

## 26. 偏心多軸 (DPLEX) シールドによる到達部繊維補強仮壁の切削

大豊建設㈱：\*小林 隆治, 富沢 勉, 平林 勉

### 1. はじめに

偏心多軸 (D P L E X) シールド工法は、任意断面のシールドトンネルを築造する工法として開発され、千葉県習志野市で第1号工事として円弧状矩形断面シールド工事を施工し順調に完了した。

今回、東京都下水道局発注の円形シールドに当工法が採用された。本工事の掘進路線には、JR橋梁の近接構造物や河川護岸の残置鋼矢板がある。

到達部は繊維補強コンクリート仮壁であり、これをシールドで切削して到達した。

D P L E Xシールド工法による繊維補強仮壁を切削して到達するのは今回初めてであり、本文は

この到達概要について報告する。写真-1にシールド到達状況を示す。

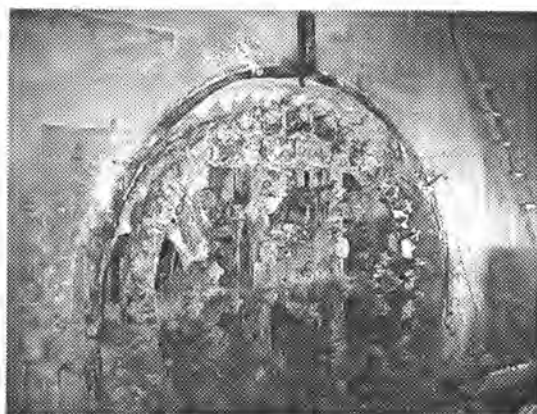


写真-1 シールド到達状況

### 2. 工事概要および地質条件

工事名：江東区南砂一丁目、北砂一丁目付近再構築工事

工事場所：江東区南砂一丁目、北砂一丁目

工期：平成8年7月～平成10年2月

発注者：東京都下水道局北部建設事務所

施工者：大豊・若築建設共同企業体

工事内容：シールド工法 泥土圧式偏心多軸シールド

路線延長 L = 1,455.9 m

仕上内径  $\phi$  2,600 mm

シールド外径  $\phi$  3,480 mm

セグメント外径  $\phi$  3,350 mm (鋼製)

最小曲率半径 R = 30 m

土質 有楽町層 (軟質シルト層：N値 = 0 ~ 4)

土被り 8 ~ 11.5 m

地下水位 GL - 2 m

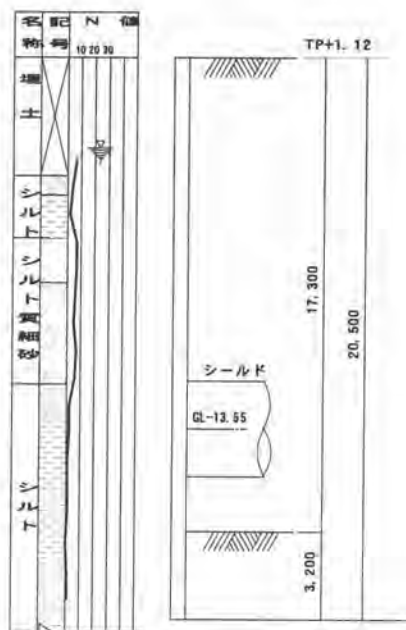


図-1 到達人孔部地質図

到達人孔部の地質図を図-1に示す。

### 3. 繊維補強仮壁概要

本工事の到達立坑は別工事で施工された既設の人孔で、図-2および図-3に到達人孔の平面図と繊維補強仮壁配置図を示す。仮土留め壁はSMW工法で、応力部材としてH形鋼（H-440）を建て込んでいる。

シールドが通過する箇所は、プレキャスト製の繊維補強仮壁部材（9本）を使用し、上部および下部の応力部材には通常部と同じH形鋼（H-440）を、プレートを用いてボルト接合されている。

繊維補強仮壁の仕様を下記に示す。

コンクリート：石灰砕石コンクリート

一軸圧縮強度 810 kgf/cm<sup>2</sup>

設計基準強度 750 kgf/cm<sup>2</sup>

主筋：ピッチ系炭素繊維6本

保証切断強度 8080 kgf/cm<sup>2</sup>

呼び径 φ 30 mm

断面積 5,383 cm<sup>2</sup>

スターラップ：PAN系炭素繊維

呼び径 φ 10 mm

断面積 0.785 cm<sup>2</sup>

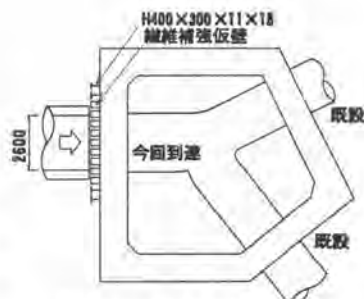


図-2 到達人孔平面図

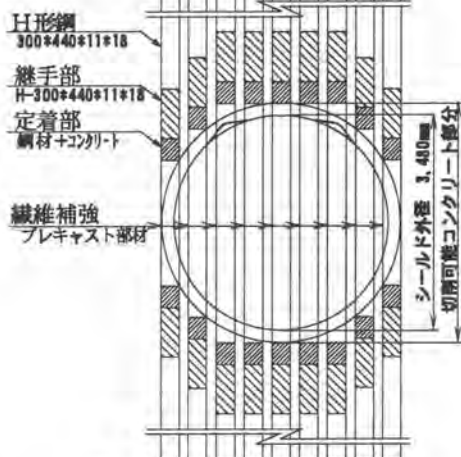


図-3 繊維補強仮壁配置図

### 4. 繊維補強仮壁切削の対策

#### 4-1) シールド対策

本工事に使用したシールドは、円形DPLEXシールドであり、下部2軸が駆動軸、上部1軸が支持軸の3軸支持である。

DPLEXシールドの掘削は従来の単軸シールドとは異なった切削運動を行うため、負のすくい角を持つクロスルーフビットを使用している。

図-4に本シールドの概要を、図-5にクロスルーフビット形状を示す。

このビットは頂部に超硬チップを

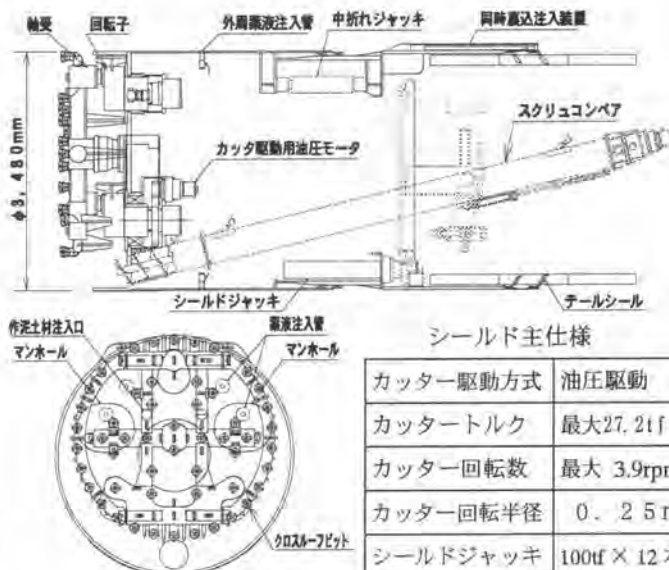


図-4 DPLEXシールド概要図

シールド仕仕様

カッター駆動方式	油圧駆動
カッタートルク	最大27.2tf・m
カッター回転数	最大 3.9rpm
カッター回転半径	0.25m
シールドジャッキ	100tf × 12本

十文字に埋め込んだ形状で、すくい角は負の32.5度、先端角160度とし、超硬チップはE5を使用した。

高強度の繊維補強仮壁を切削するため、超硬チップの先端幅を1.3mmとした。カッタービットの配置は、軟弱地層を掘進後繊維補強仮壁を切削するため、最外周フード部を含め切り残しを少なくするビット配置とした。

図-6にカッターの切削軌跡を示す。

シールドの推進速度は、事前に行った高強度コンクリートの切削実験結果から1mm/min程度と想定した。

この推進速度を制御するため、シールドジャッキの油圧ユニットに小流量調整弁を取付け、低速の推進速度で掘進した。

#### 4-2) 既設到達人孔対策

既設到達人孔は、到達時の土水圧や繊維補強仮壁切削の反力に対応するため、図-7の示すようにプレート(t=3.2mm)とH形鋼(H-350、250、200)で到達人孔の補強を行った。既設人孔のシールド通過部分は、発砲モルタル(壁厚1.3m)が充填されていたが、空隙部分に薬液(懸濁型)を補足充填した。

到達部の地盤改良は行わず、そのまま繊維補強仮壁を切削し到達した。

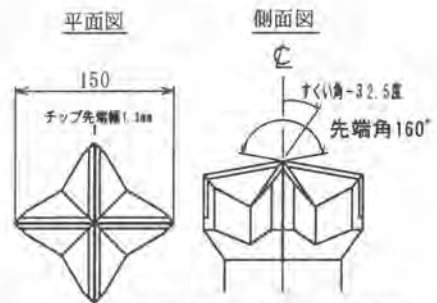


図-5 クロススcrewビット形状図

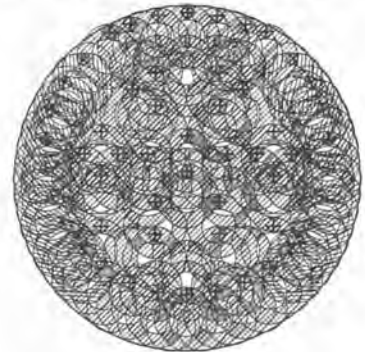


図-6 カッター切削軌跡図

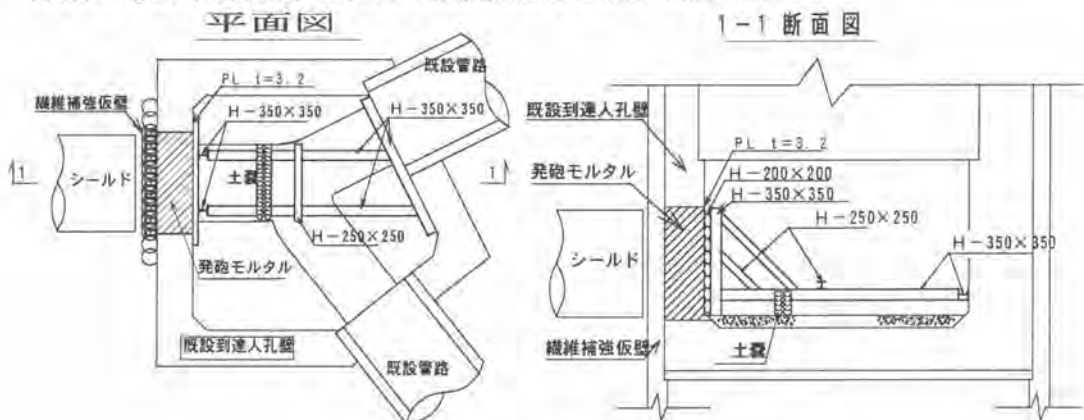


図-7 既設到達人孔補強

#### 5. 繊維補強仮壁切削状況

繊維補強仮壁部材の切削は昼夜連続して掘進し、異物(鋼矢板)による排土ポンプ閉塞の一時中断以外、シールドの故障は発生しなかった。切削時間は、一時中断を含め、2日(実掘削時間17時間)で終了した。仮壁部材の切削長は580mmであった。

平均推進速度は、想定した推進速度1mm/minよりやや遅い0.6mm/minであった。平均推進速度が

想定より遅くなったのは、繊維補強仮壁到達の2m手前および仮壁部材切削中の異物により、一部の Cutter ピットが破損したためと思われる。

写真2に排土ポンプから回収した鋼矢板の切れ端と繊維補強部材の一部を示す。

繊維補強仮壁部材を切削したときの Cutter 一回転数は 3.8rpm とした。

切削状況は、切削開始から 80mm (ストローク 480mm) 付近までの Cutter トルクが 7 ~ 16 tf・m、推進速度 1 ~ 3 mm/min と順調に切削したが、その後推進速度が徐々に低下した。

ストローク 480mm で、Cutter トルクが 27.2tf・m (最大装備トルク) まで数回上昇した。その後トルクが安定したので、そのまま 20 mm ほど掘進したが、排土ポンプが閉塞したので掘削を一時停止した。

切削開始から 200mm (ストローク 510mm) 付近で炭素繊維の主筋φ 30mm (2本×9箇所=18本) の切削を始めると、Cutter は小刻みに止まりかけながら掘進した。

ストローク 600mm 付近から、Cutter の油圧ホースが激しく脈動を始めた。これ以後後方台車が左右に激しく振られるようになった。

主筋φ 30 mm (4本×9箇所=36本、ストローク 810mm ~ 900mm) の切削では、トルク上昇による切削停止が時々起きた。

### 5-1) Cutter トルク

繊維補強仮壁切削の Cutter トルク経時変化を図-8に示す。

Cutter トルクは切削開始から切削終了 (ストローク 320 ~ 900mm) まで 4 ~ 27.2 tf・m (最大装備トルク) と大きく変化した。このときのトルク係数  $\alpha$  は 0.1 ~ 0.6 である。

### 5-2) ジャッキ推力

ジャッキ推力経時変化を図-9に示す。

ジャッキ推力は、切削開始からストローク 480mm まで 200 ~ 400tf であったが、繊維補強部材手前の主筋 (18本) を切削するストローク 510 ~ 650mm では 100 ~ 300tf であった。

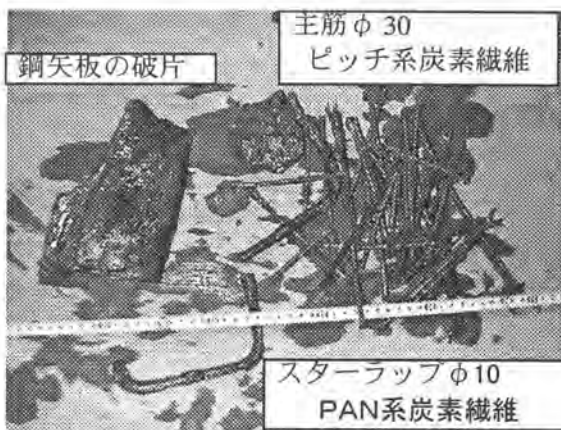


写真-2 排土ポンプ内の鋼矢板と繊維補強部材

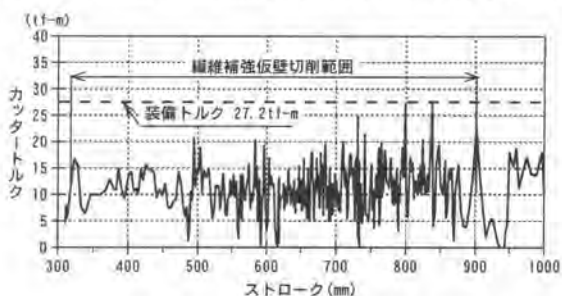


図-8 Cutter トルク経時変化図

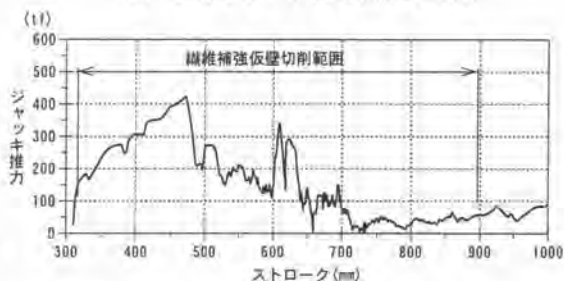


図-9 ジャッキ推力経時変化図

到達側の主筋（36本）を切削するストローク 810～900mm では 50～100tf と下がった。

### 5-3) チャンバー内土圧

チャンバー内土圧経時変化を図-10に示す。

シールドのチャンバー内土圧は、推進速度と切削ずりの排土量を制御しながら掘進し、 $1.0 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$  を維持した。

### 5-4) カッタービット状況

繊維補強仮壁部材切削後のカッタービットは、鋼矢板に当たったと思われる部分のビットが一部破損していたが、他のビットの摩耗はわずかであった。

写真-3、4にクロスルーフビットと外周切削用ルーフビットの状況写真を示す。

カッタービットの超硬チップ摩耗量は  $0.16 \sim 0.55 \text{ mm}$  で、ビット摺動距離  $1 \text{ km}$  当たりの摩耗量を表す摩耗係数は  $0.02 \sim 0.08 \text{ mm/km}$  であった。これは事前に行ったカッタービットの切削実験結果における摩耗係数  $0.1 \sim 0.35 \text{ mm/km}$  の  $1/4 \sim 1/5$  であった。

この要因として、ビットの切削実験で使用した模擬地盤は均一な高強度コンクリート（一軸圧縮強度  $90 \text{ N/mm}^2$ ）を切削したが、本工事で切削した繊維補強仮壁部材の高強度コンクリート（一軸圧縮強度  $80 \text{ N/mm}^2$ ）は、 $450 \text{ mm}$  間隔で配置され、部材間にはセメント固化材を充填している。このためシールド掘削断面に対して高強度コンクリートの割合（部材中心部では  $55\%$ ）が小さく、仮壁部材切削の開放面が大きくなることが考えられる。

図-11に繊維補強仮壁部材の詳細を示す。

### 5-5) 地盤変状

繊維補強仮壁切削に伴うシールド上部の地盤変状は水準測量により行い、仮壁切削開始前から切削終了後まで

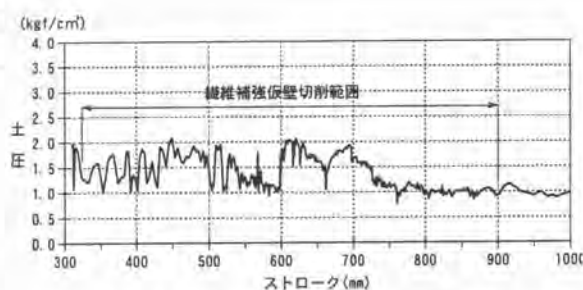


図-10 チャンバー内土圧経時変化図



写真3 クロスルーフビット摩耗状況



図-11 仮壁部材詳細図

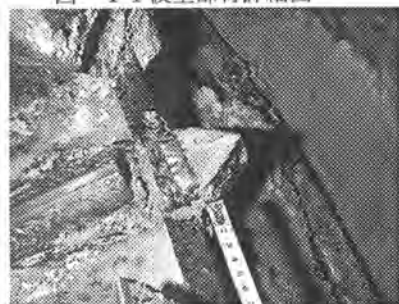


写真-4 外周部ルーフビット状況



継続して計測を行った。沈下量測定結果は、+1～-1mmの変状であった。

#### 5-6) 既設到達人孔の応力測定

繊維補強仮壁切削時における到達人孔補強材の応力をひずみ計で測定した。

応力測定は、繊維補強仮壁切削の直前から到達完了まで、30分間隔で自動計測した。到達人孔には監視員を配置し、絶えず監視を行った。ひずみ計の設置位置を図-12に示す。

軸力測定としては、補強材のH形鋼にひずみ計を2枚ずつ取付(A～D点)計測値の平均を軸力とした。曲げ応力は、ひずみ形を2枚補強材の水平梁に取付(E点)て、圧縮、引張りの絶対値を平均した。応力測定結果の軸力経時変化を図-13に、曲げ応力経時変化を図-14に示す。

応力測定の初期値は、既設人孔のシールド通過部分に薬液(懸濁型)を補充充填したときの値とした。繊維補強仮壁切削による、切梁(ひずみ計A、B)の軸力は17～23t程度であり、シールド到達直前におけるジャッキ推力の約1/2～1/3程度であった。

また曲げ応力(ひずみ計E)は最大で70 kg/cm<sup>2</sup>で到達する事ができた。

断面図

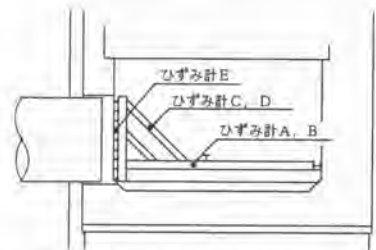


図-12 応力測定位置図

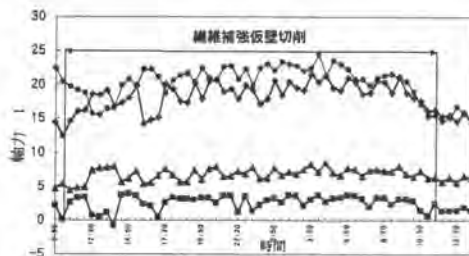


図-13 軸力経時変化図

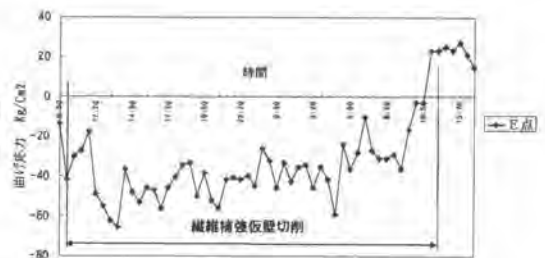


図-14 曲げ応力経時変化図

#### 6. おわりに

偏心多軸(DPLEX)シールドによる繊維補強仮壁の掘削は、周辺地山がN値0～4の極めて軟弱な地層にもかかわらず、地盤変状や周辺の影響もなく安全に到達することができた。

本シールドのカッタービットは、クロスループビットとループビットの組み合わせからなり、実工事においても切削実験とほぼ同様な切削状況で高強度コンクリート壁を掘削できることが確認できた。

参考文献：1) 近藤・富沢・小林・本間・金井 「負のすくい角を持つビットによるコンクリート切削実験結果」トンネル工学研究論文報告集 1997, 11

2) 伊東・関口・伊藤・田中 「NOMSTによる軟弱地盤中のシールド発進 都下水道南幹線シールド工事」トンネルと地下 1996, 2