

# 19. ツインスクリューシールド工法の開発と実用化

大成建設㈱：\*伊東 憲、石川島播磨重工業㈱：中根 隆

## 1. はじめに

近年、都市部においては人口集中による都市施設の需要拡大や都市機能の多様化等のため、地下の過密化が深刻な問題となり、コストダウンを前提とした大深度大断面の地下空間構築技術の開発が急務となっている。

都市部における地下空間の構築、そのうちトンネルの構築においては、シールド工法により施工を行うのが主流となっており、泥水式シールドと泥土圧式シールド工法に大別される。なかでも泥土圧式シールド工法は、地下30mを超える大深度施工の実績はあまりなかった。

これは、大深度になると切羽が高水圧となり、排土装置であるスクリュコンベアから掘削土砂を取出す際、掘削土や地下水が押し出されてしまう噴発現象を起こし、切羽土圧の制御ができなくなるという問題があったからである。切羽土圧を制御できなくなることは、すなわち周辺の地盤を変状させることである。また、スクリュコンベアの操作はシールド機オペレータが手動で行っている場合もあり、人的な操作ミスもあった。

これらの問題を解決するため、大成建設株式会社と石川島播磨重工業株式会社は、1996年からその原因であるスクリュコンベアの構造・手動による操作の改善としてツインスクリューシールド工法（TSシールド工法）の開発を行った。

本論文では、ツインスクリューシールド工法の開発の内容、実験結果、実施工結果について報告する。

## 2. 開発概要

### (1) 開発の目的

本工法の開発の目的は、泥土圧式シールド工法を大深度に適用可能な新しい切羽安定制御技術を完成させることで、大深度あるいは浅深度においても、切羽土圧の安定制御を可能にする技術の開発を行うことである。

### (2) システムの説明

ツインスクリューシールドシステムとは、泥土圧式シールド機にツインスクリュを装備し、中央制御システムの集中制御により掘進管理を自動化し、切羽土圧の制御および掘削土砂量の管理を行うものである。またツインスクリュの回転数を計測することで、掘削土量管理も可能である。特徴を以下に示す。

①高水圧下、近接施工等での自動による切羽の安定制御。

②掘削土量管理が可能。

③排土口から後方へ土砂を圧送可能。

図-1にシステム全体図を示す。

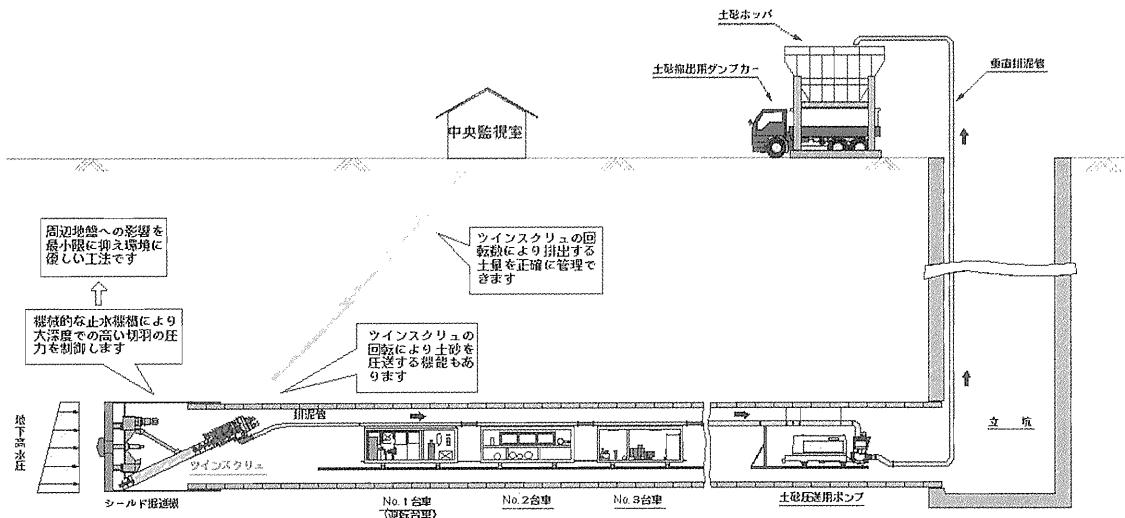


図-1 システム全体図

### (3) ツインスクリュの構造

ツインスクリュは、2本の軸付きスクリュコンペアとそのケーシング、および駆動モータから構成されている。2本の軸付きスクリュコンペアは、フライト（羽根）の厚みが異なる2本のスクリュを相互に逆方向に組み合せた構造としている。

構造図と写真を図-2、写真-1に示す。この機械的密閉構造により、ツインスクリュは低～高水圧に対して止水性能を発揮し、掘削土の排土性能を連続的に行える。

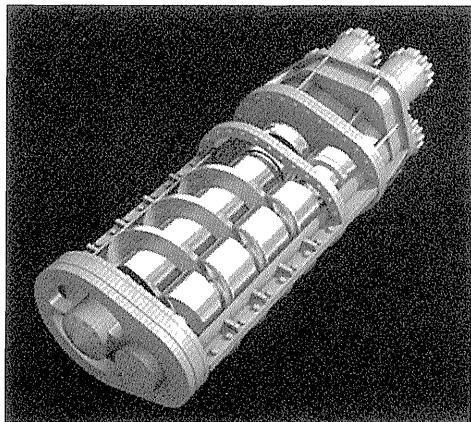


図-2 構造図（内部）

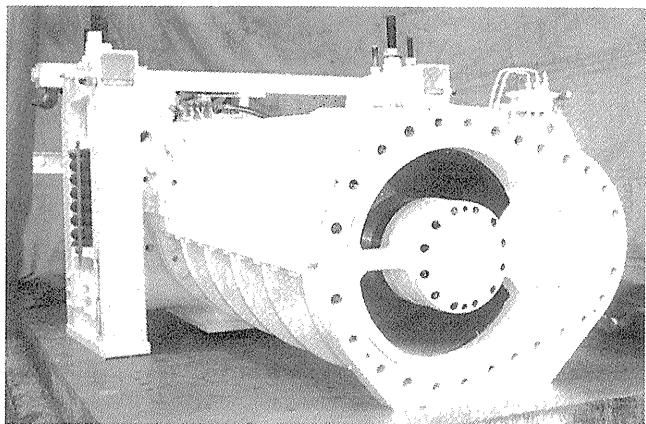


写真-1 ツインスクリュ本体

### 3. 実証実験

開発段階に行った高水圧での切羽土圧制御の確認実験について紹介する。

### (1) 実験概要

実証実験は、排土能力  $100\text{m}^3/\text{h}$  のツインスクリュ排土装置に対して、寸法で約  $1/3$  に縮小したモデル実験装置（排土能力  $1.4 \text{ m}^3/\text{h}$ ）を製作して行った。実験装置の装置図を図-3 に、その諸元を表-1、全景写真を写真-2 に示す。

実験装置は、切羽土圧を発生させるための土砂シリンダと加圧ジャッキ、ツインスクリュ、駆動用油圧モータ、油圧ポンプユニット、投入ロゲート、排土ロゲート及び、土圧計・ストローク計などの計測装置から構成される。

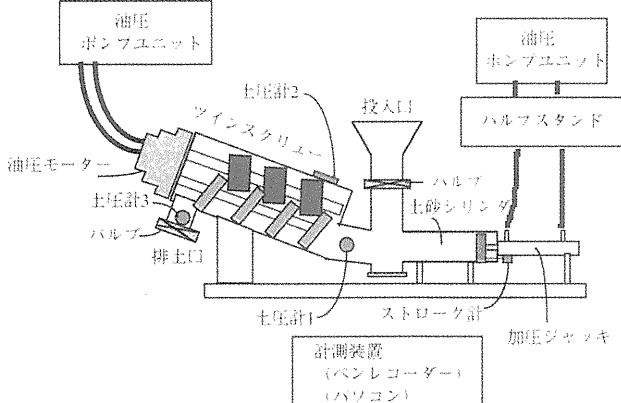


図-3 実験装置図

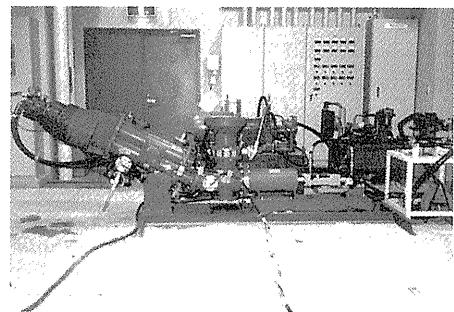


写真-2 実験装置全景

表-1 実験装置の諸元

輸送能力	$1.4 \text{ m}^3/\text{h}$
回転数	$0 \sim 12 \text{ rpm}$
薄肉フランジ径×フライテビッチ	$\phi 199\text{mm} \times P92\text{mm}$
厚肉フランジ径×フライテビッチ	$\phi 199\text{mm} \times P92\text{mm}$
駆動トルク	$12.2 \text{kN}\cdot\text{m}$

### (2) 実験の方法

実験パラメータとして、試料の粒度分布・スランプ、切羽土圧、スクリューの回転数を変化させることにより、ツインスクリュ排土装置前後での土圧、スクリューの回転トルク、排土される土砂量の変化を計測した。また、2本のスクリューの羽根が噛み込む部分の隙間や、羽根と回転軸との隙間が止水性に大きく影響するものと考え、その隙間を  $5\text{mm}$ 、 $3\text{mm}$ 、及び  $1\text{mm}$  以下と変化させて実験を行った。

実験に用いる泥土は、砂質泥土と砂礫泥土の2種類とし、泥土の配合は「泥土加圧シールド工法協会」の作泥土材の必要・不要の境界線の粒度分布を基本に決定した。実験では、水量の加減によりスランプ  $10\text{cm}$  と  $20\text{cm}$  に調整して行った。切羽土圧は  $0.3$ 、 $0.6$ 、 $1.0 \text{ MPa}$  の3種類、スクリュー回転数は  $3$ 、 $6$ 、 $12 \text{ rpm}$  の3種類とした。また、実験方法は以下の手順を繰り返して行った。

- ① 土砂シリンダ内に泥土が充满するよう、内部振動機を用いて投入口より泥土を投入。
- ② 投入口のバルブを閉め、排土口バルブ全開、スクリュー回転停止した状態で設定切羽土圧を作用。
- ③ 設定土圧を確認、スクリューを所定の回転速度で回転させ排土。
- ④ 油圧ジャッキのストロークエンド直前で、スクリュー回転停止、設定土圧維持確認。

### (3) 実験結果

#### ①高水圧切羽の安定制御

図-4 に砂質泥土、スランプ 20cm、羽根の隙間 1mm 以下という条件における切羽土圧の経時変化図を示す。(凡例の 1M-3 は、切羽土圧 1MPa、スクリュー回転数 3rpm の条件を表す。)

開発したツインスクリュ排土装置は、高水圧 (1MPa) という条件下において、設定した切羽土圧を安定制御しながら排土でき、また、切羽土圧の大きさ、スクリュー回転数の影響をほとんど受けずに、切羽圧を安定制御できる装置であることがわかった。スクリュー回転時の切羽土圧平均値に対して、瞬間に低下する変動圧力は、各切羽土圧においても 0.01~0.03MPa という結果であった。また、スランプ 10cm の砂質泥土については、羽根の隙間 3mm という条件においても切羽土圧を同様に安定制御することができた。

また、砂礫泥土、スランプ 20cm、羽根の隙間 3mm という条件においても、スクリューの回転と同時に設定した切羽土圧はやや変動するもの、砂質泥土とほぼ同様の結果が得られた。切羽土圧平均値に対して低下する変動圧力は 0.02~0.05 MPa であった。また、砂礫泥土に関しては、羽根の隙間 5mm という条件においてもスランプの大きさに影響されず、切羽土圧を同様に安定制御することができた。

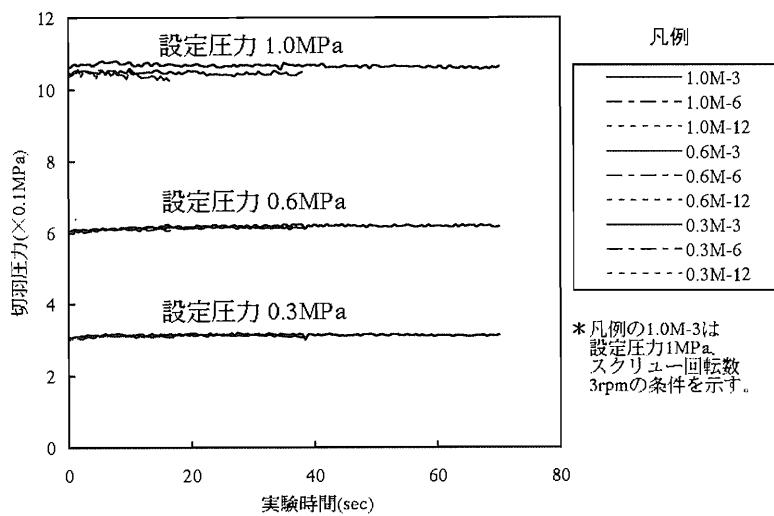


図-4 切羽土圧経時変化図(砂質泥土、スランプ 20 cm)

#### ②排土状況

掘進における排土量の管理は、一般的にスクリューの回転数とその排土量が比例するものとして管理するが、実際にはスクリュー内部での共回りや、噴発などにより正確な排土量を把握することは難しい。実験における排土量と理論排土量（スクリュー 1 回転当たりの土砂搬送容量と回転時間から計算）を比べた結果、このツインスクリュ排土装置の場合は、羽根の隙間が大きい場合、実際の排土量の方が多くなる傾向があるが、羽根の隙間を小さくすれば理論排土量と実際の排土量がほぼ一致し、スクリュー回転数に合った定量の排土が可能であることを確認した。

#### 4. 実用化

土被りの深い粘性土地盤で実証施工を行いその後、土被りの浅い砂礫地盤の工事で採用され、初めて実用化された。砂礫地盤の工事の切羽土圧の制御、土量管理の実績について以下に紹介する。

##### (1) 砂礫地盤での施工

###### ①工事概要

工事件名：福岡市高速鉄道3号線渡辺通南工区建設工事

工事場所：福岡市中央区白金一丁目2番地～中央区渡辺通二丁目1番地

発注者：福岡市交通局

施工者：大成建設・竹中土木建設工事共同企業体

工事期間：平成8年12月12日～平成15年2月28日（全体工事期間）

工事概要：泥土圧式シールド、掘削外径5.44m、延長756m

土質：砂礫土 N値10～30

土被り：7～9m（構造物直下3mでの施工区間あり）

この工事で採用したツインスクリュの写真を写真-3に、その仕様を表-2に示す。

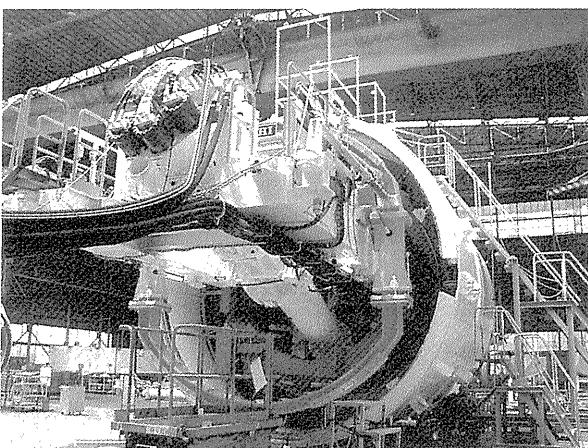


写真-3 ツインスクリュを装備したシールド機

表-2 使用したツインスクリュの諸元

輸送能力	67m <sup>3</sup> /h
回転数	0～23rpm
薄肉フランジ×フライビッチ	φ597mm×P324mm
厚肉フランジ×フライビッチ	φ387mm×P324mm
駆動トルク	48.7kN·m

###### ②切羽土圧の自動制御の実績

ツインスクリュが自動制御できるか否かの確認を行うため、1リング掘進中に掘進速度を10、15、20mm/分と強制的に変化させツインスクリュが自動制御できるかの確認を行った。データは掘進速度、切羽土圧とツインスクリュ回転速度の実測値とした。結果を図-5に示す。

この結果、ツインスクリュ回転速度が掘進速度の変化に追従し、切羽土圧が設定値の0.15MPaに制御できた。

###### ③土量管理の実績

土量管理においても、同じく1リング掘進中のデータとし、掘進距離に応じた掘削土量の理論値（掘削土量に加泥材の注入量を加算した値）に対して、ツインスクリュの回転数から算出した土量値の比較を行った。その結果を図-6に示す。

理論総排土量（掘削土量に加泥材の注入量を加算した値）を 100% とし比較すると、ツインスクリュ回転数から算出した総排土量は 97% と理論値に近い値となった。

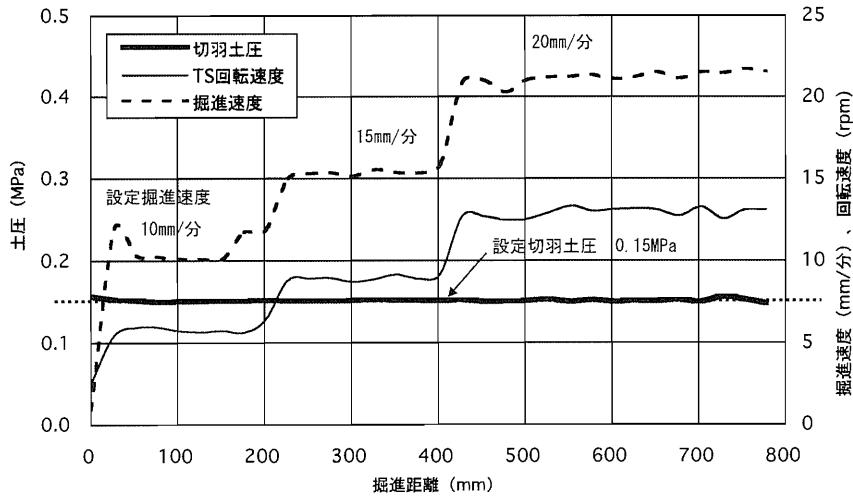


図-5 切羽土圧の自動制御の実績図

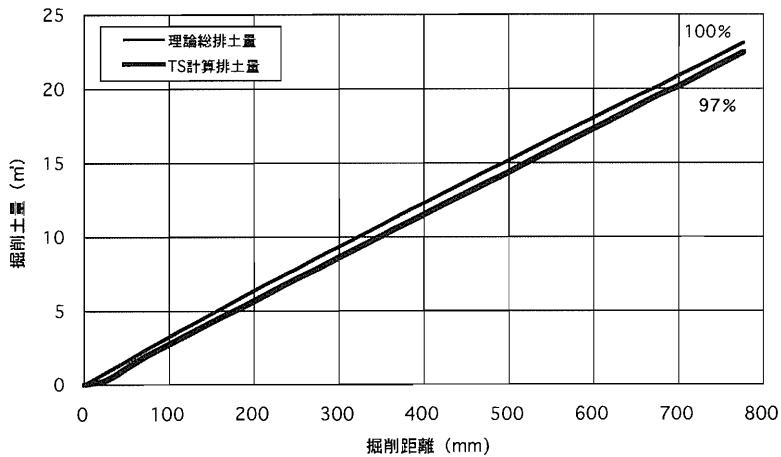


図-6 掘削土量管理の実績図

## 5. おわりに

本システムは、粘性土及び砂礫地盤での実施工により切羽土圧制御、掘削土量管理の性能が確認された。しかし、礫を多く含む地盤ではツインスクリュ内のフライトやケーシングの磨耗が想定されるため、現在磨耗に対する研究を進めている。この研究で耐久性を向上させ、ツインスクリューシールド工法を泥土圧式シールドの一般工法に目指したい。

最後に本工法の実用化として、採用して頂いた福岡市、工事を行った関係各位に感謝し、紙面を借りてお礼を申し上げる。