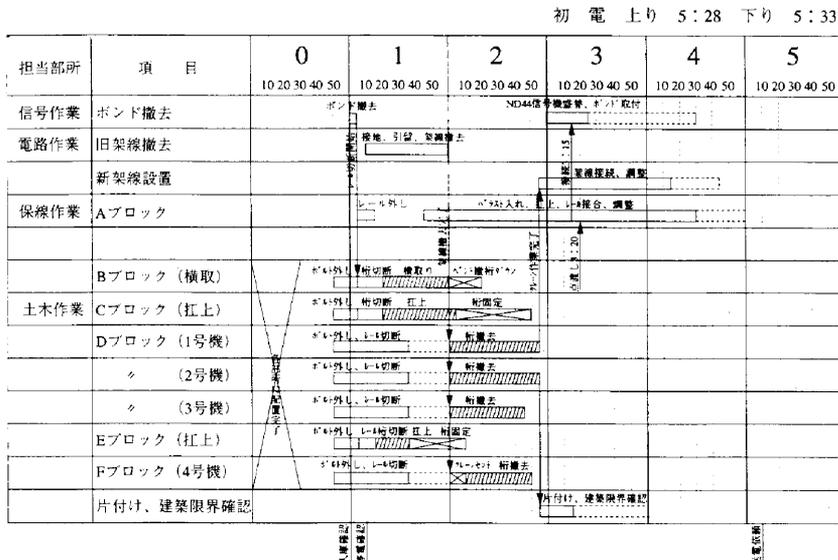
①BHW工法施工機械の小型化

本事例では幅員3.0m以下の場合、BH工法による土留め壁としているが、遮水薬液注入工法の併用が必要であ

表-4 桁移動に関する実績

	移動量	ジャッキ1ストローク当りの量と時間	合計ストローク	移動時間	作業員人数
B	横引き 9.5m	1000mm/32秒	8	40分	65人
C	扛上 5.1m	220mm/84秒	24	33分	59人
E	扛上 2.0m	200mm/100秒	10	17分	10人

表-5 線路切替サイクルタイム



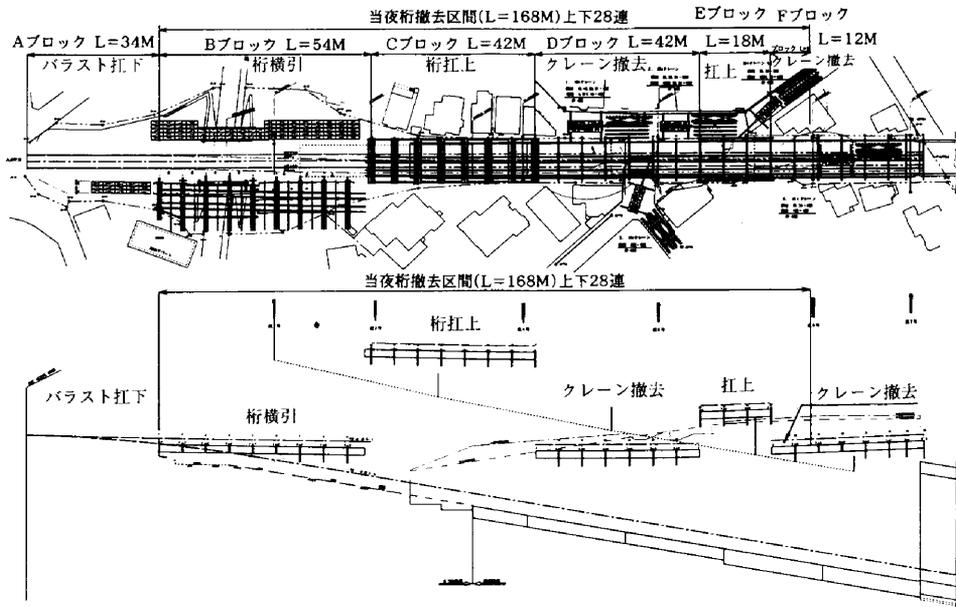


図-14 線路切替ブロック全体図

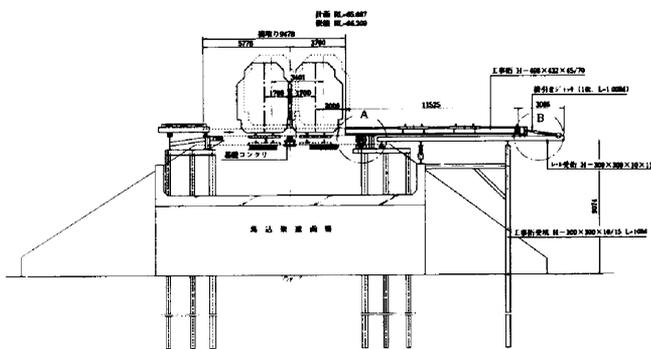


図-15 横取部横断図 (4k272m)

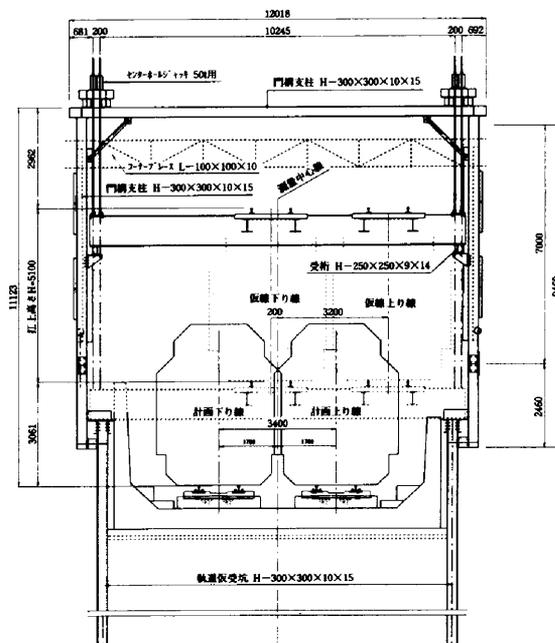


図-16 打上部横断図 (4k314m)

るため、施工費が若干高くなっている。今後は、BHW工法施工機械の更なる小型化が必要である。

②BHW壁の支持杭機能の研究

今後の都市土木工事における土留め壁は、支持杭としての機能が求められる機会が多くなっている。したがって、BHW壁の荷重試験等の実施によって支持杭機能の検証が必要である。

鉄道の地下化工法は、各々の施工条件によって最適のものが選定されており、統一された施工法はない。したがって、桁の製作・架設技術、掘削技術、撤去技術等は通常の施工技術の応用となっており、その確実性が品質および安全性を高めることとなる。本報告がサイクルタイム等の施工記録を残すことで、同様の工事にあたっての参考となれば幸いである。

参考文献

1) 杉浦 勲 他：大規模な線路地下化切替—東急大岡

山駅改良工事—SUBWAY No.100,1996.

2) 杉浦 勲：活線下の大規模開削 東急東横線複々線化工事大岡山駅、トンネルと地下、1994。
 3) 大塚克也 他：泥水固化壁に伝達される車両荷重の測定、第29回土質工学研究発表会、1994。
 4) 杉浦 勲 他：泥水固化壁に伝達される車両荷重の測定(その2)、第30回土質工学研究発表会、1995。
 5) (社)日本材料学会：ソイルミキシングウォール(SMW)設計施工指針、1988。