

# 海底下横断シールドにおける想定外の玉石出現への対処実績

西松建設株式会社 ○橋本 守  
 西松建設株式会社 野村 克彦  
 西松建設株式会社 山本 達也

## 1. 工事概要

本工事は昭和 30 年代に整備された既設污水幹線の老朽化・地震対策として、代替の幹線となる新磯子幹線を泥水式シールド工法（仕上り内径φ3,600mm，施工延長 1,896m）により築造するものである。

工事概要を表-1 に、現場位置図，標準断面図を図-1，2 に示す。

表-1 工事概要

工事名称	南部処理区新磯子幹線下水道整備工事
発注者	横浜市環境創造局
施工者	西松・福田・森本建設共同企業体
工事場所	横浜市磯子区磯子1丁目4番から新磯子町39番
工期	平成25年9月30日～平成29年3月15日
工事内容	一次覆工（泥水式シールド工法） ・掘進延長：L=1,896.3m ・セグメント：RCセグメント （内径φ3,600mm，外径φ3,950mm，厚さ175mm，幅1,200mm） 発進立坑築造工（深さ29.1m） 1か所 坑内配管工（送泥管等） 1式

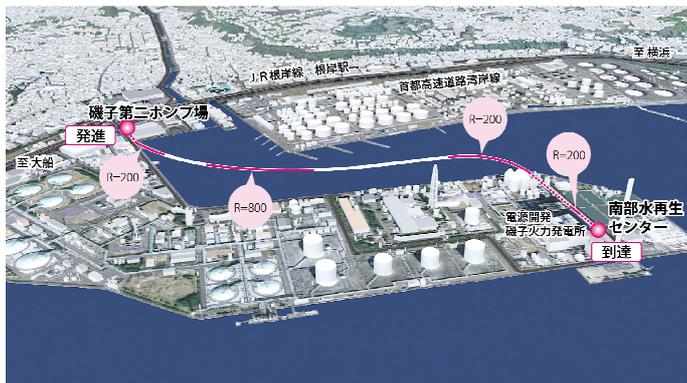


図-1 現場位置図

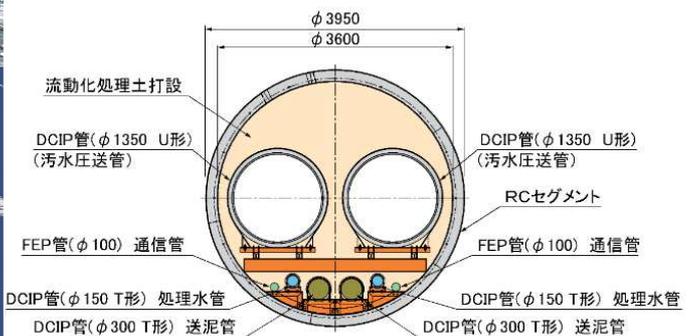


図-2 標準断面図

## 2. 地形および地質概要

工事箇所（横浜市磯子区新磯子町近傍）の地形は、鶴見川や大岡川等の河川沿いに発達した河岸段丘と海岸沿いに発達する根岸湾沿岸低地に立地し、付近は内湾性の谷底沖積台地が発達する複雑な地形をなしている。旧海岸線を走る国道 16 号線を境にして、海側は広域の埋立地となっており、当該地区は根岸湾に張り出した半島状の地区に位置する。この地区は、ほぼ全域が工業地帯になっており、地表面高度は TP+2～3m 程度である。

本工事のシールド掘進位置の地盤は、均

質な N 値 50 以上の固質シルト層(Nzc)と想定されていた。海底部では固結シルト層が深く落ち込み、固結シルト層上端は TP-35m から 37m に位置する。土質縦断面図を図-3 に示す。

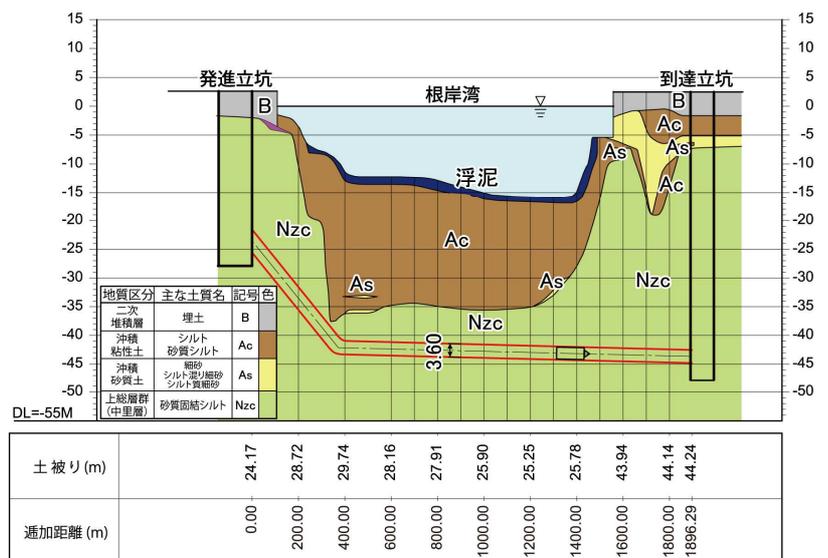


図-3 土質縦断面図

キーワード 泥水式シールド、海底下、玉石層、クラッシャー

連絡先 〒235-0016 神奈川県横浜市磯子区磯子 1-4 西松 JV 磯子シールド出張所 TEL 045-750-5601

### 3. シールドマシン概要

シールドマシンの概要図を図-4 に示す。マシンの特徴としては以下の通りである。なお、玉石層の出現は想定してなかったため、玉石対応の仕様にはなっていない。

- ・軟弱シルト層対策として地山探査装置を設置
- ・バーチカルカーブの線形確保対策として中折れ機構を装備
- ・固結シルト対策としてフィッシュテール部およびチャンバー内部に付着防止塗料塗布，超硬チップ E3 の採用，耐磨耗溶接硬化肉盛の採用

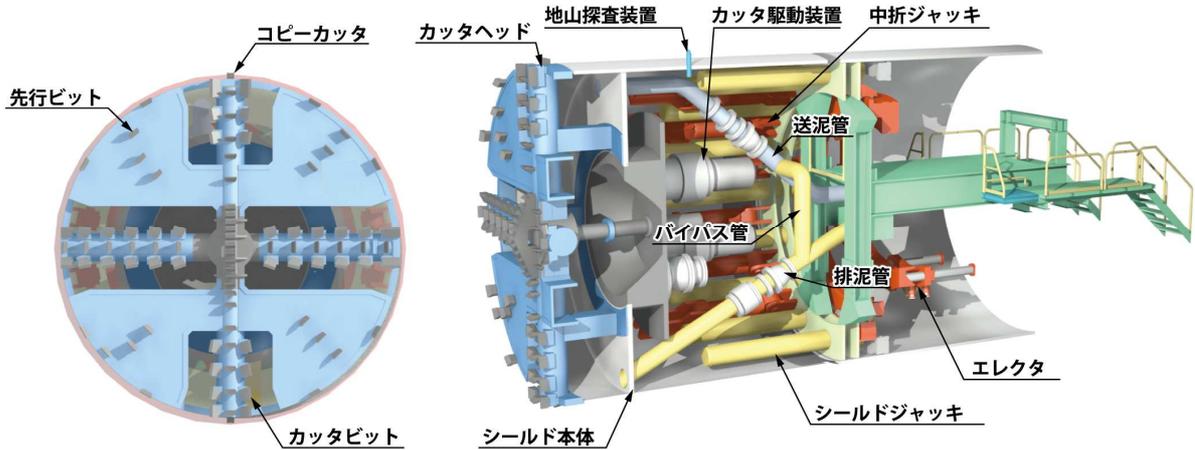


図-4 シールドマシン概要図

### 4. 施工中に発生した課題および懸念事項（玉石層の出現）

シールド掘進中 780m～1360m 区間において、計 3 回（総延長約 100m）の玉石層区間が出現（図-5）したことにより、以下の課題および懸念事項が生じた。

- ① トンネル崩壊の危険性
- ② カッタービットの摩耗によるシールド掘進不能
- ③ 流体輸送設備（排泥管およびポンプ）の閉塞によるシールド掘進停止

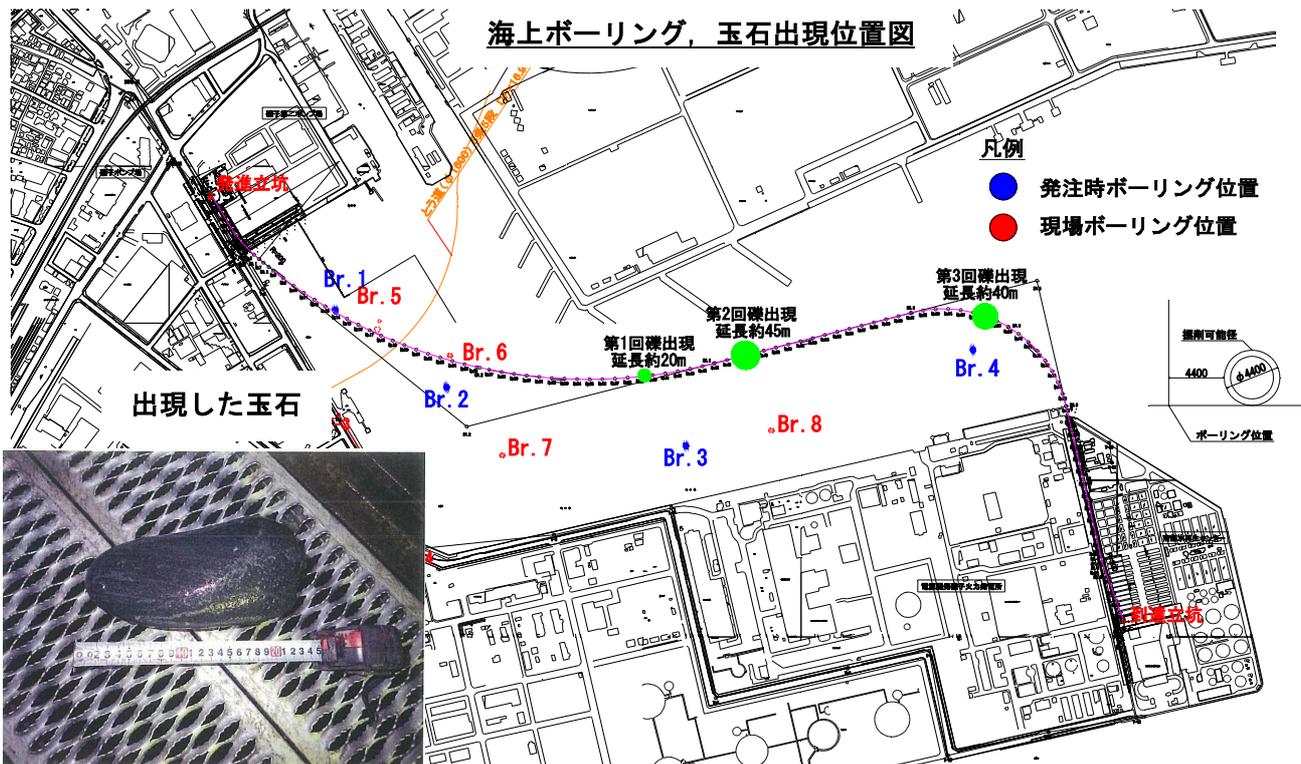


図-5 ボーリング・玉石層出現位置図

## (1) セグメント構造安全性検討

セグメント設計時の土質条件と異なるためセグメントの構造安全性再検討を行った。

### a) 原設計土質縦断図の確認

原設計で想定されていた土質縦断図では、シールド掘進部の地盤は全線において固結シルト層内と想定されていた。その土質縦断図は、港湾内における航路上の問題よりシールド線形直上でのボーリングが実施出来なかったため、特に今回玉石が出現した位置では 100m 以上離れた位置でのボーリング調査結果と、音波探査結果を組合せ想定されたものであった。

今回出現した玉石層は、固結シルト層の中間に局所的に玉石層が介在する可能性は低く、固結シルト層上部に堆積した玉石がシールド断面内に出現したと考えられた。その場合、固結シルト層天端は想定より深く、玉石の出現とともに上部より軟弱粘性土が出現する可能性もあり、セグメントの安全性が懸念された。このため、音波探査を行った専門者にヒアリングを行い、想定されている固結シルト層天端深度の信頼性について確認することとした。

### b) 音波探査専門家へのヒアリング結果

玉石層と軟弱粘性土層の分布を把握することを目的として、音波探査を行った業者にヒアリングを行った。ヒアリング結果は以下の通りである。

- ① ボーリング調査の結果から、当該地盤は軟弱粘性土の直下に硬い固結シルト層が出現するものと想定されていた。このため、音波探査上で明瞭かつ容易に確認できると予想されたことから、音波探査方法は出力の低い方式を選定した。
- ② 港湾が狭く曳航設備が限定されることから、出力の高い方式を採用することは難しかった。また、港湾の狭さに対応するため、発信源もマルチでなくシングルチャンネル方式を採用した。
- ③ 今回の音波探査方式では、N 値が 10~20 程度以上で音波が反射するため、それ以深は測定できていない。
- ④ 今回、探査結果は層境の判別としては不明瞭ではあるが、少なくとも基底と判定した面は N 値 10 以上の層の上面と想定できる。

### c) 土層区分の推定

ボーリング調査結果と音波探査の結果を重ね合わせると、到達側断面 (BorNo.3, BorNo.4, BorNo.8) ではおおむね一致しており、玉石出現箇所以降の探査結果は妥当性があるとし、土層区分の推定を行った。ヒアリング結果④をもとに少なくとも N 値 10 以上の地盤に土被り 10m 程度入っていると想定されたため、代表断面として図-6 のようにモデル化した。

### d) セグメント構造安全性の考察

代表断面において、N 値 10 程度の玉石混じり粘性土層と固結シルト層の境をトンネルの上部よりトンネル径の CASE1:25%, CASE2:50%, CASE3:100% の 3 ケースの検討断面 (図-7) を設定し、セグメントの構造照査を行った。

その結果、CASE1, 2 は許容応力度内におさまり、CASE3 はコンクリートの圧縮でわずかに許容応力度を越えた (表-2)。しかしながら、CASE3 はシールドマシンが全面、固結シルト層より上部に出るという極端な事象の検討であり可能性は低いと考えられること、短期的な構造安全性は確保できること、トンネル内は本管設置後に充填されることから、セグメントの変更および補強は行わなくてもトンネル構造に悪影響を及ぼす可能性は低いと考えた。

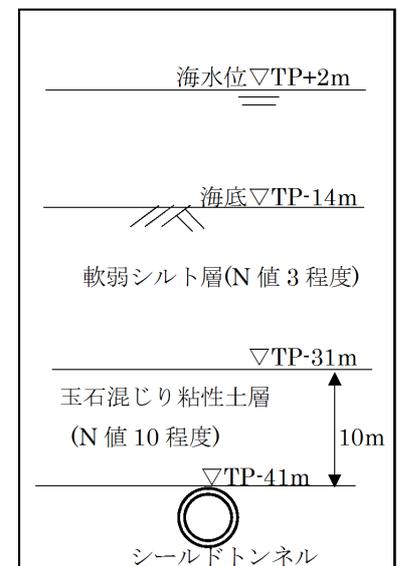


図-6 代表断面



## (2) カッタービット摩耗検討

固結シルトよりも摩耗負荷係数が大きい玉石を切削することになり、カッタービットの摩耗による掘進不能が懸念されたため、カッタービットの摩耗検討を行った。

- ・カッタービットの摩耗量算定

$$M = M_t + M_a$$

$$M_t = N \cdot m \cdot k$$

$$M_a = \frac{M_t \cdot n \cdot \pi \cdot D \cdot L}{V} \times 10^3$$

M = 今回の工事に於ける推定摩耗量(mm)

M<sub>a</sub> = 各土質での摩耗量(mm)

M<sub>t</sub> = 単位摺動距離当りの摩耗量(mm)

L = 各土質での掘削延長(m) (固結シルト : 1796m, 玉石 : 100m)

N = N 値

(スクレパツースは先行ビットの先行掘削効果を考慮し、設定値 N 値に 0.6 を乗じる)

m = 素材による単位摺動距離当りの摩耗量(mm)

k = 土質区分による摩耗付加係数(固結シルト ; 0.15, 玉石 : 0.35)

n = 回転数(r.p.m.)

V = 平均掘削速度(cm/min) (固結シルト ; 4, 玉石層 : 2)

摩耗量は、各土質での摩耗量 M<sub>a</sub> の総和である。先行掘削効果を考慮した各カッタービットの総摩耗量を以下に示す。

- ・先行ビット(許容摩耗量 : 40mm)      M<sup>1</sup> = Σ M<sub>a</sub><sup>1</sup> = 13.956mm      OK!
- ・スクレパツース(許容摩耗量:30mm)      M<sup>2</sup> = Σ M<sub>a</sub><sup>2</sup> = 12.281mm      OK!

計算の結果、許容量以下であったため、特別な対策を取らずに到達まで掘進を行った。なお、到達後摩耗量を測定した結果、最大で 3mm という施工結果 (写真-2) となった。



写真-1 到達時カッターフェイス

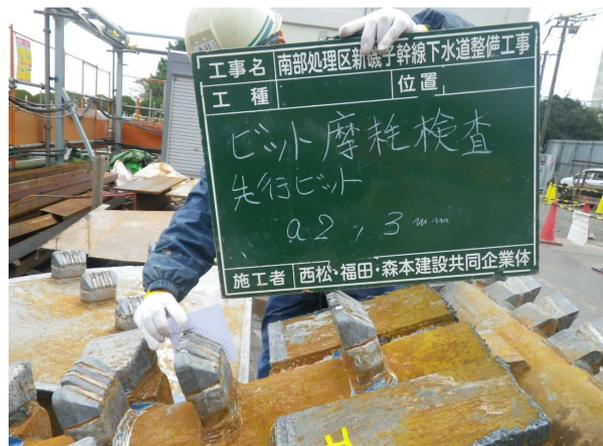


写真-2 ビット摩耗検査 (3mm)

## (3) 流体輸送設備閉塞対策

一般的に玉石径 φ50mm 程度の小さな玉石は、配管・流体ポンプを通過して地上の一次処理まで輸送される。しかし、φ100mm 程度の玉石になると流体ポンプで閉塞し、φ150mm 程度になると配管やボールバルブで閉塞する可能性が高くなる。当現場においても写真-3 に示す通り、流体ポンプおよび配管で玉石による閉塞が発生した。



写真-3 玉石閉塞状況（左から出現した玉石，ポンプ内閉塞，配管内閉塞）

表-3 玉石による閉塞の概要とその対策

1 回目	発生日時	平成 28 年 2 月 19 日(昼勤)	T.D.780m 付近より 20m 区間	No.645 リング	玉石径 φ100mm	
	発生状況	小さな玉石が増え始め、掘進速度を落とすことなく掘進していたが、流体輸送が不能となった。				
	トラブル内容	P7 ポンプのケーシング内に玉石がつまり、流体が通過できない状況となっていた。(閉塞 6 回)				
	主な原因	発生玉石径が φ100mm に対して、P7 ポンプの通過可能玉石径が φ70mm 程度であった。				
2 回目	対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・P7 ポンプのフロントカバーを外して閉塞したズリを撤去した。</li> <li>・配管内での玉石の沈降による閉塞を防止するために、泥水比重を 1.1 から 1.17 に上げた。</li> </ul>				
	発生日時	平成 28 年 3 月 8 日(昼勤)	T.D.940m 付近より 45m 区間	No.769 リング	玉石径 φ200mm	
	発生状況	排泥管(8inch)での閉塞が頻発し、排泥ポンプを逆送運転しても閉塞を解除できなくなるのが頻発した。P7 ポンプの閉塞も頻発				
	トラブル内容	1 回目とは違い、明らかに玉石径が大きく、排泥管(8inch,6inch)での閉塞が頻発した。				
3 回目	主な原因	シールドマシンおよび泥水輸送設備に玉石破砕機能(又は玉石取り込み制限)は無く、排泥管径以上の玉石を取り込んだ。				
	対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>784 リング(閉塞から 15 リング後)から PD ポンプ前に礫取り箱(スリット 75mm)を設置して配管に流入する前に玉石を取り除いた。</li> <li>しかし、礫取箱の清掃頻度が多くなり進捗が上がらなかった。ため、破砕設備(ロータリークラッシャー)を追加装備。</li> </ul>				
	発生日時	平成 28 年 6 月 4 日(昼勤)	T.D.1,320m 付近より 40m 区間	No.1103 リング	玉石径 φ250mm	
	発生状況	流体輸送が不能となった。				
3 回目	トラブル内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機内バイパス運転は可能であったことから、機内バイパスより切羽側での閉塞と予想される。</li> <li>・チャンバーからクラッシャー入口間の配管が閉塞。</li> <li>・木片および固結シルトの塊によるクラッシャー内部閉塞。</li> </ul>				
	対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排泥用機内ボールバルブを分解し、閉塞した玉石を撤去した。</li> <li>・クラッシャー閉塞時は、分解し清掃を行った。</li> <li>・予備排泥管(10inch)を利用して排泥を行った。</li> </ul> (スペースの関係上、機内バイパスは撤去し蓋をした)				

第 1 回目の玉石層区間では、最大粒径が φ100mm ほどであったために配管内での閉塞は少なく、閉塞したとしても逆送運転で解除が可能であった。当時中継ポンプは P6 ポンプと P7 ポンプであり、それぞれの通過粒径は P7 が φ70mm、P6 が φ100mm であったため P7 ポンプで閉塞した。P7 ポンプの閉塞解除はフロントカバーを外し中にある玉石を取り除き行った。20m 区間、計 6 回 P7 ポンプで閉塞を起こした。玉石層区間では配管内に玉石が沈降するのを防止するため、泥水比重を通常の 1.10 から 1.17 に上げた。

第 2 回目の玉石層区間では玉石径が大きくなり(長辺で 200mm)、玉石率も増加していった。そのため、ポンプ・配管の色々な箇所での閉塞が生じ、その閉塞解除作業に多大な時間を費やすこととなったため進捗が著しく低下した。そこで、まず配管に流入する前に玉石を取り除けるよう FD ポンプの前に礫取箱を設置した。礫取箱設置後は、ポンプ・配管での閉塞は発生しなくなったが、ストローク 100mm ごとに箱内の玉石を取り除きながら掘進しなければならなかったため、進捗が上がらなかった。玉石の出現量も減少傾向にならなかったため、新たな対策として FD ポンプをロータリークラッシャーに変更して掘進した。クラッシャーに変更した後の掘進は、クラッシャー装置が有効に働き、平均ジャッキスピード 20mm/分で掘進を行った。なお、今後も玉石層出現の可能性があったため、2 回目の玉石層終了後もクラッシャーは残したまま掘進を行った。(固結シルト層に戻った後の平均ジャッキスピード 40mm/分; 通常の掘進速度と同程度)



写真-4 礫取箱



写真-5 礫取箱内部



写真-6 クラッシャー

第3回目の玉石層区間では、前回区間で出現した玉石より大きいものも多く、チャンバーからクラッシャーまでの配管での閉塞が頻発した。配管を解体し閉塞を解除していたが、No.1106 リング掘進開始直後に 8inch 排泥口で玉石が閉塞した。クラッシャー前方の配管を外し、玉石を込めて流体を逆走させ排泥口に閉塞した玉石を飛ばす方法などあらゆる閉塞解除を試みたが、玉石は除去できなかった。そこで、8inch 排泥管からの取り込みを断念し、マシンに当初から装備していた 10inch 予備排泥管に切り替え掘進することとした。

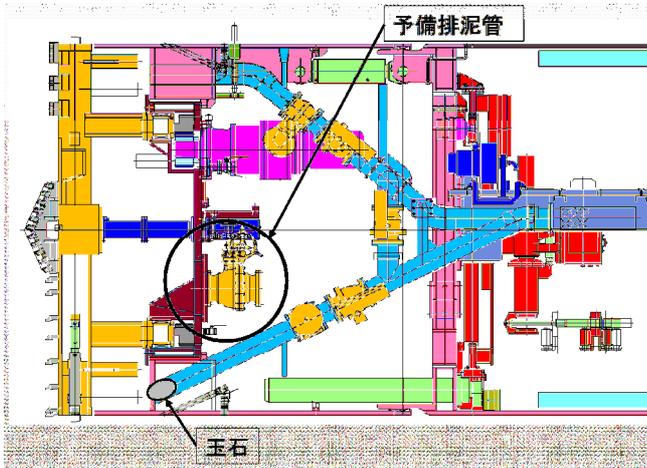


図-8 排泥口玉石閉塞および予備排泥管



写真-7 閉塞した玉石

第3回目の玉石層区間を抜けた後は、玉石層が出現することはなかったが、クラッシャー、10inch 予備排泥管を使用したまま掘進を行い、無事到達することができた。(8inch 排泥口に閉塞した玉石は到達まで除去されることはなかった)

## 5. おわりに

玉石層出現区間（計3回、延べ延長約100m）では施工進捗は低下したものの、セグメントのひび割れや漏水等の品質低下も見られず、無事平成28年10月末に到達を迎えることができた。なお、海上ボーリング位置の制約があったものの、固結シルト層以外の地層の出現を想定せずに計画を進めてしまったことは今後へ向けての反省点としたい。

本工事は海底シールドトンネルで想定外の土層出現という特殊ケースであったが、得られたノウハウを今後の同種のシールド施工に活用する所存である。