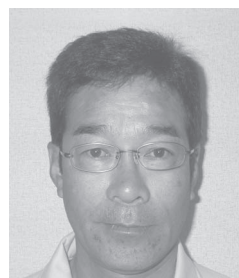


世界最長1,447m(ϕ 1000) 豊橋市における超長距離推進工事報告

正木 幹了

(株)姫野組
土木第2グループ次長



1. はじめに

(社)日本下水道協会発行「下水道推進工法の指針と解説」2003年度版において、長距離推進とは、呼び径の250倍または250倍未満にあっても延長が500mを超えたもので500mまでのものを長距離推進と定義する、とされております。例えば、呼び径1000の場合は250mを超えて500mまでのものを長距離推進として、一部特殊な推進施工として位置づけている訳です。

しかし、社会的なニーズは、呼び径の250倍や500倍に止まることなく、長距離及び超長距離推進の施工を強く要求しております。

これは、ここ数年発注者が、建設施工費の削減に非常に大きなウエイトを置くようになり、また、周辺住民に対する経済的影響及び環境影響などの社会的コストの削減に長延長推進工法を用いるようになったことが原因と考えられます。開削工法は勿論ですが、一般推進工事における交通障害などを原因とする社会的コストを環境収支でカウントすると、非常に大きな数字となることが明らかになりました。これらを解消するためには、

可能な限り超長延長の推進施工が望ましく、施工量も増加しております。

長距離推進工法は、建設費や社会的コストの低廉化に有効ではあるけれども、大きな推進力、土質変化への対応力、障害物への対処方法、測量及びその精度など種々の課題があり、中小口径の推進工法には適していないとして、大口径のシールド工法を採用するケースが多く見受けられました。この度、これらの問題を着実に解決しながら、呼び径1000の鉄筋コンクリート管を1,447mにわたり推進施工いたしました。

このことは、社会的ニーズに応えるものであり、今後の推進工法にとって大きなモニュメントとなる実績ではないかと考えて、ここに概要をご報告いたします。

2. 工事概要

豊橋市は、愛知県の東南部に位置し、その地形は概ね平坦で、東部の山地から西部の三河湾へ緩やかに傾斜しております。面積が261.36平方キロメートル、人口は約38万人で、豊かな自然と

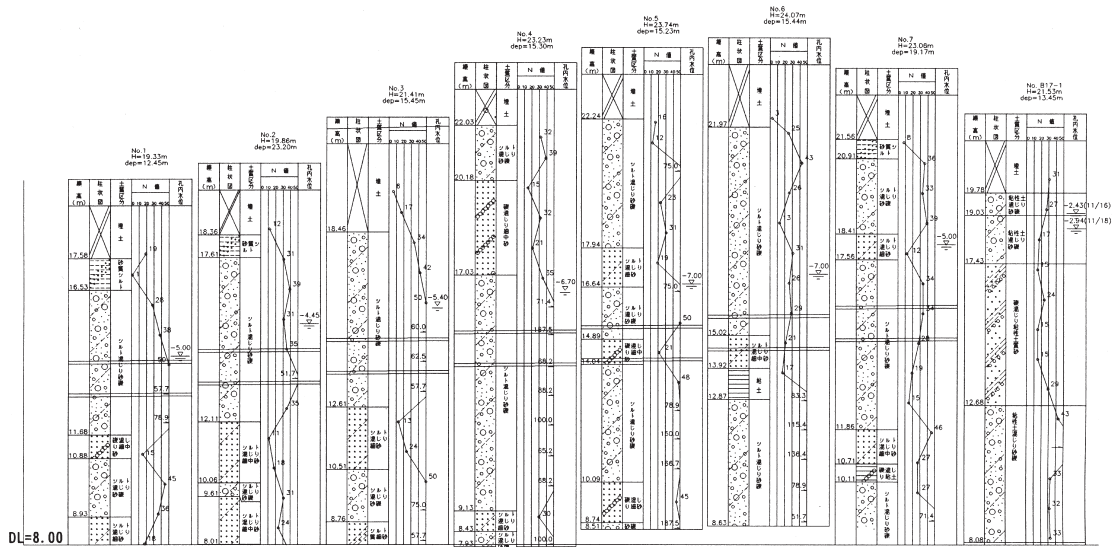


図-1 土質柱状図

温暖な気候に恵まれた都市であります。

当該工事の沿道には、江戸時代の東海道五十三次、第33番目の二川宿本陣の史跡があります。

これは、旧東海道において滋賀県の草津宿本陣と此处だけに残る貴重な史跡であり、豊橋市では昭和62年以来、市の史跡に指定して大切に保存しております。また、当路線は狭隘な生活道路であるにも拘らず交通量は比較的多く、立坑設備を設置する場所が少なく、可能なのは当該計画の位置しかなく、超長距離施工を検討せざるを得ない状況であります。施工対象地盤は、必ずしも均一とは言えず、礫混じり粘土からシルト混じり砂礫（最大礫径200mm程度）でN値は0～50以上と大きく振れ、到達側の下部層は、洪積砂礫層及び岩盤が想定されていました。長距離施工に付き物の障害物としては、発進から約270m付近の小河川に架かる橋台下部の基礎杭に当たる可能性がありこれに対する対応が要求されました。

以上のような設計条件であるため、当初はシールド工法とミニシールド工法で検討しておりましたが、1999年に超長距離推進工事（φ 1100推進延長1006m）の実績のあるCMT工法（以下、本工法）をも加えて検討がなされました。その結果、本工法の採用は、施工費が大きく削減できる

ばかりではなく立坑設備の簡素化などによる施工環境が大きく改善できることから、フローティングシステム（以下、本システム）を導入した本工法を採用し設計されました。

工 事 名：公共下水道築造工事（3工区）

工事場所：豊橋市大岩・二川地区

発 注 者：豊橋市上下水道局

元 請：㈱鉄建建設

推進担当：㈱姫野組

管 径：1000mm

推進延長：1447.6m

土 被：4.2～8.7m

土 質：礫混じり粘土～シルト混じり砂礫

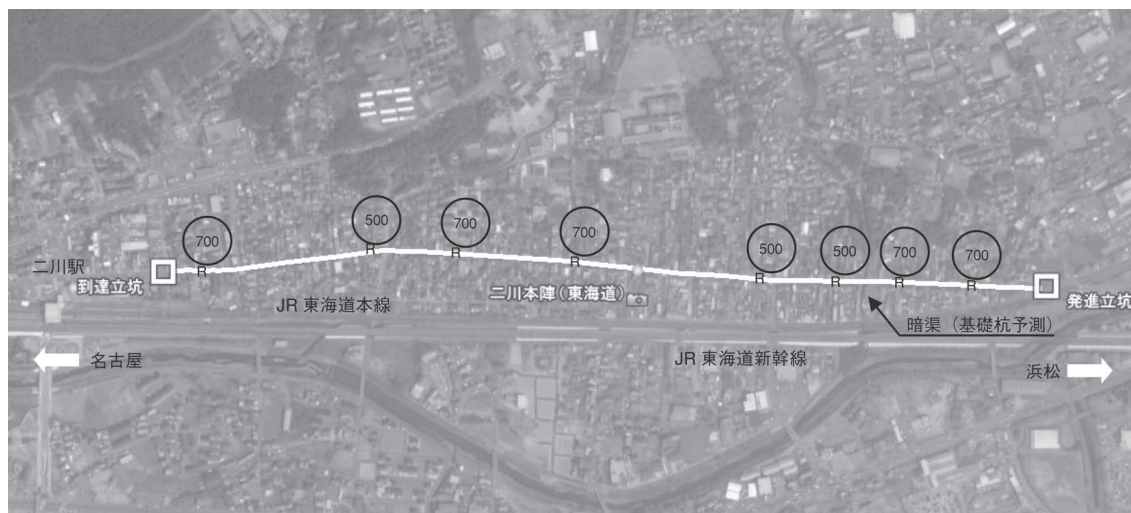
礫 径 最多礫径20～50mm

最大礫径200mm

地下水位：GL - 4.5～ - 7.0m

曲 線：R = 700 × 5箇所 R = 500 × 3箇所

障 害 物：橋梁下部杭



図ー2 豊橋図

3. 超長距離推進の施工

3.1 フローティングシステムの理論

超長距離推進工事を安全かつ経済的に施工するためには、多くの問題がありますが、そのうち最も大きな問題は推進力の低減です。

従来、管周辺の推進抵抗（F）は推進管と地山との摩擦抵抗であると捉えて

$F = \text{土圧 (P)} \times \text{摩擦係数 } (\mu) + \text{粘着力 (C)}$
で表します。

この式から、推進力の低減は摩擦係数の低減であるとして、減磨剤を推進管の外周に注入し、摩

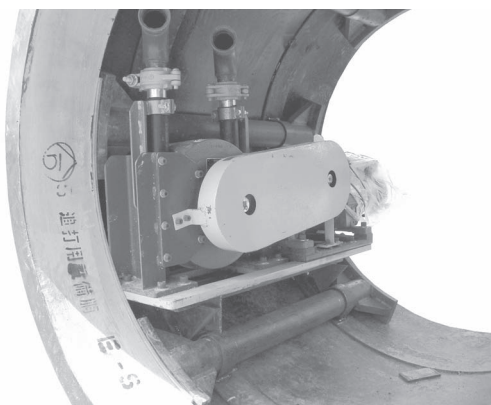
擦係数を低減させて対応しておりました。しかし、超長距離推進施工など施工に時間のかかる場合は、テルツァギーの土圧理論に従い、時間経過と共に高次の大きな緩み土圧（P）が発生し、その結果、一時的に摩擦係数（ μ ）を減少させても時間とともに摩擦抵抗値（ $F = P \times \mu$ ）が大きくなってしまいます。

本システムは、従来の推進抵抗＝摩擦抵抗との理論ではなく推進抵抗＝ズリ変形抵抗であるとの理論を実践するシステムです。

本システムにおいては、推進管の周辺に従来の減磨剤ではなく塑性体である緩み土圧抑制材を圧



写真ー1 緩み土圧抑制材
注入プラント（プランジャポンプ）



写真ー2 緩み土圧抑制材
中継ポンプ（ブースタポンプ）

入・充填します。推進管は圧入・充填された塑性体の中を推進されることとなります。このときの推進抵抗値は、塑性体のズリ変形抵抗値となります。

ズリ変形抵抗は、ズリ変形速度 (v) と塑性体の粘度 (ψ) の関数で時間の因子を含まないものです。よって、超長距離推進施工などの時間の要素が工事の成否を司るような場合には、時間経過に左右されない本システムは、非常に大きな威力を発揮します。また、本システムで圧入・充填する塑性体は、自然界に存在する物質であるので環境影響は皆無であり、注入の圧力は掘削マシンが造るテールボイドの一次緩み土圧に匹敵する圧力です。そのため、一次充填材の働きをもして、高次の緩み土圧を惹起させませんので、路面など近隣への施工影響を最少に抑えることができます。

3.2 フローティングシステムの施工

本システムにおいて、圧入・充填する塑性体の材料は自然界に存在する粘土とベントナイトであります。これらを粘度15,000～20,000mPa・S程度のビンガム塑性体に練り上げて、掘進機後部のテールボイドに圧入・充填します。また、超長距離推進工事などの場合は、圧入・充填した塑性体の性能劣化や散逸を防止するため、管内から約200m間隔で再注入します。今回は、粘性の高い塑性体を1500mにわたり圧送し、更に0.2～0.5MPaの圧力管理をしながら注入するため、坑外に特殊プランジャポンプと坑内5箇所ブースタポンプを設備し、圧送ラインにはφ100mmの鋼管を用いました。ブースタポンプは、中押し管を利用して製作したテールボイドの再生機能を装着した設備管にセットしました。

3.3 超長距離推進の設備

【CMT工法】

推進工法で取り扱う工事は、シールド工法のそれに較べて施工深さが浅い場合が多いために、土質の変化する確率が高く障害物に当たる確率も大きくなります。当該工事においてもその傾向は顕著で、土質はかなりの頻度で変化し、その度合いもシルト、粘土、小礫、大礫、更には岩盤までの対象地盤を考えなければならない土質でありま

す。施工延長が1,447mであることから、施工途中のビット交換を考慮しなければなりません。また、障害物として橋台下部杭の撤去も予想され、それら全てを機内より対応できる工法として本工法が採用されました。本工法とは一つの固定的工法ではなく色々なシステムを組み合わせる工事にフィットさせる工法であるために、各システムアクセサリを選択して施工計画としました。

採用したシステムは、①長距離推進システム、②フローティングシステム、③軟弱・流砂地盤推進システム、④玉石・砂礫推進システム、⑤障害物撤去推進システムなどです。

【掘進機】

当該工事では、対象土質が頻繁に変化するために、掘進機のビット構成の如何により施工能率が大きく変化します。そこで掘進機外周部には大礫及び岩盤を意識してローラゲージカッタを装備し、フェイス部には、切削ビットを配置することを基本としたビット構成とし、これらは全て互換性を考慮した設計としました。また、掘進機面盤及び外周部分には、超硬チップを埋め込み超長距離推進に必要な耐磨耗性を向上させました。

【スリット】

土質や土被り、更には近隣構造物を考慮して、掘削土砂の取り込み管理を徹底させるためにスリットは、モノスリット定位置停止方式を採用しました。しかも3～9% (面盤断面比率) の微量可変スリットにしました。このスリットは、流砂地盤のような流動性の高い地盤においても確実な土砂管理が出来る実績を持つシステムです。今回のような古い町並みでの施工には有効であるとの考え、このシステムを採用しました。その結果は、緩み土圧抑制材 (一次裏込め材) の圧入・充填と相俟って、路面変化などのアクシデントなどは、皆無で工事を完了することができました。

【残土搬出】

超長距離推進施工に於いて推進速度の確保は、非常に大きな問題でした。また、本システムの項で述べましたとおり、時間の経過は、テールボイドの安定や切羽の安定に深く係わり、工事の成否

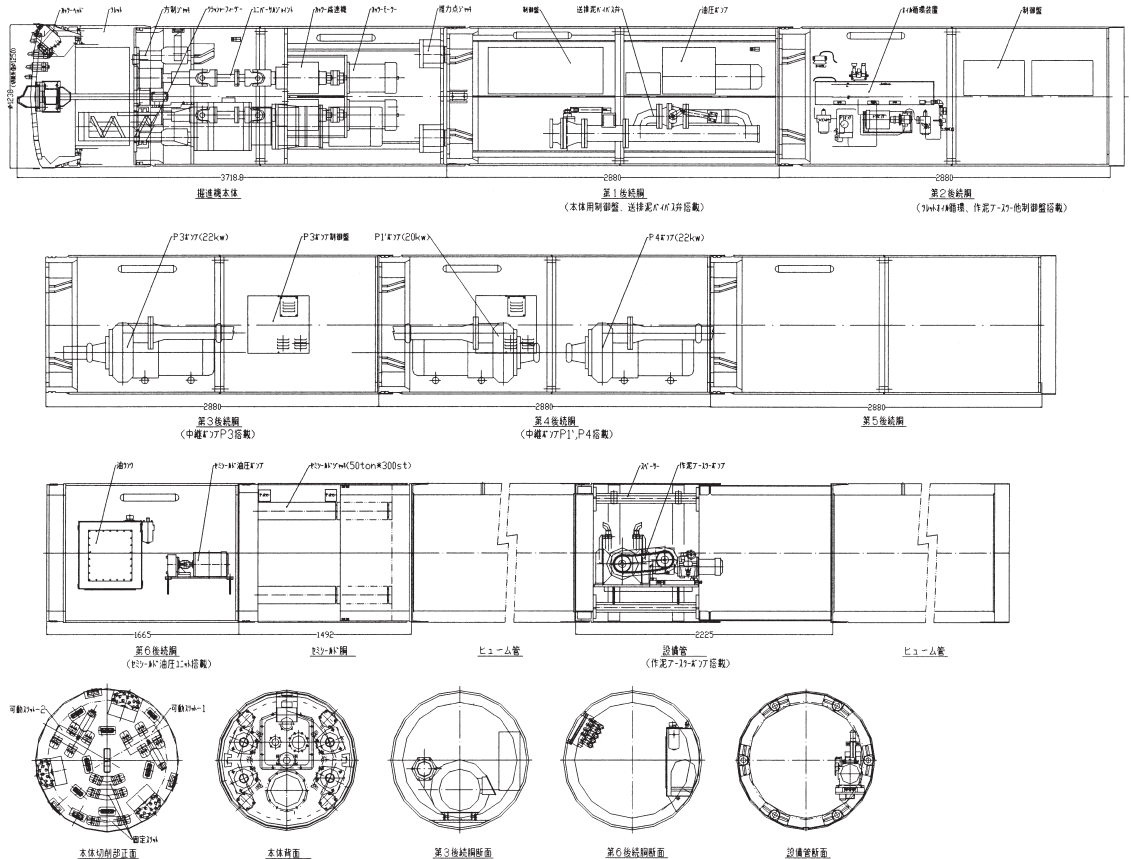


図-3 CMT掘進機・管内設備

に大きな影響を及ぼします。長距離施工の経験では、大量の土砂を安定して搬出するには水力排土システムが最も有効であると考え、これを当該工事に採用し、送排泥ラインはφ 100mmの鋼管としました。

残土の処理は、礫粗砂用振動篩と凝集剤併用回転式分級システムを採用し、市街地施工のため坑外プラントには防音設備を施しました。

【推進管】

呼び径1000の鉄筋コンクリート管を用いましたが、使用管種については、クッション材を使用するの耐荷力を箇所ごとに計算して使用管種を決定しました。また、本システムのうちの1つであるマニキュア処理管を使用することとしました。これは、鉄筋コンクリート管の外周面に撥水性が高く、しかも、適切な硬度を持つシリコン樹

脂を塗布して緩み土圧抑制材の水分保持を図るシステムです。

【中押し設備】

推進力の計算から中押し設備は、4段が必要になりました。中押しの段数が多くなると推進速度が極端に減少することは、周知の通りであります。また、クッション材の圧縮ひずみ量も大きくなり、中押し機能も充分に発揮できなくなります。これらのことを防ぐために、今回は2段中押しシステムを採用しました。中押しの作動のタイムロスをなくするために自動連続稼動システムをも採用し、更に、第一中押し装置には、速度制御型を装着して切羽の地山変化に対応できるように配慮しました。

【発進設備】

本工法における発進立坑の推進方向への標準寸法は、7.2mです。

しかし、当工事においては、急速推進のための2管押しを行うために10.8mとしました。これにより、管吊降ろし及びセッティング時間を短縮します。また、元押ジャッキ設備もロングジャッキを用いて時間短縮に努めました。発進立坑長さが長くなりましたので測量の基準になる有効視準距離が約1.9倍になりました。即ち、測量精度を約2倍に向上させました。

【安全設備など】

掘進機や送排泥設備機器など全ての機器類は、坑外操作盤を用いて遠隔で操作しますが、測量や機器点検には、作業員が入坑せざるを得ません。送排泥管、機器動力線、信号用配線、本システム用機器及びラインなどで坑内は非常に狭く、入坑通路の確保には苦心しました。管内全線にわたりレールを敷設し、移動台車を設備して安全を確保しました。管内の環境保全と防湿対策として、換気冷却設備を稼動させました。



写真-3 2管推進用発進立坑・推進中

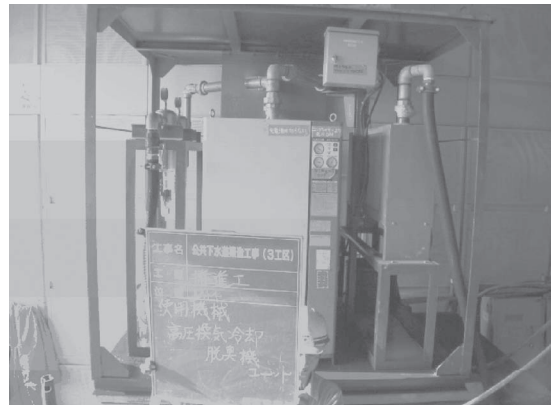


写真-4 送気換気設備 高圧換気冷却脱臭機

4. 施工結果

4.1 推進力管理

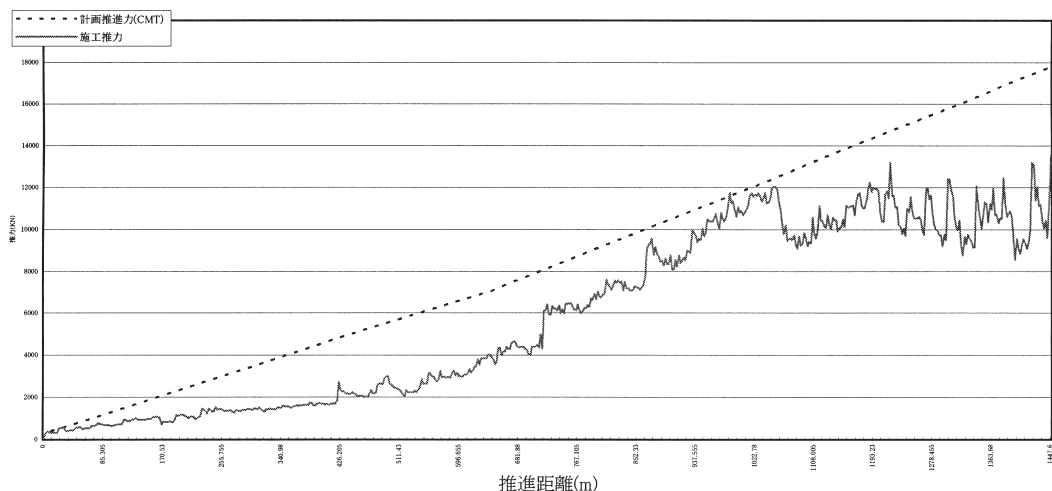
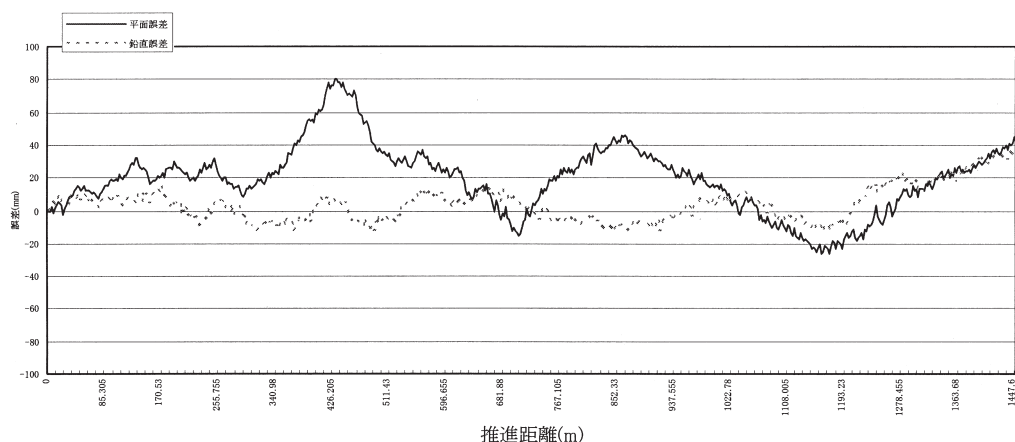


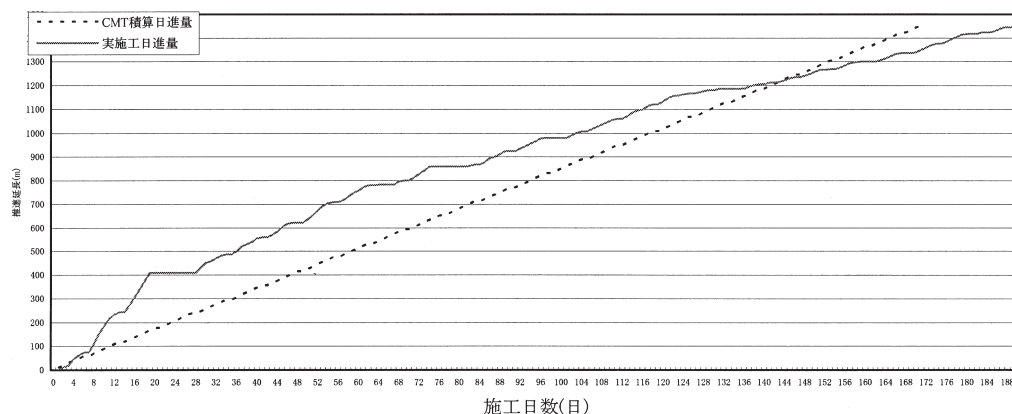
図-4 推進力管理表

4.2 出来形管理



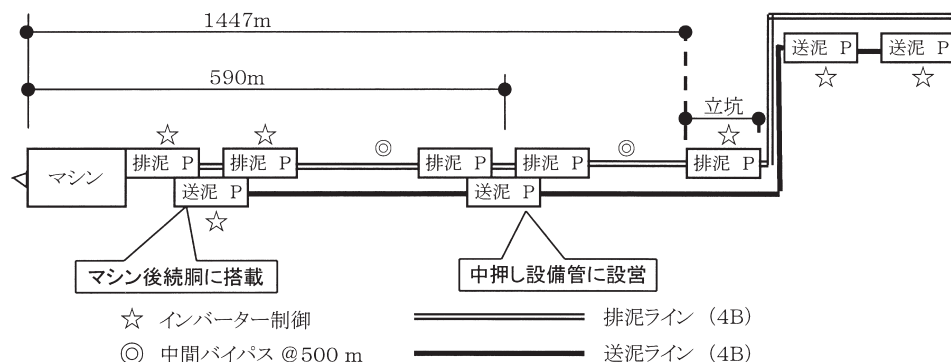
図－5 垂直・水平精度表

4.3 進捗管理

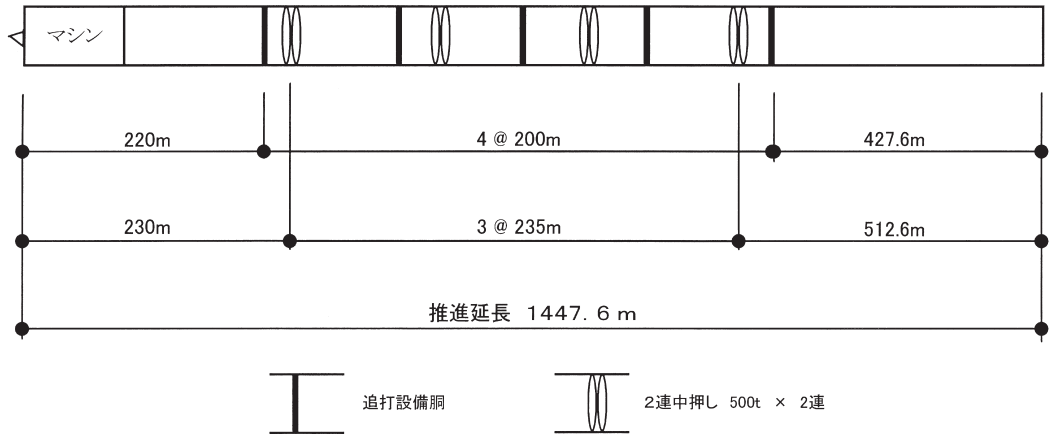


図－6 施工進捗度表

4.4 その他



図－7 施工概略図 水力流体輸送



図－8 施工概略図 2連中押し、追打設備洞 配置

5. 考察

平成19年11月12日、到達立坑に掘進機が顔を出しました。この工事の担当者全員の中から歓声と拍手が起きました。呼び径1000という小さな口径で延々1,447mを辿って来た掘進機が愛しく見えました。当社は、1999年に呼び径1100の鉄筋コンクリート管で1,006mの超長距離推進の経験は持っていましたが、当該工事は、推進延長が1.5倍長い、推進管の径が更に小さい、対象土質の変化が大きい、施工箇所が市の史跡指定地区である等など、どれを取っても今回の工事は難度が高く緊張の連続でした。着工前の施工計画は、特に入念に練り上げました。

問題点は、個別検討会で対策を考え、場合によっては実証実験を試みて結果を確認しました。最大の問題点は、やはり本システムにおける緩み土圧抑制材（一次裏込め材）の圧送でした。メインのプランジャポンプと5台のプースタポンプのバランスについての実験には随分と時間を掛けました。このような事前準備により工事はほぼ計画通りの結果を得られました。

本工法の最大の特長は、工事途中において、切羽を開放し点検やビット交換及び障害物撤去などが出来ることです。これらのことを実際に行う場合は、安全のために低圧の圧気を併用して実施

しました。この方法は、切羽の安定ばかりではなく、現場をドライに保つことが出来るために施工能率も良く、長距離推進施工には必須の手法であります。また、プースタポンプを設備した設備管は既製の中押し管を設備管として利用しましたが、これは非常に有効な設備で、これもまた超長距離推進には無くてはならないものと感じました。施工上の最大の問題は、送排泥設備の故障でした。施工が1,000mを超えた時期から送排泥管は、磨耗のために孔が空くアクシデントが生じるようになり、送排泥ポンプのインペラも磨耗で故障を起こし本体の釜部も損耗しました。これらの保守・修繕には多くの人力と時間を要しました。また、電圧ドロップの問題も苦心しました。100sqメインケーブルは、延べ7,000mを必要となりました。

一般作業も1,000mを超えると非常に時間がかかり、作業能率は極端に低下しました。例えば、電球1つ壊れても復旧に数時間かかるのが現実です。

このような超長距離推進固有の問題点は、今後の積算歩掛りに反映されなければならないと考えます。

当該工事は、ほぼ成功裏に完了されましたが、作業スペースによる作業性や、安全を考慮するならば、施工口径によって最大推進距離が決定されるのではないかと考えます。例えば、呼び径900

までの鉄筋コンクリート管は、最大延長600m、同呼び径1000までは延長1,000m、それ以上は、呼び径1200での施工することが望ましいと考えます。

6. おわりに

世界最長といわれる1スパン1,447m推進工事を施行させていただきました事に対し、発注者である豊橋市様、設計計画を担当いただいた中日本建設コンサルタント(株)様、本工事の元請となった

鉄建建設(株)様にお礼を申し上げます。環境汚染や資材の無駄遣いの追放が盛んに叫ばれる現在、推進工法でこのような長距離をご設計・発注され、完工できたことは誠に意義深いことと考えます。事実、施工箇所であります二川地区の方々から驚きと感謝の言葉を戴いたことは私どもの誇りとするところであります。超長距離推進工事は未だ例が少なく緒に付いたばかりではありますが、更なる研究と技術開発により、社会的コストの安い工法として確立するよう努力する所存です。

お知らせ

■当協会本部事務所が移転しました

当協会は、以下の通り事務所を移転いたしました。

業務開始日：平成20年2月12日（火）

住 所：〒135-0047 東京都江東区富岡2-11-18
西村ビル3F

電話番号：03-5639-9230

FAX番号：03-5639-9215

最寄り駅

東京メトロ東西線

門前仲町駅1番出口より徒歩5分

木場駅3番出口より徒歩5分

大江戸線門前仲町駅より徒歩10分

東京駅より

東京メトロ東西線大手町駅より3駅目

羽田空港より

京浜急行都営地下鉄日本橋駅乗換え

東京メトロ東西線日本橋駅より2駅目



月刊推進技術編集室も移転しました。

業務開始日：平成20年2月5日（火）

住 所：〒135-0046 東京都江東区牡丹2-2-3-105 (株)LSプランニング内

電話番号：03-5621-7850 FAX番号：03-5621-7851