

## 28. 流体輸送式TBM工法による小断面 トンネルの施工

神戸市 荒木 浩二

(株)大林組 宮本 芳孝・\*古川 斉治

1. はながき

TBM工法は、欧米の安定した岩盤に対し、その性能を發揮し、發達した工法であるが、我が国の断層破碎帯及び湧水が多く、岩質が複雑に変化する地質条件下では、必ずしも定着した工法とは言えなかつた。しかし、オイルショック以後、石油代替エネルギーの一つとして中小規模水力発電が見直されるに伴い、昭和56年よりの通産省の「石油代替エネルギー実用化補助金」の交付を受けて、新エネルギー財団の指導のもとに、全地質に対応でき、高い安全性のもとで良好な作業環境が得られ、導水路トンネルとして最小必要断面と掘削し、経済性を確保できることを目的とした流体輸送式TBMが川崎重工業により開発された。

本稿は、この流体輸送式TBMを用いた汚水幹線築造工事の概要、流体輸送式TBMの特徴及び工事実績について報告するものである。

2. 工事概要

本工事は、加右川上流流域下水道事業の一環として、神戸市北区山田町坂本～中の県道下部に円形管渠を築造するものである。本工事においては、(1)民家に近接しているため発破工法が採用できない。(2)必要断面積が小さい。(3)掘削対象岩層が多様である。(4)急曲線を含む曲線施工区間が長い。(5)湧水がある、といった施工条件を考慮し、急曲線施工が可能となるように改良を加えた上で、流体輸送式TBM工法を採用するに至った。

施工地域は六甲山の北側、西方に位置し、掘削位置の地質は、70～90cmの巨礫を含む、中～良程度の固結度を示す第三紀中新世の堆積岩類(礫岩を主体とする神戸層群)が大部分を占めるが、発進立坑から約200mでは、白亜紀の流紋岩、角礫凝灰岩(有馬層群)及び古生代の粘板岩が出現する。

工事の大意を表-1に、路線縦断面図を表-2上段に示す。

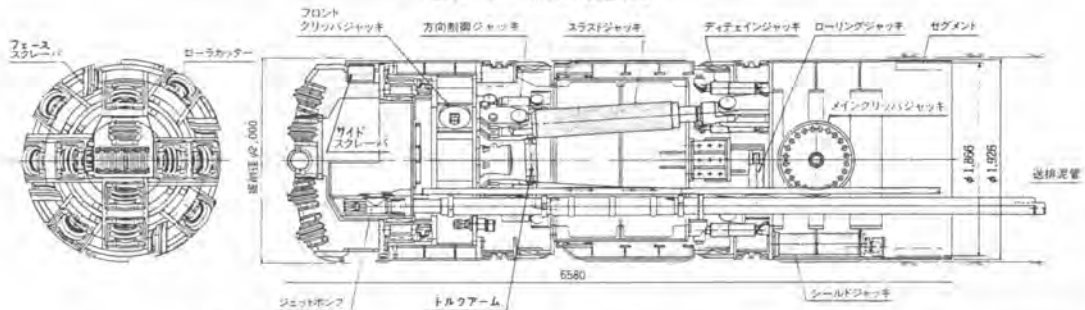
3. 工法及び機械の特徴

本機は、回転するカッターディスクに装着した17個のローラーカッターを岩盤に押し付けて岩を圧砕するトンネル掘削機で、本体は円筒の外殻を持つシールド構造になっている。切削側から掘削を行ない、山留効果を有するカッターディスク、掘削時の振動と防止し掘進方向の案内及び後胴引寄せ時の反力となるフロントブリック、掘削ズリを後方のNo.4台車まで輸送するジェットポンプを装備した前胴部、スラストジャッキにより伸縮部となる中胴部、推進反力を得るメインブリック及びシールド推進時に用いるシールドジャッキを装備した後胴部より構成されている。(図-1参照)また、後続台車には、油圧装置、流体輸送装置、電気設備、運転室等を搭載しており、前胴にてけん引する。

表-1 施工概要

工 争 名	山田汚水幹線布設工事(401)(402)
工 法	流体輸送式TBM工法
掘削延長	(401)1745m (402)1175m
掘削径	φ2000mm
掘削面積	3.14 m <sup>2</sup>
掘削岩量	(401)5479.3m <sup>3</sup> (402)3689.5m <sup>3</sup>
掘進こう配	8.5%
線形(曲線率)	70m ~ 200m R (43%)
土 被 り	県道下 11.0 ~ 29.0m
立坑築造	親くい(HH鋼300)橋板工法
立坑形状	内空10.0m×10.5m 深さ13.5m
中間立坑	内空2.5m×6.9m 深さ20m H-1H2

図-1 本体構造図



主要諸元

掘削機本体要目		
外径	径	φ1,950mm
全長	長さ	6,580mm
スラストジャッキ		80T×950ST×250kg/cut×4本
方向制御ジャッキ		40T×50ST×250kg/cut×4本
シールドジャッキ		50T×530ST×250kg/cut×4本
メインクリップジャッキ		215T×100ST×250kg/cut×2本
フロントクリップジャッキ		30T×70ST×250kg/cut×4本
ローリングジャッキ		20T×50ST×250kg/cut×2本
ディチェインジャッキ		1.2T×±30ST×8本

カッターディスク要目		
型式	式	全断面掘削
掘削径	径	基準径φ2,000mm
回転数	数	0~12R.P.M.
トルク	ク	常用10T-M 最高14T-M
油圧モーター		ダウハツスME750P(減速機付)×2台

油圧ユニット要目		
	カッター駆動用	制御用 推進用
油圧ポンプ	LZ180-10811D-EMS3DR2	R-8.4 R-8.4
常用圧力	180kg/cm <sup>2</sup>	250kg/cm <sup>2</sup> 250kg/cm <sup>2</sup>
吐出量	210ℓ/min	10ℓ/min 10ℓ/min
電動機	3kw×4P×440V	11kw×4P×440V
台数	2台	1台

掘削は、地山の状態が良い場合は、図-2に示すように、TBM本来の方法で行なうが、地山の状態が悪くブリップにて反力を得られない場合は、図-3に示すように従来のシールドと同様の掘削が可能である。本工事の施工条件の一つである急曲線区間は、図-4に示す方法で掘削し、70m Rも難なく通過可能であった。

掘削ズリは、カッターディスクのスリット(主としてサイドスクレーパ及びフェーススクレーパ)から取込され、カッター冷却水と共に吸込口より、ジェットポンプにて約39m後方のNo.4後続台車まで輸送される。ここで、フラッシュャーにて二次破碎を行なうと同時に混入した空気を分離する。その後、泥水加圧シールド工法と同様のシステムで坑外の土砂分離設備に送られる。流体輸送フローを図-5に示す。

流体輸送式TBMには次のような特徴がある。

- (1) シールド構造の採用により、硬岩から破碎帯を含む軟弱層まで幅広い地質の掘削が可能になった。
- (2) 掘削ズリと流体輸送するため、掘削とズリ搬出が同時に連続して行なえ、長距離掘削においても、スリット口輸送に比べ、能率の低下がない。

図-2 掘削順序図(1)



図-3 掘削順序図(2)



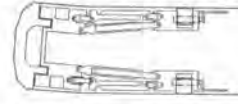
- (3) 掘削の機械化及び流体輸送によるズリ搬出の自動化が成され、省カ化並びに危険防止が計られる。
- (4) 流体輸送方式の採用により、従来のズリ搬出方法による制約を受けず、小断面のトンネル施工が可能となる。
- (5) 前述のように、前、中、後胴の各接続部が中折れ構造になっており、容易に急曲線施工ができる。
- (6) 切羽は隔壁により密閉されており、切羽の前壊や少々の湧水にも影響を受けない。
- (7) 掘削ズリが水とともにパイプ内を流れるため、粉塵の発生がなく、坑内の空気は清浄に保たれる。
- (8) カッター交換が機内からできる構造のため、カッター交換時も切羽崩壊などにさらされる危険がない。また、必要に応じて切羽に出ることも可能である。

図-4 掘進順序図(3)

カーブ掘削の場合

方向制御ジャッキで前胴を側削方向に曲げ、スラストジャッキ(シールドジャッキ)で片押し推進します。

①掘削開始前にカッターヘッドを曲げる。



②スラストジャッキの片押しによりカーブ掘削

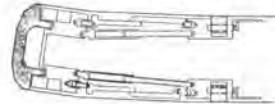
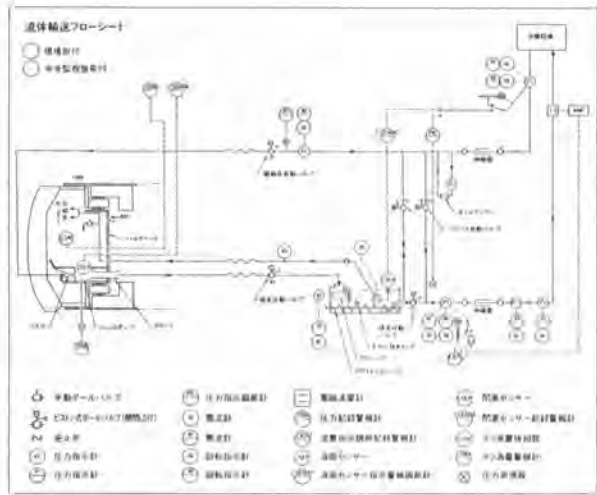


図-5 流体輸送フロー図



4. 施工管理

本工程における掘進管理測量は、坑内の内空が狭く、曲線区間が多いこと等を考慮し、TBM後胴部に4本のターゲットを設け、光波測距機にて測量を行ない、このデータをコンピュータ処理し、TBMの姿勢及び基線からの偏差をディスプレイさせて管理するシステムを導入した。これにより、測量からTBMの姿勢修正までの時間短縮が図れた。

5. 施工実績

初期掘進は、2回の取替や機械に不馴れなこともあり、約1ヶ月を要したが、本掘進においては、(その1)工事で最大月進493.1m/日、最大日進30.8m/日と、(その2)工事で最大日進31.9m/日と記録し、本機の特徴及び急速施工性能を発揮できたと考える。実績の細目については、表-2を参考にさせていただきたい。

今後、本機が小断面トンネル掘削機として定着していくには、カッター、クラッシャー等の岩破砕部の耐磨耗性能及び機構の改良によるランニングコストの低減と、また推進、方向制御系の機構の高性能化による操作の簡易化を、そして、機械のメンテナンスを容易にして稼働率の向上を図ることが望まれよう。

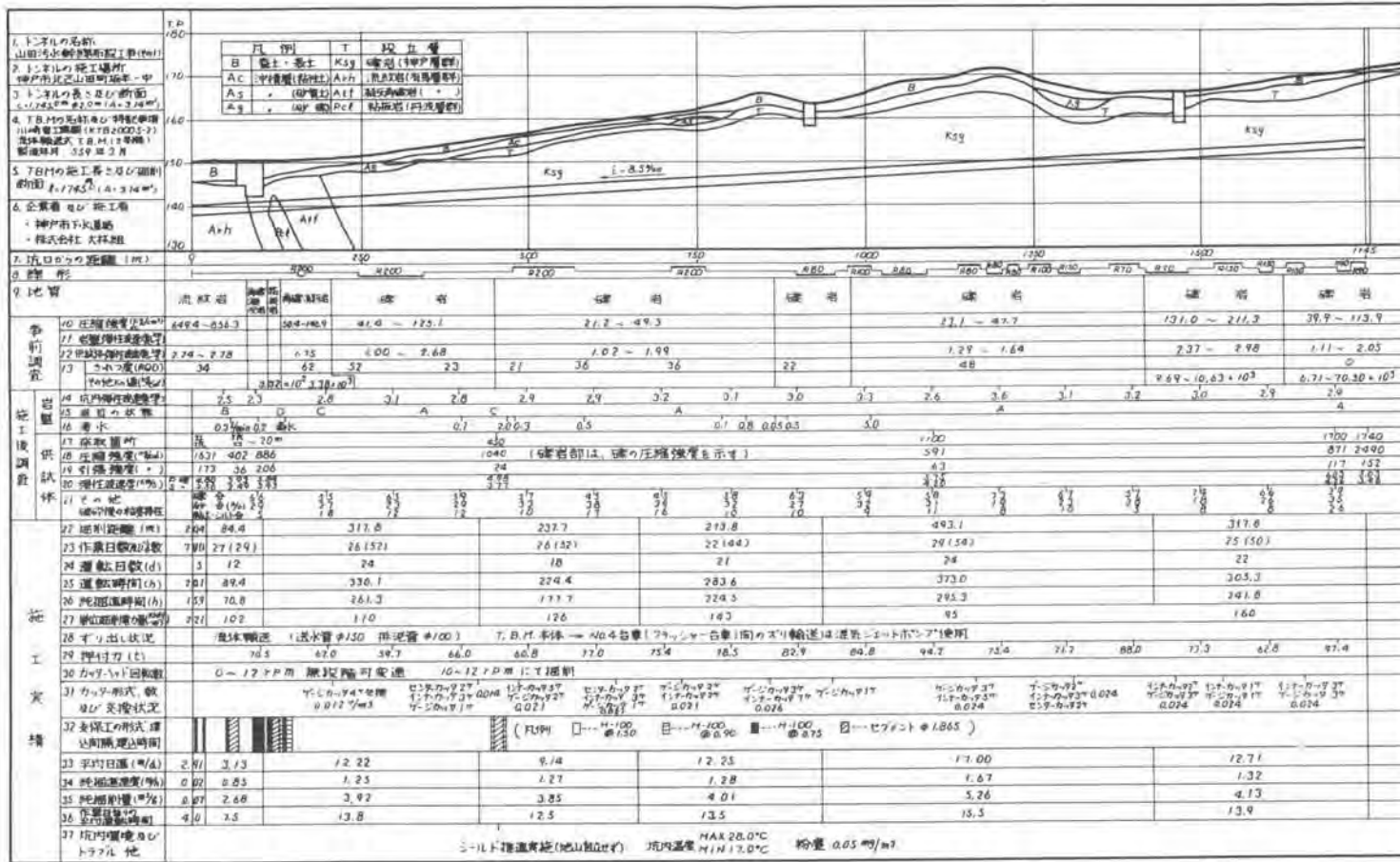
参考文献

村山、白水、杉本：全地質対応形TBMによる小口径トンネルの建設、土木施工 1985.7.11~19

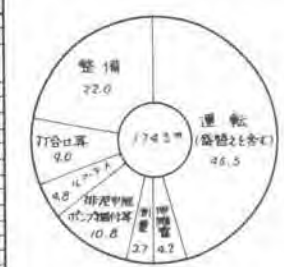
荒木：TBMによる下水道幹線の掘削計画、建設の機械化、1984.10.9~16

(財)新エネルギー財団：中小水力発電技術に関する実務研修会 初3回

表-2 山田汚水幹線布設工事(その1)掘進実績表



作業時間百分率  
全体 (初期掘進を含む)



打合せ 2.9  
トラブル 2.3  
掘削機交換 0.4

