

# 東京湾湾央の高水圧下における機械式地中接合工について

## — 東西連係ガス導管工事（第1工区）施工実績（その2） —

鹿島建設 東京土木支店 ○米沢 実  
 鹿島建設 東京土木支店 隈部 毅彦  
 鹿島建設 東京土木支店 亀井 良至

### 1. 概要

東西連係ガス導管新設工事（富津工区）は、千葉県の富津火力発電所内に構築した発進立坑から約9km先に位置する、東京湾中間地点（海拔-57m）までの海底トンネルを泥水式シールド工法で構築し、対岸の扇島工区と機械式地中接合するものである。

当工事は、海底トンネルであるため、地上からのチェックボーリングがトンネル全線において不可能であったため、水平ボーリングマシンを用いた相対位置探査システムを採用し、互いに9kmずつの長距離掘進を行った後、0.6MPaという高水圧下において全く補助工法を用いることなく機械式地中接合を行なった。本報では、相対位置探査水平ボーリング及びA-DKT（Advanced-Direct Docking Tunnel）工法による機械式地中接合の計画と実績について報告する。

### 2. 機械式地中接合工法の概要

#### 2.1 接合方法

本工事では、鹿島が開発した、従来の機械式接合工法であるDKT（Direct Docking Tunnel）工法を長距離掘進後の高水圧下での接合に対応するため改良した、A-DKT工法を採用した。

受入機は、前胴が内外胴の二重構造となっており、内胴（カッター部）を引き込むことにより貫入機を受け入れることができる構造となっている。貫入機も受入機同様に前胴が内外胴の二重構造となっており、内胴を押し出すことにより、受入機内に貫入できる構造となっている。貫入後は、受入機外胴内面に格納されているチューブシールを膨らますことにより、受入機外胴と貫入機内胴間で止水する構造である。受入機、貫入機とも内胴のスライドは、中折れジャッキを使用して行う。これにより、最も重要な止水面が掘進中は完全に保護された状

#### STEP1 受入機カッター引込

- 高機到達後、受入機の伸縮スポークを縮め、組立ジャッキを用いて、内胴およびカッターディスクをスライドさせ引込む（止水チューブシール露出）。

#### STEP2 貫入機カッターの貫入および嵌合部の清掃

- 貫入機の伸縮スポークを縮め、内胴をスライドさせカッターディスクを押し込む。
- カッターディスクの前進に合わせて、カッタースポークに内蔵されたブラシにより、受入機の止水チューブシール面上の溜り土を掻き退ける（ファイバースコープで清掃状況を確認）。

#### STEP3 嵌合部の止水

- 受入機の止水チューブシールに注水・加圧し、作動させる。チャンバー内水圧が復元しないことを確認しながらチャンバー内を掃泥する。

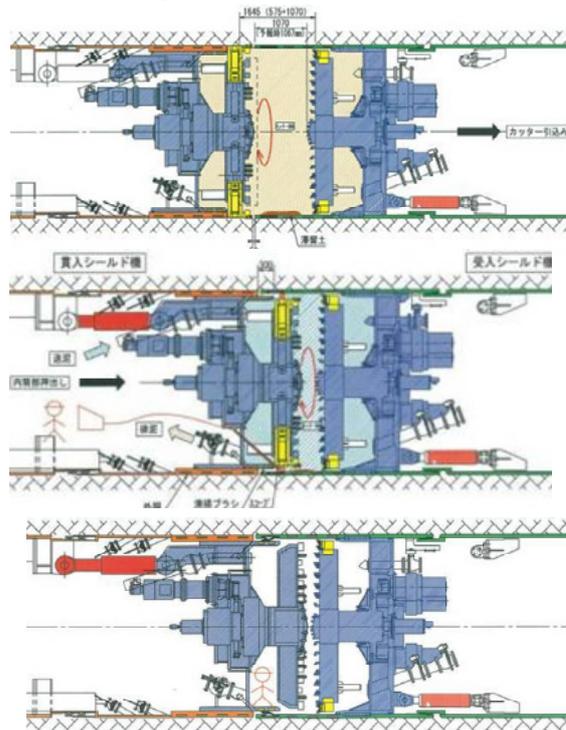
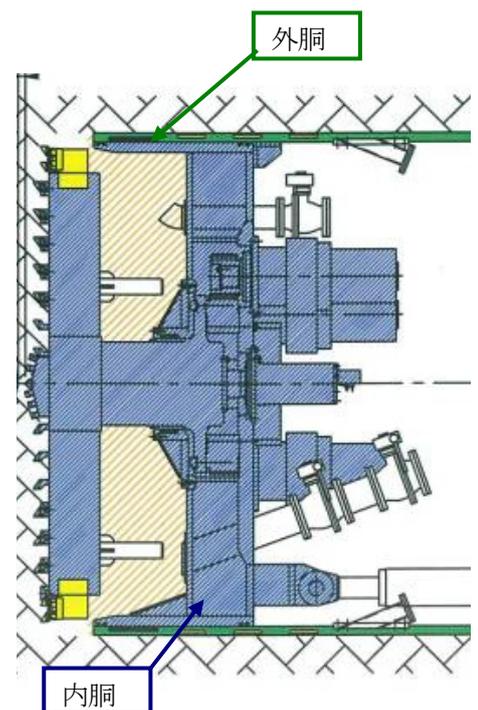


図-1 機械式地中接合フロー図



## 2.2 止水チューブシール

止水チューブの構造を図-2に示す。補助ゴム膜内に注水し、加圧することでシール部を起こし、止水面に押し当てることで止水する構造である。チャンバー内の水を抜くことで内外水圧差が高くなると、シール先端の押し付け力が更に大きくなるため、止水性能が向上するという特長を有する。シール先端のリップ部は、硬度を下げて密着性を高めた主リップと、異物の混入時の食い込み性を向上させるための副リップから構成されている。従来の補助ゴム膜を布入りの補強タイプに変更し、より高い圧力で加圧できるようにした。

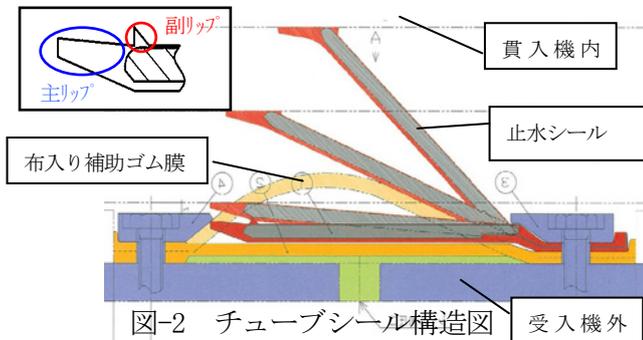


図-2 チューブシール構造図

## 2.3 止水面清掃機構

止水面は、掘進中は保護されおり、接合時の内胴、外胴スライド時に初めて露出される。この時点では、チャンバー内に泥水があるため、止水面に土砂が堆積することが懸念された。事前の実験により、若干の堆積でもチューブシールの止水性に重大な影響を及ぼすことが確認されたため、土砂を排除を目的として、貫入機のスポークに伸縮式ブラシを内蔵した。また、土砂の堆積、清掃状況を目視確認するために、ファイバースコープをチャンバー内に挿入する機構を貫入機に装備した。

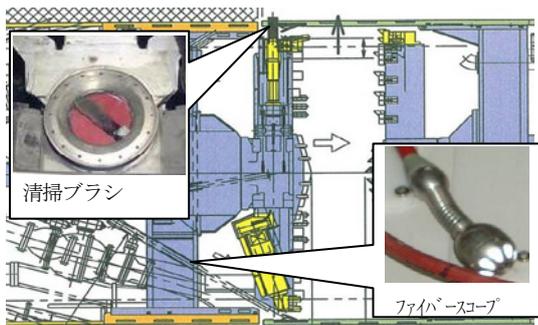


図-3 清掃用ブラシ、ファイバースコープ

## 3. 相対位置探査システム

### 3.1 相対位置探査システム概要

接合時のシールド機同士の中心のずれ量は±50mm. 以内にする必要があることから、富津ガス導管シールド、東京湾アクアライン、浪速共同溝等で実績のある水平ボーリングマシンを用いた磁気・R Iセンシング併用相対位置探査システムを採用した。小口径であり、R Iセンシング範囲が狭いことから、磁気センサーのみで、概略の相対位置が把握できるシステムを新たに実用化した。相対位置探査システムの施工手順は以下のとおりである。

- ①先着機（1工区）は掘進終了後、シールドマシンの一次解体を行ない、水平ボーリングマシンを設置する。
- ②後着機（2工区）が50m程度手前まで到達するのに合わせて先着機から水平ボーリング機を後着機の面の手前まで推進する。
- ③先着側のトンネル坑内から測量し、水平ボーリング機先端位置を確定させる。
- ④水平ボーリング機先端に装備した磁気センサーと後着機面板に設置した複数の磁石により相対位置を検出する。
- ⑤後着機面板のスリットからR I線源を挿入しバルクヘッドに板を押し当て、後着機内側よりシンチレーションカウンター（ $\gamma$ 線受信器）で計測を行い、高精度に相対位置を検知する。
- ⑥後着機は、探査結果により掘進線形を決定し、修正掘進を行う。

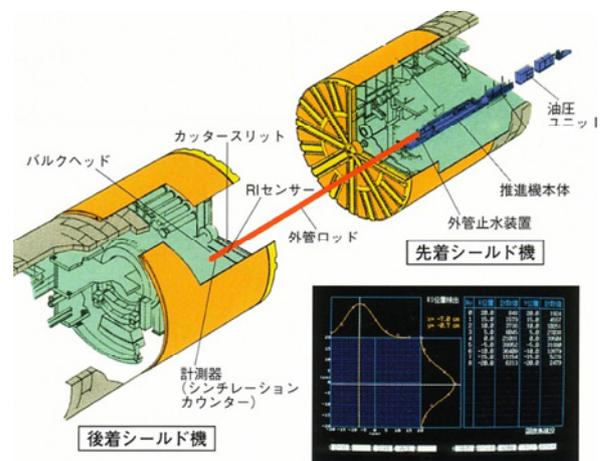


図-4 相対位置探査システム概要

### 3.2 水平ボーリングマシン

水平ボーリングマシンは、小口径泥水式推進機、鋼管挿入装置（元押し装置）、推進鋼管及びビエントランス装置から構成される。



写真-1 泥水推進機

写真-2 元押し装置

従来のボーリングマシンに対して、以下の改良、対策を行なった。

①シールドマシン径が小さいため、水平ボーリング機本体（Φ280）が通過可能な穴をシールドマシン面板に開けることが困難であったため、R I 線源のみをロッド（Φ65）により挿入可能な構造とした。

②高速施工対応

推進鋼管同士の接続を従来の溶接からねじ方式にし、推進、引抜き時の接続時間の短縮を図った。また、鋼管挿入装置の推進ジャッキを2連とすることでストロークの長大化を図り、鋼管1本分を盛替えなしで施工できる構造とした。



写真-3 RI探査ロッド

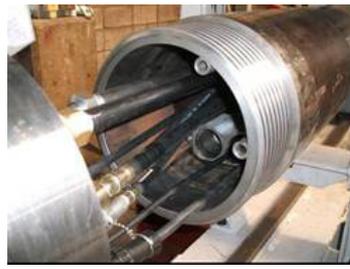


写真-4 鋼管接続部

### 3.3 磁気センシング

磁気センサーによる位置検知原理を以下に示す。

- ・磁気センサーを近づけ、シールドマシンの面板を回転させると配置された磁石がセンサーに最接近する面板回転角度で磁力のピーク値が検出される。
- ・複数の棒磁石を面板半径方向に対して角度をもって配置すると、磁気センサーの位置によりピーク間の角度（ $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ）が異なるため、波形パターンか

ら半径方向の位置（ $r$ ）がわかる。

- ・面板回転角度とピーク発生角度からセンサーの位置角度（ $\theta_a$ ）がわかる。

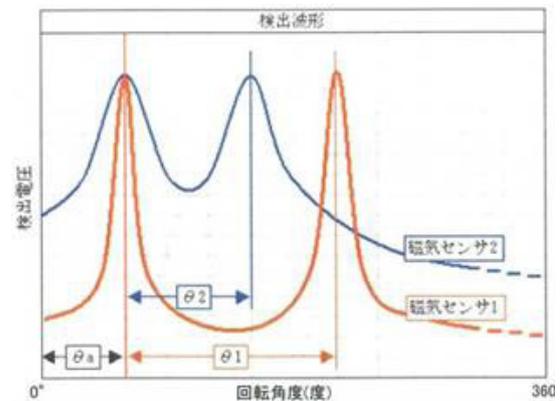
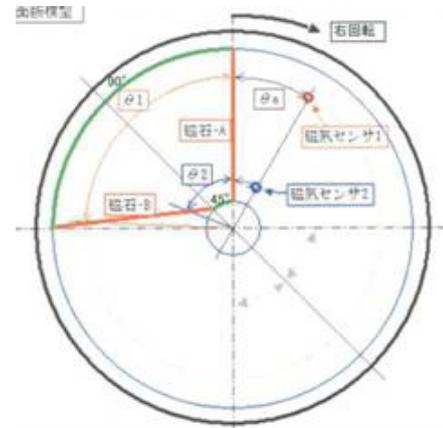


図-5 磁気センシング原理

当工事では、貫入機に図-5に示す6個の磁石を配置し、事前に実際の面板を使用し、センサー位置と面板回転角度における磁力波形データを50mmピッチでキャリブレーションし、実施工と比較することで位置を確定できるようにした。

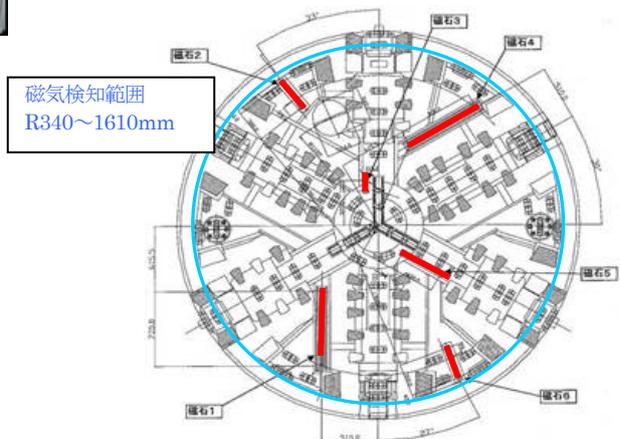


図-6 貫入機磁石配置

### 3.4 RIセンシング

RIセンシングシステムの仕様を表-3に示す。RI検知板の寸法は、相互の推定測量誤差（水平±300mm、鉛直±50mm）と水平ボーリングの施工誤差を考慮して決定したが、シールド径が小さく、従来のシンチレーションカウンターでの検知スペースが確保できなかったため、新たに小型軽量タイプ（従来の約1/7）を製作した。

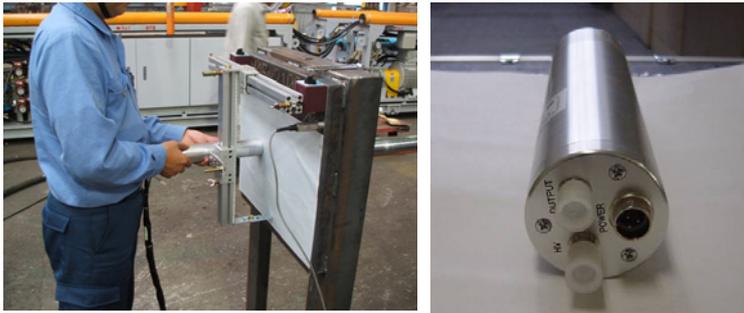


写真-5 シンチレーションカウンター

## 4. 施工実績

### 4.1 水平ボーリング

水平ボーリングは、後方から測量を行なうため、50mの推進長において水平、鉛直誤差を±20mm以内に収める必要があったが、十分に制御可能であり、目標精度を満足した。推進管の接続に予想よりも時間を要したが、所定工程内で推進を終了した。引き抜きは予想どおりの時間であった。

### 4.2 相対位置探査

50m地点での第1回目探査では、RIセンサーの検知エリアから外れていたが、磁気探査により位置を特定することができ、その後、修正掘進中に4回のRI探査を行なって、±10mm以内の精度で修正掘進を終えた。

### 4.3 機械式地中接合

#### (1) 受入機カッター引込み（内胴部引込み）

カッターの引き込みは、中折れジャッキを使用して行った。引き込み時は、内胴、外胴間の競りや漏水等はなく、非常にスムーズであった。また、接合時（貫入機のカッター押し出し時）にも特にトラブルはなかった。

#### (2) 止水チューブによる止水

貫入機による貫入後に止水チューブによる止水

を行った。図-7にチューブシールド施工時の経過時間とチャンバー内水圧の関係を示す。チューブシールド作動後、貫入機側より、チャンバー内の水を徐々に抜き、圧力の変動を確認した。チャンバー水圧が0.2MPa付近までは、復水が見られたが、それ以下では復水が見られなくなり、チャンバー内の水を完全に抜ききった時点で漏水確認を実施したところ、漏水は、ほぼゼロであり、全く補助工法を用いることなく、接合部を止水することが出来た。

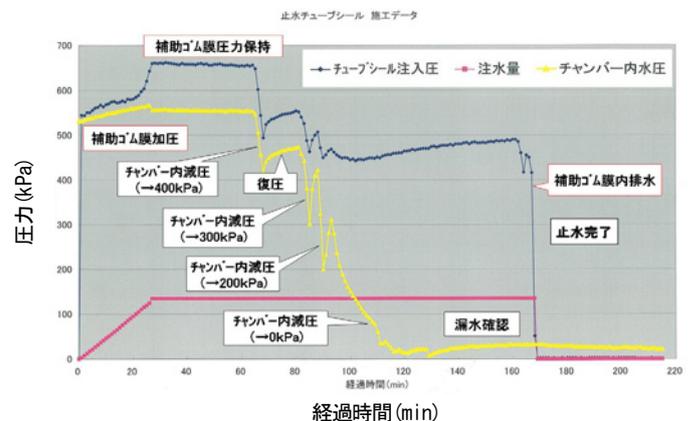


図-7 止水チューブシールド施工結果

## 5. おわりに

当工事では、長距離、高水圧下の厳しい条件にもかかわらず、相対位置探査、地中接合とも大きなトラブルなく、無事工事を終了することができた。これは、事前の課題、リスクの抽出とそれに対して徹底した検討を行い、実施計画に反映させた結果である。また、検討の結果、各局面でフェールセーフを用意していたことは、施工する上で非常に安心感があった。計画の立案と施工に際し、一体となって、検討、ご指導頂いた東京電力株式会社殿、共同で計画・施工を行なった第2工区共同企業体、また、多大なご支援を頂いた関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

1) 富所達哉・高橋聡・米沢実・京屋宣正：長距離掘進後の高水圧下における機械式地中接合、トンネルと地下、Vol. 37、No. 7