

神戸港初となる電動遠隔操作RTGの導入に対応した供用中の荷さばき地における耐震改良工事について

山田 樹¹

近畿地方整備局 港湾空港部 港湾計画課
(〒650-0024 神戸市中央区海岸通29番地)

国土交通省近畿地方整備局神戸港湾事務所は神戸港ポートアイランド（第2期）地区PC13～17コンテナターミナルにおいて「コンテナターミナルの機能強化」「労働環境の改善」という整備目標のもと電動遠隔操作RTG用荷さばき地の耐震改良工事を担当した。本プロジェクトは当該工事を含め周辺で複数の関連工事が同時施工されるなか実施されかつコンテナターミナルの円滑な荷役作業を確保する必要があり関係者で綿密な調整を行いながら実施したものである。本論文は供用中のターミナル内で複数の関連工事が同時施工される中で発生した施工上の課題や対応策と電動遠隔操作RTG導入に当たり使用された給電設備について報告する。

キーワード 液状化対策，供用施工，給電設備，関係者調整

1. はじめに

近年、コンテナターミナルでは大型コンテナ船の寄港に伴いコンテナ取扱量が増加している。一方で、コンテナ船の着岸時間の長時間化や労働力人口の減少・高齢化の進行に伴う港湾労働者不足が懸念されており、荷役時間の短縮や港湾労働の将来の担い手確保、労働環境の改善が課題となっている。国土交通省はこの課題に対応するために「ヒトを支援するAIターミナル」の実現を推進している。この方針の下コンテナターミナルにおける遠隔操作RTG（Rubber Tired Gantry crane）の導入および周辺施設整備に対する支援を行う補助事業を実施し、ターミナルの荷役能力向上による荷役時間の短縮や労働環境の改善に対する施策を展開している。

RTGは従来、高所での長時間作業を伴う設備であり、労働者の乗降時における危険性や身体的負担が大きいこと、休憩時間の確保の難しさ、直進操作や停止位置決めに係る操作負担、給油に伴う時間等が課題となっている。

電動遠隔操作RTG（e-RTG）は、地上の遠隔操作室からRTGを制御することが可能であり、乗降時の危険性や身体的負担の低減を図ることができる。また、休憩時間の確保が容易となることに加え、直進操作や停止位置決めを支援する機能により操作負担を軽減できる。さらに、電動化に伴い給油作業が不要となることから、労働環境の改善、安全性の向上および多様な人材の活用が期待されている。

本工事の対象である神戸港ポートアイランド（第2期）地区PC13～17コンテナターミナルは国際コンテナ戦略港湾「阪神港」の中核施設であり国内のコンテナ貨物輸送の拠点として機能している。今般、当該施設においてe-RTGの導入が計画されており、コンテナターミナルの整備に当たり走行路版やコンテナマットにおける平坦性の確保および安定した電力を供給することが可能な給電設備の確保が不可欠となる。

本論文では、供用中のコンテナターミナルにおける荷さばき地の耐震改良工事と複数の関連工事を同時施工する中で実施した関係者調整や施工管理の工夫について報告するとともに、e-RTG導入に伴い整備した給電設備の特徴およびその適用事例について述べる。



写真-1 ポートアイランド地区航空写真

2. 神戸港ポートアイランド（第2期）地区荷さばき地（PC15からPC17）地盤改良工事

本工事は、神戸港ポートアイランド（第2期）地区PC15～17コンテナターミナルにおいて実施した地盤改良工事である。写真-2にPC13～17コンテナターミナルのうち本工事の施工箇所を示す。



写真-2 施工箇所

(1) 工事の概要

神戸港湾事務所では、2024年5月から2026年6月にかけて写真-2の地盤改良工事エリアを1工区、2工区、3工区に分けて地盤改良工事及び給電設備であるケーブルトラフの整備並びに舗装工事などを行った。主工種である地盤改良工では、2工区および3工区の施工期間が一部重複する条件下で施工を行った。各工区の施工時期及び工事数量を以下に示す。

・工事内容

1 工区：2024年5月から2025年3月

施工範囲19,692㎡・地盤改良工（機械攪拌：2,286本）

2 工区：2024年9月から2026年6月

施工範囲63,492㎡・地盤改良工（機械攪拌：4,151本、高圧噴射攪拌：45本）・付属工（ケーブルトラフ1,696m（848個）、給電ボックス4基）

3 工区：2024年10月から2026年3月

施工範囲33,457㎡・地盤改良工（機械攪拌：4,077本）・付属工（ケーブルトラフ760m（380個））

(2) 地盤改良の工法

当コンテナターミナルでは地震による揺れに対して荷さばき地の耐震性を確保する工法として、格子状改良工法を選定している。この工法は、セメント系改良材

を地中に供給し、原地盤と混合攪拌することで柱列状の固化壁を造成するものである。これらの固化壁を格子状に配置することで液状化地盤を囲み、地盤のせん断変形を抑制することで液状化の発生を防止する。本工事では格子状の隔壁を地中に構築する際の施工方法として深層混合処理工法を採用している（図-1）。

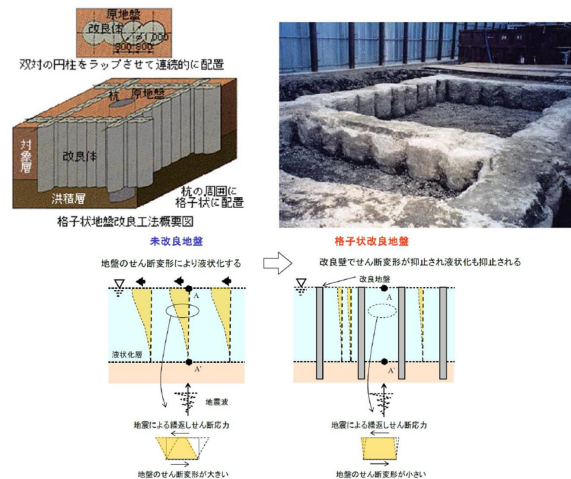


図-1 深層混合処理工法（格子改良）

深層混合処理工法の実施にあたり、地中埋設物が無い範囲については比較的安価な機械攪拌工法(写真-3)により施工を行った。



写真-3 機械攪拌による施工

一方、供用中ターミナルでの施工であるため、雨水管など移設が困難な地中埋設物が存在する箇所については、機械攪拌工法では埋設物に損傷を与える恐れがあるため、高圧噴射攪拌工法(写真-4)で施工を行った。



写真-4 高圧噴射攪拌による施工

(3) 施工条件

本工事の施工箇所は供用中のコンテナターミナル内に位置しており、ターミナルの荷役作業を継続しながら施工を行う必要があった。また、PC15～17では本工事に加えて複数の関連工事が同時期に実施されており、工事間で施工ヤードや車両動線を共有しながら施工を進める必要があった。

特に2工区および3工区では施工時期が重複しており、施工区域周辺ではトレーラーをはじめとするターミナル利用車両や工事車両が常時輻輳していたことから、安全かつ円滑な荷役作業を確保しつつ施工を行うことが求められた。さらに、本工事では地盤改良工事に加え、e-RTGの導入に必要な給電設備（ケーブルトラフおよび給電ボックス）の設置を限られたスペースの中で実施する必要があった。このため、関係者との綿密な調整、工程管理および施工計画の立案が重要となった。特に施工最盛期には多数の施工機械が集中することから、施工ヤードおよび共有動線の確保が大きな課題となった。これらの課題に対する施工管理上の工夫について次章で述べる。

3. 供用中のコンテナターミナルにおける同時施工条件下での施工管理の工夫

(1) 供用中施工における課題

前述の施工条件のもと、本工事では、2工区および3工区の施工期間が重複しており、地盤改良工の施工最盛期には両工区を合わせて最大16台の杭打機とセメントプラントが場内で稼働していた（写真-5）。さらに、施工区域周辺では複数の関連工事が同時に実施されていたほか、供用中のコンテナターミナルとして荷役作業に伴うトレーラー等の車両が常時走行していた。このため、施工機械や工事用車両とターミナル利用車両との動線干渉を防止しながら、限られた施工ヤード内で効率的に施工を進める必要があった。また、施工機械の配置や施工順序に

ついては、他工事およびターミナル運営に支障を与えないよう計画することが重要な課題となった。さらに、施工区域の変更に伴い施工機械の配置や工事用車両の動線を適宜見直す必要があり、関係者間で継続的な情報共有を行うことが求められた。



写真-5 場内に分散配置された杭打機

(2) 周辺工事との同時施工における調整

周辺工事と同時施工を行うにあたり、各工事で使用する共有動線をトレーラーの作業を止めることなく確保することが重要であった。通常であれば、構造物撤去工をすべて終了したのちに地盤改良および構造物施工に移行するが、本工事では、荷役作業および周辺工事の動線を確保するために撤去予定舗装の一部を残置し、施工範囲を分割するなどの段階施工を採用した。これに対応するため、一般的な地盤改良工の施工手順を見直し施工機械の配置計画を調整することで、他工事車両の通行を確保しながら作業を進めることが可能となった。また、施工進捗に伴い施工範囲を横断する必要がある際には、動線用スラグを敷均し仮設通路を整備することで、安全な通行を確保した。さらに、共有動線の切替えに際しては、各工事の進捗状況およびターミナル運営状況を踏まえて実施時期を調整した。動線変更時には関係者への事前周知を徹底するとともに、看板や誘導表示を適宜更新することで、車両運転者の混乱防止に努めた。

共有動線内では工事用車両や各工区入退場車両が迷うことなく円滑に走行できるよう、看板や矢印板による動線明示を徹底した。さらに、共有動線と本工事用動線とを色分けした看板を設置することで、視覚的に識別しやすい管理方法を導入した。さらに安全性の向上策として施工エリア内を一方通行化する対策を実施し車両接触リスクの低減を図った。これらの取り組みにより、供用中のターミナル運営および周辺工事への影響を最小限に抑えながら施工を進めることができた。

(3) 工事調整会議の開催

前節で述べた動線管理や工程調整については国、港湾運営会社、ターミナル利用者及び複数の施工会社で実施される工事調整会議を開催し議論を重ねた。工事調整会

議は週1回開催し、工程表、施工機械配置図および動線図を事前に共有することで、各工事の施工区分や施工範囲を明確化した。

工事調整会議内では常にターミナル利用者からターミナルの運営状況について報告があり、運営状況に基づき工事用動線の確保や施工手順、機械の配置計画の検討を行った。また、会議では翌週以降の施工予定だけでなく、e-RTGの搬入計画や共有動線の変更予定についても確認を行った。荷役繁忙期やターミナル運営上の制約事項についてはターミナル利用者から情報提供を受け、その情報を踏まえて施工手順を調整することで、荷役作業への影響低減を図った。

供用中のコンテナターミナル内で隣接工区や複数の工事と同時施工を行うという厳しい制約条件下の施工であり、共有動線確保のための段階施工、仮設通路整備、視覚的動線管理、一方通行化、安全対策など多面的な施工管理について議論を行う工事調整会議による情報共有体制の確立により、安全性を確保しつつ、荷役作業への影響を最小限に抑えながら無事故で施工を完了することができた。

4. 新構造のケーブルトラフの構造的特徴と本工事への適用

e-RTG導入に向けた整備では、荷さばき地の平坦性確保に加え、安定した電力供給設備の整備も重要な要素であった。以下に、本工事で採用したケーブルトラフについて述べる。

(1) e-RTGにおけるケーブルトラフの必要性

電動遠隔操作RTG (e-RTG) の稼働には安定した電力を継続的に供給する必要がある。そのため、走行に並走する形で電力ケーブルを敷設し保護する設備が必要不可欠である。この電力供給設備としてケーブルトラフが設置されるが、RTGの走行性を確保する観点からも、ケーブルの保護および維持管理性の向上は重要な課題である。

(2) 従来型ケーブルトラフの課題

従来のケーブルトラフは、ケーブル格納部のみの単一構造であり、排水機能が十分に分離されていなかった。そのため「雨水の滞留」「泥やごみの堆積」という問題が発生しやすく、結果としてケーブルの劣化や損傷を招く事例が確認されており、維持管理上の課題となっていた。

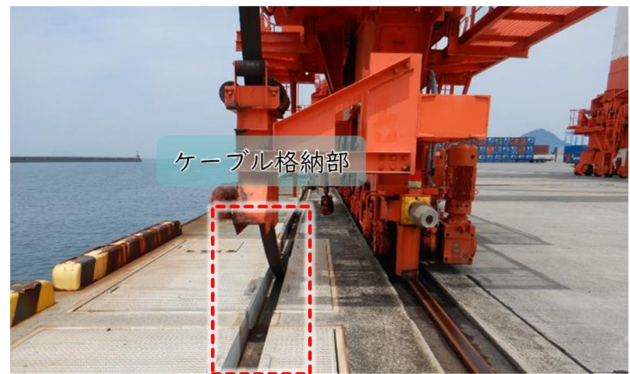


写真-6 従来のケーブルトラフ

(3) 新構造のケーブルトラフの特徴

本工事で、e-RTGが走行可能なコンテナターミナルを整備するに当たり、従来型ケーブルトラフの課題に対応するため、ケーブル格納部と排水機能を上下に分離したセパレート構造型ケーブルトラフを採用した。以下に本工事で採用したケーブルトラフの構造的特徴を示す。

1) 上下分離構造

ケーブルの格納部と排水機能部を構造的に分離することで、ケーブル格納部への雨水の滞留を防止するとともに、泥やごみを排水機能部へ誘導する構造としている。これにより、ケーブルと雨水の接触を抑制し、ケーブルの劣化や損傷を防止するとともに、点検時におけるケーブル格納部の視認性向上が期待できる。

2) 鋼製アングル埋設構造

ケーブル格納部には鋼製アングルを埋設し、直角構造とすることで内部空間を有効活用し、また、ケーブル接触部をR形状とすることでケーブルが格納部と擦れることによる損傷を防止している。

3) 排水機能部の工夫

排水機能部には一定間隔で透水孔を設け、周辺地盤へ雨水を一部浸透させる構造とすることで排水機能を確保しつつ側溝断面面積の縮小を図っている。また、ケーブルトラフ両端部には専用集水桝や雨水幹線を設置することで排水経路を明確化し、降雨時における排水性の向上を図っている。

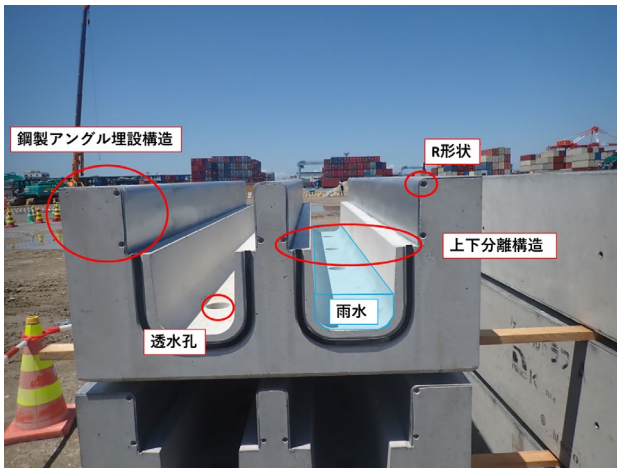


写真-7 ケーブルトラフ構造

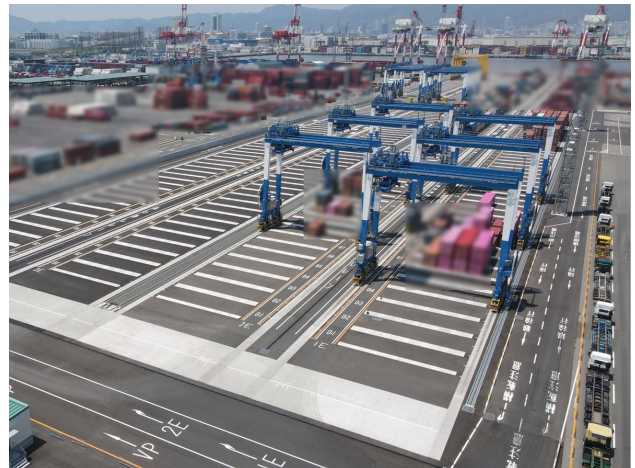


写真-8 完成後のターミナル

(4) 本工事における技術的意義

本工事では、ケーブル格納部と排水機能部を分離した新構造のケーブルトラフを導入した。これにより、従来型ケーブルトラフの課題であった雨水滞留や泥土堆積によるケーブルの劣化・損傷リスクの低減が期待される。また、維持管理性の向上および安定した電力供給の確保に寄与することから、e-RTGの継続的かつ安定的な運用を支える構造として有効であると考えられる。本構造の適用によって得られる維持管理上の知見は、今後の類似コンテナターミナル整備においても有効な参考事例になるものと考えられる。

5. おわりに

PC13-17コンテナターミナルにおける本工事は、2026年6月に完成を迎えた。現在、ターミナルでは本工事により整備した施設を活用し、電動遠隔操作式RTG（e-RTG）の供用開始に向けた調整が進められている（写真-8）。

本事業は、神戸港におけるコンテナターミナル機能の強化に貢献するとともに、荷さばき能力の向上、労働環境の改善、安全性の向上、さらには多様な人材が活躍できるコンテナターミナルの実現につながるものとする。

本稿では、供用中のコンテナターミナルにおいて複数の関連工事を同時施工する中で実施した関係者調整や施工管理の工夫について報告するとともに、e-RTG導入に必要な給電設備として採用した新構造ケーブルトラフの特徴および本工事への適用について述べた。施工を進める中で、供用中のコンテナターミナルにおいて施工を行うためには、発注者、ターミナル利用者および施工会社が継続的に情報共有を行い、施工条件の変化に応じて柔軟に対応することが重要であることを再認識した。

本工事で得られた施工管理上の工夫や関係者間の調整手法、ならびに新構造ケーブルトラフの適用により得られた知見が、今後の供用中コンテナターミナルにおける施工やe-RTG導入事業において有効に活用されることを期待する。

謝辞：本論文の執筆に当たり、ご指導、ご助言をいただいた神戸港湾事務所関係者の皆様、ならびに工事調整会議を通じた情報共有と各種調整にご協力いただいたターミナル利用者、施工会社をはじめとする関係各位に深く感謝申し上げます。