

シールド発進立坑用地を縮小化する 省面積システムの開発

鈴木 茂・市川 裕一・田畑 覚士

シールド工事の施工にあたっては、発進立坑用地の確保が不可欠であるが、過密化した都市部においては、従来の設備計画に必要な用地の確保が年々困難な状況にある。このような状況の中で筆者らは、平成7年に泥水式シールドについての実証施工以来、立坑用地の縮小化にかかわる要素技術を開発し、システムを実工事に適用してその有効性について確認を行い、今回、シールド工事における一連の省面積システムの開発に至った。

キーワード：シールド工事、泥水式シールド、土圧式シールド、省面積システム、省スペース

1. はじめに

過密化した都市部のシールド工事では立坑用地の確保が年々困難な状況にあり、計画範囲に公園や空地などの候補地があっても広さや形状が適当ではなく、標準的な設備配置ができない事例も増えている。

このような場合、設備の重層化や掘進量を抑えることによる設備の小型化、ルート変更などで対応する例もあり、結果として安全性や施工性の低下、建設コストの増加、周辺環境の悪化などが懸念される。シールド発進立坑用地を縮小化する省

面積システムは、このような状況に対処すべく、新しい要素技術の確立と、コスト縮減や環境対策を目標に開発した技術である。

省面積システムは、泥水設備と土砂搬送設備および坑外設備により構成されているが、現場の状況や目的に応じてシステムを組合せて採用することで、従来の工法に比べて用地の占有面積を、泥水式で1/3、土圧式で1/2までの縮小を可能とする。本報文では、本システムの要素技術について、実工事における結果を踏まえて解説を行う。

図-1に、泥水式シールドにおける設備配置の比較を示す。

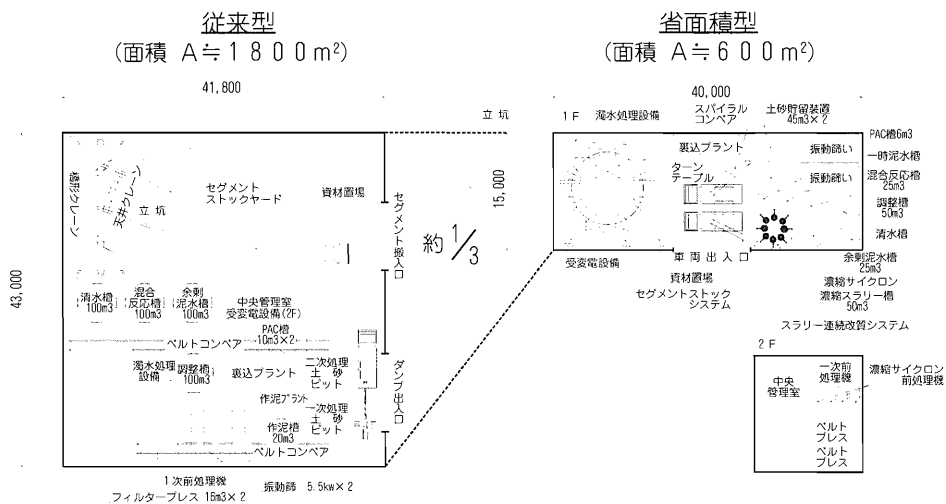


図-1 従来型および省面積型の設備配置の比較（泥水式シールド）

2. 泥水式シールド省面積システム

泥水式シールド省面積システムは、固形回収システム、リアルタイム切羽安定管理システム、泥水濃縮システム等の5つの要素技術から構成される。システムの概要を図-2に示す。

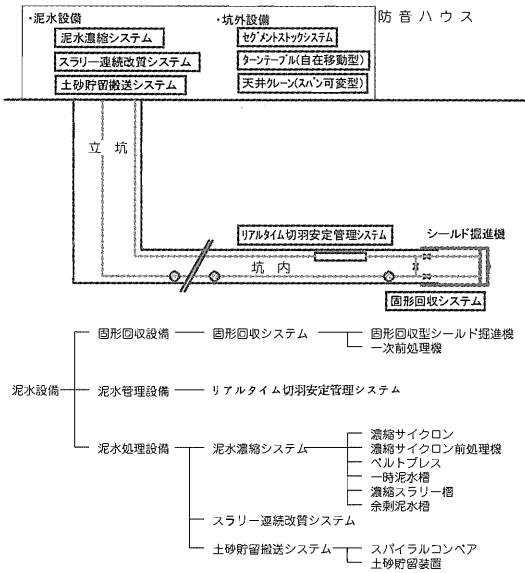


図-2 泥水式シールド省面積システムの概要

(1) 固形回収システム

固形回収システムは、地山を輸送中の排泥管内で輸送可能な最大形状に切削し、固形状態で回収し、建設汚泥の発生量を抑制するシステムである。

固形回収システムの切削は、図-3に示すように、まず先行ビットにより溝状掘削を行う。次にメインビットで溝間の凸部を切り出すことにより、固形状態での地山切削が可能となる。シールドジャッキ速度、カッター回転速度を制御することにより、切削する地山の奥行きを決定する。さ

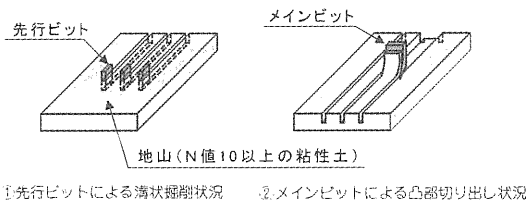


図-3 切削イメージ

らに、カッター回転速度により、切り出し断面が変化することから固形物の長さを決定する。

先行ビットによる溝状切削の奥行きを制御するために、シールド機の掘進方向に伸縮型先行ビットを装備する場合もある。

図-4は、 N 値10、シルト粘土含有率95%の粘性土層を掘進した際の、固形回収率と先行ビットの切込み厚の関係を示したものである。切込み厚を大きくすることにより、回収率が高くなる事が分かる。ただし、30 mm以上の切込み厚で切削を行うと、カッタトルクの上昇や、チャンバ内での閉塞を引起こすことを確認している。

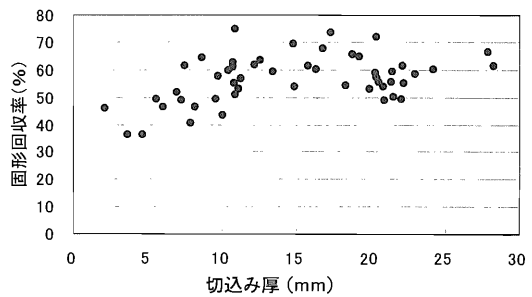


図-4 固形回収率-切込み厚相関図

固形物を最大に回収する掘削を行っても、流体輸送中には固形物の溶解が生じる。そのため、輸送後の回収率は、表-1に示す地山部での固形回収率に、表-2に示す輸送による溶解低減係数を乗じて補正を行う。なお、溶解による低減率は、

表-1 固形回収率 (参考値)

地山のシルト、粘土含有率 (%)	固形回収率 (%)		
	$10 \leq N < 20$	$20 \leq N < 30$	$30 \leq N$
60 以上 80 未満	10	20	30
80 以上 90 未満	30	40	60
90 以上	40	60	70

表-2 固形回収率の低減係数設計値 (参考値)

地山のシルト、粘土含有率 (%)	$10 \leq N < 20$				$20 \leq N < 30$				$30 \leq N$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
60 以上 80 未満	0.80	0.65	0.50	0.40	0.80	0.65	0.55	0.45	0.80	0.70	0.55	0.50
80 以下 90 未満	0.80	0.65	0.50	0.40	0.85	0.70	0.60	0.50	0.85	0.80	0.70	0.60
90 以上	0.80	0.65	0.50	0.40	0.85	0.75	0.65	0.55	0.90	0.85	0.75	0.70

- A 掘進延長が 0~ 500 m 区間の低減係数
- B 掘進延長が 501~1,000 m 区間の低減係数
- C 掘進延長が 1,001~1,500 m 区間の低減係数
- D 掘進延長が 1,501~2,000 m 区間の低減係数

実験により確認した。

(2) リアルタイム切羽安定管理システム

リアルタイム切羽安定管理システムは、調泥剤槽、粘土計、スタティックミキサ等で構成されたユニットで、作泥槽、CMC槽、粘土溶解槽などで構成される泥水調整設備に代わるものである。当システムは、シールド切羽後台車に配置されるため、地上部の泥水調整設備にかかわる必要面積を削減できる。

このシステムの特長は、切羽の泥水管理を比重主体から粘性主体に変更した点にある。砂質地盤では所定の粘性を確保することにより難透水性の薄層浸透域が形成され、粘性主体管理の有効性が発揮されることを確認している。また、特に透水性の高い地盤では、必要に応じて地山粒度に適合した粒径の目詰め材を添加することにより逸泥を防ぐ必要がある。増粘材としては溶解性の高い高分子系増粘材を、目詰め材としては吸水性樹脂を使用して直接送泥管中に添加し、送泥ライン上に配置されたスタティックミキサで攪拌して混合する(図-5参照)。

泥水粘度の自動計測と調泥材の注入により、適切な泥水性状の変更を瞬時に行うことができ、より安定した切羽管理が可能となった。

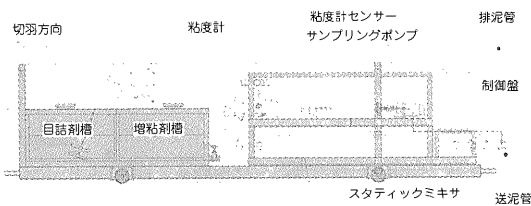


図-5 リアルタイム切羽安定管理システムの設備図

(3) 泥水濃縮システム

泥水濃縮システムは、従来の泥水式シールドにおいて二次処理設備に多く使用されるフィルタプレスに代わる設備であり、濃縮サイクロンとベルトプレスで構成される。濃縮サイクロンは、円筒部直径50mmの小型サイクロンを12基円周上に配置した集合型のサイクロンである。サイクロンの単体は図-6のような構造になっており、泥水を接線方向から圧力を加えて(約0.2N/mm²)供給することにより、泥水に高速回転運動が加え

られ、遠心力と重力により粗粒分は下方に排出され、良好な泥水は上方からオーバーフローする構造となっている。アベックスバルブの絞り径を変化させることにより、比重と流量を調整することができ、効率の良い分級が可能である。ただし、濃縮サイクロンの分級点は20μm程度であるた

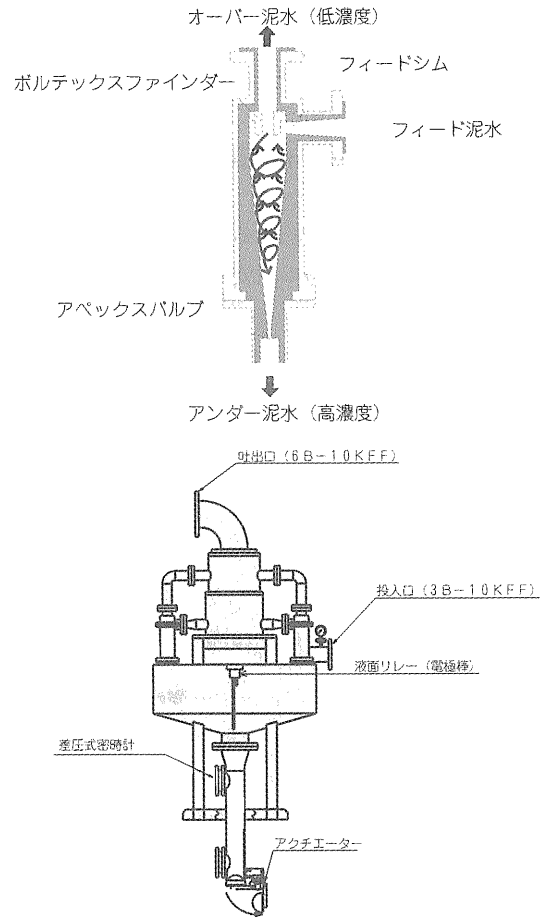
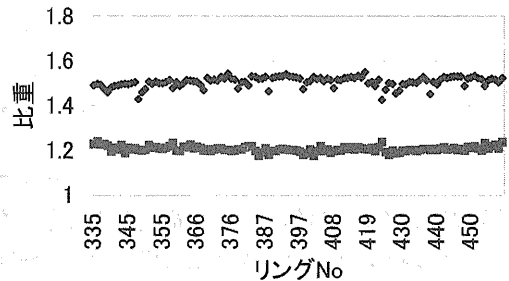


図-6 濃縮サイクロン構造図



■ 供給泥水比重, ◆ 濃縮泥水比重

図-7 濃縮サイクロンの分級効果確認

め、それ以下の粒子は分級が困難となる。

ベルトプレスは、濃縮サイクロンで分級できない微粒分を処理する目的で使用する。

実証実験工事において各リングごとの、濃縮サイクロンに供給した泥水の比重、分級されたアンダー泥水の比重データを図-7に示す。この図から、供給泥水の比重約1.2が1.5程度まで濃縮されていることがわかる。なお、このときのアンダー流量は、約2.0 m³/h程度であった。

3. 土圧式シールド省面積システム

土圧式シールドに対応する技術には、土砂搬送設備がある。システムの概要を図-8に示す。

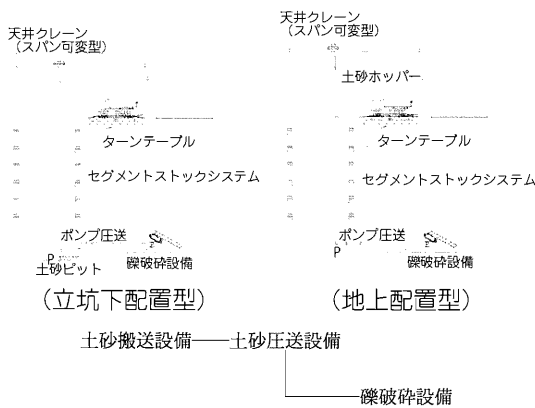


図-8 土圧式シールドにおける省面積システムの概要

土圧式シールド工法で用地面積を縮小化する場合、土砂搬送技術の中でも土砂圧送は、掘削土砂の貯留設備を用地内の任意の場所に配置可能とするため、重要かつ必要な技術となる。

立坑用地の縮小化にあたっては、後述の坑外設備の有効活用が必要不可欠となるが、適切な配置計画を限られた用地および空間に行うためには、掘削土砂の搬送および貯留設備（土砂ホッパー等）の配置位置にも自由度を持たせることが必要となる。

そこで、土砂圧送設備では、掘削土砂のポンプ圧送に関わる従来技術の、圧力損失の考え方を整理し、土砂圧送ポンプの適用土質の範囲を、砂礫層にまでの拡大を可能とする礫破碎設備の導入を検討した。

(1) 土砂圧送設備

掘削土砂の圧送は、従来からある技術である。この土砂圧送ポンプによる土砂搬送では、完全密閉型の掘削土砂搬送方式の形成が可能となり、切羽高水圧が作用する場合の噴発防止対策としても有効であるなどの効果がある。圧送ポンプの基本的な考え方は、社団法人土木学会で発行されている「コンクリートのポンプ施工指針」で紹介されている圧力損失の計算式を準用し、今回、統一を図った（図-9参照）。

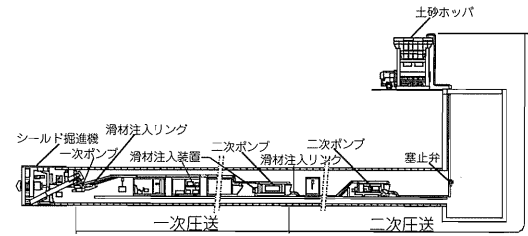


図-9 土砂圧送区分

(2) 礫破碎設備

土砂圧送設備は、粘性土層や砂層などの比較的軟弱で均一な土質に採用されることが多い。砂礫層においては礫を効率的に破碎したり仕分けする技術が少なく、土砂圧送設備が採用にいたった事例は少なかった。礫破碎設備は、スクリーコンベヤを通過する175～340 mm程度の礫や玉石を、土砂圧送設備の排土ライン上で、圧送可能な

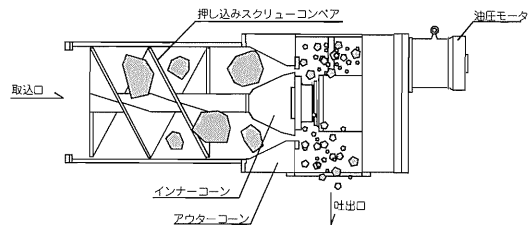


図-10 礫破碎設備の概要

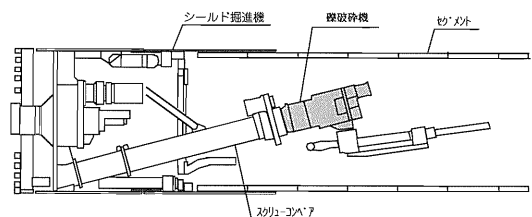


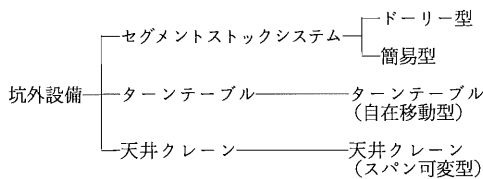
図-11 礫破碎設備配置図

50～70 mm の粒径に破碎する設備で、礫や玉石を含むような砂礫層においても土砂圧送設備の適用を可能とする。

礫破碎設備の概要を図—10、図—11 に示す。

4. 共通省面積システム（坑外設備）

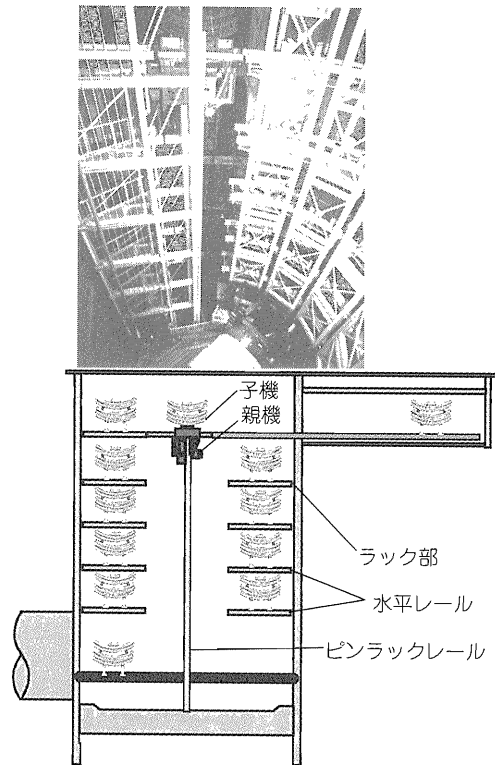
坑外設備にかかわる省面積設備は、図—12 に示す3つの設備により構成され、泥水式および土圧式に共通して採用が可能である。



図—12 坑外設備の概要

(1) セグメントストックシステム

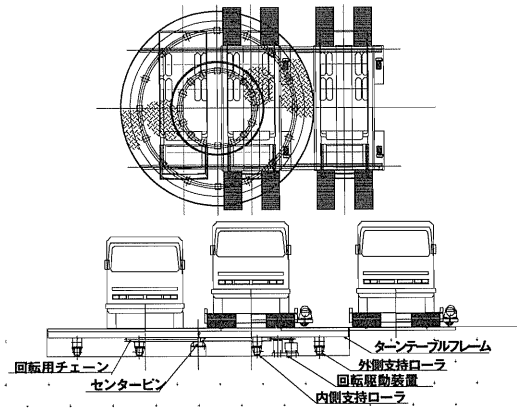
本システムには、立坑内の未使用空間を有効利用するドーリー型と、地上および副立坑の空間を有効利用する簡易型がある。セグメントストックヤードの確保が困難な場合でも、セグメントの立体的な配置によって、省面積化できる。ドーリー型は図—13 に示すように、上下走行用にピンラックレールを使用し、昇降用装置（親機）が上下動し、また、水平方向はセグメントラックに設置された水平走行レールに沿って水平搬送装置（子機）が移動する構造となっている。ドーリー型はセグメントの種類により、3タイプの規格がある。



図—13 セグメントストックシステム（ドーリー型）

(2) ターンテーブル（自在移動型）

ターンテーブルの採用により、狭い発進立坑用地内への車両の動線を確保し、トラバサの組合わせにより同時に複数台の車両の搬入が可能となる（図—14 参照）。



図—14 ターンテーブル（自在移動型）

(3) 天井クレーン（スパン可変型）

天井クレーン（スパン可変型）を採用することで、発進立坑用地の形状が異形であっても効率的に設備を配置でき、立坑用地を無駄なく利用することができる。天井クレーン（スパン可変型）は、

図—15 に示すように固定、移動の二つのガーター構造となっている。

移動方法は、走行レールに対し水平方向には、固定ガーターに設置されたクレーン走行モータにより従来どおり走行し、走行レールに対し直角方向には、ホイスト走行モータと移動ガーターに設置された移動ガーター走行モータにより移動する構造である。

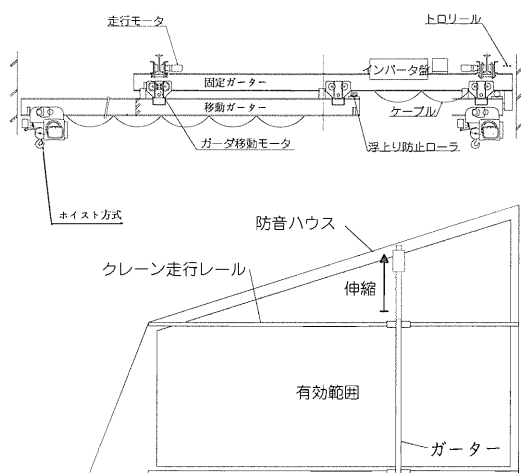


図-15 天井クレーン（スパン可変型）

5. 施工実績

平成7年に泥水式シールド工事に於いて、省面積システムの要素技術であるリアルタイム切羽安定管理システムと泥水濃縮システムの実証施工が行われて以来、各自治体などで積極的に採用され、土圧式シールドでの土砂搬送設備の採用1件を含み、現在までに13件の施工実績がある。

6. おわりに

省面積システムの開発では、立坑用地の省面積化と環境保全を対象として研究を進めてきた。その成果として、立坑用地の占有面積を従来の工法に比べ、泥水式で1/3、土圧式で1/2までの縮小を達成している。また、産業廃棄物となる二次処理土の減量化や設備の省電力化などの環境保全対策にも効果を発揮するとともに、作業環境の改善

や安全性の向上にも寄与している。

省面積システムは、複数のシステムから構成され、現場状況に応じた任意の組合せが可能である。システムの内容とその効果を理解し、適切なシステムを選択が重要である。

なお、本システムの開発にご協力、ご助言いただきました方々に感謝の意を表します。

J C M A

《参考文献》

- 1) シールド発進立坑用地を縮小化する省面積立坑システム設計マニュアル(案)〔泥水シールド編〕(1999年6月), 財団法人下水道新技術推進機構
- 2) シールド発進立坑用地の省面積システム設計マニュアル〔泥水シールド編〕2000年改訂版(2001年3月), 財団法人下水道新技術推進機構
- 3) シールド発進立坑用地の省面積システム設計マニュアル〔土圧シールド編〕(2001年3月), 財団法人下水道新技術推進機構

〔筆者紹介〕



鈴木 茂(すずき しげる)
財団法人下水道新技術推進機構
企画部長



市川 裕一(いちかわ ゆういち)
財団法人下水道新技術推進機構
研究第二部
主任研究員



田畑 覚士(たばた さとし)
戸田建設株式会社東京支店
土木部工事課