

25. 半機械掘り自走シールドの開発

(株)大林組・日産建設(株)JV 岡田昇三
 日立建機(株) 太田誠
 水谷努

1. まえがき

近年シールドは、安全性、信頼性、施工性という性能面での技術開発が急ピッチで進められているが、さらに広範囲な土質条件に対しても適用の拡大が進められている。中でも、一軸圧縮強度が50～100 kgf/cm²程度の土質に対しては、従来半機械掘りシールドあるいは、オープン型の機械掘りシールドで施工が考えられていたが、地山が自立する場合に硬岩トンネルにおけるトンネルボーリングマシン（TBM）の自走のシステムを応用できないかという要望が高まっていた。

今回、仙台市交通局殿よりの仕様に基づき、仙台式軟岩用シールド—半機械掘り自走シールド—の開発を行なった。本機は、施工の大半をTBMのようにグリッパを地山に押し付けることにより、直接地山に反力をとって前進する自走方式と、初期発進および地山の悪い部分をセグメントを使用して前進するセグメント方式とを併用できるようにした、まったく新しいタイプのシールドである。また、切羽の掘削は、回転式のロードヘッダ掘削機により行ない、掘削した土砂はギャザリングアーム式の積込機により後方へ搬出される。

本機は現地へ投入後、順調な稼働を続けているので、ここに詳細を報告する。

図-1は、本機の全体図とその仕様である。

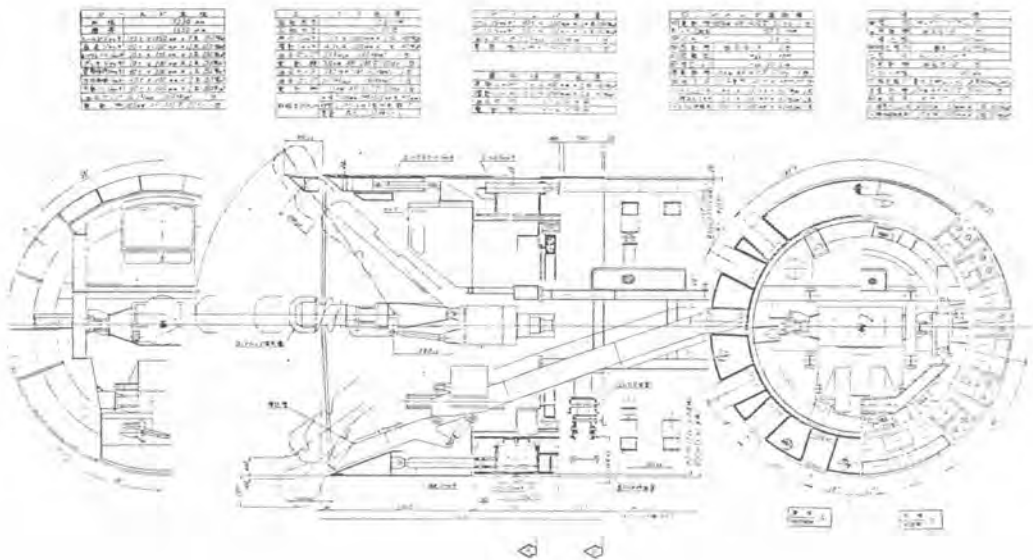


図-1 半機械掘り自走シールド全体図

2. 自走方式

(1) 自走方式の作動

図-2に自走方式の作動図を示す。

作動を順を追って説明すると次のようになる。

- ① グリップジャッキを伸して、グリップパシューを地山に押し付ける。

この結果、グリップパシューが地山に固定される。

- ② グリップパシューを地山に押し付けたままの状態、自走ジャッキを伸す。

この結果、シールド本体が自走ジャッキのストローク分だけ前進する。

- ③ グリップジャッキを縮めて、グリップパシューを地山から切離す。この時、シールド本体とグリップリングとは、芯出し装置により同芯度を保つようにする。

- ④ 自走ジャッキを縮めて、グリップリングをシールド本体側に引寄せると、この時シールド本体に装備されている姿勢保持、方向制御、可動ソリの各装置は地山に押し付けていて、シールド本体を地山に固定している。以上①～④を繰り返して、自走方式の前進を行なう。

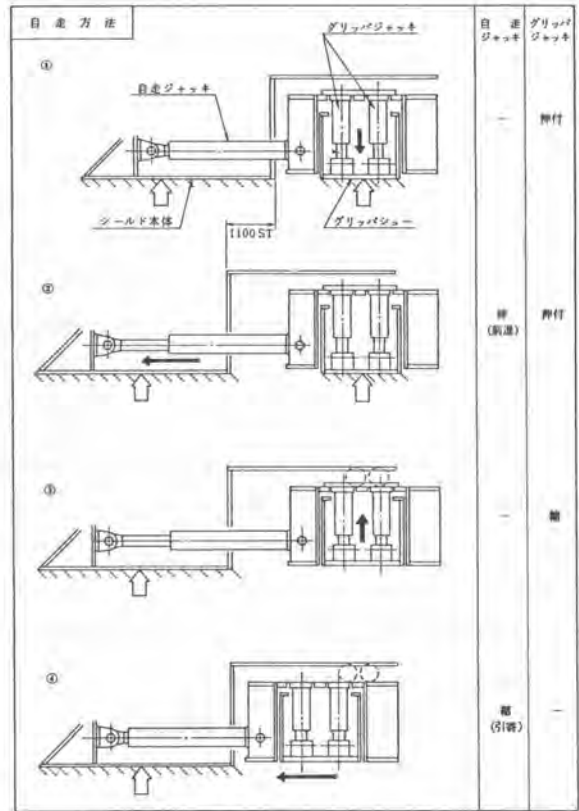


図-2 自走方式の作動図

以上①～④を繰り返して、自走方式の前進を行なう。

(2) 自走能力の検討

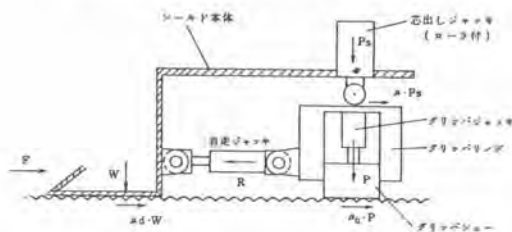
グリップジャッキを伸してグリップパシューを地山に押し付けた状態で、シールド本体を前進させる時の自走ジャッキ1本当たりの力のつりあい状態は、図-3に示す通りである。

つりあいの方程式は下記となる。

$$F + \mu_d \cdot W = R - \mu \cdot P_S \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

$$(R - \mu \cdot P_S) \cdot f \leq \mu_G \cdot P \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

ここで、 f : 安全率



- F : 前面抵抗(t)
- W : グリップ1本へのシールド自重分布(t)
- P : グリップジャッキ押付力(t) $\leq 100t$
- R : 自走ジャッキ能力(t) $\leq 100t$
- P_S : 芯出しジャッキ押付力(t) $\leq 50t$
- μ_d : 鉄板と土のまきつ係数 [= 0.5 - tan 26.6°]
- μ_G : グリップパシューと土のまきつ係数 [= 0.4 - tan 21.8°]
- μ : ローラのころがりまきつ係数 [= 0.01 - tan 0.57°]

図-3 自走方式の荷重状態

前式(2-1), (2-2)より, 前進時の抵抗 $(F + \mu_d \cdot W)$ とグリッパの摩擦力 $(\mu_o \cdot P)$ との関係は, 下記ようになる。

$$F + \mu_d \cdot W \leq \frac{1}{f} \cdot \mu_o \cdot P \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

今, 安全率 $f=1$ として, $P=160t$, および μ_d, μ_o の値を代入すると

$$F + 0.5W \leq 64 \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

従って, 自走ジャッキ1本当り(即ち, グリッパシュー1基当り)の許容できる荷重 W, F の条件は(2-4)式で表わされ図-4の通りとなる。

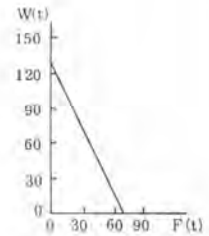


図-4 荷重 W, F の条件

(3) グリッパシューの接地圧と地山の変位量

グリッパシューの見かけの接地圧 p は下式となる。

$$p = \frac{P}{B \times L} \quad (t/m^2) \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

$$= \frac{160t}{0.64m \times 1m}$$

$$= 250 (t/m^2) = 25 (kg/cm^2)$$

ただし $\left\{ \begin{array}{l} B : \text{グリッパシュー幅} \\ L : \quad \quad \quad \text{長さ} \\ P : \quad \quad \quad \text{押付力} \end{array} \right.$

この値は, 事前の深礎井でのグリッパ模倣実験の結果から判断すると, 降伏接地圧に対して十分に安全性があり, 変位量も10mm程度と予想され, 機能上問題がない。

3. 安全装置および表示装置

本機には, 各種の安全装置および表示装置が装備されているが, 主なものを下記に示す。

(1) グリッパのスリップ防止………前述の(2-1) (2-2)式より

$$R \leq \mu_o \cdot P \quad (\because \mu_o \cdot P_s < R)$$

の関係を保っていれば, グリッパに反力をとってシールド本体を前進させる時にグリッパがスリップすることがない。従って, この関係を保つように自走ジャッキの推力 R を電磁比例リリーフ弁を用いて自動的に制御している。

- (2) シールド本体とグリッパリングとの同芯度を同芯度表示装置により検出し, 設定値以上に同芯度がちがってくると, 警報を発し, 自走ジャッキの動作を停止する。
- (3) 芯出し装置でグリッパリングの自重を支持している時にだけ, グリッパシューが縮み動作できるようにしてシールド本体とグリッパリングとの同芯度が極端に違わないようにする。
- (4) シールド本体とグリッパリングとの相対位置および各種油圧により, シールドの姿勢が不安定になる領域では警報を発する。
- (5) ムーブブルフード, デッキ, 積込機等の動作表示を運転席に設けて, 掘削機との干渉を防止する。
- (6) グリッパリングとエレクトタとの干渉が起らないように互にインターロックを設けた。
- (7) シールド本体内にキャブを設けて, 切羽の掘削による粉じんや後方の吹付けによる粉じんからオペレータを保護する。
- (8) ムーブブルフード, デッキの油圧回路に同調回路を設けて山留めを行ないながら前進できるようにする。
- (9) エレクトタに旋回角度制御装置を設置し, ケーブルの破損を防止する。



写真-1 全体写真

(工場内での仮組立時の写真で自走ジャッキを伸ばし、グリッパを全数伸ばした状態)

4. 稼動状況

(1) 施工条件

- ・ 施工場所 仙台市高速鉄道南北線愛宕橋工区
- ・ 土質 泥岩・シルト質細粒砂岩・砂質シルト岩
(凝灰質系 一軸圧縮強度 50～80 kgf/cm²)
- ・ 土被り 14.6～10.5m
- ・ 掘削延長 393.75m × 往復
- ・ 曲率半径 R160m , R600m

(2) セグメント区間……初期の35リング分が中子型のRCセグメント、全て160mRの曲線

- ・ 当初、シールド本体とグリッパリングとをボルトにて固定して、従来のシールドと同様にシールドジャッキの伸動作にてシールド本体を前進させる方法をとった。ところが、シールドジャッキだけでは160mRの曲線の方向制御が難しくなり、シールド本体とグリッパリングを固定していたボルトを外して自走方式により前進してからセグメントを組む方法を途中から併用した。
- ・ 本機は、セグメントを組む位置にあたるテールプレートの下半が無いため、セグメントの位置決めが難しく施工において十分に注意してセグメントの組み立てを行なった。

(3) 自走区間

- ・ 計画通りの地山に対しては、順調に稼動したが、一部土質が軟弱な区間では、グリッパ等の反力が地山にとれず自走ができないところがあった。このような場合には、支保工を補強してシールドジャッキにより反力をとる方式を採用した。
- ・ 自走区間では、支保工を組み立てた後に、吹付け作業を行なうが、吹付け材のシールドへのね返りが多く、エレクトラ装置に対しては特に注意が必要であった。

5. あとがき

自走シールドという全く新しい開発機種でもあり、実施工にあたって多少の問題はあったが、8月現在、往路の掘進を終了し、Uターンをしている。本1号機を通じて、自走シールドの十分な成果が得られるものと確信する。本機の開発に当り、終始御指導を賜った仙台市交通局殿をはじめ、実施工での関係各位に対して深く御礼を申し上げるものである。尚、施工をはじめ詳細についてはあらためて別の機会をかりて報告したい。