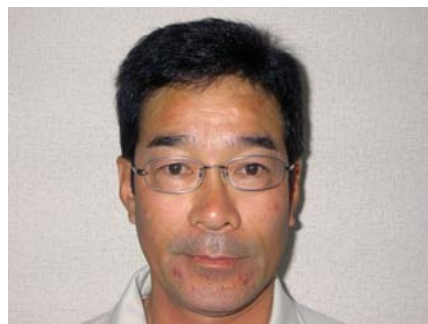


世界最長 1,000Φ — 1,447m

豊橋市における超長距離推進工事報告

正木 幹了

株式会社 姫野組
土木第2グループ次長



1. はじめに

2003年度版、社団法人日本下水道協会から発刊された「下水道推進工法の指針と解説」において、長距離推進とは“推進管 呼び径の250倍、又は250倍未満にあっても延長が500mを超えたもので500倍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 1000Φ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」の削減にも意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 1000Φの鉄筋コンクリート管を1,447mに亘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。

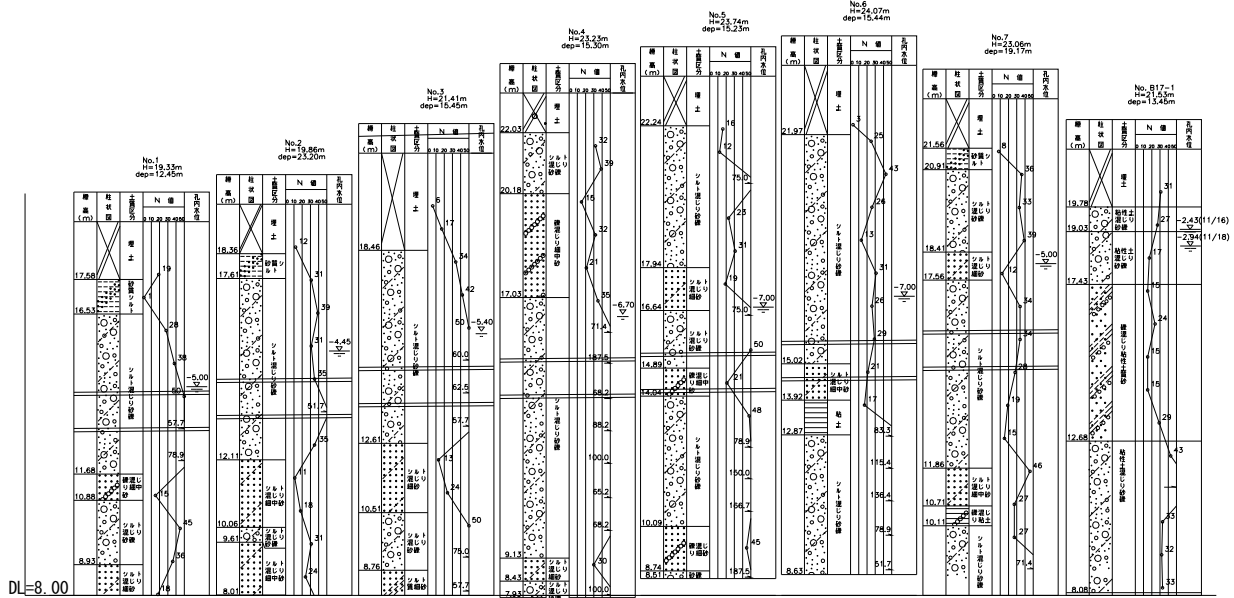
2. 工事概要

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の三河湾へ緩やかに傾斜しております。面積は 261.36 平方キロメートル、人口は約 38 万人で、豊かな自然と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」の遺構があります。これは旧東海道において滋賀県の「草津宿本陣」と此処だけに残る貴重な史跡であり、豊橋市では昭和 62 年以來、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（最大礫径は 200 mm 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おりました。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である 1100Φ—1006m の記録を作っております CMT 工法をも加えて検討がなされました。その結果、CMT 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を導入した CMT 工法で施工することに設計されました

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	(株) 鉄建建設
推 進 担 当	(株) 姫野組
管 径	1 0 0 0 mm
推 進 延 長	1447.6m
土 被	4.2m ～ 8.7m
土 質	礫混じり粘土～シルト混じり砂礫 礫径：最多礫径—20mm～50mm 最大礫径—200mm
地 下 水 位	GL—4.5m ～ GL—7.0m
曲 線	R=700×5 箇所 R=500×3 箇所
障 害 物	橋梁下部杭



土質柱状図

3. 超長距離推進の施工

A) 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且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、摩擦係数を提言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、その結果摩擦係数(μ)を減少させても摩擦抵抗値 ($F = P \times \mu$) が大きくなります。

フローティングシステムでは従来の《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を開発しました。

フローティング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(ϕ)の関数で時間の因子を含まないものです。

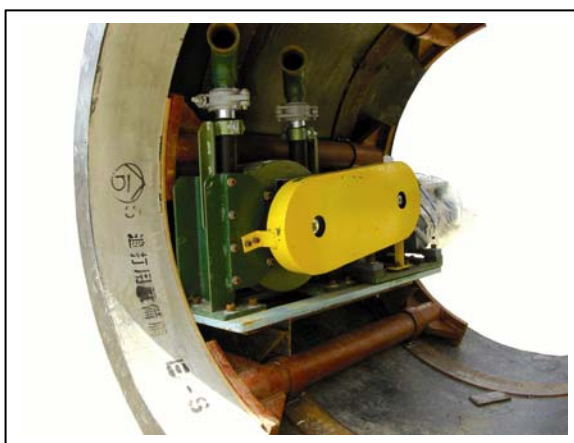
よって、超長距離推進施工などの時間の要素が工事の成否を司るような場合には、時間経過に左右されないフローティングシステムは非常に大きな威力を発揮します。また、当システムで圧入・充填する塑性体は自然界に存在する物質であるので環境影響は皆無であり、注入の圧力は掘削マシンが造るテールボイドの1次緩み土圧に匹敵する圧力です。そのため、一次充填材の働きをもして、高次の緩み土圧を惹起させませんので、路面など隣への施工影響を最少に抑えることが出来ます。

B) フローティングシステムの施工

フローティング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 $15,000\text{mPa}\cdot\text{S} \sim 20,000\text{mPa}\cdot\text{S}$ 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に管内から約 200m 間隔で再注入します。今回は、粘性の高い塑性体を 1500m に亘り圧送し、更に $0.2\text{MPa} \sim 0.5\text{MPa}$ の圧力管理をしながら注入するために坑外に特殊プランジャーポンプと坑内 5 箇所ブースターポンプを設備し、ラインは 100mm の鋼管を用いて圧送しました。ブースター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。



緩み土圧抑制材
注入プラント (プランジャーポンプ)



緩み土圧抑制材
中継ポンプ (ブースターポンプ)

C) 超長距離推進の設備

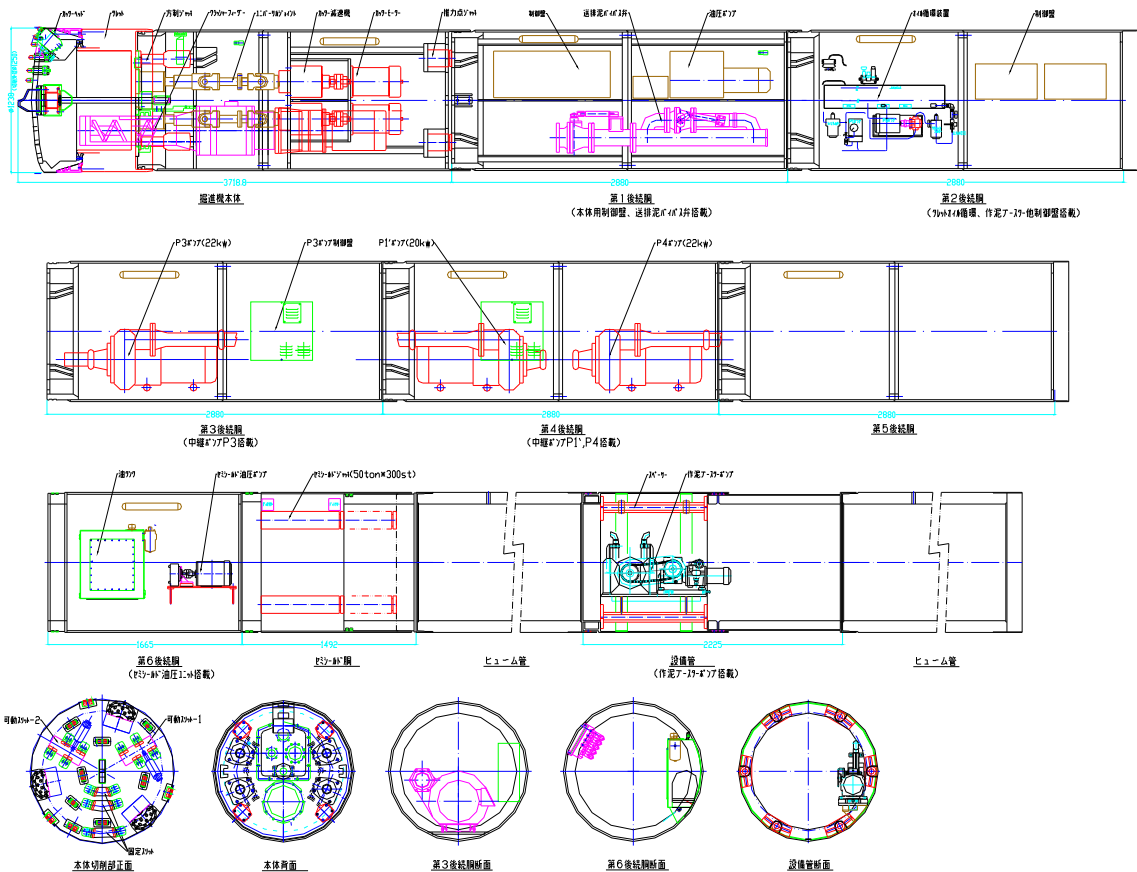
CMT工法 推進工法で取り扱う工事はシールド工法のそれに較べて施工深さが浅い場合が多いため、土質の変化する確率が高く障害物に当たる確率も大きくなります。当該工事においてもその傾向は顕著で、土質はかなりの頻度で変化し、その度合いもシルト、粘土、小礫、大礫、更には岩盤までの対象地盤を考えなければならない土質であります。施工延長が 1,447 m であることから、施工途中のビット交換は考慮しなければなりません。また、障害物として橋台下部杭の撤去も予想され、それら全てを機内より対応できる工法として『CMT工法』が採用されました。CMT工法とは一つの固定的工法ではなく色々なシステムを組み合わせる工事にフィットさせる工法であるために、各システムアクセサリーを選択して施工計画としました。

採用したシステムは、“長距離推進システム”、“フローティングシステム”、“軟弱・流砂地盤推進システム”、“玉石・砂礫推進システム”、“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ーゲージカッターを装備し、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、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あり、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、このシステムを敢えて採用しました。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出来ました。



CMT掘進機・管内設備

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あり、また、フローティング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100mm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1000Φ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して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、フローティングシステムのうちの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。中押しの段数が増え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十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働システムをも採用し、更に第1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 CMT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定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。



2管推進用発進立坑・推進中

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、フローティング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。管内全線に亘りレールを敷設し、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働させました。

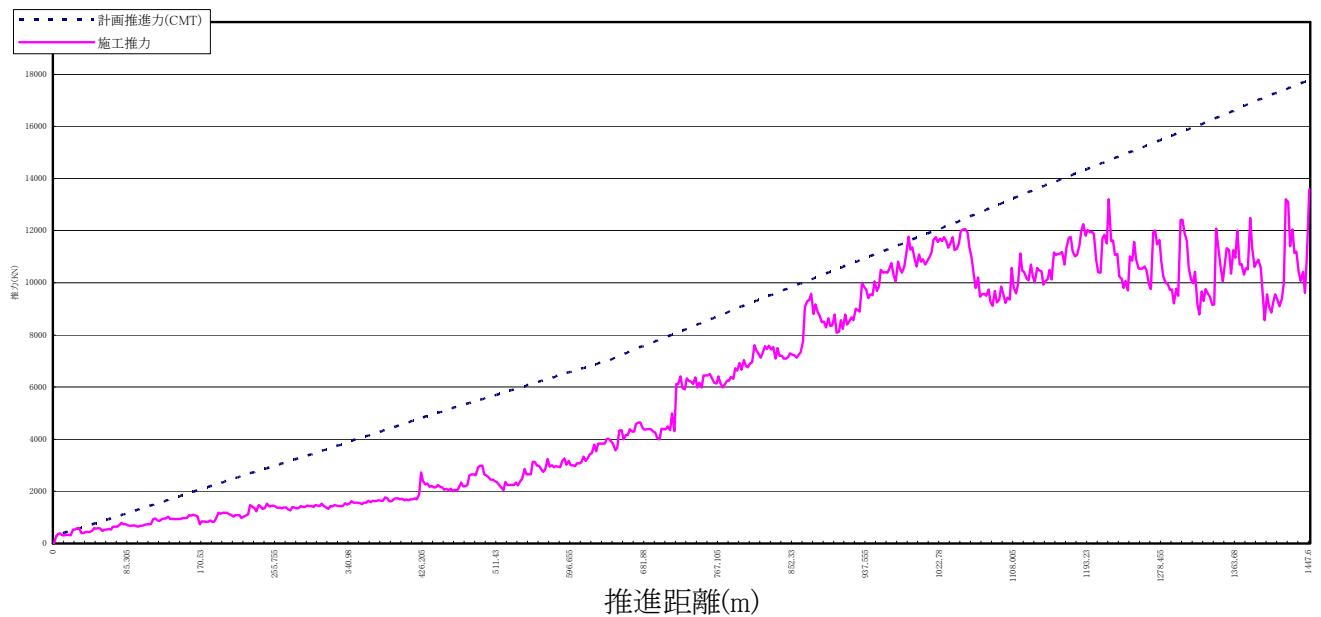


4. 施工結果

A) 推力管理

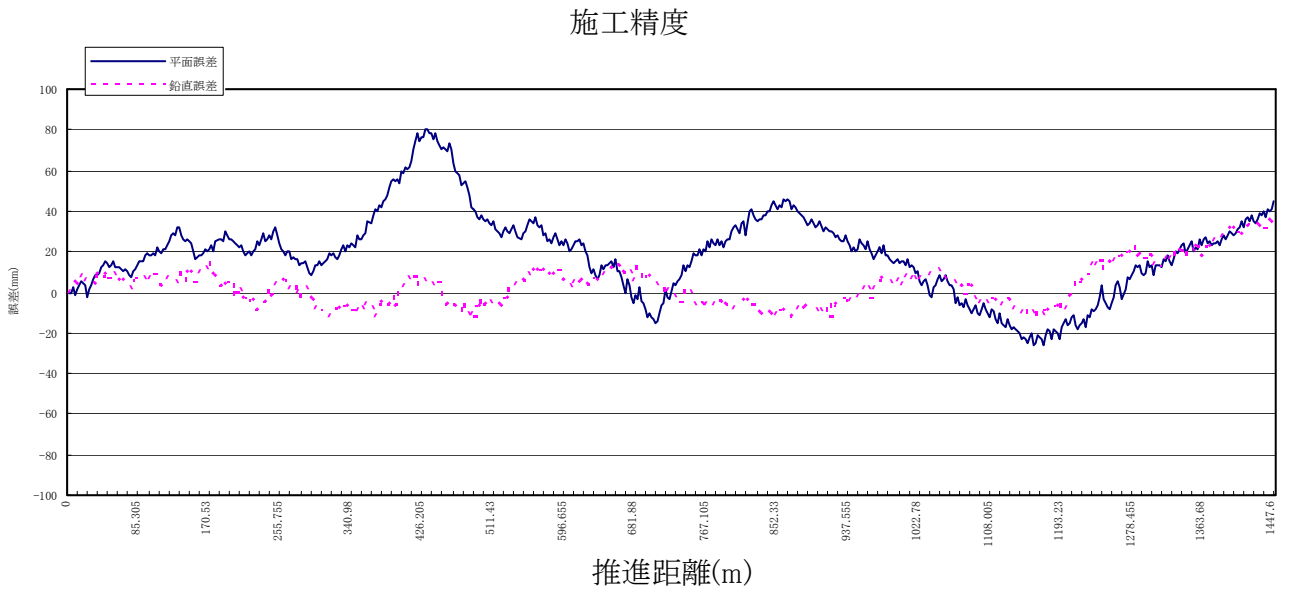
- 推力管理表

推力の推移



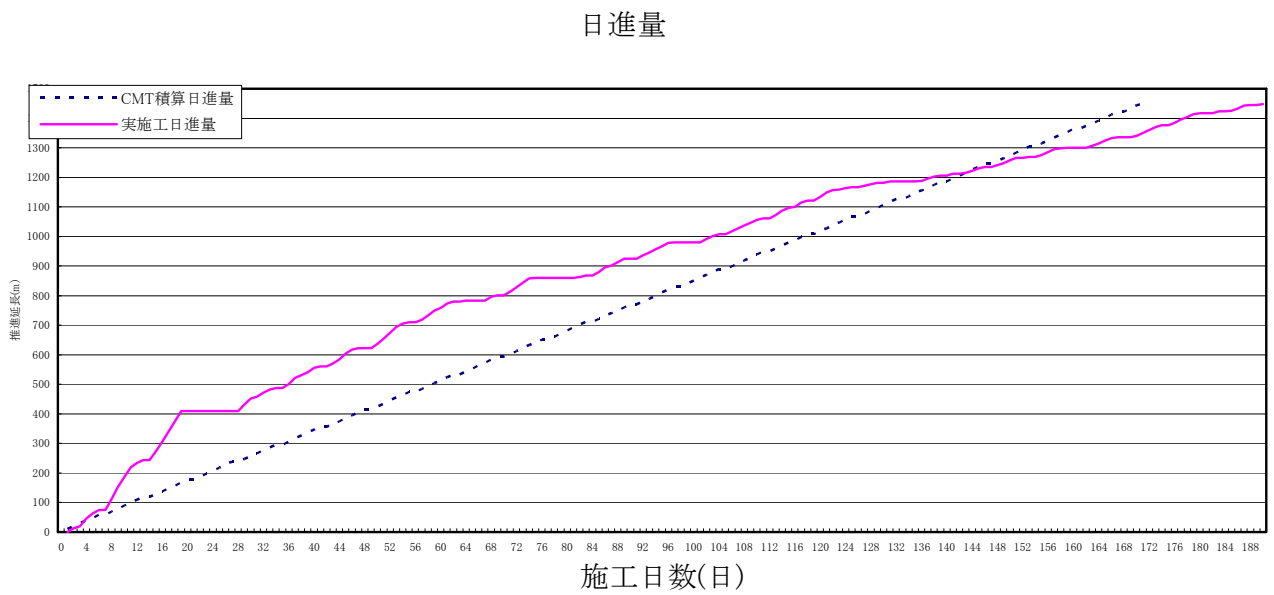
B) 出来形管理

- 垂直・水平精度表



C) 進捗管理

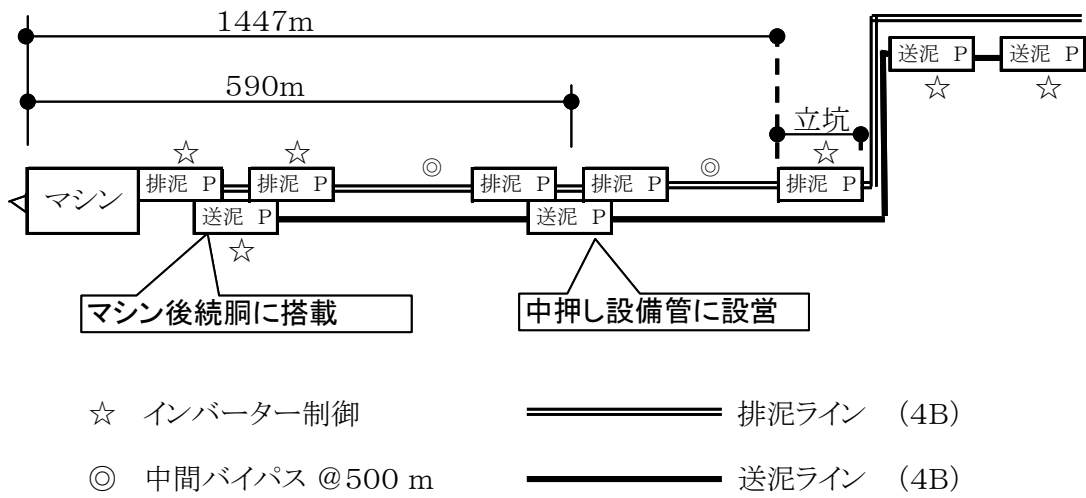
- 施工進捗度表



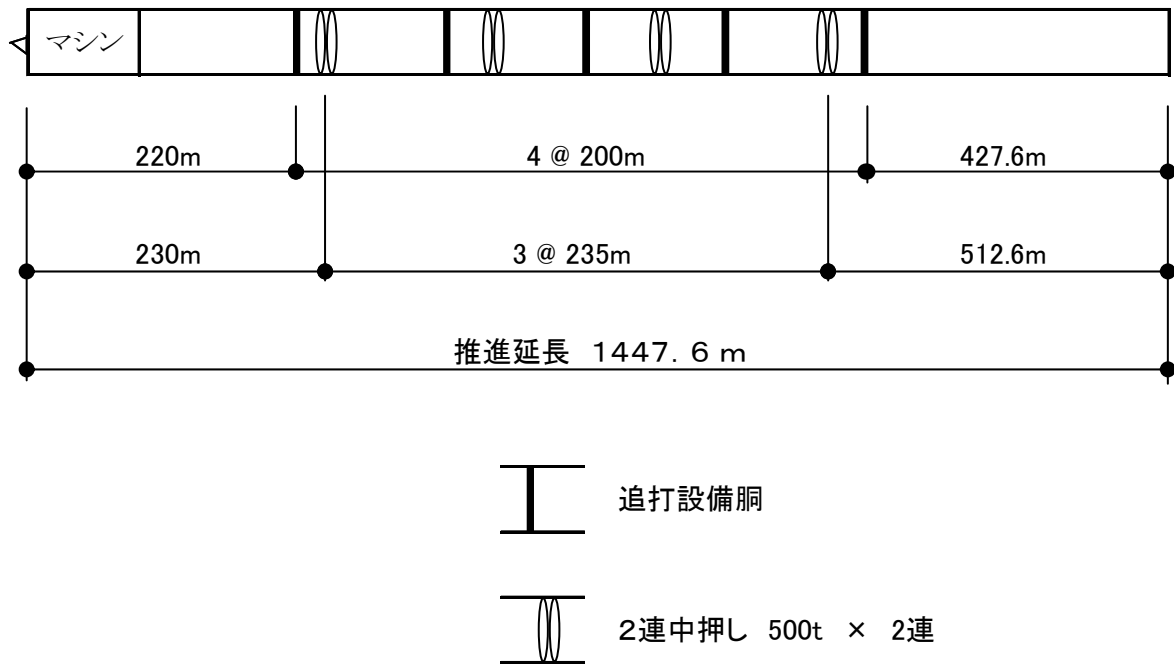
D) その他

・ 施工概略図

水力流体輸送



2連中押し、追打設備 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こりました。呼び径 1000Φ 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 1100Φ のコンクリート管で 1,006m の超長距離推進の経験は持っておりましたが、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、やはりフローティング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ーポンプと 5 台のブースター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。

CMT 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、ブースター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ー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 7000m 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 900Φ までの鉄筋コンクリート管は、最大延長 600m、同呼び径 1,000Φ までは延長 1,000m、延長 1,000m 以上は呼び径 1,200Φ 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戴きました事に対し、豊橋市様、中日本建設コンサルタント(株)様、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ので宜しくご指導ください。