

# Non-SC 型泥土圧シールド機の開発

## —新排土システムの実証—

三澤孝史\* 畑山栄一\*\* 佐々木 猛\*\*\*  
佐々木健一\*\*\*\* 村中浩昭\*\*\*\*\*

### 1. まえがき

泥土圧シールドは、「トンネル標準示方書 シールド工法編」<sup>1)</sup>によれば、『添加材を注入しながら回転カッターヘッドで掘削した土砂と添加材を強制的に攪拌して土砂を塑性流動化させ、土圧シールドと同様に切羽の安定を図りながら、スクリュコンベヤ等で排土するシールドである。』と定義されている。しかし、中小口径断面ではスクリュコンベヤのサイズはシールド機長に比べ長く、これがシールド機後方の作業性を著しく悪くしており、初期掘進時や急曲線施工時の施工性も悪くしている。

このような状況を改善するために、スクリュコンベヤ(SC)を使用しない新しい排土システム(以下、新排土システムという)を備えた「Non-SC 型泥土圧シールド機」の開発を行った。

新排土システムについて、各種の実験によりその性能を確認した後、泥土圧シールドの工事現場に適用し、最終的な検証を行った。

その結果、セグメントの搬入・組立作業が改善されて作業性が向上することが明らかになった。また、初期掘進時における施工性も向上することが明らかになり、これらより、新排土システムの有用性を実証することができたと考える。

本報では、新排土システムの概要、各種の性能確認実験結果および現場適用結果について示す。

### 2. 新排土システムの概要

#### 2.1 開発目標

泥土圧シールド工法の坑内作業環境の改善と生産性の向上を目的として開発を行った。

開発目標を以下に示す。

- ① 切羽の土圧管理が可能
- ② 圧送距離は、後続台車までの約 40 m のパイプ搬送が可能
- ③ 適用地盤は、粘性土から 50 mm 程度の礫を含む砂質土までの適用が可能

#### 2.2 新排土システムの機内設備

新排土システムは、スクリュコンベヤに代わりミキシング装置と土砂搬送装置から構成されている。

図-1 に新排土システムのシールド機内設備例を示す。また、図-2 に従来形式のスクリュコンベヤ設備例を示す。

図-1、2 を比較すると、新排土システムではスクリュコンベヤが無くなることにより機内作業スペースが大幅に広がっていることがわかる。

##### a. ミキシング装置

写真-1 にミキシング装置を示す。ミキシング装置は水平 2 軸の強制攪拌式で、各軸は独立して油圧モーターで駆動することができ、無段階変速である。

この装置は、掘削土をスライス、粉碎、ミキシングすることで、パイプ搬送を行いやすい性状に改質する。一般の強制攪拌機より高回転数、高軸トルクであるので、粉碎能力が高い。要素実験では、一軸圧縮強度 20 N/mm<sup>2</sup> の固結物の粉碎も可能であった。

##### b. 土砂搬送装置

土砂搬送装置を写真-2 に示す。本装置は、搬送材の粘性性と回転するディスク板の摩擦力、および微小の遠心力で搬送する。そのため、装置内部を通過する搬送材の流れがスムーズで急激な速度変化を伴わない。従来、搬送が困難とされていた高粘性の搬送材を搬送することができる。

作動原理は、二つの円盤を平行に繋げたディスク板が回転を始めると、ディスク板と接している搬送材も、搬送材とディスク板との摩擦力により回転を始め

\*技術研究所 \*\*技術本部技術開発部 \*\*\*技術本部環境プロジェクト部 \*\*\*\*関西支社土木部

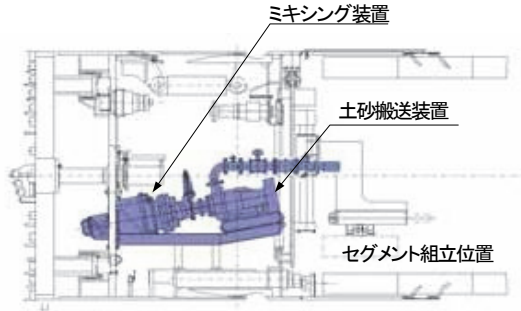


図-1 新排土システムのシールド機内設備例

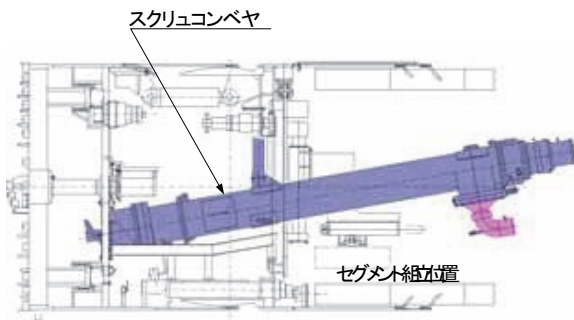


図-2 従来形式のシールド機内設備例

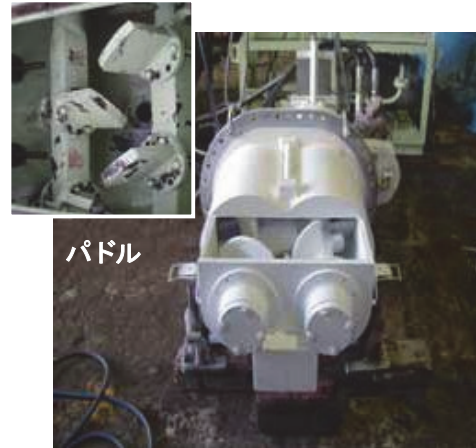


写真-1 ミキシング装置

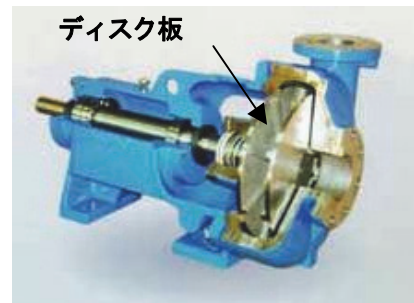


写真-2 土砂搬送装置

る。搬送材はディスク板に近いほど速く回転し、速度は次々に隣り合う層に伝達していく。ディスク板から遠い中央部も次第に回転速度が増加していき、搬送材は遠心力によりディスク板の外側へと排出される。

### 2.3 新排土システムの特長

本システムの特長を以下に示す。

- ① シールド機内の作業空間が広く、セグメント搬入・組立や測量の作業性が向上する
- ② シールド初期掘進時の施工性が向上する
- ③ スクリュコンベヤとセグメントの干渉がなくなり、急曲線施工への対応が可能である

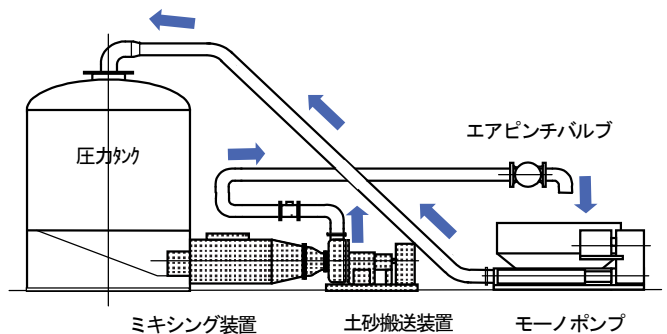


図-3 搬送予備実験装置の概念図

### 3. 性能確認実験

新排土システムの開発にあたり、ミキシング装置および土砂搬送装置単体について要素試験により性能を確認した後、性能確認実験によりシステムとしての性能を確認した。

性能確認実験の主な目的は、切羽土圧を制御しながら、40 m 以上の搬送が可能であることを確認することである。

実験は、最初に搬送予備実験として循環実験を

行った後、搬送実験を行った。

#### 3.1 搬送予備実験

##### a. 搬送予備実験の概要

搬送予備実験では、新排土システムの切羽土圧制御性を確認することを目的に行った。

実験装置の概念図を図-3に示す。

実験は、モノポンプにより、想定したシールド機の掘削速度に合わせた流量の搬送土を圧力タンク（シ

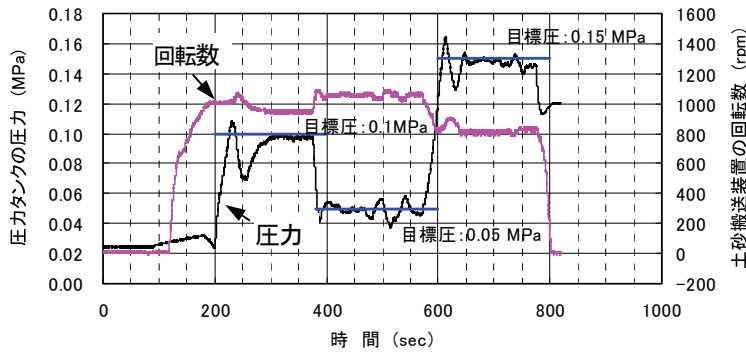


図-4 搬送予備実験結果の一例

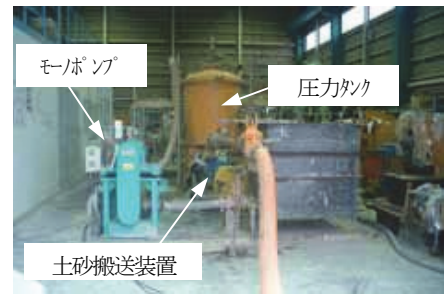


写真-3 搬送実験状況

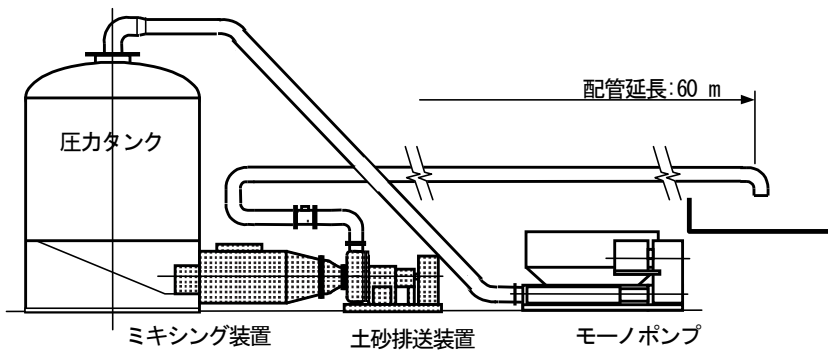


図-5 搬送実験装置

表-1 搬送実験に用いた掘削土の粒度分布

粘土分 (5 μm 未満) %	シルト分 (5~75 μm) %	砂分 (75 μm~2mm) %	礫分 (2~75mm) %	最大粒径 mm
49	42	9	0	0.425

表-2 搬送実験に用いた掘削土の物性

湿潤密度 $\rho_t$ g/cm <sup>3</sup>	乾燥密度 $\rho_d$ g/cm <sup>3</sup>	土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	自然含水比 %	間隙比 e	飽和度 $S_r$ %
1.746	1.233	2.671	41.6	1.166	95.3

ールド機のチャンバーを模擬) に送り、そのタンク内の圧力(切羽土圧に相当)を土砂搬送装置のディスク板の回転数により制御しながら、再びモノポンプの土砂ホッパー内に循環させた。

実験は、掘進速度(流量)を一定として、1ケースの中で目標切羽土圧を0.10→0.05→0.15MPaと変化させて、土砂搬送装置の切羽土圧制御性を確認した。また、開発目標の搬送距離に相当する搬送抵抗をエアピンチバルブに圧力をかけることにより模擬的に表現した。

b. 搬送予備実験結果

搬送予備実験結果の一例として、掘進速度3cm/min、エアピンチ圧0.3MPaとした場合の圧力タンクの圧力と土砂搬送装置のディスク板の回転数を図-4に示す。

図より、目標圧力に対して、初期は比較的変動が大きいですが、即時に目標値に収束し、一旦収束してからの圧力変化は小さく安定している。

また、土砂搬送装置のディスク板の回転数は、目標圧力を0.05~0.15MPaまで変化させるのに、800~1100rpmの範囲で制御が行われている。

以上のように、新排土システムにより、切羽土圧を制御可能であることを確認した。



写真-4 排土状況  
(圧送距離 40m 地点)



写真-5 排土状況  
(圧送距離 60m 地点)

### 3.2 搬送実験

#### a. 搬送実験の概要

搬送実験状況を写真-3に、実験装置を図-5に示す。実験は、搬送予備実験と同様にモノポンプにより、掘進速度に相当する掘削土をタンクに送り、目標切羽土圧を維持するように土砂搬送装置の回転数で制御しながら 60m (4 吋管) 圧送した。掘進速度は 1 cm/min から 5cm/min まで段階的に変化させて行った。

搬送土は、シールド工事現場の掘削土を用いた。表-1、2に、実験に用いた掘削土の粒度および物性を示す。

#### b. 搬送実験結果

写真-4、5に、配管延長 40m 地点および 60m 地点における排土状況を示す。圧送距離 60m においても圧送距離 40m と同様に良好な排土状況であった。また、搬送土のスランプは、最小が 13.5cm であった。

切羽土圧の制御性に関しては、目標切羽土圧 0.05MPa とした場合において、切羽土圧 (タンク内の圧力) は 0.03~0.05 MPa であった。

## 4. 現場適用

### 4.1 概要

新排土システムを下記のシールド工事現場に適用し、システムの最終的な検証を行った。

表-3 新排土システムの仕様

ミキシング装置	
形式	2軸強制攪拌ミキサー
回転数	0~60rpm
駆動トルク	No.1軸 1.9N・m×21MPa
	No.2軸 1.9N・m×9MPa
土砂搬送装置	
形式	ディスク回転型
電動機	37kW×4P×440V
回転制御	インバータ制御
搬送量	48m <sup>3</sup> /hr

#### [工事概要]

シールド外径：φ3,290mm

セグメント内径：φ2,600mm

土質：砂質土 (砂分率 60~70%)

初期掘進区間の約 45m に新排土システムを適用した。以降の本掘進では、従来のスクリュコンベヤに入れ替えている。

### 4.2 適用した新排土システム

新排土システムの設備配置を図-6に、同システムの仕様を表-3に示す。

### 4.3 適用結果

#### a. 施工性・作業性

写真-6に新排土システムの機内設備状況を、写真-7に初期掘進区間以降にスクリュコンベヤに入れ替えた後の機内設備状況を示す。

写真からもわかるように、新排土システムではセグメント搬入・組立等のシールド機テール部の作業空間が大幅に改善されている。

#### b. 土砂の搬送性

新排土システムにおける排土状況を写真-8に、搬送土の性状を写真-9に示す。表-4に搬送土の粒度および物性を示す。

適用した初期掘進区間における最大搬送距離は 45m 程度であったが、従来形式と比べ、加泥率等をほとんど変えることなく土砂の搬送が可能であった。

#### c. 切羽土圧制御

施工データの一例として、新排土システムの掘進 1 リング中の切羽土圧および掘進速度を図-7に、スクリュコンベヤを使用した場合を図-8に示す。切羽土圧制御については、土砂搬送装置の回転数を調整す

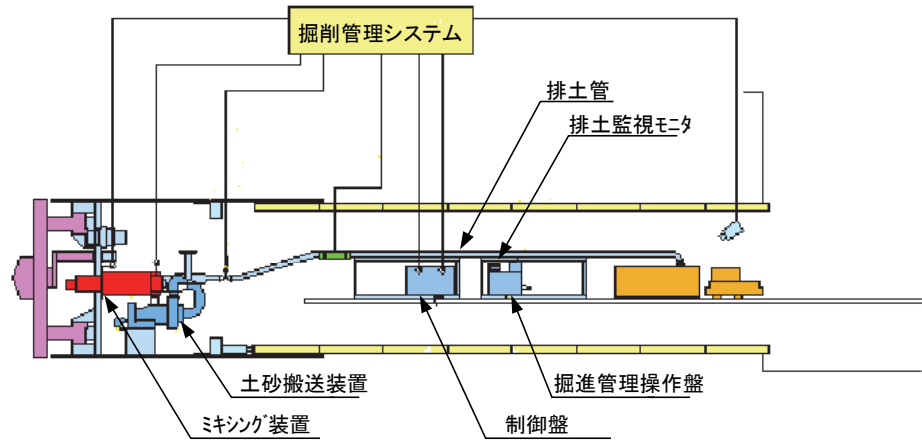


図-6 新排土システムの設備配置



写真-6 新排土システムの機内設備状況



写真-7 スクリュコンベヤの機内設備状況

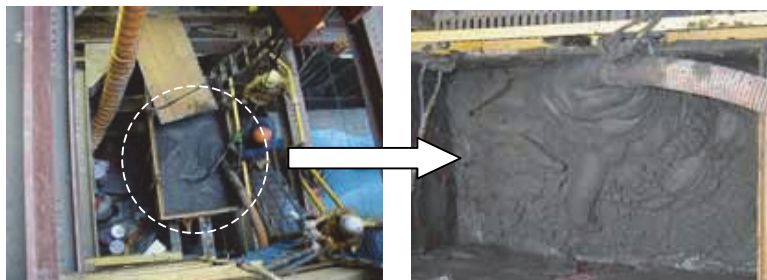


写真-8 排土状況



写真-9 搬送土の性状  
(スランプ: 11cm)

ることにより、スクリュコンベヤによる従来システムとほぼ同等であることが確認できた。

## 5. まとめ

今回開発した泥土圧シールド機用新排土システムは、

ミキシング装置と土砂搬送装置から構成された新たなシステムであり、スクリュコンベヤを使用しないことが大きな特長になっている。φ2.0 m 級のシールド機でも機内にコンパクトに収納できるため作業空間が広くなり、作業性が向上する。

ミキシング装置は、掘削土砂のスライス、粉碎、

表-4 搬送土の粒度および物性

リング No.	粘土分 (5 $\mu$ m未満) %	シルト分 (5~75 $\mu$ m) %	砂分 (75 $\mu$ m~2mm) %	礫分 (2~75mm) %	最大粒径 mm	土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	自然含水比 %
8	14.0	29.1	56.4	0.5	4.75	2.681	32.2
15	9.9	24.5	53.4	12.2	9.5	2.696	31.4

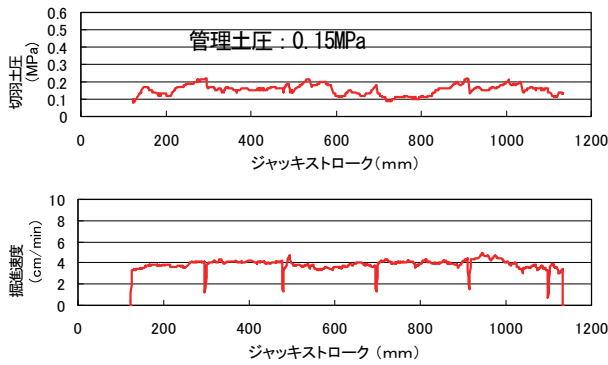


図-7 新排土システムの施工データ

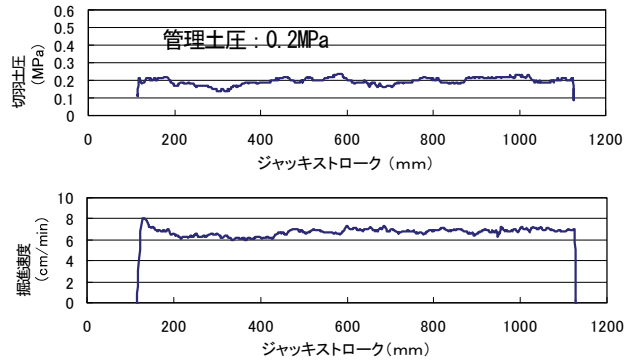


図-8 スクリュコンベヤの施工データ

ミキシングを行う役割があり、掘削土を均一に混練することで塑性流動化を促進させることができる。これにより土砂搬送装置による土砂のパイプ搬送性も向上する。また、土砂搬送装置の回転数制御により、安定した切羽土圧の管理ができる。

現場適用の結果、確かめられたことを以下にまとめて示す。

- ① シールド機内の施工性や作業性が大幅に改善された
- ② スクリュコンベヤを使用した従来機と同様に切羽土圧制御が可能であった
- ③ 加泥材濃度と加泥率は、従来機とほとんど変わらなかった

今後、新排土システムを装備した「Non-SC型泥土圧シールド機」の特長を活かせる工事への適用を図っていきたいと考えている。

最後に開発に際し多くの方々から貴重なご意見、ご指導を頂いた。関係各位に深甚の謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 土木学会、「トンネル標準示方書シールド工法編・同解説(平成8年版)」、p. 20