

海底シールドにおける CIM と真円度自動測定システムを活用した施工管理

Construction Managements with 3D BIM System and Automatic Roundness Measurement System at the Undersea Shield Tunnel

鹿島建設(株) ○正会員 阿部 聡 (Satoshi Abe)
 正会員 向井昭弘 (Akihiro Mukai)
 北海道電力(株) 正会員 遠藤 勉 (Tsutomu Endo)
 正会員 畠田大規 (Daiki Hatakeda)
 計測技研(株) 正会員 橋村義人 (Yoshito Hashimura)
 正会員 藤原伸輝 (Nobuki Fujiwara)

1. はじめに

北海道電力(株)石狩湾新港発電所 1 号機新設工事のうち、放水路トンネル工事は泥水式シールド工法により施工し、海底面に沈設した放水口(以下、J 管)へ接続する極めて難易度の高い工事である。

海底地盤中で到達する上で、品質管理精度および安全管理の向上を目的として、①トンネル内作業の位置検知システムの構築・運用¹⁾、②CIM を活用したシールド掘進管理システムの開発・導入²⁾、③真円度自動測定システム³⁾による組立管理、④機内からの到達位置探査⁴⁾および⑤液化 CO₂を用いた新凍結工法⁵⁾などを積極的に採用した。本稿では CIM および真円度自動測定システムを活用した掘進・組立管理について報告する。

2. 工事概要

海底地盤内をシールド工法により施工する本工事は、掘進延長 1,045m、掘削外径 5.44m、最大土被り 32m であり、外洋での海底到達となる。また、近接構造物として北防波堤が存在し、その直下を通過する線形となっている。セグメントは、内径 4.7m、桁高 300mm、セグメント幅 1.2m の 6 等分割とし、RC とコンクリート中詰め鋼製セグメント(以下、SSPC)を適用した。

3. CIM を活用した掘進管理

掘進・出来形管理の一元化と合理化を目的として、鹿島のシールド工事で初めて CIM を活用したシールド掘進管理システムを開発・導入した。CIM 操作用 PC は中央管理室に配置し、マシンオペレータ(以下、OP)が常に掘進情報を視覚的に確認できるよう考慮した。CIM の概要と各機能については参考文献^{1), 2), 6)}を参照されたい。

図-1 に CIM の全体表示画面を示す。CIM では鹿島掘進管理システム(KSCS)から自動付与された属性情報の色分け表示が可能である。表-1 に CIM 上に表示可能な属性情報の例⁶⁾を示す。掘進データの傾向管理が重要なシールド工事では従来、リング報に記載されている掘進データと、測量結果から得られる水平・鉛直偏差などの出来形を図化することで、地山とマシン・セグメントの傾向を掴み掘進指示書を作成していた。本工事ではこの色分け表示機能を活用し、職員と OP が共に土砂の取り込み過ぎや裏込め注入不足箇所などの特異値を視覚的に確認することで、日々の安定した掘進管理を実現した。

また、最短距離計測機能を用いて、現在のマシン位置での土被りを計測し、設定切羽圧の妥当性を評価するとともに、人力で実測できないテール部の 360°最小クリアランスなど、掘進中に互いの相対位置関係を詳細に把握した。さらに、近接構造物である北防波堤近傍では、リアルタイムで離隔を計測した。これにより、中央管理室にいる OP および切羽作業員双方に紙ベースの指示書だけでなく、CIM による視覚的な情報を的確に与え、共通認識を持つことを図った。例として、図-2 に北防波堤直下通過時の CIM 画面を示す。

このように、日々の掘進データの傾向を CIM から瞬時に読み取り、掘進・施工管理方法の 1 つとして活用したことで、海底面に沈設した J 管中心に対して、鉛直方向で-24mm(切羽を見て上が正)、水平方向で+4mm(切羽を見て右が正)という高精度な海底到達を達成した。

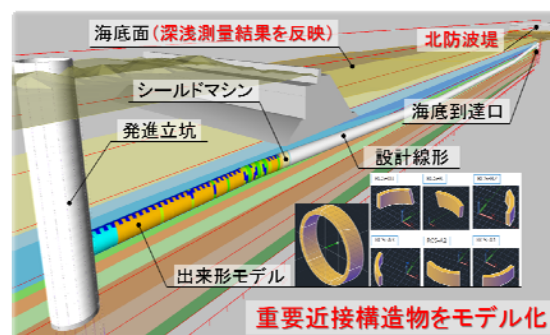


図-1 CIM の全体表示画面

表-1 CIM 上に表示可能な属性情報の例⁶⁾

管理分類	属性情報 (記録データ)			
掘進データ	リング番号	Kセグ位置	セグメント種類	掘進日
	組立日	水平偏差	鉛直偏差	掘進延長
	推力	トルク	掘進速度	切羽圧
	裏込め注入圧	裏込め量	乾砂量	-
マシン測量	掘進延長	水平偏差(前)	鉛直偏差(前)	水平偏差(後)
	鉛直偏差(後)	ジャイロ方位	ピッチング	ローリング
セグメント測量	水平偏差	鉛直偏差	組立延長	面方位
	面角度	ピッチング	ローリング	テールクリアランス
セグメント情報	組立日	製造番号	製造年月日	製造元



図-2 北防波堤直下通過時の CIM 画面

4. 真円度自動測定システムによる組立管理

回転式レーザー距離計を用いる本システムは、シールド工事における併設・近接影響検討や断面力の算出等、多岐に渡り活用されているリアルタイムモニタリング手法の一つである。本現場では、切羽にて N-1 リングの真円度を確認し、その場で切羽作業員に N リングの組立指示をすることで真円度を管理した。本システムの開発背景と特徴については参考文献³⁾を参照されたい。

4.1 作業性向上への新たな試み

掘進完了時のマシンスキンプレートと組立後のセグメント内径を計測する本システムにおいては、より多くの測定点を確保することが精度向上に繋がる。しかしながら、エレクターや送排泥管またはスクリーコンベヤ等の掘進・組立設備に視野が遮られる場合も多い。そのため、従来はこれらの設備との干渉を避けるように、測定機を上下に 2 台設置していた。図-3 に測定機 2 台設置時のイメージ図を示す。この場合、設置時には切羽の狭い空間で 2 台の位置関係を正確に測量することが必要不可欠であった。

そこで、本現場ではマシンの設計当初から真円度測定機の設置を前提とし、干渉する設備の配置を変えとともに、中央部に近い後部デッキ下部にレーザー通過用のスリット設けることで視野の確保を図った。写真-1 に後部デッキ下部に設置した測定機の状況を示す。これにより、測定機 1 台による全周測量が可能となった。

また、セグメント組立時における切羽作業員の動線から外れた場所に測定機を設置したことで、作業員の接触による測定機の破損・位置ずれは全く生じず、切羽での作業性が向上したことを確認した。

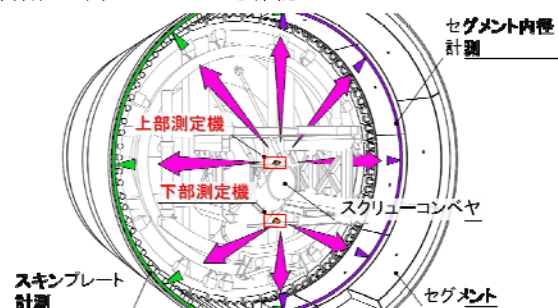


図-3 測定機 2 台設置時のイメージ図 (従来)



写真-1 後部デッキ下部に設置した測定機の状況 (今回)

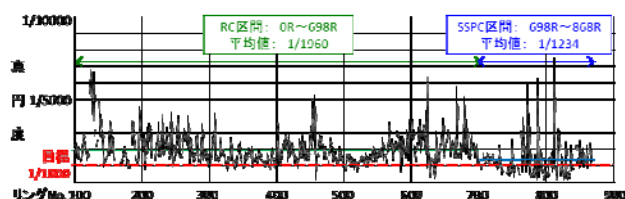


図-4 真円度自動測定システムによる測定結果

4.2 真円度自動測定結果

図-4 に真円度自動測定システムによる測定結果を示す。真円度 1/1000 以下となる内空 4.7mm(セグメント内径×1/1000)違いを目標にリアルタイムでの組立管理を実施した結果、RC の平均値が 1/1960, SSPC が 1/1234, 全体では 1/1803 という高い真円度を確保できた。

今後は、本システム使用による品質向上および更なる自動化に繋げていくとともに、切羽作業員のセグメント組立意識向上に寄与する環境づくりも整えていきたい。

5. CIM と真円度自動測定システムの連携の可能性

本現場では CIM と真円度自動測定システムを独立したツールとして活用した。図-5 に CIM での最小テールクリアランス測定画面を示すが、これはマシンとセグメントを真円と仮定して、最短距離を計測している。外圧の影響や組立誤差により歪が生じたマシンスキンプレートとセグメントの真のクリアランスを求めるためには、両者の連動は有効だと考える。より厳しい条件下での施工と確実な品質確保を見据え、今後のシールド工事に適用できるよう、技術開発を進めていく所存である。

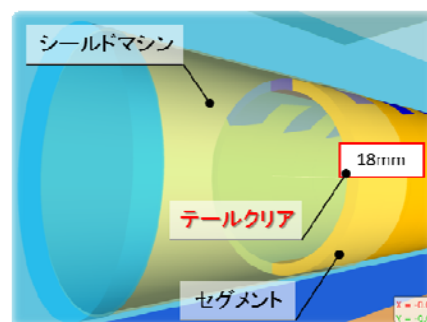


図-5 CIM での最小テールクリアランス測定画面

参考文献

- 1) 阿部聡, 山崎信一, 向井昭弘, 高柳哲, 渡邊和英, 畠田大規: 高品質・高精度の海底シールドトンネル構築に向けた取り組み, 第 27 回トンネル工学報告集, 第 27 巻, II-9, 2017.
- 2) 阿部聡: 到達位置探索および CO₂ 凍結工法を用いた海底シールドトンネルの施工実績と CIM による可視化, 第 9 回日中シールド技術交流会論文集, pp.66-71, 2017.
- 3) 渡辺真介, 紀伊吉隆, 盛岡義郎, 橋村義人: シールドトンネル真円度自動測定システムの開発と実績, 第 69 回土木学会年次学術講演会, pp.1293-1294, 2017.
- 4) 塩屋祐太, 齋藤寿秋, 畠田大規, 高柳哲, 渡邊和英, 阿部聡: シールド内からの到達位置探索工, 第 72 回土木学会年次学術講演会, pp.699-700, 2017.
- 5) 塩屋祐太: 世界初 CO₂ 気液混合流体を使用した凍結工法 -石狩湾新港発電所放水設備工事シールド到達防護-, 土木施工(掲載予定), 2018.1.
- 6) 渡邊和英, 遠藤勉, 畠田大規, 高柳哲, 高橋裕一: シールドトンネル工事における CIM の取り組み, 第 72 回土木学会年次学術講演会, pp.697-698, 2017.