

# シールド発進立坑用地の省面積化システム に関する共同研究

## 1. 研究目的

密集した市街地でのシールド工事において、発進立坑用地の確保が困難になってきており、また確保できたとしても面積が小さかったり、形状が不適当である等、従来の標準的な設備配置が困難なケースが増えてきている。本研究ではこのような状況に鑑み、シールド発進立坑用地の必要面積を小さくし(省面積化)、様々な用地形状に対応できる技術を開発することを目的としている。省面積立坑システムは、現時点で図-1に示すように7つのシステムが開発されており、現場の状況や目的に応じて、必要なシステムを組合わせて採用することで省面積化を図る。従来は、ただ単に設備配置を重層化したり、無理に詰めて配置するのに対し、本システムは、安全性、施工性を損なうことなくシールド発進立坑用地の必要面積を縮小し、用地の確保と周辺環境の向上を可能にする画期的な技術である。

本研究は、システムの開発を進めるとともに、実証施工によるデータの蓄積と普及のために設計マニュアル(案)の作成を行う。

## 2. 研究体制と経緯

本研究は、平成5年度より本機構と戸田建設株式会社との共同研究で開始された。

平成5、6年度は、省面積化の技術的な可能性を探

る基礎研究を行った。その結果、リアルタイム切羽安定管理システム、セグメントストックシステム等について提案した。また、省面積化された用地における立坑施工法についても検討している。これらの研究成果としてケーススタディーにおいて、泥水式シールドで従来比1/3、泥土圧式で1/2に発進立坑用地の必要面積を縮小できることを確認した。

平成7、8年度は、実証施工に向けて、「リアルタイム切羽安定管理システム」と「濃縮サイクロン」の要素技術の開発研究を行った。そして、実際の工事現場における施工性を研究するため、神奈川県大磯町汚水幹線の泥水式シールド工事において、前記2つの要素技術を採用し、約50%の省面積化が図られ、実施工での安定した性能を確認した。

平成9年度は、要素技術の1つである「濃縮サイクロン」について、さらに様々な土質に対する性能確認のための要素実験や、スパイラルコンベアの上砂搬送能力の性能確認試験を行った。また、千葉県柏市大堀川右岸第8号雨水幹線の泥水式シールドの現場において「リアルタイム切羽安定管理システム」と「濃縮サイクロン」、そして「スラリー連続改質システム」の3つの要素技術を採用し、実施工における課題と改善策について研究した。

## 3. 研究内容

平成10年度は要素技術の研究・開発として、セグ

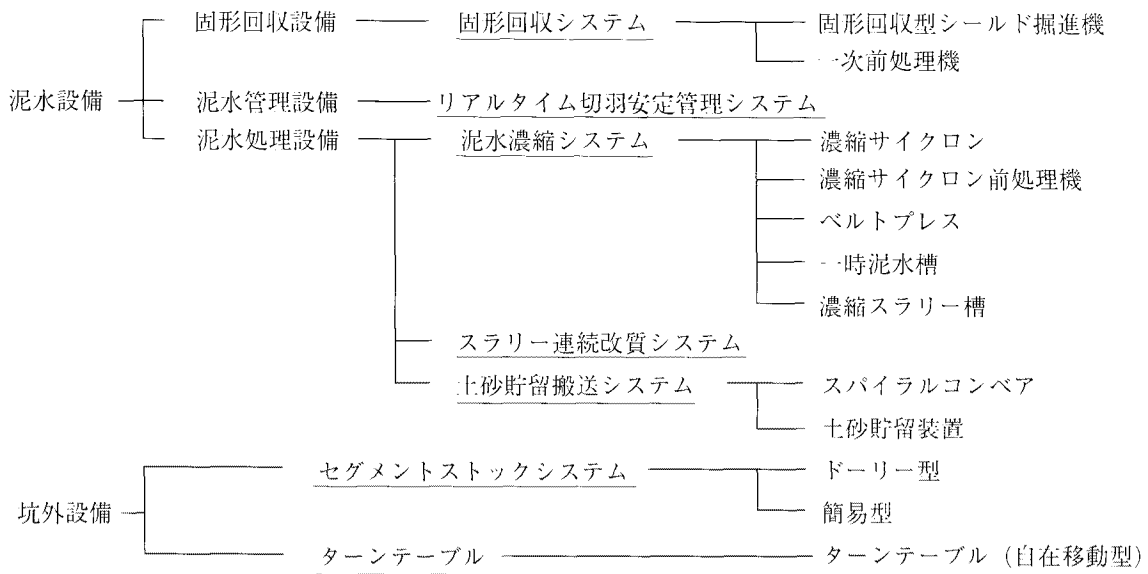


図-1 省面積立坑システムの構成

メントストックシステム（ドローリー型）の実機の開発と固形回収システムの要素実験を行った。

また、実証施工として、東京都下水道局中部建設事務所発注の千代田区外神田再構築工事（秋葉原）では、これまで研究されたほとんど全てのシステムを採用し、本システムの目標値である、従来型と比較して約1/3の用地面積まで省面積化された。横浜市下水道局発注の岡村支線工事では、泥水式シールドで発進立坑用地の面積が330㎡と極めて小さい面積で「濃縮サイクロン」を採用し施工中である。

### 3.1 要素技術の開発

#### 3.1.1 セグメントストックシステム

##### (1) セグメントストックシステムの概要

セグメントストックヤードは発進立坑用地の中で特に大きな面積を占めている。セグメントストックシステムは、セグメントを立坑内および地上用地に立体的に配置することで、未使用空間を有効利用し省面積化をはかる。これまで図-2に示すように、立坑内に配置するタイプとして、ハンガー型とドローリー型、地上に配置するタイプとして簡易型の計3タイプが提案されてきた。今回実機を開発するにあたって、ハンガー型とドローリー型を比較したが、ハンガー型は任意のラックにセグメントを収容可能なメリットがある反面、必要なラック高さが大きくな

り、浅い立坑では収容数が少なくなる。また、ドローリー型よりも構造が複雑なため、コストが高くなる。これらの理由から今回はドローリー型を開発することとした。

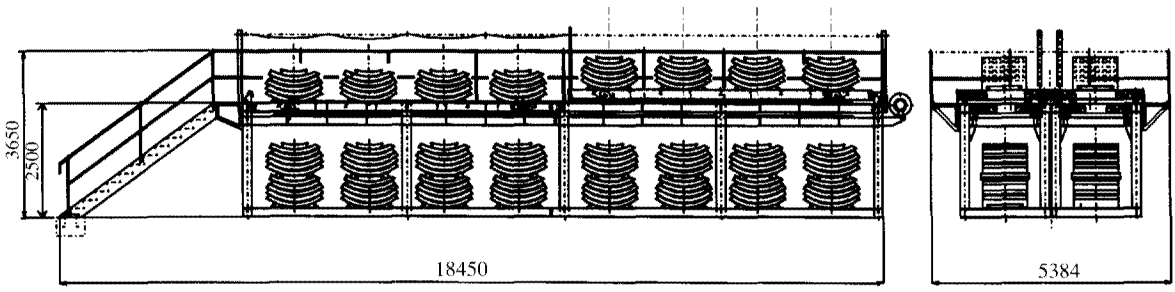
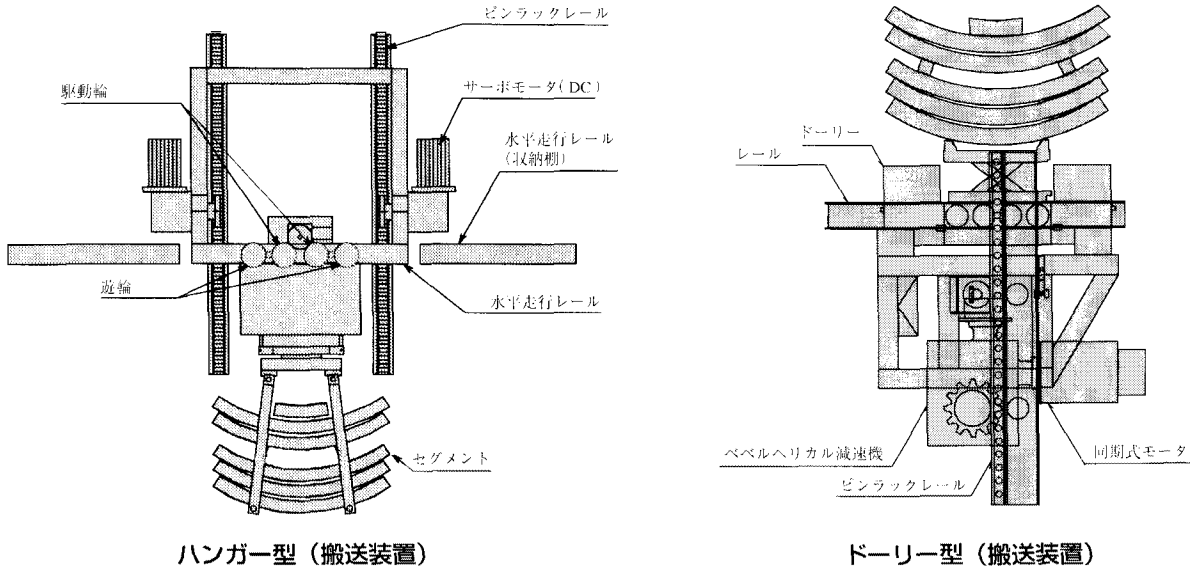
なお、簡易型は地上設置のため、省面積化に対する効果は若干低いものの、導入コストが安いので、これらの条件にあった東京都下水道局の工事で実機を製作し、採用された。

##### (2) ドローリー型

ドローリー型の実機開発にあたっては以下の事項に留意した。

- ・機器をできるだけ小型化すること。
- ・シンプルな構造とすること。
- ・セグメントの搬入、保管、搬出を自動化し、省力化と安全性の確保をはかること。
- ・コストダウンをはかるため、機器の標準化、ユニット化し、リース品として転用可能にすること。

ドローリー型は、図-3に示すように水平方向は、水平走行レールに沿って自走式の台車型搬送装置（ドローリー、子機）がセグメントを運搬する。上下昇降用にはピンラックレールを使用して昇降用搬送装置（親機）がセグメントをドローリーごと載せて上下動する。セグメントはドローリーのジャッキの上下によってユニット化されたストックラックの受台に仮置き、積込みが行われる。



簡易型  
図-2 セグメントストックシステム

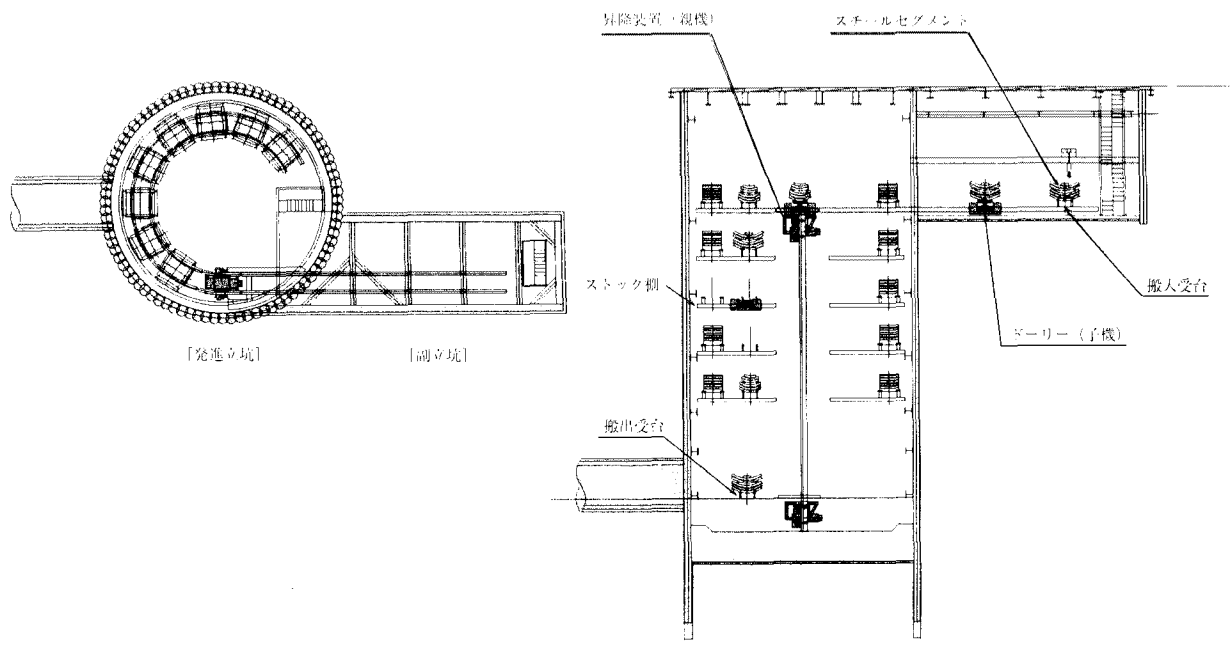


図-3 ドーリー型概要図

表-1 ドーリー型の適用範囲

	最大積載 質量 (kg)	スチールセグメント (SM490A)		スチールセグメント (SS400)		RCセグメント	
		セグメント 外径 (mm)	セグメント 質量 (kg)	セグメント 外径 (mm)	セグメント 質量 (kg)	セグメント 外径 (mm)	セグメント 質量 (kg)
ドーリー型 Ⅰ型	1200	1800～ 3350	292～ 1118	1800～ 2950	339～ 1171		
ドーリー型 Ⅱ型	8500	3550～ 6000	1387～ 2825	3150～ 6000	1287～ 3408	1800～ 6000	1645～ 7159

機器の標準化については、過去のシールド工事での実績データをもとに、セグメントの種類（スチールセグメント、RCセグメント）、セグメント外径、セグメント質量と実績数から検討した結果、表-1に示すようにⅠ型とⅡ型の2つのタイプによってセグメント外径1800mm～6000mmに対応することとし、今回はⅠ型の実機を開発した。

標準化によって、ストックラックがユニット化され、平面的には任意形状に配置可能で、設置時間も鋼材で組むよりも大幅に短縮された他、このストックラックや親機、子機といった水平走行レール以外の部材の転用が可能となった。

### (3) 実験結果

ドーリー型Ⅰ型の実機については、工場で3列2段のストックラックを地上に円形に組み、実際のスチールセグメントを用いて搬送実験を行なった。(写真-1)

ボタン操作1つでストックラックへの収納、搬出が自動で行われ、本システムによる省力化、安全性の向上が確認された。なお、このドーリー型Ⅰ型は、前出の秋葉原の工事で採用され稼働中である。

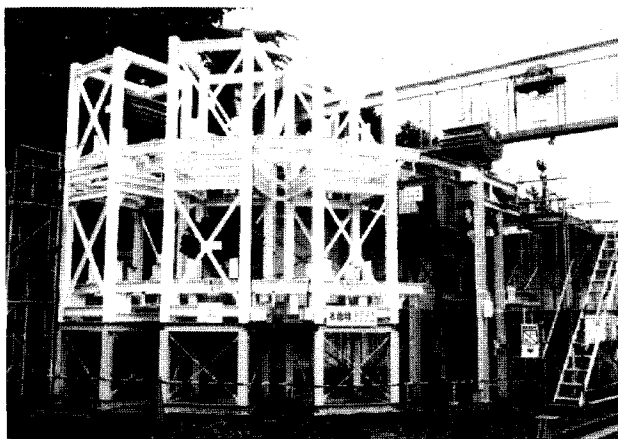


写真-1 ドーリー型の工場実験

### 3.1.2 固形回収システム

固形回収システムは、従来の泥水式シールドではなかった全く新しい考え方のシステムである。本システムは、固形回収型シールド掘進機と一次前処理機により構成される。固形回収型シールド掘進機は、地山を排泥管で輸送可能な最大径に切り出すため、先行ビットの伸縮量、カッター回転速度、シールドジャッキ速度の3つの制御項目を地山の特性に応じて管理し、切削土の形状や回収量を最適な状態に維持する。地山を固形状でより多く回収することで、一次処理設備や二次処理設備の負荷が軽減され、設備の小型化がはかれる。また、泥水中への粘土分の溶込み量が減少するため、二次処理によって発生する建設汚泥が減量化されるという新たな効果もある。

#### (1) 固形回収システムの概要

##### 1) 切削機構

固形回収型シールド掘進機における切羽での地山の切削イメージを図-4に示す。切削手順は、まず先行ビットによって地山に溝をすじ切りする。次にこの溝の間をメインビットによってすくい取るように切削する。これにより地山を固形状で切り出すことが可能になる。

##### 2) 固形回収型シールド掘進機

固形回収型シールド掘進機は図-5のように伸縮可能な先行ビットを有する。切削土の幅が先行ビットにより排泥輸送管で輸送できる最大立方体の辺寸法となるように地山をすじ切りする。テイスビットによる切削により掘削機の回転方向に発生する列断、せん断面の位置も辺寸法になるように先行ビットの伸縮量等を制御し、地山をできるだけ立方体形状で切出す。

##### 3) 一次前処理機

一次前処理機は、一次振動ふるいの前段、排泥

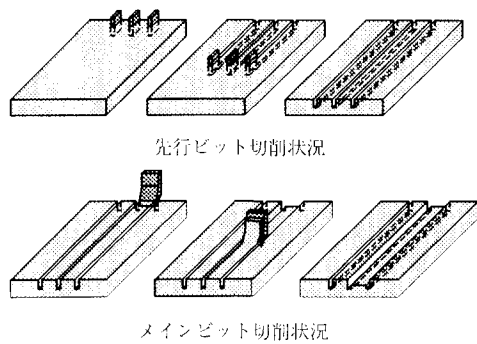


図-4 固形回収システムの切削イメージ

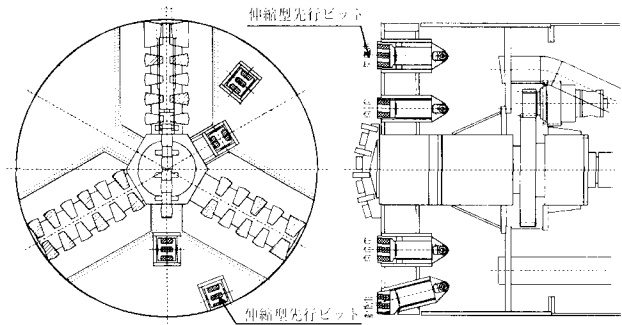


図-5 固形回収型シールド掘進機

水処理工程の最初の段階で、泥水と固形状の土砂とを分離し回収する設備である。回転ドラム式で20mmメッシュを採用している。処理機前後に流量計を設置し、排泥流量の差から一次前処理機での固形状土砂の回収量を確認できるようになっている。

4) 固形回収量の制御方法

一次前処理機での固形物の回収量のデータをもとに、最大回収量と排泥管が閉塞しないような最大形状を目標にして、先行ビットの伸縮量、カッター回転速度、シールドジャッキ速度の3つの項目について制御する。

(2) 切削実験

実施工に先立って、メインビットとなるティースビットの刃先形状や先行ビットの配置等が、切削土(固形状土砂)の形状にどのような影響を与えるかを要素実験により確認した。実験には専用の切削実験機(写真-2)を用い、水平地盤をビットで切削した。

1) 実験方法

実験条件は、以下のパラメータで行った。実験対象土は、砂質シルト及び泥岩である。

- ・先行ビット：ルーフ角，切込量，配置（メインビットの中央に配置，メインビットの両端に配置）
- ・メインビット：ルーフ角，スクイ角，切込量

実験方法は、以下の手順で行った。

- ① 地山を平坦に整地し、先行ビットのついた実験機を据え付ける。
- ② 先行ビットにて切削する。
- ③ 20mm以上の固形状態での回収量，寸法を測定する。
- ④ 実験機から先行ビットを取外し，メインビットを取付けて切削する。
- ⑤ 20mm以上の固形状態での回収量，寸法

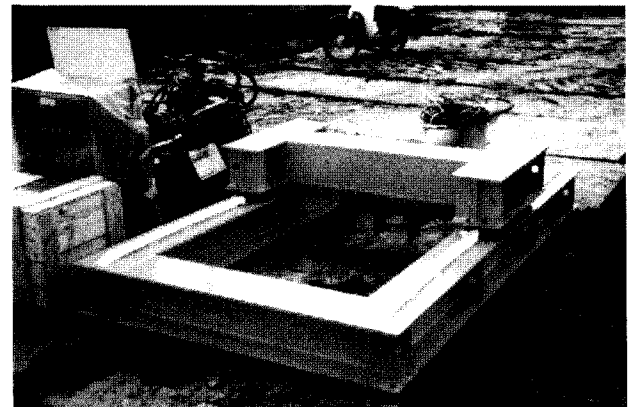


写真-2 切削実験装置

を測定する。

2) 実験結果

- ・切削される固形物の形状は、先行ビットの間隔を変えることによって幅を、メインビットの切込量によって奥行きを制御できることが確認された。
- ・先行ビットのルーフ角による切削形状の違いは認められなかった。
- ・先行ビットは、ビット幅20mmの他にビット周辺の地山をも巻込んで切削していた。

このため、先行ビット間隔が狭い場合、先行ビットを千鳥に配置する方が若干剥離が少なく切削でき、有効であることがわかった。

(3) 長距離輸送実験

固形状で切り出された切削土の一部は、排泥管内で輸送中に泥水中に溶解する。特に掘進距離が長くなった場合、一次前処理機までの排泥管の距離が長くなり、回収量が低減する。この割合を把握するため長距離輸送実験を行った。

1) 実験方法

実験装置の概要図を図-6に示す。3cm，5cmの立方体に整形した粘性土をポンプを通過せずに約300m輸送した後に排泥管の出口に取付けたネット

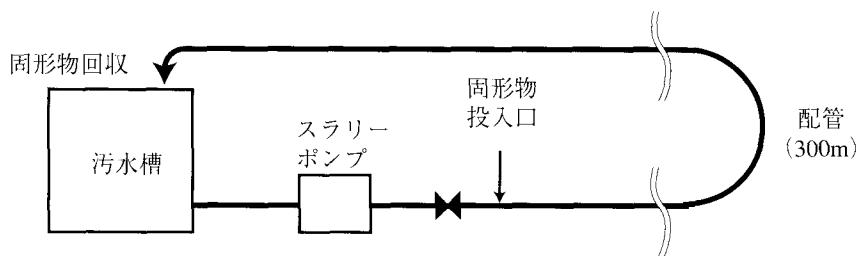


図-6 長距離輸送実験装置の概要図

で回収し、質量を測定する。これを数回繰り返すことで長距離輸送した場合の溶解とした。3種類の粘性土について、管内流速は2.7m/sと3.2m/sの2ケースについて実験した。

2) 実験結果

管内流速3.2m/sの場合の回収率を図-7に示す。

- ・輸送距離1200mの場合、固形回収率は65～80%となった。
- ・固形物が大きい方（5cm）が回収率が高い。
- ・回収率の低下は、距離に比例する。
- ・管内流速が速い（3.2m/s）ほど回収率が高い。

また、長距離掘進時には、排泥管に中継ポンプが設置され、このポンプ通過時に切削土は泥水に溶解するため、ポンプ通過実験も行ったが、固形物が大きい方（5cm）が溶解率が高い傾向であった。この点についてはポンプ形状の改善等を今後検討したい。

(4) 実施工への適用

本システムは、東京都水道局目黒配水本管工事で採用され、掘進は既に完了している。ほとんどが固結シルト層（土丹層）で、2本のトンネルが施工されたが、それぞれ前処理回収率が66.3%、44.2%と本システムの有効性が確認された。また、ジャッキスピードが40mm/minを越えた場合、一次前処理機での回収率が高くなる傾向が確認された。

3.2 実証施工

初めて設計・計画段階から省面積立坑システムを

導入した工事が、現在掘進中である。本システムの要素技術のほとんどを採用し、目標値である従来型の1/3の面積まで省面積化されている。

(1) 工事概要

工事件名：千代田区外神田一、三丁目付近再構築工事

- 発注者：東京都下水道局中部建設事務所
- シールド掘進外径：φ3070, φ2270, φ2270
- 仕上がり内径：φ2200, φ1500, φ1500
- 掘進延長：375m, 612m, 495m
- 土被り：18m～20m
- 土質：シルト、粘土

(2) 採用システム

本工事で採用された省面積立坑システムの要素技術は、以下の通りである。

- ・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（濃縮サイクロン）
- ・スラリー連続改質システム
- ・土砂貯留搬送システム（スパイラルコンベア）
- ・セグメントストックシステム（ドーリー型）

(3) 省面積立坑システムの導入効果

本システムの採用によって各設備が従来型よりもどれだけ必要面積が削減されたかを表-2に示す。これから発進立坑用地の必要面積は、従来型の1800m<sup>2</sup>から600m<sup>2</sup>へと約1/3に縮小された。（図-8）

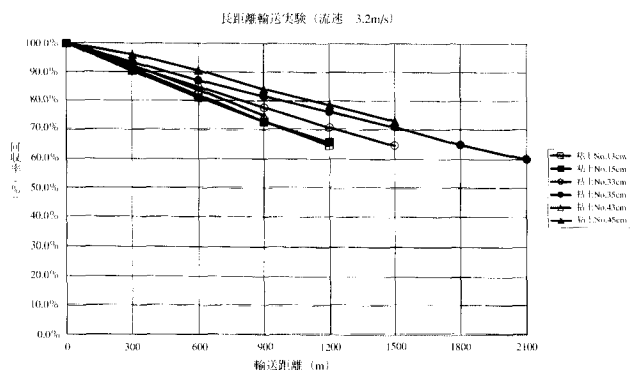
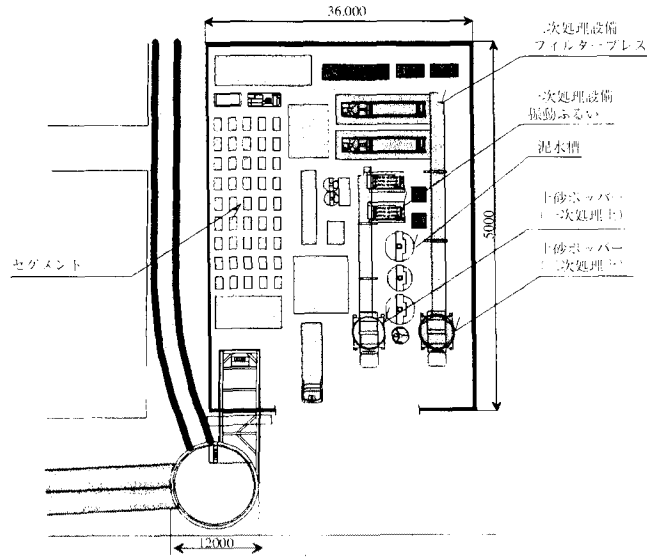


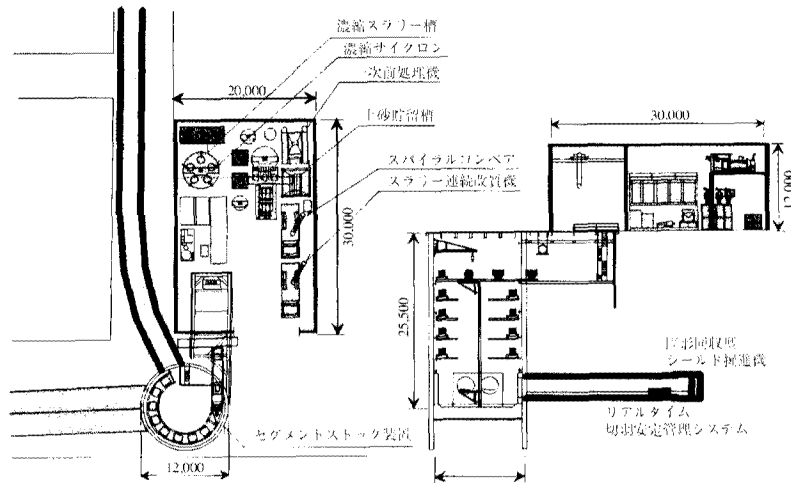
図-7 長距離輸送実験結果

表-2 従来型と省面積型の設備面積の比較

名称	従来型 (m <sup>2</sup> )	省面積型 (m <sup>2</sup> )	削減率 (%)
① 一次処理設備	131	86	34
② 二次処理設備	360	42	88
③ 泥水槽他	230	101	56
④ 作泥設備	90	0	100
⑤ セグメントヤード	252	0	100
⑥ 資材置場, その他	737	371	49
合計	1,800	600	66



従来型設備配置図 (1800m<sup>2</sup>)



省面積型設備配置図 (600m<sup>2</sup>)

図-8 従来型と省面積型の設備配置の比較

## 4. 技術マニュアルの内容

これまでの研究成果をもとに「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)[泥水式シールド編]」を作成した。本技術マニュアルの目次を以下に示す。

### 第1章 総則

#### 第1節 目的

#### 第2節 適用範囲

#### 第3節 用語の定義

### 第2章 システムの構成

#### 第1節 システムの構成

#### 第2節 設備の導入

### 第3章 泥水設備の設計

#### 第1節 泥水設備の設計手順

#### 第2節 固形回収設備

#### 第3節 泥水管理設備

#### 第4節 泥水処理設備

### 第4章 坑外設備の設計

#### 第1節 坑外設備の選定と配置

#### 第2節 坑外設備

### 第5章 施工

#### 第1節 施工計画

#### 第2節 泥水設備の施工管理

#### 第3節 坑外設備の施工管理

資料編

1. 物質収支—計算シート
2. 設計事例
3. 積算資料
4. 設備標準図面
5. 単位換算表
6. 問い合わせ先

## 5. おわりに

今後は、泥土圧シールドへの適用も含め、さらに多くの工事で本システムが採用され、意見やデータを収集、分析することによって、設備の改良やマニュアルの充実へとフィードバックしたいと考えている。

---

●この研究に関する問い合わせは

研究第二部長	篠田	康弘
研究第二部主任研究員	佐伯	守久
研究第二部研究員	小林	卓矢
研究第二部研究員	久保	善央