

36. 円形ワギング（揺動）カッターシールド工法

鹿島建設㈱：永森 邦博，遠藤 哲朗
*佐々木哲也

1. はじめに

青森県三沢市発注の雨水幹線工事に、カッターヘッドを一定角度内で往復運動（揺動）させながら掘進するワギングカッターシールド（Wagging Cutter Shield）工法を、円形のシールド工事では世界で初めて採用した。同工法は、矩形シールドトンネルの「きらめき通り地下通路」建設工事（福岡県福岡市）で実用化されている。

本工事では発進立坑から約70m地点で県道下にS字状の急曲線（半径12m）があり、最大の難所となっていたが、同工法の導入により良好な結果が得られ、曲線施工における方向制御の有効性が確認できたので、その概要と施工実績について述べる。

2. 工事概要

本工事は、三沢市が実施する公共下水道整備事業に伴い、三沢市中心部から雨水を三沢川まで流下させるための管渠を築造する工事であり、延長601.5mを泥土圧式シールド工法により施工するものである。

工事名：三沢川第4号雨水幹線築造工事

発注者：三沢市

工事場所：青森県三沢市東岡三沢一丁目他地内

工期：1998年12月18日～2001年3月20日

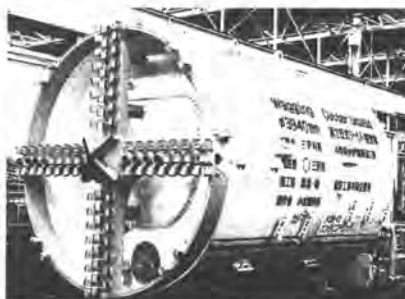


写真-1 円形ワギングカッターシールド

表-1 工事諸元

シールド機	泥土圧（揺動）式	外径φ3,940mm
RCセグメント	一般部（L=575.5m）	外径φ3,800mm 厚さ125mm 幅1,000mm
スチールセグメント	急曲線部（L=26.0m）	外径φ3,770mm 厚さ125mm 幅300mm
掘進延長	601.5m	
最小曲線半径	R=12m（S字）	
土被り	1.9m～7.7m	
勾配	+1.0‰	

発進時の土被りは0.5D（1.9m）程度と小さく、1D（3.8m）以下が60m続き、その付近で民家が近接している。路線には、計3カ所の曲線区間があり、その内74m地点からの交通量の多い県道横断部は、半径12mのS字状の急曲線である。

施工路線の地層は、発進から60m付近までは火山性の粘土層と火山灰質砂層の互層でありN値は1～6程度である。その後全体に均一質な細砂層が続き、N値はN<25以下となっている。



図-1 路線平面図

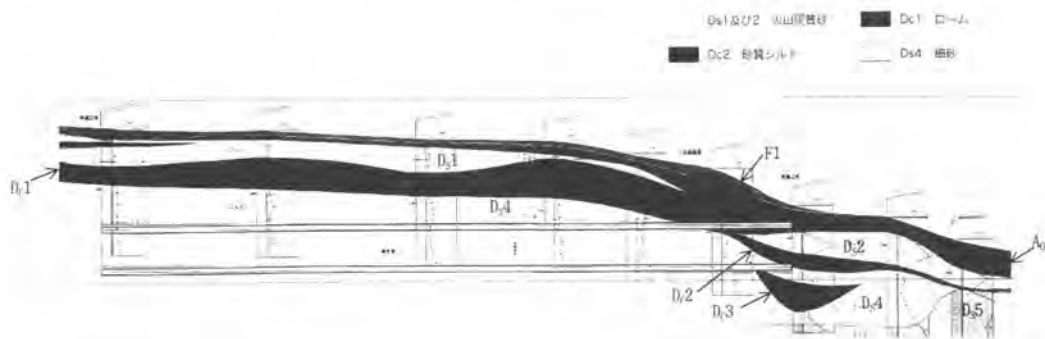


図-2 地質縦断面図

3. 円形ワギングカッターシールド工法の概要

(1) 揺動機構

従来のシールド機はカッターヘッドを回転させることで掘削を行ってきたが、ワギングカッターシールド工法ではカッターヘッドを一定角度の範囲で往復運動（揺動）させ、掘削する機構を有する。カッターヘッドの揺動（本シールド機の場合は、左右各 47.5° 、合計 95° ）は、油圧ジャッキを伸縮させることでカッターヘッドをワイパー状に作動させる機構を採用した。

油圧ジャッキの配置に関して、従来は1本又は複数本の揺動ジャッキをカッターヘッドシャフトアームに連結しカッターヘッドを揺動させるシステムであったが、このシステムでは揺動角毎にシャフトアームが回転しジャッキ交差角が変位し出力トルクが変動することから、ジャッキ配置には制約を受けた。

そこで、今回は揺動ジャッキ単独での作動時のトルク不足を補うためにアシストジャッキを追加した。これにより、カッターヘッドの揺動角度が大きくなると揺動ジャッキによるトルク

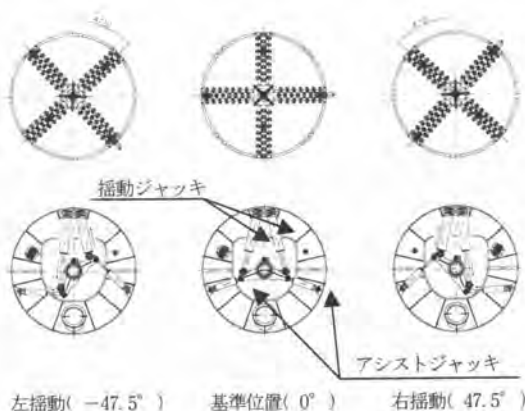


図-3 油圧ジャッキの作動状況

が小さくなっていくのに対してアシストジャッキによるトルクが大きくなり、トルク変動を抑制できた。図-4にカッターヘッドトルク特性を示す。

カッターヘッドトルク-揺動角度

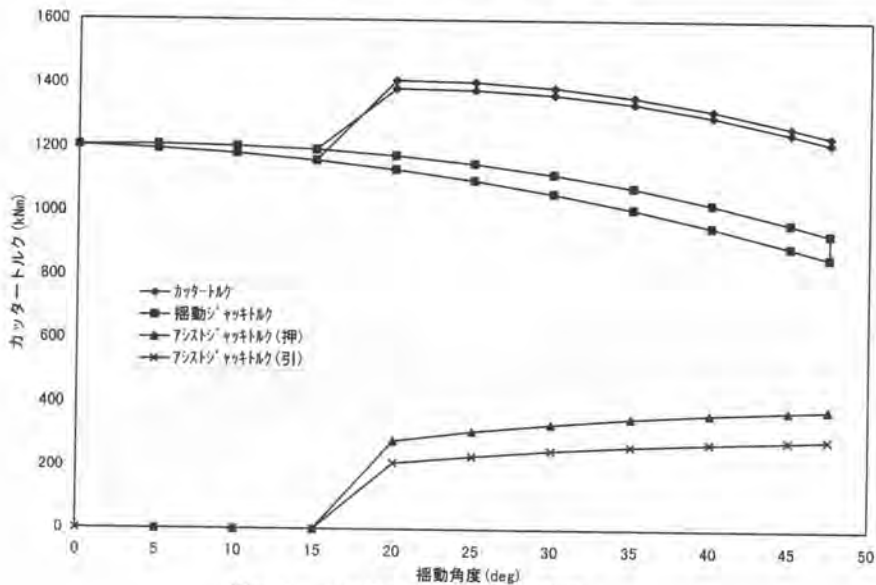


図-4 カッターヘッドトルク特性

(2) シールド機の特徴

油圧ジャッキでカッターを駆動するのでマシン内部の機器を簡素化できている。これによりマシン機長が短縮でき(図-5参照)、マシンが軽量になることから、発進立坑をより小さくできるとともに急曲線対応が容易になるほか、立坑への投入と現地組立が容易になるなどのメリットを持っている。

本シールド機と原設計時のカッター駆動部の比較を表-2に、円形ワギングカッターシールド工法の特徴を表-3に示す。

表-2 カッター仕様比較 (φ3,940mm 泥土圧式シールド機)

		原設計 (回転式)	本シールド機 (揺動式)						
回	転	数	1.25 ~ 1.50rpm	最大 5.0 工程/min(95° /工程) (1.32rpm 相当)					
ト	ル	ク	常用 1118kN-m($\alpha=18.3$) 最大 1342kN-m($\alpha=22.0$)	最大 1412kN-m($\alpha=23.1$)					
油	圧	モ	ータ	40.0kN-m×14.7MPa×6台	—				
揺	動	ジ	ャ	ッキ	—	1177kN×970mm×32.4MPa×2本			
ア	シ	ス	ト	ジ	ャ	ッキ	—	589kN×440mm×32.4MPa×2本	
パ	ワ	ー	ユ	ニ	電	動	機	45kW×4P×400V×50Hz×5台	75kW×4P×400V×50Hz×3台
					油	圧	ポ	ン	プ

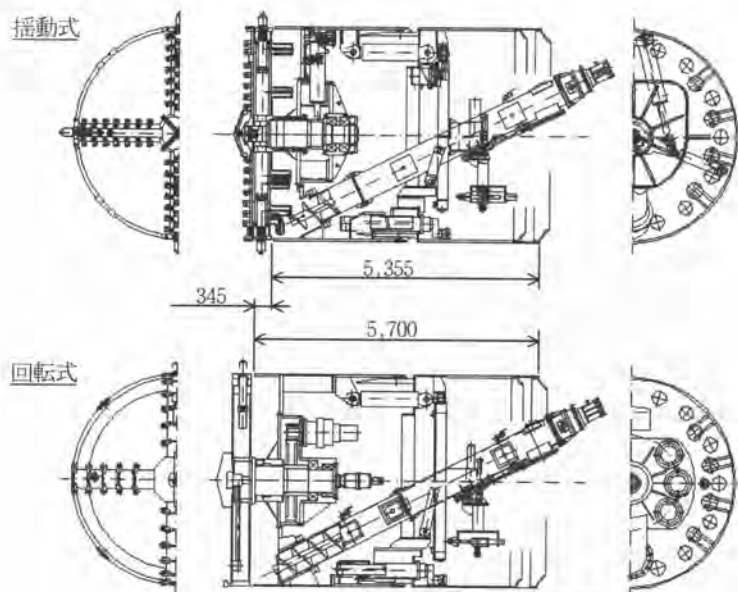


図-5 シールド機長比較 (単位: mm)

表-3 円形ワギングカッターシールド工法の特徴

項目	構造概要	特徴
カッター駆動方式	カッター駆動方式を従来のモータによる回転運動から油圧ジャッキによる揺動運動とし、4本スポークカッターヘッドを95°揺動させることで全断面掘削を行う。	油圧ジャッキで駆動させるため、駆動部はコンパクトな配置とすることができ、通常のモータ駆動方式に比較して、下記利点を有する。 <ul style="list-style-type: none"> 機長短縮により急曲線施工時の余掘量が大幅に低減可能。また発達立坑の縮小化、現地組立ても容易になる。 スクリュコンベヤの配置上の制約が少なく、礫が丸のみできる口径の大きいスクリュコンベヤの装備が可能。 機内の機器を簡素化することが可能。
カッタートルク	メインの揺動ジャッキに加え、揺動エンド付近での回転トルク変動に対しトルク補正(アップ)を行うアシストジャッキを配置。	装備トルクは回転式と同等以上の装備が可能。
カッター回転速度	揺動ジャッキ、アシストジャッキ油圧回路の制御により行う。	装備回転速度は回転式と同等。
カッター装備	ビットは先行ビット、ツールビットとも1パス1カッター配置。	ビットは1パスであるが各ビットの摺動距離は回転式に比較して1/4であり、同等の耐久性を有する。
姿勢制御	カッター揺動は左右対称に動作。 カッターヘッド揺動に対し、シールドジャッキの推進速度を制御するローリング修正システムを装備。	左右対称作動のため基本的にローリングは生じにくい。 ローリング発生時は、左記システムにより容易に修正可能であり、ローリング修正ジャッキやキャンバプレート等は基本的に不要。

4. 施工実績

(1) 掘進工

平均掘進スピードは本掘進時の直線部で 36mm/min、S 字状の 12mR 部で 23mm/min を確保できた。

1D (3.8m) 以下の土被りにおいての地表面の変位は、上部スポークからの加泥材注入を停止し、裏込注入圧の上限を管理することでほとんどなかった。

(2) 姿勢制御

ピッチング、ヨーイングについては、カッター回転式の円形シールドと同様にシールドジャッキ選択により修正可能であった。ローリングに関しては急曲線部 (半径 12m) の線形管理に影響を及ぼすことから早期の修正を行い、最大でも $\pm 2^\circ$ 以内で制御し問題なく施工することができた。図-6 によれば、急曲線部で中折角度が大きくなり重心がずれると、その方向にローリング角度も傾いていく傾向が読みとれる。直線部においては、後続台車の牽引等による拘束もありほとんど修正しなくても 2° 以上のローリングは起こらなかった。

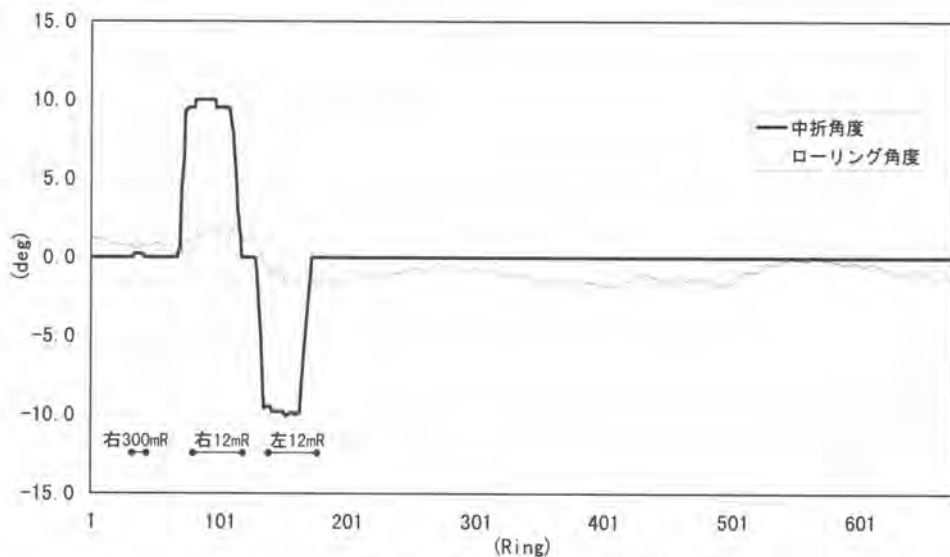


図-6 中折とローリング変位

(3) ビットの摩耗

同スポーク上の同心円上に配置されている右揺動用・左揺動用の各ビットは均一に摩耗し、ツールビットの摩耗係数は $13.3 (\times 10^{-3} \text{mm/km})$ となった。これは砂・シルトにおける摩耗係数 ($13 \sim 25 \times 10^{-3} \text{mm/km}$) とほぼ一致しており、通常範囲内であった。ただし、下部スポーク外周付近のツールビットは他のスポークのビットに比べシャンク背面や硬化肉盛部が大目に摩耗していた。これは土砂の圧密が他の部位より大きいと推測されるが、問題ない程度であった。

(4) チャンバー内流動性

加泥材注入口は、揺動式であることから各スポーク及びセンターの計5カ所に装備した。チャンパー内の流動性に関しては、掘進中の掘削土砂は加泥材が均一に混合されていたこと、また掘進完了後の到達立坑側からの目視確認により、チャンパー内やカッタースポークに掘削中の土砂や到達直前の地盤改良土の付着が見られないことから、通常シールド機と比べても何ら遜色はなかった。



写真-2 S字状の急曲線部 (半径 12m)

5. おわりに

ワギングカッターシールド工法の採用により、半径 12m の急曲線を計画路線通りに掘進でき、同工法が曲線施工における方向制御に効果的であることが実証された。

この実績に基づき、曲線半径 8m の急曲線に対応できるシールド外径 $\phi 5,240\text{mm}$ の 2 号機を現在製作中である。