

鋼矢板水平押込工法による地下鉄の施工

—中央本線金山駅構内における実施例—

松本 有*・溝口 博**
鶴田 博昭***・小寺 一男****

1. まえがき

名古屋における国鉄中央本線金山駅横断部分の地下鉄工事は、列車密度の高い営業線の運行を確保しつつ、安全施工に成功した。

ここで採用した鋼矢板水平押込工法は、新しく開発された工法であり、国鉄で初めて実施に踏切ったものである。以下、工事概要と施工上の反省事項について述べてみたい。

2. 工事概要

本工事は、名古屋市高速度鉄道第2号線（金山～名古屋港）、第4号線（大曾根～金山）、および電電公社電話線ケーブル洞道が、国鉄線（東海道本線および中央本線金山駅構内）と名鉄電車線を横断するため、これら横断部（85m）の施工を国鉄が受託したもので、施工場所詳細、および構造は 図一1～3 のとおりである。

施工計画としては、東海道本線と名鉄電車線の下は線路を切り換えて開削工法によることとし、中央本線の下（約 26m）は、地形、運転保安等を勘案して鋼矢板水平押込工法によって、地下鉄構造物を構築することにした。総工事費約7億円で、昭和44年6月に着工し、昭和46年10月竣功の予定である。本工事は 図一4 に示す。

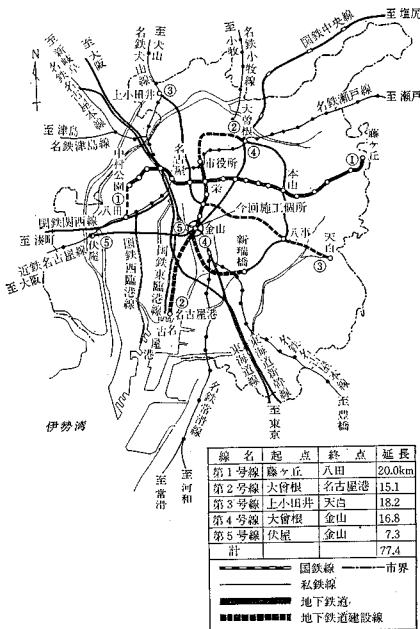
3. 鋼矢板水平押込工法

(1) 概要

鋼矢板水平押込工法は、一般に用いられている無騒音・無振動の油圧式杭打機を改造した横型パイルプッシャーにより、掘削断面の天井部と側面部に、数枚を一組にした鋼矢板を水平に連続して押込み、仮覆工とする工法である。そのうち、通常行なわれているように、所定断面を掘削し、支保工建込みを行ない、覆工コンクリートを打設して地下構造物を築造する。

天井部と側壁部が鋼矢板で完全に防護されている場合には、その内部の掘削および覆工は、いかなる大断面であっても部分施工をすることができるので、安全な施工が可能である。したがって、本工法は、土被りの浅い大断面の地下構造物築造にきわめて安全、かつ有利な新工法として推奨するに値するものと思う。問題は、鋼矢板

図一1 名古屋市高速度鉄道線路網図



- *正会員 国鉄岐阜工事局長
- **正会員 前・国鉄岐阜工事局次長
- ***正会員 国鉄岐阜工事局線増課長
- ****正会員 国鉄岐阜工事局線増課長補佐

図-2 金山駅構内平面略図

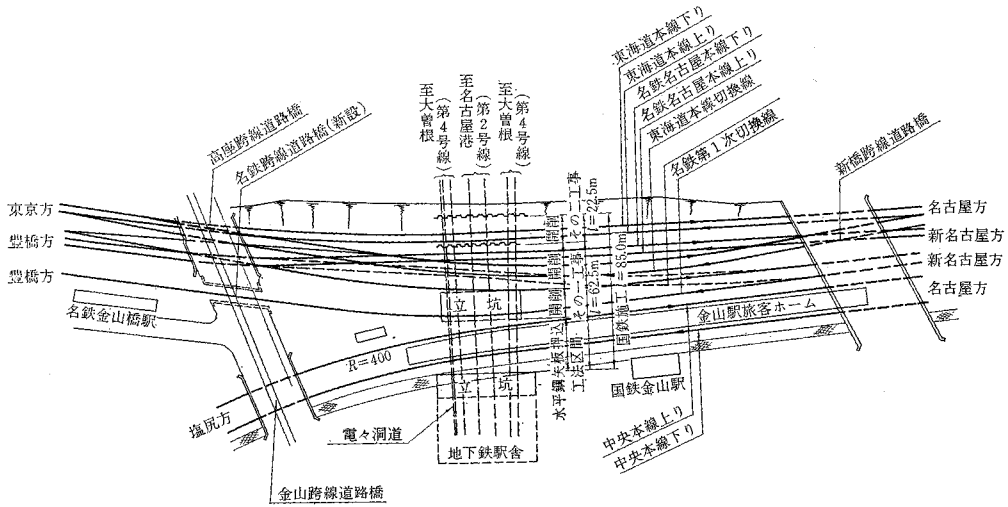
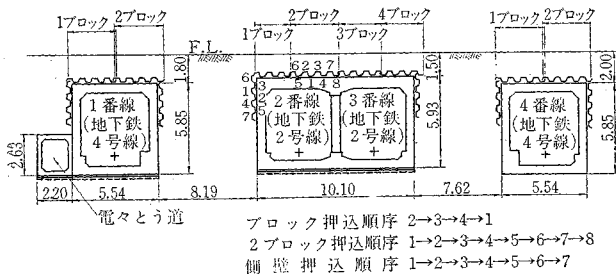


図-3 地上鉄標準断面図



の水平押込施工の成否にかかっているが、初めて採用した工法でもあり、試験的な意味も兼ね、種々検討しながら慎重に施工した結果、十分安全であり、かつ、他の場合にも応用できる確信もった。

なお、土質の良否、地下水位の高低等については、別途に対策が考えられ、本工法の可否には直接関係がない。したがって、場合場合に応じてしるべき対策を併用すれば、地質が悪くても、地下水が高くても、本工法は安全に施工することが

図-4 工事工程表

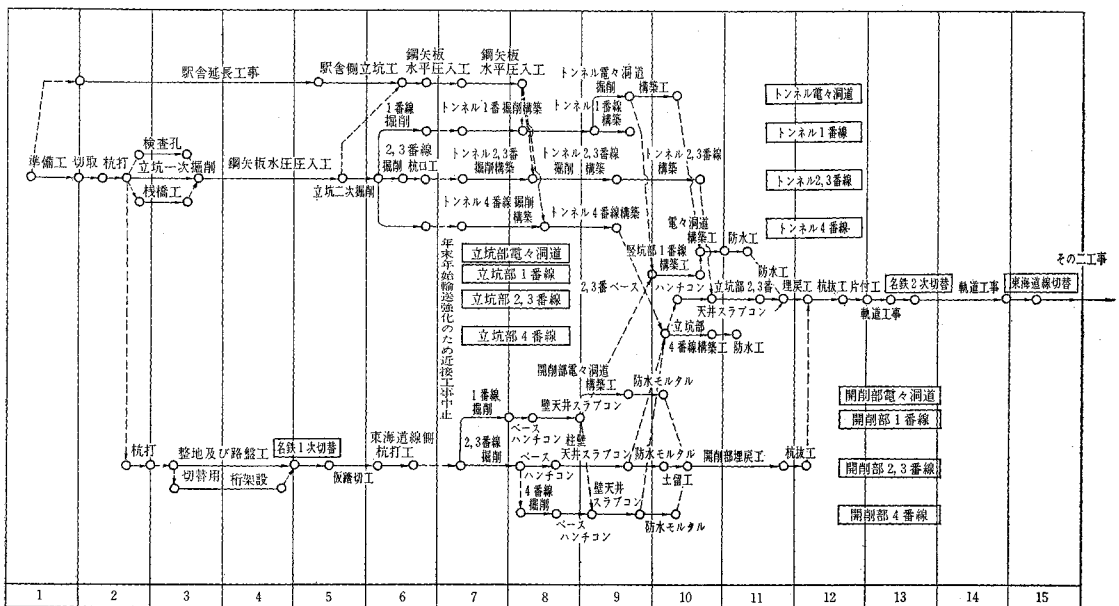


写真 1 天井部鋼矢板押込み状況

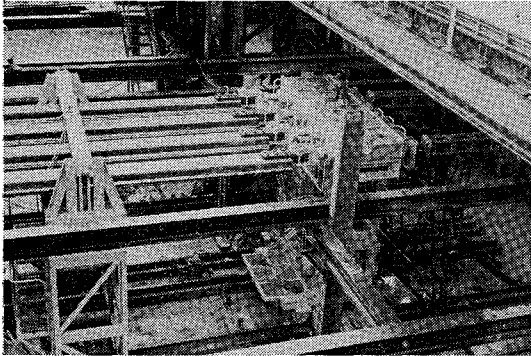
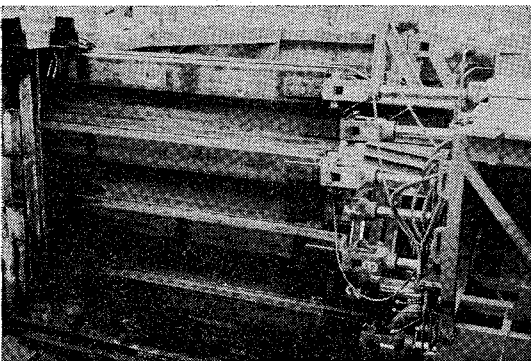


写真-2 側壁部鋼矢板押込み状況



できると考えられる。

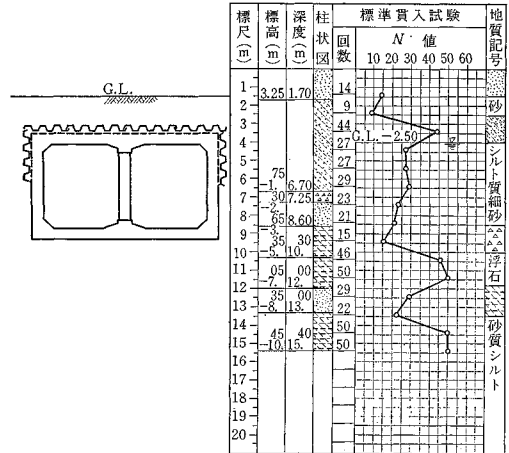
(2) 工法選定の経緯

中央本線下横断面付近の地形は、図-2 のように切取

表-1 各工法の得失

工法名 項目	① 開 削 工 法	② シールド工法	③ 鋼矢板水平押込工法
工 法 概 要	工事桁(L=16.0m×仮橋台橋脚は深礎工施工)架設後開削本体構築	箱形単線断面シールド	鋼矢板埋込仮覆工後掘削本体構築
1 土 被 り	浅い場合に有利	深い場合に有利浅い場合に不利	浅い場合に有利
2 トンネル断面 延長	複線断面 可 短かいこと	複断面, 可ただし単断面併列 制限なし(長い程割安)	複線断面 可 30 m 以内(今回)
3 地 質	地質制限なし	疎層(玉石混り)以外は適応できる	疎層(玉石混り)以外は適応できる
4 地 形	地形線形構造物により制約を受ける	シールド発進基地を設ける場所が必要	矢板押込用堅坑がとりうる場所が必要
5 地 下 水	事前排水が必要	圧気工法で対応できる	事前排水が必要
6 切 羽		切羽は大となると不利	切羽は大きくてもよい
7 地上交通の 作業制約	列車運行制約あり支障物移転	なし	なし
8 工 期	2 ヶ月	13 ヶ月	13 ヶ月
9 工 事 費	172 百万円	本工事の場合は掘削延長が 26 m であり割高であると思われる	150 百万円

図-5 地質柱状図



区間で、下り線側に高さ 7.1 m の土留壁と、塩尻方に金山跨線道路橋とがあり、線路切換えは困難である。地質は 図-5 に示すように熱田層と推定される砂層であり、地下水位は高く、地表面から 2.5 m 下である。また、横断部の線形は R=400 m と直線の緩和部分にあたり、しかもホーム部分でもあるので、軌道狂い、乗降場擁壁等の変状発生のおそれある施工法や、工事施工に伴う徐行運転規制をしないこと、上床版上の土被りは約 1.5 m であること等の本工事に対する制約があった。この場合、考えられる工法としては、① 開削工法、② シールド工法、③ 鋼矢板水平押込工法の 3 工法があり、それぞれの得失は、表-1 のとおりである。

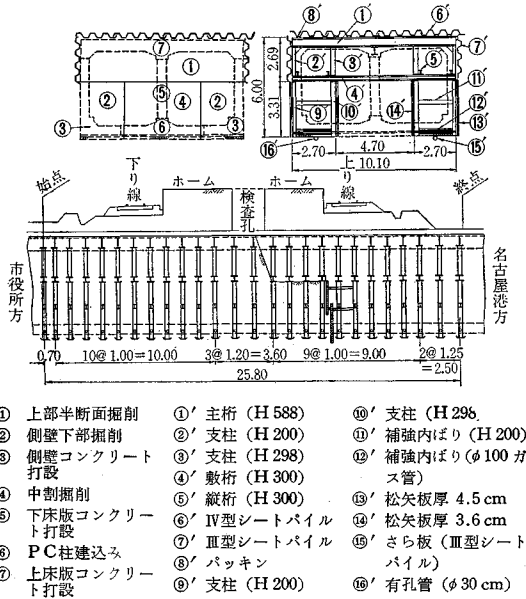
表-1 から、① と ③ は、地表より浅い構築に適し、急速施工・工費の点にて③が有利であり、②は、複線断面併列が前後の線形からして施工できない。したがって、全体工程をも勘案し、③を採用した。

4. 施工各論

(1) 立坑設備

中央本線をはさみ両側に 図-6 のように立坑を設け、鋼矢板水平押込み、掘削および覆工の各作業を行なう基地とした。立坑の大きさは矢板押込方向の長さとして、横型パイルプッシャーと鋼矢板をセットできるように 13.5 m とし、国鉄線路平行方向の長さは、機械の移動を考え、地下鉄構造物全体幅に近い 43.5 m とした。立坑

図-8 掘削覆工順序および支保工図



させ、主桁中央部支柱には、主桁取込作業に支障を与えないよう20tパイプ支柱を使用した。また、掘削後に、側壁部掘削による上半支保工の沈下防止のため図-8に示すように、縦桁と敷桁を結合させ、荷重分散をはかった。上半掘削に続いて、側壁部掘削、支柱建込み、木矢板土留、補強内ばりの順に施工した。なお、支柱の沈下を防止するため、支柱受皿板に鋼矢板(Ⅲ型)を、支持地盤排水に有孔管(φ300mm)をそれぞれ使用した。

(4) 覆工

上半および下半側壁部掘削が検査坑まで完了するとただちに側壁コンクリートを打設し、上載荷重、側土圧を側壁コンクリートに受換える。中割部の掘削後、下床版コンクリートを打設し、支柱(P.C.φ600mm)を建込み、最後に、上床版コンクリートを打設し、覆工を完成する。なお、打設はコンクリートポンプを使用し、押込み鋼矢板、および主桁は安全のため埋殺しにした。

5. 押込み作業についての考察と反省

本工法の施工結果についての反省や、今後に改善すべき点について述べ、今後施工する場合の参考に供したいと思う。

(1) 押込み抵抗

図-9に、矢板押込み長さとの関係の測定結果を示す。最大押込み抵抗は、天井部170t、側壁部225t

図-9 押込長と押込み抵抗の関係(天井部)

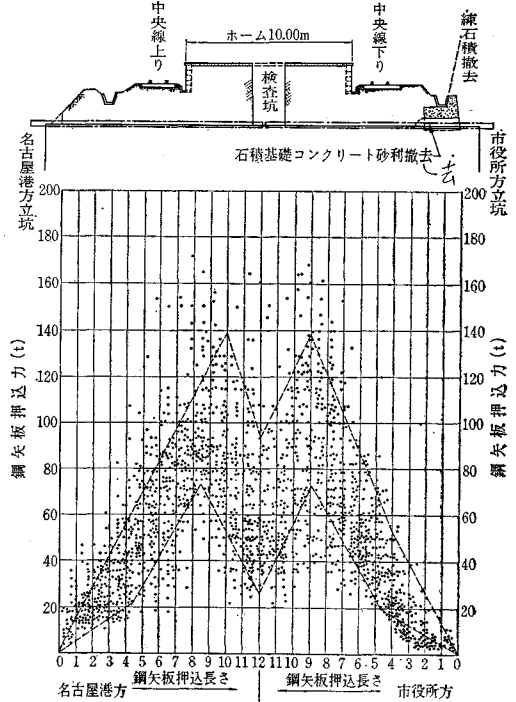
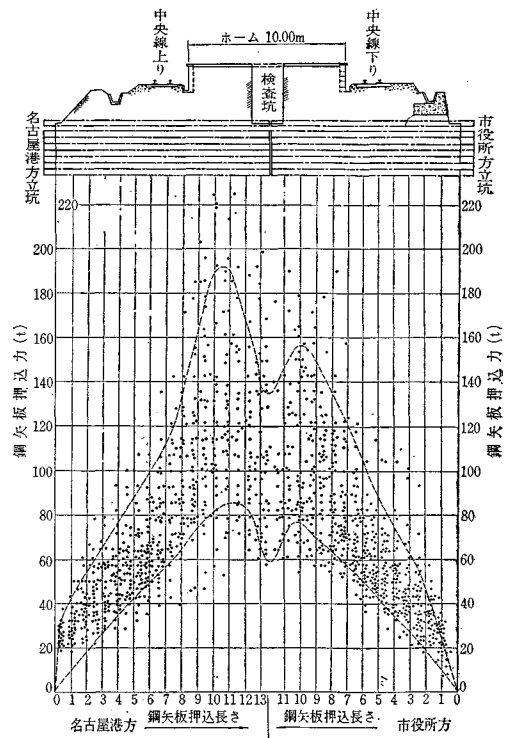


図-10 押込長と押込み抵抗の関係(側壁部)



であった。一般に、押込長が増加するにつれ、押込み抵抗も増大しているが、天井部の押込み抵抗は、破線で示

すように押込長さが約 8 m 以上になると減少する傾向を示している。これは、押込み終端部の上部に検査孔を設けたため、検査孔が圧力を解放する自由面の働きをしたためであると思われる。

いま、鋼矢板の押込み抵抗 R を、1) 先端抵抗 R_A 、2) 周辺摩擦抵抗 R_B 、3) 耳接合部摩擦抵抗 R_C に分類し、それぞれの抵抗の大きさを推定してみた。 R_A および R_B は、矢板先端面積、土被り、摩擦係数等を仮定して求め、 R_C は、表-2 に示すように、検査坑における実測押込み抵抗から求めた。検査坑における実測抵抗値は前述のように $R_A=0$ であるから、この値は R_B+R_C を示すものと考えられ、これから計算による R_B を減じたものが R_C であるとして求めた。以上の結果を図-11, 12 に示す。側壁部の場合、検査坑における R_B+R_C が実測できない ($R_A \neq 0$ だから) ので天井部の値を参考にして求めた。これによると、耳接合部抵抗 R_C は、全押込み抵抗 R の 40~50% を占めている。した

表-2 押込抵抗測定結果 (天井部)

区分	最大押込抵抗 (R, t)	検査孔での押込抵抗 (R, t)	検査孔での平均押込抵抗 $(R_A=0, t)$	押込長さ (m)	(R_B+R_C) (t/m)
1 番 線 第1ブロック	120	30~80	55	12.5	4.2
1 番 線 第1ブロック	140	40~80	60	12.0	5.0
2, 3 番 線 第1ブロック	140	30~70	50	11.5	4.3
2, 3 番 線 第2ブロック	130	40~100	70	12.0	5.8
2, 3 番 線 第3ブロック	90	40~70	55	11.5	4.8
2, 3 番 線 第4ブロック	110	30~60	45	11.5	3.9
4 番 線 第1ブロック	170	50~110	80	11.5	7.0
4 番 線 第2ブロック	160	40~100	70	11.5	6.1
平均値	133				5.1

図-11 天井部押込み抵抗推定

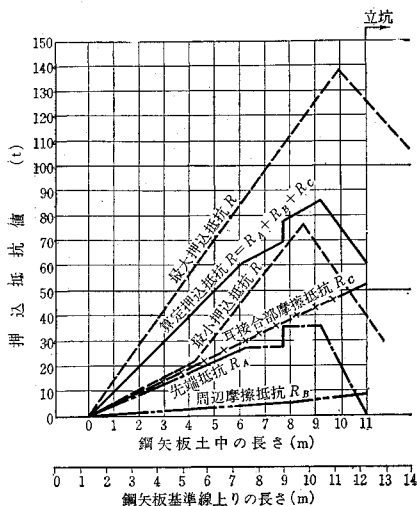
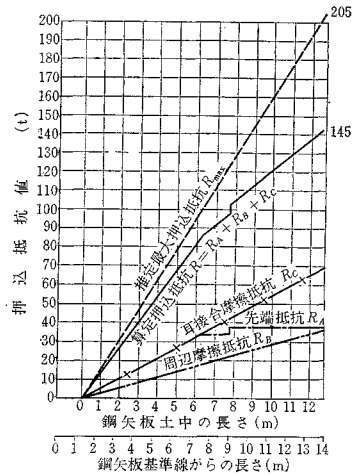


図-12 側壁部押込み抵抗推定

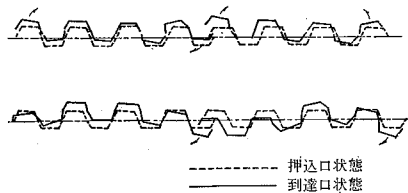


がって、押込み抵抗を減少させるには、接合部の抵抗を減少させることが重要である。また、側壁部の抵抗は、天井部の抵抗より大きい。これは土被りが大であり、自由面との隔たりが大きいからであると思われる。

(2) 鋼矢板の変形

図-13 は、掘削終了後、掘削断面内側から鋼矢板変形を測定したものである。各ブロックごとの組鋼矢板の端部が著しく変形し、凸側に押し上げられている。これは、組鋼矢板端部の矢板は、組鋼矢板中央部の矢板よりも耳接合部の影響が少ないため比較の変形も自由であり、したがって、矢板先端の閉塞効果による矢板凸側と凹側の表裏の摩擦抵抗の差が中央部矢板よりも顕著にあらわれたからであろう。

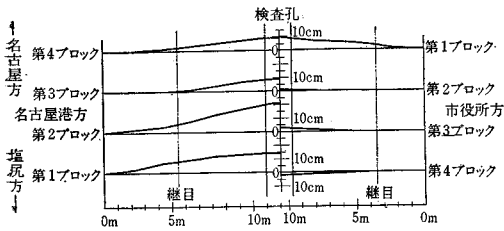
図-13 鋼矢板変形状態



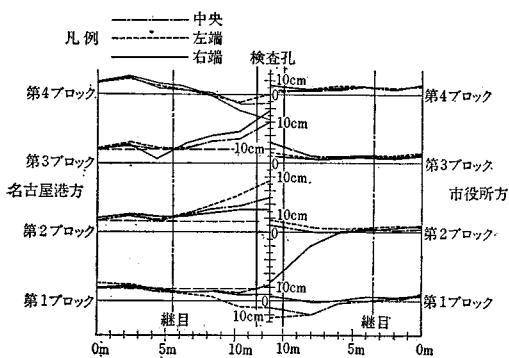
次に、押込まれた組鋼矢板各部分の押込み基準予定線よりの偏き状態を 図-14 (1),(2) に示す。これによると、水平および鉛直方向にそれぞれ偏きがあらわれており、おおむね押込長が長くなるにしたがって、その値は大きくなっている。この理由としては、ジャッキの押す方向がシートパイルの断面の中心線と上下、左右に多少ずれたこと、および押込長の増大にしたがって(1)の諸抵抗の増大の影響が大きくあらわれたことなどが考えられる。

図一14 天井部水平および高低誤差

(1) 2,3番線天井部水平誤差



(2) 2,3番線天井部高低誤差

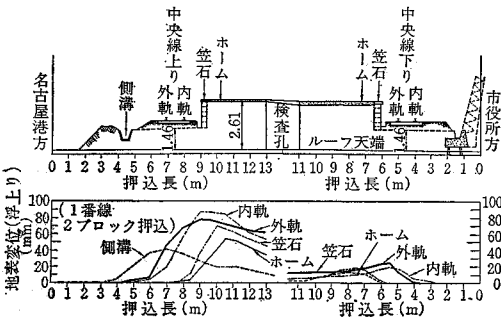


以上のような矢板の変形・偏きを防ぐため、鋼矢板先端部分のみに同じ型の鋼矢板を逆につけ、上下対称にして上下部分の摩擦抵抗を同じ条件にして押込む、あるいは、組鋼矢板の押込順序を変えてみるなど種々試みたが、いずれも満足する結果は得られなかった。やむをえず、組矢板相互の連続施工を断念し、7~8枚を1組にした単独施工とした。

(3) 地表面への影響

図一15は鋼矢板押込みによる地表面への影響を測定したものである。これによると、地表面の変位(浮上り)は、注目する地点(たとえば外軌のある地点)において、鋼矢板先端がこの地点よりも1~3m手前に達したときから始まり、鋼矢板先端が近づくにつれ漸次増大し、先端がその地点を0.5~2.5m過ぎるところで最大となり、以後はやや減少の傾向を示している。この理由

図一15 地表面変位測定図

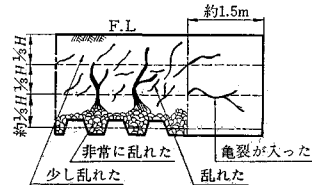


として、鋼矢板先端には、押込みにつれて前述の閉塞効果が現われ、圧力球根が拡大され、この影響が、注目する地点に先端が近づくにつれて漸次増大し、直下付近を通過するころ最大になるためであろうと考えられる。このことを確認するため、鋼矢板と地表面との間の土がどのように変状しているかを調べたものが表一3の付図であり、参考のために各部の土の土質試験をあわせて行なった。

表一3 土の変状および土質試験

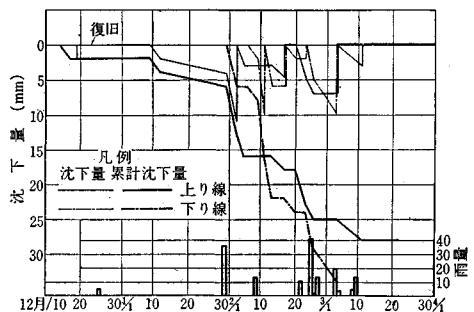
項目	試料の状態 風されていない (自然状態)	亀裂が入った (側方)	少し乱れた (上方)	乱れた (中間)	非常に乱れた (鋼矢板付近)
透水係数 (cm/sec)	9.62×10^{-6}	1.43×10^{-3}	1.44×10^{-2}	2.78×10^{-2}	6.75×10^{-2}
湿潤単位体積重量 (g/cm ³)	1,786	1,780	1,720	1,625	1,550
含水比 (%)	31.3	30.7	30.7	30.7	30.7
乾燥単位体積重量 (g/cm ³)	1,360	1,360	1,315	1,245	1,185
土粒子の比重 (G)	2.58	2.08	2.58	2.58	2.58
間げき比 (e)	0.900	0.890	0.960	1.075	1.170
飽和度 (S _v %)	90.0	88	92.5	73.6	67.6
間げき率 (u %)	47.3	47.8	49.0	51.8	54.0

注:



以上より、土被りの浅い場合には(この場合、軌道下で約1.5m)どうしても地表面への影響はまぬがれない。本例では、常時軌道保守要員を配置し、変形が現われる都度これを矯正しつつ施工した。

図一16 軌道沈上と降雨量の関係 (2,3番線)



(4) 反力受け設備

本工事に使用した模型パイプシヤは、原理的には、反力をすでに圧入した矢板にとることができるので

あるが、土被りの浅いときには、押込時に矢板上部の土が逆にプッシャーの方向へ押し出され反力が取れない。また、側壁部でも上下段の引抜抵抗が異なり、矢板相互のせり合いが大きくなって反力を取ることが困難である。これらの原因には、ジャッキと矢板コネクターの遊間、ピン部の遊間、レールと車輪のクリアランス、偏心荷重による本体架台のねじれ等があげられる。これに対し、押込方向の狂いを少なくするため十分剛性のある反力受を設けることが肝要である。

(5) 今後の改良方向

a) 鋼矢板圧入抵抗の減少

鋼矢板圧入抵抗のうち接合部抵抗が大半を占め、とくに端部矢板のねじれによるものが最大値の抵抗を与えている。圧入抵抗は、鋼矢板断面形状に関連しているのので、これに代えて H 鋼または鋼管（鋼矢板と接合できること）を先行圧入した後に中間組矢板圧入をする。あるいは、平板矢板、矢板継手に余裕をもたせるなど、施工方法、使用材料の形状、鋼矢板接合部の摩擦抵抗の減少等について研究し、連続した鋼矢板の覆工、側壁下部矢板の押込、鋼矢板押込長の延伸等の問題に波及すべき

である。

b) 鋼矢板押込みによる地盤浮上りの防止

矢板先端閉塞をさせないようにすることが地盤浮上りを最少限にする。地質、地上構造物等の条件に適した手段方法の考究を要する。

6. む す び

以上、土被りがきわめて浅い場合の鋼矢板押込み工法による地下構造物施工について言及してきたが、これより深い場合の施工、すなわち地表面への影響が少ない場合の施工にも十分応用できるものと思うが、この場合押込力の増大にどのように対処するかが今後の一つの研究課題であろう。しかしながら、安全性、無騒音、無振動等、都市土木に必須の条件を本工法は備えており、今後の改良により、より広く利用されるものと信ずる次第である。おわりに、本工事の関係各位、ならびに本工法の開発と施工にあられた株式会社大林組に深甚なる敬意を表するものである。

(1970.4.17・受付)

●新しい示方書に準拠した

擁壁の設計〈第2版〉

日本道路公団 栗原利栄 大和設計(株) 藤森 哲 共著
 鉄道建設公団 手塚民之祐 国鉄構造物設計事務所 小池 晋

▶道路編◀ 総括(定義および分類・設計上の考察等)/設計概要(荷重・基礎・構造物の安定・設計上の注意等)/設計例/その他の擁壁(石積擁壁・コンクリートブロック積擁壁等)/設計計算例(重力式擁壁・逆T型擁壁・控え壁式擁壁等)

▶鉄道編◀ 無筋コンクリート土止め擁壁および土止め壁の設計(総括・土止め擁壁の設計・土止め壁の設計等)/鉄筋コンクリート擁壁の設計(総括・土圧・地震の影響・常時の土圧の式・地震時の土圧の式等)/鉄筋コンクリート倒立T型擁壁の設計(設計条件・安定計算・前壁の設計・底版の設計等)/控え壁擁壁の設計(設計条件・安定計算・前壁の設計・趾版の設計・踵版の設計・控え壁の設計等)



A5・p.267・¥1,100・〒70

くい基礎の設計〈第2版〉

大同コンクリート工業(株) 中田重夫著 A5・p.256・¥1,100・〒70

昭和36年に初版発行以来、非常に好評を博して重版を重ねてきましたが、その後コンクリート示方書、JISなどの改訂に伴って、今回全面改訂を行なったものである。くい基礎を設計するときに考慮すべき事項や計算すべき項目順にその考え方計算例をあげ、直ちに应用できるように配慮し、標準的計算例を示した。

東京都千代田区神田錦町3の1
 振替東京20018 支店/京都・大阪

オーム社

