

海底下横断シールドにおける玉石層出現に対する対策と施工結果

西松建設(株) 関東土木支社 正会員 橋本 守

1. はじめに

本工事は、横浜市磯子区の根岸湾海底下に新設する下水道管（セグメント外径φ3,950mm，施工延長1,896m，最大深さ45m）を泥水式シールド工法により築造するものである（図-1）．施工前の土質調査では，シールド掘進部は図-2 に示すように均質な固結シルト層(Nzc 層)と想定されていたが，海底下掘進中に玉石層に遭遇した．本稿では，シールド掘進中に出現した想定外の玉石層への対策と施工結果について報告する．



図-1 現場位置図

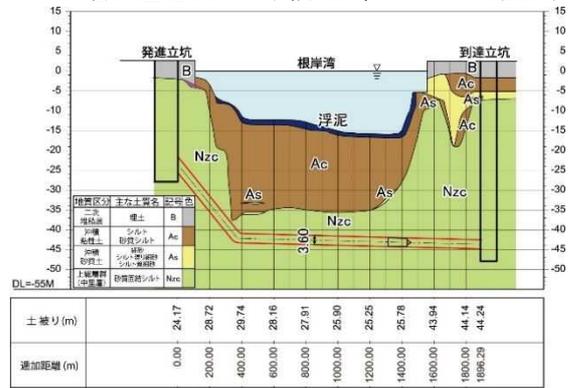


図-2 土質断面図

2. 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~1,360m 区間において計 3 回（総延長 100m）の玉石（レキ）区間が出現した（図-3）．事前に根岸湾内 8 カ所でボーリング調査を行っていたが，玉石層出現箇所は，航路の制約により，シールド路線上で調査ができなかった場所であった．今回出現した玉石は玄武岩の一種と想定され，強度は非常に硬く，供給源としては丹沢山系もしくは東京西部から山梨県にかけて分布する付加体（圧縮されて岩化した堆積物）などが考えられ，河川による侵食で玉石として川原に堆積していたものが根岸湾内に流下し，沖積層底に堆積したものと考えられる．この想定外の玉石層の出現により，以下の懸念事項および課題が生じた．

- a) 想定外土層の土圧作用によるセグメントの設計荷重超過
- b) カッタービットの磨耗による掘進不能
- c) 流体輸送設備(排泥管およびポンプ)での閉塞による掘進停止

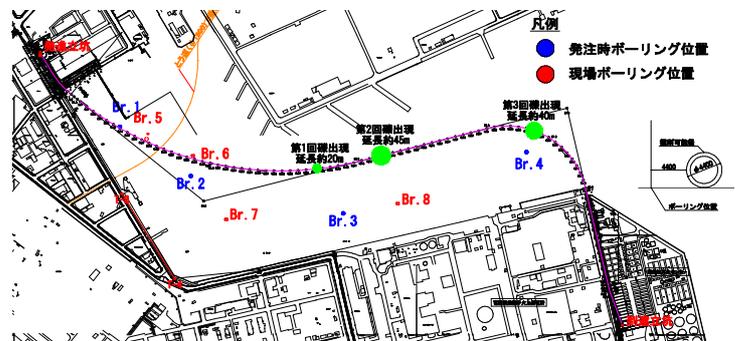


図-3 ボーリング・玉石層出現位置図

3. 課題・懸念事項への対策検討と施工結果

3.1 セグメントの構造安全性

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定性について再検討を行った．玉石層については，軟弱粘性土(Ac)層と土丹(Nzc)層との層境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る．事前にボーリング調査を補填するために行なった音波探査の再評価を行い，基底(Nzc 層)と判断した面は少なくともN値 10 以上の層の上面と想定できることがわかった．そこで，音波探査結果とシールド線形を重ね合わせた結果，玉石層が出現した区間およびその後の線形上において少なくともN値 10 以上の地盤に土被り 10m 程度入っていると判断し，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-4）で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-1）．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判断した．

キーワード 泥水式シールド工法 海底下 玉石出現 固結シルト掘削 クラッシャー

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-1-18 西松建設株式会社 関東土木支社 TEL. 03-3502-7556

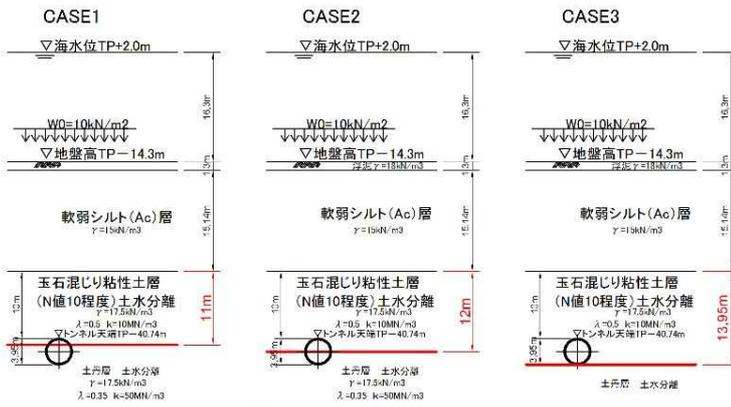


図-4 検討断面

表-1 セグメント構造計算結果

| 検討ケース | CASE-1 | CASE-2 | CASE-3 | |
|------------------|--------------------------|----------------------|----------|----------|
| 検討断面とN値10以上層との関係 | 1346天端-1.0m | 1344.77天端7.7m | 1344天端 | |
| 計算方法 | 剛性一様挿げおモデル | | | |
| セグメント外径 | D ₀ (mm) 3950 | | | |
| 桁高 | h (mm) 175 | | | |
| 幅 | B (mm) 1200 | | | |
| 発生断面力 | 正の曲げモーメント | M (kN/Ring) 50.56 | 63.403 | 66.82 |
| | | N (kN/Ring) 1289.098 | 1282.608 | 1262.856 |
| | 負の曲げモーメント | M (kN/Ring) -38.682 | -57.382 | -59.143 |
| せん断力 | 正の曲げモーメント | S (kN/Ring) 1454.72 | 1449.357 | 1438.724 |
| | | S (kN/Ring) -54.699 | -67.598 | -70.899 |
| | 負の曲げモーメント | S (kN/Ring) 12.77 | 15.42 | 16.21 |
| 発生断面力 | 正の曲げモーメント | a.c (N/mm) -9.88 | 30.34 | 47.81 |
| | | a.c (N/mm) -146.12 | -165.91 | -170.46 |
| | 負の曲げモーメント | a.c (N/mm) 11.51 | 14.46 | 14.76 |
| 許容応力度 | せん断力 | a.c (N/mm) -41.61 | -9.84 | -4.32 |
| | | a.c (N/mm) -139.92 | -165.09 | -167.18 |
| | 許容応力度 | a (N/mm) 0.37 | 0.46 | 0.48 |
| | a.ca (N/mm) 1.6 | | | |
| | a.a (N/mm) 0.71 | | | |
| | a.sa (N/mm) 200 | | | |
| 判定 | OK | OK | NG | |

3.2 カッタービットの摩耗

固結シルトよりも磨耗負荷係数が高い玉石を切削することになり、カッタービットの磨耗による掘進不能が懸念されたため、カッタービットの磨耗検討を行なった。掘削に最も重要な役割を果たすスクレーパーツで予測磨耗量を再計算したところ、限界値30mmに対して12.3mm(当初は10.3mm)となったため、そのまま掘進することとした。なお、当初から固結シルト層ということで超硬チップE5を装備していた。到達後磨耗量を測定した結果、最大で3mm(写真-1,2)であった。



写真-1 到達後カッタービット磨耗計測



写真-2 到達時カッターフェイス

3.3 流体輸送設備での閉塞対策

流体輸送設備での閉塞状況を写真-3に示す。流体輸送設備の閉塞対策として、まず配管に流入する前に玉石を取り除くためFDポンプ前に礫取箱を設置した。しかし、礫取箱清掃により進捗が落ちたため、FDポンプをロータリークラッシャー(図-5)に変更して掘進した。さらに、排泥口(8inch)が玉石で完全に閉塞したため、掘進不能となってしまった。そこで、8inch排泥口から、10inch予備排泥管に切替えて掘進を行なった(図-6)。なお、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。



写真-3 流体輸送設備での閉塞

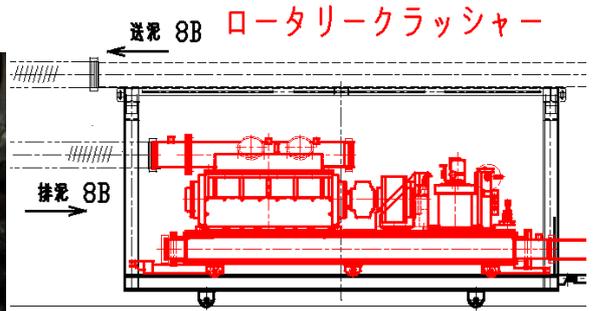


図-5 ロータリークラッシャー

4. 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。

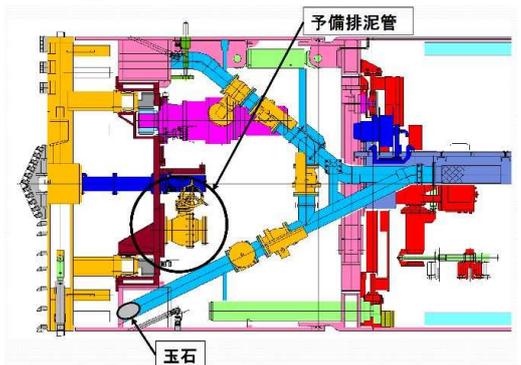


図-6 排泥口玉石閉塞及び予備排泥管