

ニューマチックケーソン工法の無人化施工への取組み(掘削機走行レール残置手法)

オリエンタル白石(株) 正会員 ○東 洋輔, 正会員 石井 智大, 福田 淳二, 福富 庸介
 首都高速道路(株) 正会員 森 健太郎, 森田 明男

1. はじめに

ニューマチックケーソン工法は地下構造物の構築方法の一つである(図 1)。本工法は掘削部である函内にて地下水の流入を抑制するため、函内を高気圧環境にするが、函内で作業を行う者が地上(大気圧)に戻る際は、高気圧障害が生じる可能性があり、これが本工法の大きな課題である。そのため、高気圧下作業の無人化が求められ、掘削機の遠隔操作、函内作業をロボットで施工する手法などの開発を進めている。その一環として、通常は函内で解体撤去が必要な掘削機走行レール(以下、レール)を残置、埋設し、有人による高気圧下での解体撤去作業を排除する手法を考案した。しかしながら、この手法は構造体を完成させるために函内に充填する中埋めコンクリート(以下、中埋コン)の充填性にレールが阻害要因となる悪影響を及ぼす可能性がある。よって、これまでにレールに開口を設け、スランプを15~21cm とすることで中埋コンの充填性が満足することを実物大の要素試験により評価してきた。

本稿ではレール残置手法を実構造物へ適用し、有効性を実証した内容を記述する。ここで、中埋コンは、振動締固めを行わない自己充填とし、中埋コンが函内天井に到達すると、ポンプ車の圧送圧力および大気圧と函内(高圧気)との圧力差(排気する際に生じる力)を利用して充填を行うものであることを前提とする。

2. 現場(施工)概要

レール残置を適用した工事は、高速横浜環状北西線港北地区下部・基礎工事の橋脚基礎(円形断面)である。地上から函内までの深さは約 33m(函内気圧 0.28MPa)で、函内中心部に打設管、中心から 3.75m 位置に排気管を4ヶ所設置した(図 2)。残置するレールは中埋コンの通過性を良くするため、ウェブ部に開口を設けた(図 3)。開口を設けたレールは FEM 解析を行い、レールの降伏強さに対する掘削力の安全率が 2.0 以上となるよう確保したものである。充填管理は、監視カメラによる目視観察、函内天井に設置した熱電対の温度変化および打設日以降の温度上昇、排

気管からの中埋コンの噴出確認により評価した。

中埋コンの配合を表 1 に示す。当初配合は普通 18-18-20-BB であったが、自己充填でレールの開口を通過する流動性、材料分離抵抗性、大気圧から高気圧への圧力変化に伴うスランプの低下(高圧力により、中埋コン中の空気体積が縮小し、ペースト体積の減少、スランプの低下が発生する。)を考慮し、W/B=50%以下、単位水量 190kg/m³以上、スランプ 21cm とした。採用配合は普通 33-21-20-BB とし、W/B を 47.7%とした。さらに、打込み完了まで時間を要する場合に懸念されるスランプロスへの対策として、遅延形の AE 減水剤を採用した。

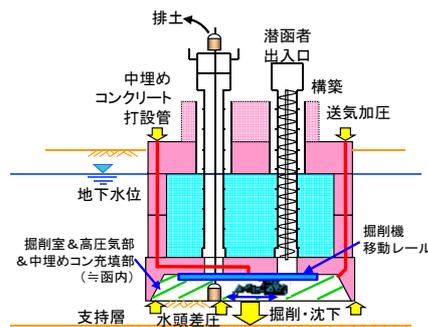


図 1 ニューマチックケーソン工法

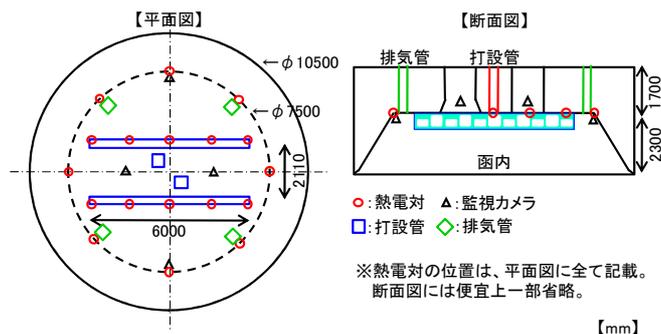


図 2 函内概要および充填管理概要

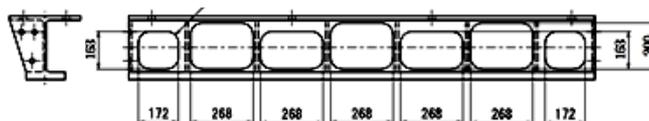


図 3 開口を設けた掘削機用走行レール概要図

表 1 中埋めコンクリート配合

G _{max} (mm)	SL (mm)	Air (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	Ad(C×mass%)
20	21	4.5	47.7	45.8	192	403	762	908	0.85

キーワード ニューマチックケーソン工法, 中埋めコンクリート, レール残置, 充填評価

連絡先 〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘5 オリエンタル白石(株)技術研究所 TEL0285-83-7921

3. 施工結果

監視カメラによる打込み状況を写真1に示す。中埋コンは、緩やかな流動勾配で打ち上っていることを確認した。これは、スランプを21cmに変更したことで、流動性が付与された結果である。また、周囲へモルタルと粗骨材が共に水平移動していたため、材料分離が小さいことも確認できた。レールの開口を通過している状況を写真2に示す。開口の存在によって、中埋コンはレールの開口内を通過しフラットに充填する様子が確認できた。そのため、中埋コンの流動性状とレール開口の形状、寸法が適切であり、レールが流動障害とならず充填性を確保できたと評価した。打込み終了後、コンクリート天端を観察すると、ブリーディング水が滞水することはなかった。また、中埋コン硬化後に函内気圧を大気圧へ解放した際、地下水の流出は確認されなかった。したがって、函内に中埋コンが密実に充填され、材料分離によるブリーディング水の滞水などから起因する水密性の低下はなく、中埋コンに求められる性能を十分に確保できたと判断した。

熱電対から測定した温度の結果を図4に示す。ここで、熱電対による充填の評価は、函内環境温度と中埋コン温度との温度差を利用し、中埋コンが熱電対に接触した場合に、計測される温度に変化が生じるが、これにより充填の判断を行った。図4から、函内は約15~16℃、コンクリートは約16~17℃(外気温度約10℃)であった。函内とコンクリートとの温度差が小さいが、13時5分を境に、温度が約1℃上昇した。このタイミングは、監視カメラで熱電対の設置位置にコンクリートが到達しており、コンクリートの充填によって熱電対の測定温度が変化したものと判断した。なお、熱電対は函内天井部およびレールに設置したが、全ての測点において温度変化があったため、コンクリートが函内の全てにおいて充填されたと判断した。なお、この充填が確認されたタイミングで4か所の排気管を解放し、コンクリートが噴出、閉塞したことを確認した。排気管は函内の天井端部に設置しており、その排気管からコンクリートが噴出されたことは、その位置までコンクリートが充填されたことを意味する。

温度計測の結果から、コンクリート到達前の時点(10時15分)で、温度変化が発生していた。これは、閉塞した環境にコンクリートを打設することで、函内の圧力が上昇する。そのため、排気管から排気させ、所定の圧力になるよう調整を行った際に圧力が低下し、ボイルの法則より温度が低下したものである。したがって、熱電対を用いた温度変化により充填を評価する場合には、圧力変化に伴う温度変化と区別して評価しなければならない。

最後に、打設翌日までの熱電対の結果(図5)から、全ての測点でコンクリートの温度履歴に類似した推移であった。

本工事では、コンクリートの供給が順調であり、打込み速度を遅くすることなく打込みが完了した。また、環境温度と時間経過はスランプの低下に影響するため、同一採取したコンクリートの時間経過に伴うスランプの性状変化を確認したが、約2時間まではスランプの低下がなく、経時的な流動の低下がない状態で打ち込まれていたことが確認できた。

4. まとめ

ニューマチックケーソン工法において函内に掘削機走行レールを残置する手法について、本工事に適用した時の、中埋めコンクリートの充填性について評価した結果を示す。

- 1) 開口を有するレールを残置した場合、流動性、材料分離抵抗性、大気圧から高気圧への圧力変化に伴うスランプの低下を考慮したコンクリートであれば、レールが流動を阻害することなく充填することができた。
- 2) 充填管理は、熱電対による温度変化で評価できる。



写真1 打込み状況 写真2 開口レール通過時

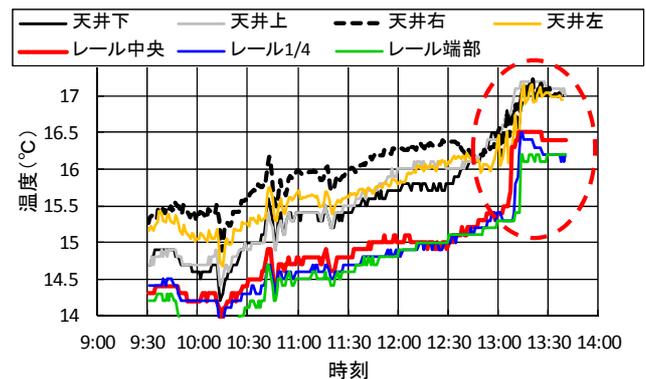


図4 熱電対から測定した温度結果(打設時)

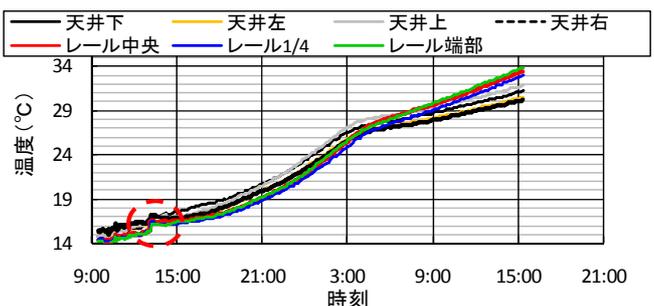


図5 熱電対から測定した温度結果(打設翌日)