

## 32. 空圧シールド工法の開発実験

(株)奥村組 伊藤俊彦・川野善夫・\*畑山栄一

### 1. まえがき

手掘り式から始まったシールド工法は、より安全、より急速な施工法を求めて機械掘り式が登場し、さらに広範囲な土質条件に適応するための技術開発が進められている。現在、機械掘り式には多種多様な工法があり、その中でも泥水シールド工法が最も多用されている。この工法は切羽の安定性に優れ適用地盤の範囲が広いが、その反面、泥水処理を必要とする。そのため、最近では掘削土砂を地山と同じ状態で取り出せる土圧シールド工法の採用される機会が多くなってきた。しかし、土圧シールド工法は泥水シールド工法より適用地盤の範囲が狭く、透水性の高い砂地盤などでは切羽の安定性が劣り、崩壊をおこす恐れがある。

そこで、泥水処理もなく、土圧シールド工法よりも適用地盤の範囲が広い施工法を確立するため、新しい工法として空圧シールド工法（OPMS工法：Okumura Pneumatic Mechanical Shield）の研究開発を行ってきた。空圧シールド工法は基本的には限定圧気機械掘りシールド工法に属するが、従来の圧気工法に比べて切羽地盤への漏気量を低減し、安全性を高めた点に特長がある。

工法の開発は、まず個々の問題点を解決するために基礎実験を行い、つづいて工法の信頼性と実用性を確認するために実際の施工条件および規模で実験を行った。本報では工法の概要と実験結果の内、切羽漏気量、切羽圧気圧の変動、漏気範囲について述べる。

### 2. 空圧シールド工法の概要

従来の圧気工法は、透水性の高い地盤では漏気量が多く、酸欠公害や噴発事故の恐れがある。本工法は機械掘りの限定圧気シールド工法であるが、シールド機（OPMS機）に次のような構造と機能を備えることにより、切羽地盤への漏気量を低減し、また、切羽の安定を高め、崩れやすい地盤を安全に掘削することができる（図-1参照）。なお、OPMS機はカッターヘッドの支持方式の違いにより、センターシャフト支持と周囲支持のタイプがある。

- i. カッターヘッドは密閉式を採用し、切羽への漏気面積を減らすとともに、切羽土圧と平衡させて切羽地盤の安定をはかる
- ii. 掘削土砂を取込むスリットにはゲートを設け、スリットの開口面積を調整できるようにする
- iii. スリット部など切羽地盤へ漏気する部分には漏気防止材（ベントナイト液などの目詰め材）を噴霧する装置を設け、漏気防止材の噴霧により漏気部分の通気性を低下させる
- iv. センターシャフト支持方式のOPMS機の場合はカッターヘッド外周にシールを設け、シール部には漏気防止材を注入して、外周部からの漏気量を低減させる

掘削土砂の搬出はスクリーコンベヤと排土タンク車の組合せによる排土システムを用いた。

掘削した土砂は圧気の効果によりOPMS機に乾いた状態で取り生まれ、スクリーコンベヤによ

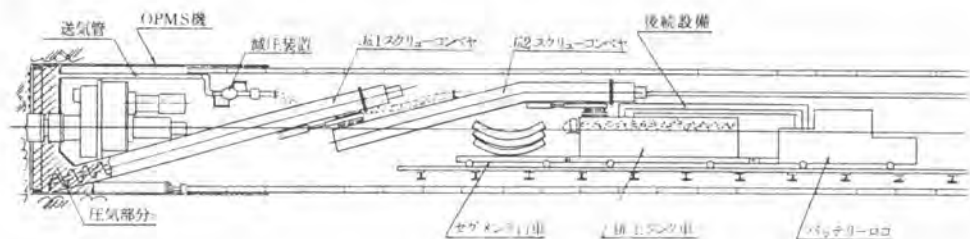


図-1 空圧シールド工法概要

り後方にある排土タンク車に積み込まれる。

スクローコンベヤと排土タンク車の内部は切羽部分と同様に圧気しており、土砂を等圧下で移動し、積み込みを行う。この排土システムにより、これまでトラブルの多いロータリーバルブなど、大気中に取り出すための機器が不用で、切羽部分の圧気保持上の問題を解決した。

掘削が終るとスクローコンベヤと排土タンク車の接続部にあるゲートを閉じて空気を遮断し、排土タンク車を切り離し、タンク車を坑外に運び出して土砂を排出する。

### 3. 実験

#### (1) 実験内容

OPMS機	外径 3070 mm × 長さ 4600 mm (図-2 参照)		
セグメント	外径 2950 mm × 幅 900 mm	掘進実験延長	27 m
掘進線形	直線	土かぶり	9.6 m
地下水位	GL - 4.6 ~ 4.9 m	土質	砂および砂礫

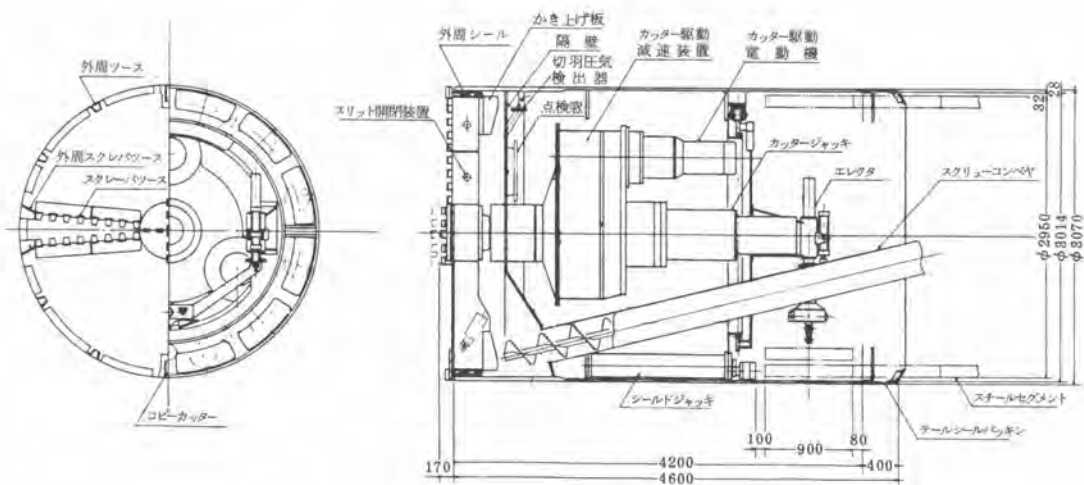


図-2 空圧シールド機

(2) 土質概要

掘削断面は図-3に示すように洪積砂層である。この砂層は細砂，中砂，粗砂が主体であり，局部的に礫の混入が4～16%みられ，均等係数が1.9～6.7，含水比が17～20%，間隙比が0.5～0.6%である。砂層の上部は砂礫層である。この砂礫層はシールド機底部より0.8 m上から6～7 mの層厚をなしている。礫径は30～50 mm，礫分は27～50%，細粒分は14～19%，均等係数は45～131である。地下水位はこの砂層内で自由水面を形成し，その上部は不飽和層である。現場における透水試験および透気試験結果を表-1に示す。

表-1 透水，透気係数

土質	透気係数 $k_a$	透水係数 $k_w$	$k_a/k_w$
砂礫層	$1.5 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$	$1.1 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$	136
砂層	$4.5 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$	$4.7 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$	96

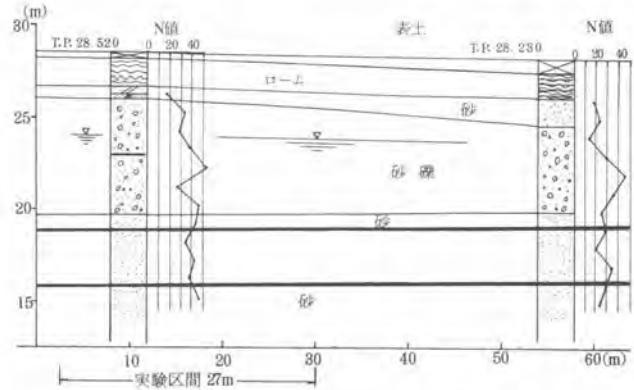


図-3 土質縦断面

(3) 実験結果

a. 漏気量

圧気圧はシールド機底部の地下水圧と同圧の0.75～0.78 kgf/cm<sup>2</sup>に設定した。この時の切羽への漏気量は0.5～1.4 Nm<sup>3</sup>/minとなった。

本工法の切羽漏気量の低減効果を確認するにはカッターヘッドが無いオープン圧気工法の場合の切羽への漏気量を知り，比較することが望ましい。ここではカッターヘッドを後退させ，スリットゲートを全開することによって，それに近い状態ができると考えた（開放型テストと呼ぶ）。このテストは途中で中止したため，定常状態の値（乾燥過程終了時の値）を知ることはできなかったが，図-4に示すように開放型テスト前の漏気量が0.9 Nm<sup>3</sup>/min，カッターヘッド後退後約180分で3.4 Nm<sup>3</sup>/minの漏気量となった。また，透気試験の結果から求めた開放型の漏気量は4.9 Nm<sup>3</sup>/minとなった。このことからOPMS機のカッターヘッドは開放型に比べて70～80%の漏気低減効果があることが確認できた。



写真-1 掘進状況

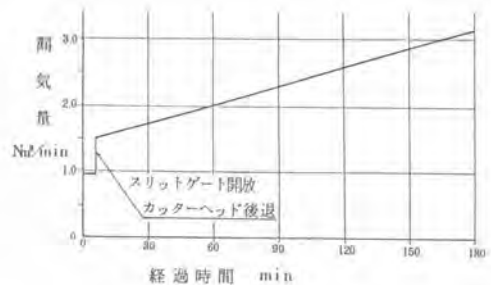


図-4 開放型テストの漏気量

掘削土砂の含水比は、自然含水比 17.5～20% に対して 15.5～17.5% であることから、本工法の圧気は地盤の間隙水を適当に排除した状態を保っており、切羽地盤への漏気量が少ないことの裏付けになると考えられる。

#### b. 切羽圧気圧

切羽（隔室内）圧気圧の変動は図-5に示すようにほとんどなかった。これは、切羽地盤を緩めることなく安定した状態で掘削できたこと、および、掘削土砂の排土方法として従来のロータリーバルブの代わりに排土タンク車とスクリーコンベヤの組合せを採用したことによる。

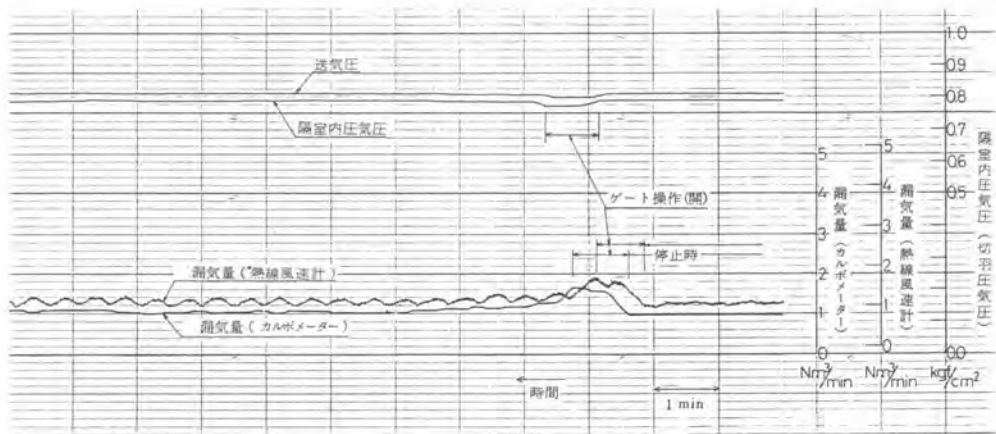


図-5 掘削時の漏気量と圧気圧の状態

#### c. 漏気範囲

漏気範囲は各観測孔の水位変化の測定結果から推定した。圧気開始直前に測定した水位を基準にして変化量を求め、各々の変化量を切羽からの距離別にまとめた結果を図-6に示す。環境変化（揚水や降雨等）による地下水位の変化が±10 cm程度であることから、±10 cm以上の水位変化がある距離を求め、この距離を切羽からの漏気範囲の距離と考えると、OPMS機のカッターヘッドでは11 m以内、開放型テストでは17 m以内となり、漏気影響範囲は約35%減少したと考えられる。

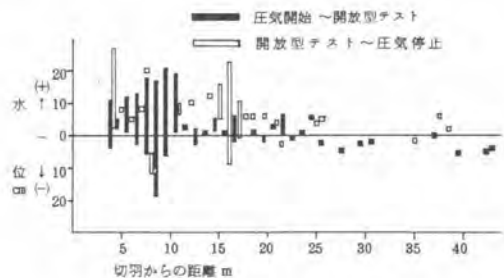


図-6 観測孔の水位変化状況

#### 4. あとがき

今回の実験により、低漏気性や切羽圧気圧の変動の解消などに好結果の資料が得られ、空圧シールド工法の実用性および信頼性が確認できた。今後は施工実績を積み重ねてさらに完全な施工法としたい。