

1400mを超える世界一の超長距離推進における
施工方法について
ABOUT THE CONSTRUCTION METHOD
IN SUPER-LONG DISTANCE MICROTUNNELING
OF THE GOOD IN THE WORLD THAT EXCEEDS 1400M

磯部 善隆¹・八代 浩二²
Yoshitaka ISOBE・Koji YASHIRO

It can be said that the pipe jacking method that it is an inside, and is the trenchless method where environmental problems are taken up recently is an industrial method that socially bears the key role. However, a severe construction condition that the start and the attainment shaft cannot be constructed besides origin-destination because it becomes when it is severer, and the width of the road of the object route is narrow .the plan of long distance microtunneling without the precedent of the microtunneling extension 1447.6m like this industrial sector is a big reason. the construction condition in the drainage construction.It was a decrease of thrust, a reduction of the construction loss, and quality of the Hume pipe maintenance that became an important problem when such long distance microtunneling was constructed. There was even an anxiety that construction was not able to be completed depending on measures, and the trial and error was repeated at the plan stage. In this text, it explains measures to go to those problems on this site along with the feature of the industrial method selected this time. Moreover, the problem that has surfaced newly is described while constructing it.

Key Words :long distance microtunneling, decrease of thrust, reduction of the construction loss, quality of the Hume pipe maintenance

1. はじめに

近年、環境問題が取り上げられる中、非開削である推進工法は社会的に重要な役割を担う工法であるといえる。しかし、下水道工事における施工条件はますます厳しいものとなっており、当工区のように推進延長 1447.6m という前例のない長距離推進の計画がなされたのも、対象路線の道路幅員が狭いため、起終点以外に発進・到達立坑を築造できないという厳しい施工条件が大きな理由である。このような長距離推進を施工するにあたり、重要な課題となったのは推力の低減と施工ロスの軽減、及び推進管の品質保持であった。対策如何で施工を完了できないのではないかと懸念さえあり、計画段階では試行錯誤を繰り返した。本稿では、それらの課題に対し当現場で行った対策について、今回選定した工法の特徴と併せて説明する。また、施工をする中で、新たに浮上してきた課題についても述べる。

キーワード：長距離推進、推力の軽減、施工ロスの軽減、推進管の品質保持

¹ 非会員 鉄建建設㈱ 名古屋支店 土木部 工事係

² 正会員 鉄建建設㈱ 名古屋支店 技術部 部長

2. 工事概要

本工事である公共下水道築造工事（3工区）は、豊橋市で進められていた公共下水道「梅田第1汚水幹線」のうち最終工区となる管渠埋設工事である。これにより既に完成している下流部の第2幹線とともに、中島処理場までの約11.1kmがつながることになる。

また当工区の推進延長1,447.6m(図-1 参照)は、推進工事におけるこれまでの記録、1,265m（埼玉県内の利根川横断工事）や1,259m（中国の黄河横断工事）を大きく超える距離である。これは当工事の対象路線である旧東海道が、狭隘かつ交通量が多く、起終点以外に発進・到達立坑の築造が困難であることから、このような長距離推進の計画がなされたためである。本稿においては、そのような長距離推進を施工するにあたり、選定した工法の概要、及び当現場においての施工上の課題と対策、また今後の課題について述べる。



図-1 推進路線概要図

工事件名：公共下水道築造工事（3工区）

工事場所：豊橋市大岩町地内ほか

（中島処理区 大岩・二川地区）

工 期：自 平成18年 9月19日

至 平成20年 2月29日

発 注 者：豊橋市上下水道局

施 工 者：鉄建建設株式会社

請負金額：395,850,000円（税込）

□管きょ工（推進）〈φ1000mm〉

路線延長 1,454.3m

推進延長 1,447.6m

M14-M13 区間距離 426.0m

M13-M12 区間距離 439.7m

M12-M10 区間距離 588.6m

R=700：5箇所 R=500：3箇所

□組立3号マンホール工 4箇所

□立坑工 4箇所

□薬液注入工 1式

□付帯工 1式

□仮設工 1式

3. 土質条件

土質区分は主に、図-2のように礫混じり粘性土質砂・シルト混じり砂礫で、N値が50以上の硬質の砂礫層も広範囲にわたって分布している。地下水位は季節にもよるが、GL-2.5m から 6.5m の間で変動している。土被りが4.2m から 8.7m であるので、管頂から約 1.5m から 2.0m 上に地下水位があることになる。また礫率は44%で最大礫径は200mmである。透水係数は $2.9 \times 10^{-3} \text{cm/sec} \sim 8.7 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ である。

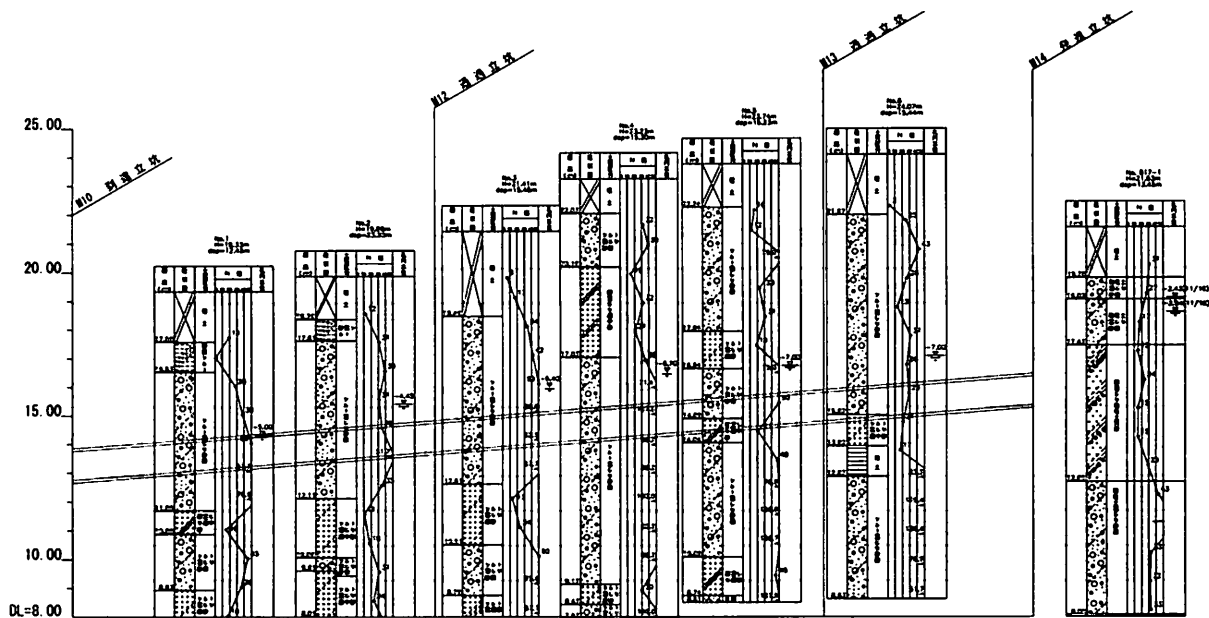


図-2 推進路線土質柱状図¹⁾

4. CMT工法

(1) 工法の選定

当現場では、メイン工種である推進をCMT工法（複合推進工法）という工法で施工することとなったのだが、その選定についての経緯を簡単に説明する。まず当工区の土質条件及び施工条件の大きな特徴として以下の3つがあげられる。

- ①推進通過土層のN値が50以上と高く、砂礫・玉石等によりビットを磨耗させる可能性が高い土質である。
- ②横断河川上の橋梁の基礎杭（古い基礎杭であるため、図面その他の資料が現存していない）等、想定外の障害物に遭遇する可能性がある。
- ③推進路線が旧東海道であり道路幅員が狭いため、ビットの磨耗及び想定外の障害物との遭遇等で推進不能となった場合に、新たに立坑築造が可能なスペースを確保することができない。

これらの理由により、掘進機の中からビットの交換、又障害物の除去が可能な掘進機の選定が必要であった。このことに加えて、長距離推進におけるこれまでの実績や、さまざまな地盤での実績を考慮し、CMT工法（複合推進工法）を採用するに至った。

(2) 工法の概要

CMT工法は、単一システムの工法ではなく、次の①～⑥に挙げるような施工条件に対応するシステムの総称である。よって工法の選択が可能で掘削設備、排土設備、推力低減設備等の組合せ・選定により施工条件に最適なシステムを構築する。

- ① 岩盤推進システム
- ② 玉石・砂礫地盤推進システム
- ③ 超軟弱・流砂地盤推進システム
- ④ 長距離推進システム
- ⑤ 曲線推進システム
- ⑥ 切羽障害物撤去推進システム

当工事において、どのようなシステムの組合せを選定したのかを表-1 に示す。ここで、排土方式であるが、当現場においては水力排土方式を用いた。一般的な推進工法の分類といえば、切羽の保護の形式から、大きく分けて泥水・泥土・泥濃のいずれかになるが、CMT工法においては切羽の保護を主に面板による加圧で行っているため、既成の枠には入れにくいというのが現状である。しかし、排土方式は水力排土（流体輸送）で行っているため、排土方式の観点でみれば泥水工法に近い工法であるといえる。

表-1 CMTシステムの組合せ・選定一覧表²⁾

CMT工法システム		種別		細別	
掘進機・面板方式		ローラービット方式		フラット型面板	
		切削ビット方式			
		マルチカッター方式	○	ドーム型面板	○
排土方式		水力排土方式	○	A・B・C・D方式	○
		空送排土方式			
①岩盤推進システム					
②玉石・砂礫地盤推進システム	○	マルチカッターの採用	○	ビット・クラッシャー交換	○
③超軟弱・流砂地盤推進システム					
④長距離推進システム	○	フローティングシステム	○	緩み土圧抑制材注入	○
				プランジャーポンプの設置	○
				ブースターポンプ設置	○
				設備管の設置	○
				2管推進発達立坑	○
				2連中押設備	○
				曲線中押設備	
				マニキュア管の採用	○
				換気冷却設備	○
				ビット・クラッシャー交換	○
⑤曲線推進システム	○	クッション材	○		
		側土圧理論	○		
		管耐荷力の考え方	○		
⑥切羽障害物撤去推進工	○	圧気設備工	○	ブローア・ロックユニット	○

(3) 工法の特徴

ここで当現場でも採用したCMT工法の特徴をいくつか紹介する。

a) モノスリットによる切羽保護

当工法における掘進機面板は図-3 に示すような形式であるが、開口率は最大9%と他の掘進機と比較して小さい。これは、切羽保護を主に面板による加圧で行っているためである。また、開口率は常時開口部の開口率3%、可動式開口部の開口率6%とがあり、開口率の調整が可能である。これにより自立性のない玉石混じり砂礫地

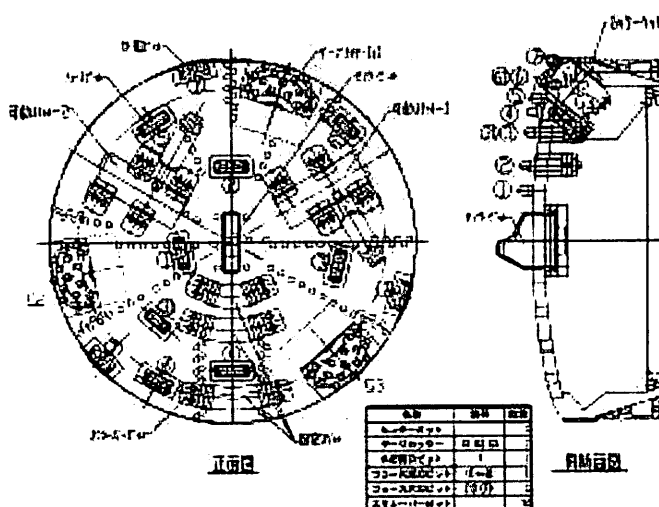


図-3 掘進機面板概要図¹⁾

盤でも先行取り込みを抑制して切羽の崩壊を防ぐことができる。例えば、砂礫地盤中の推進時には、礫間の土砂の取込み過ぎにより切羽の崩壊・地盤沈下等を起こさないように、開口率を下げ、面板加圧に加えて循環泥水の粘性・比重を上げてチャンパー内を加圧させて対応する。また粘土地盤では、開口率を最大にして粘土の付着による開口部の閉塞を防止するとともに、循環泥水の粘性・比重を下げる等の方法を取り推力の増大を防ぐ。

b) フローティングシステム

長距離推進を施工するにあたり、最も基本的な問題は、推進抵抗の低減といえる。CMT工法においては管外周の余堀部 15mm 程度のテールボイドに『緩み土圧抑制材』と呼んでいる塑性状態の粘土を充填する。緩み土圧抑制材の外周は地盤に粘着して動かず、内周は推進管に粘着して前進する。即ち、推進抵抗は緩み土圧抑制材の内部のずり抵抗そのものといえる。推進管は緩み土圧抑制材の中を浮いた状態で前進するため、推進抵抗は土質には無関係である。

また、緩み土圧抑制材は粘土が主材の塑性体であるため、流体の滑材のようにすぐ地下水等で希釈されるものとは異なり、長期間保持される。よって地盤沈下を引き起こしにくいという特徴があげられる。

当現場では土質条件の礫率と透水係数から緩み土圧抑制材の粘度は 19000～23000mpa・s と設定した。これは、ずり抵抗に換算すると 1m²あたり約 3.0kN となる。なお、緩み土圧抑制材の配合は表-2 のようになる。

表-2 緩み土圧抑制材の標準配合表 (1m³ 当り) ²⁾

材 料	品 名	数 量
粘土	笠岡特殊粘土	450Kg
ベントナイト	クニゲルV1	187.5Kg
CMC(増粘材)	カセローズ	4.0Kg
水		790L

7. 施工上の課題と対策

ここでは、長距離推進を施工する際の施工上の課題、またそれに対して現場で計画・実施した対策について述べる。

(1) 2 連中押管

長距離推進においては、まず推力を増大させないようにすることが重要である。推力の低減に関しては、前述したように緩み土圧抑制材を使用した他に、設備管を利用した緩み土圧抑制材の 2 次注入を効果的に行うことや、マニキュア管（エポキシ樹脂、撥水性シリコン樹脂）を使用することで対応した。

また、1,447.6m の推進を 1,960kN/本*4 本=7,840kN の元押ジャッキだけでは不可能(計画総推力約 17,740kN)であるため設計では中押設備を 4 箇所（各 1 組ずつ計 4 組）設けることとなっていた。

しかし、管の目地部分には推力を分散伝達する目的でクッション材を取付けているため、ジャッキ延伸時にはクッション材が圧縮されたり、ジャッキ油圧開放時にはクッション材が復元しようとしてバックリングが発生したりということが考えられた。距離が長くなるに従いその割合は中押ジャッキや元押ジャッキのストロークに対して大きくなり、通常の中押管の配置では推進ロスが大きくなってしまふことが懸念された。

そこで次頁図-4 のように中押管を 1 箇所につき 2 組連続して設置し、それを 4 箇所設けることで、中押の 1 サイクルの推進距離を倍に増やし、施工のロスを減少させることとした。(次頁写真 1, 写真 2 参照) それでも 1,200m を超えたあたりから、中押ジャッキ全 4 箇所使用時に元押ジャッキの 1 ストロークが 150～200mm 程度しかなくなり、設計どおりの中押管の配置では、推進不可能になっていた可能性も想定される。

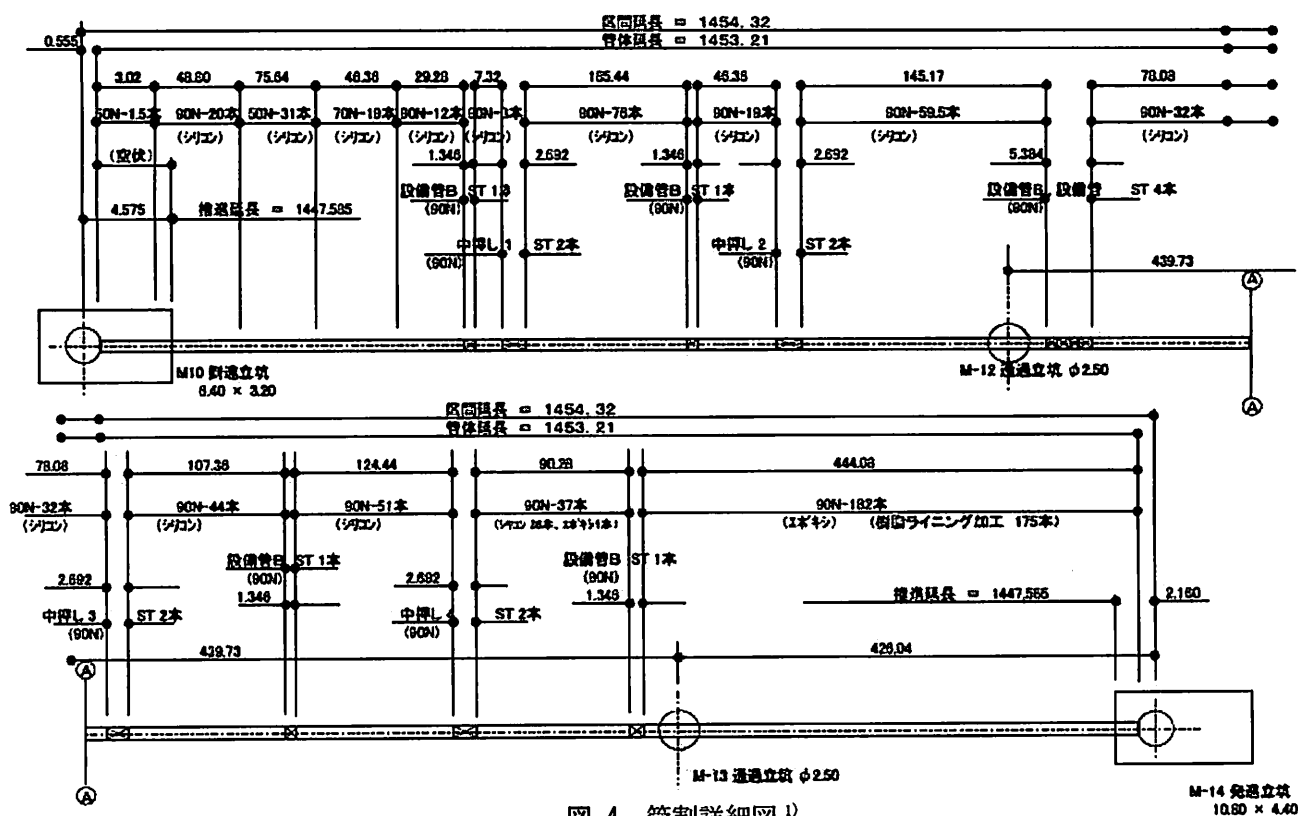


写真-1 2連中押管据付完了

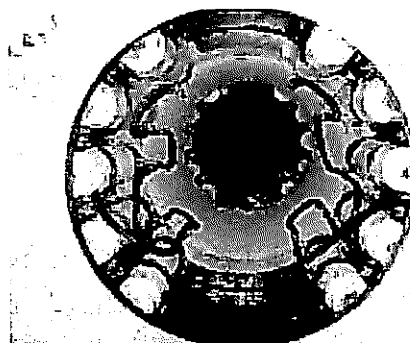


写真-2 中押しジャッキ設置

(2) ヒューム管のクラック対策

推進において最終的に残るのは推進管だけであるので、推進管の品質を損なわない、すなわち管の破損・クラックを発生させないということが重要である。通常の推進では、推力が最大にかかるのは元押ジャッキ側であるため、掘進機側よりも元押側に許容耐荷力の高い管を配置する。設計では、推進管の圧縮強度順に $50\text{N}/\text{mm}^2$, $70\text{N}/\text{mm}^2$, $90\text{N}/\text{mm}^2$ の順番で管割が組まれていた。しかし、実際このような長距離推進を施工するに

あたり、先端の推進管は方向制御による側土圧や端面の推力の片当たり、掘進機の掘削反力の振動等で長期間繰り返し荷重を受け、ひび割れを発生することが少なくないということが実績上明らかになっている。そこで図4のように先端から約50m、20本分においてはガラス繊維入90N/mm²を配置して、以降50N/mm²、70N/mm²、90N/mm²の順番に配置して対応した。

推進が完了時、推進管にはクラックは発生しておらず、品質を損なわずに施工できたといえる。

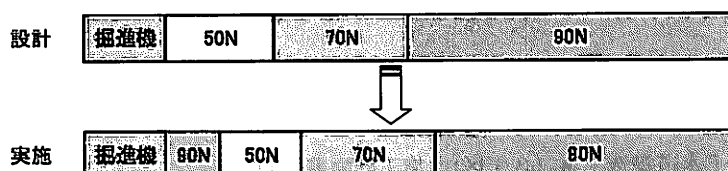


図-5 管割変更略図

8. 長距離推進における新たな課題

平成19年5月9日に発進し、約6ヶ月間の推進により、同年11月12日に無事到達することができた。その後約1ヶ月間で中押管を締め終え推進をすべて完了した。

施工上最大の問題点は、管内送排泥設備の故障であった。泥水配管は4吋の鋼管を使用していたが、推進距離が1,000mを過ぎた時期から、礫による磨耗で穴が開くということが頻繁に発生した。また、中継送排泥ポンプも600mを過ぎたあたりから同様に礫による磨耗でケーシングに穴が開く他、インペラ・Sプレートが磨耗して、そこに礫がかみこみ作動しなくなることが頻繁に発生した。その度に推進作業を休止して部品の補修・交換を行ったが、その際には管内の泥水の回収が必要となり、本作業に遅れを生じた。また、修理においては推進管内に作業員が入る必要があるのだが、管内には図-6のように配管や作業員移動用のレール等の設備があり、実際にはφ1,000mmの作業スペースは確保できず、作業環境は決してよいとは言えない状態であった。

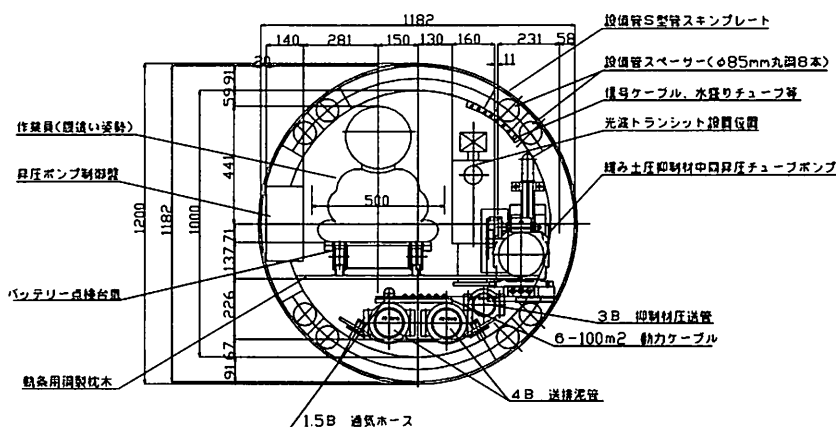


図-6 管内設備配置図¹⁾

今後の長距離推進の施工は、送排泥管・送排泥ポンプの故障等を考慮した計画が必要であると思う。例えば、送排泥ポンプの前後にはバルブ・バイパスを取付けておき、修理の際に泥水の回収を最小減に留めるようにすることが考えられる。また、1,000mを超えるような長距離推進の施工においては、管内での作業も考慮して管径をφ1,000mmよりも大きい管を使用する等が有効であると考えられる。

9. おわりに

世界最長となる1スパン1,447.6mの推進が無事完了できたことに対し、発注者である豊橋市上下水道局様、設計担当の中日本建設コンサルタント㈱様にお礼申し上げます。

昨今、環境問題がとりあげられる中、非開削である推進工法は社会的に重要な役割を担う工法と言える。今回、このような長距離推進が無事完了できたことは、今後、発注・計画されるであろう同種類似工事においても非常に意義深いものであると思う。今回の実績・経験を誇りにしながら、今後の施工に携わっていく所存である。

参考文献

- 1) 鉄建建設株式会社：公共下水道築造工事（3工区）, 施工計画書, 2006.
- 2) CMT工法協会：CMT工法 技術資料・積算資料—平成19年度—, 2007.