

供用中のガントリークレーンレール基礎直下の地盤の補強について

二田 義規¹・山本 邦夫²

¹近畿地方整備局神戸港湾事務所第二工務課 (〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

²近畿地方整備局神戸港湾事務所第二工務課 (〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7-30)

六甲アイランド地区コンテナターミナルRC-6, 7でのガントリークレーンの大型化に伴い、既設レール基礎の地震時の曲げ耐力が不足することが判明した。レール基礎の交換は、荷役が止まることとなり採用できないため、地盤改良によって基礎直下の地盤バネを強化することで対応することとした。本報告は、薬液注入工法による地盤の補強方法について、設計・施工面の知見を報告するものである。

キーワード 地盤改良工法, 薬液注入工, ガントリークレーンレール基礎

1. はじめに

近年、欧州航路のコンテナ船が大型化しており、これに見あう施設の整備が喫緊の課題となっている。

神戸港湾事務所では、阪神国際港湾(株)らと協力し、国際戦略港湾・阪神港の物流を支える中核施設のひとつである、六甲アイランド地区コンテナターミナルRC-6, 7において、施設の増深、拡張、ガントリークレーンの大型化、耐震性の強化等を進めている(図-1参照)。当該岸壁にはほぼ毎日コンテナ船が着岸しており、荷役作業を止めることなく、上記の整備を進めなければならない。

このうちガントリークレーンの大型化にあたっては、クレーン重量の増加(表-1参照)に伴い、既設レール基礎の地震時の曲げ耐力が不足することが判明した。通常であれば、レール基礎を交換する手

法が取られるが、本施設では荷役を止めることなく対策を取る必要があることから、地盤改良によって基礎直下の地盤バネを強化することで対応することとなった。

表-1 ガントリークレーン諸元

	既設	新設
仕様	17列,18列	22列
アウトリーチ	46.7m,50.0m	63.1m
揚程	32.5m,34.5m	44.0m
走行車輪数	32輪	40輪
走行速度	45m/min	60m/min
横行速度	210m/min	210m/min
クレーン重量	887tf,900tf	1,470tf



図-1 RC-6、7整備計画

2. レール基礎の諸元および現地盤の強度

レール基礎の断面図を図-2に示す。高さ1m、幅2mで、長さは6.25m（一般部）と18.75m（クレーン固定装置部）の2種類のタイプのRC構造であり、延長700mに渡って設置されている。このレール基礎は、基礎栗石及び基礎砕石のマウンド上に設置されている。既設マウンドは、兵庫県南部地震の震災復旧工事において現地流用材で施工されている。基礎栗石の間隙には砂等が詰まっており、基礎栗石部の粒度分布は、礫83%、砂13%、シルト4%であった。また砕石層の粒度分布は、礫71%、砂24%、シルト4%であった。

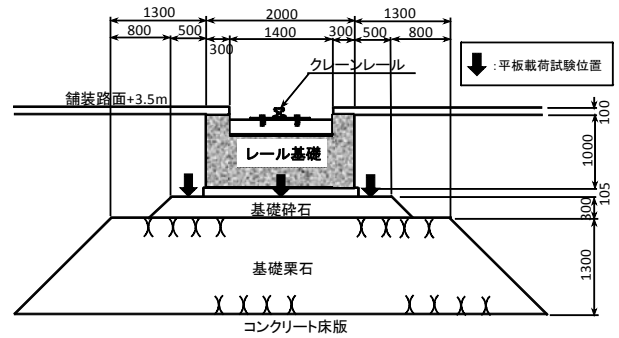


図-2 レール基礎断面図

表-2 平板載荷試験結果

施設	位置	場所	鉛直方向地盤反力係数 実測値 Kvo* (kN/m ³)	>・<	目標鉛直地盤反力係数 Kvo (kN/m ³)	判定
RC-6	6-1	中央部	3,571,400	>	285,000	OK
		中央部	3,061,200	>		OK
		陸側端部	1,829,300	>		OK
	6-2	海側端部	666,700	>		OK
		陸側端部	2,381,000	>		OK
		陸側端部	2,958,000	>		OK
RC-7	7-1	海側端部	502,500	>		OK
		陸側端部	54,600	<		NG
	7-2	陸側端部	44,300	<		NG
		海側端部	118,300	<		NG
	7-3	中央部	390,600	>		OK
		海側端部	757,600	>		OK
		中央部	362,300	>	OK	

クレーン基礎の安定性照査は22ケースの荷重状態で行った。その際、レール基礎を弾性床上の梁として取り扱っている。照査の結果、レール基礎の曲げ耐力を満足する地盤バネとして、鉛直方向地盤反力係数 $Kv_0=285,000 \text{ kN/m}^3$ が必要とわかった。なお地盤の支持力の検討は、荷重分散法により行った。

この目標地盤反力係数を現地盤が満足しているかどうかは、図-3に示す位置での平板載荷試験で確認した。試験結果を表-2に示す。目標値 $285,000 \text{ kN/m}^3$ に対してRC-6については十分な強度を有しており、改良の必要はないと判断した。一方、RC-7については部分的に強度不足が見られ、不足する箇所の特定が困難なこと、および重要構造物であることから、350mの全区間で改良が必要と判断した。なお、試験結果にばらつきが大きいのは、既設マウンドが流用材であることに起因する。

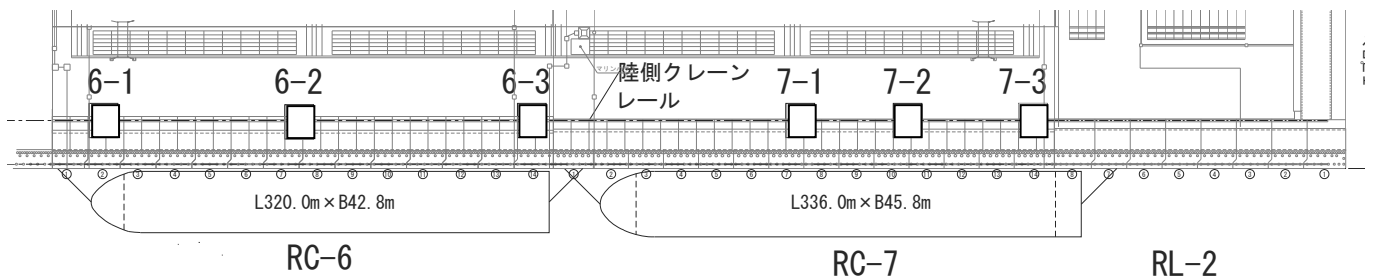


図-3 平板載荷試験位置

3. 地盤改良工法の選定および試験施工

(1) 工法の選定

工法選定にあたっては、以下の項目が前提条件となる。

- ① 岸壁を供用しながらの施工であり、短時間で作業エリアを開放できること
- ② 対象は粗石が多数混入する礫質土であるが、間隙は砂および細粒分で詰まっていること

- ③ 改良によってレールに変状を与えないこと
- ④ 改良体上面に高い支持力が求められること

上記の①の前提条件から、高圧噴射攪拌工法もしくは薬液注入工法が考えられるが、②及び③の前提条件より、高圧噴射攪拌工法は適さないと判断された。また薬液注入材については、高強度が必要なため非溶液型の選択となるものの、セメントベントナ

イトや可塑性グラウトのみでは充填性に懸念あることから微粒子注入材が適していると考えられた。

また、条件③および④を両立させるために、薬液の逸走を抑制できる工法が必要と判断された。そこで、任意方向への浸透の制御が可能なFDCグラウチング工法により外側に0.5m厚さの隔壁をつくった後、内部を浸透注入する手法を採用することとした。手順概念図を図-4に示す。

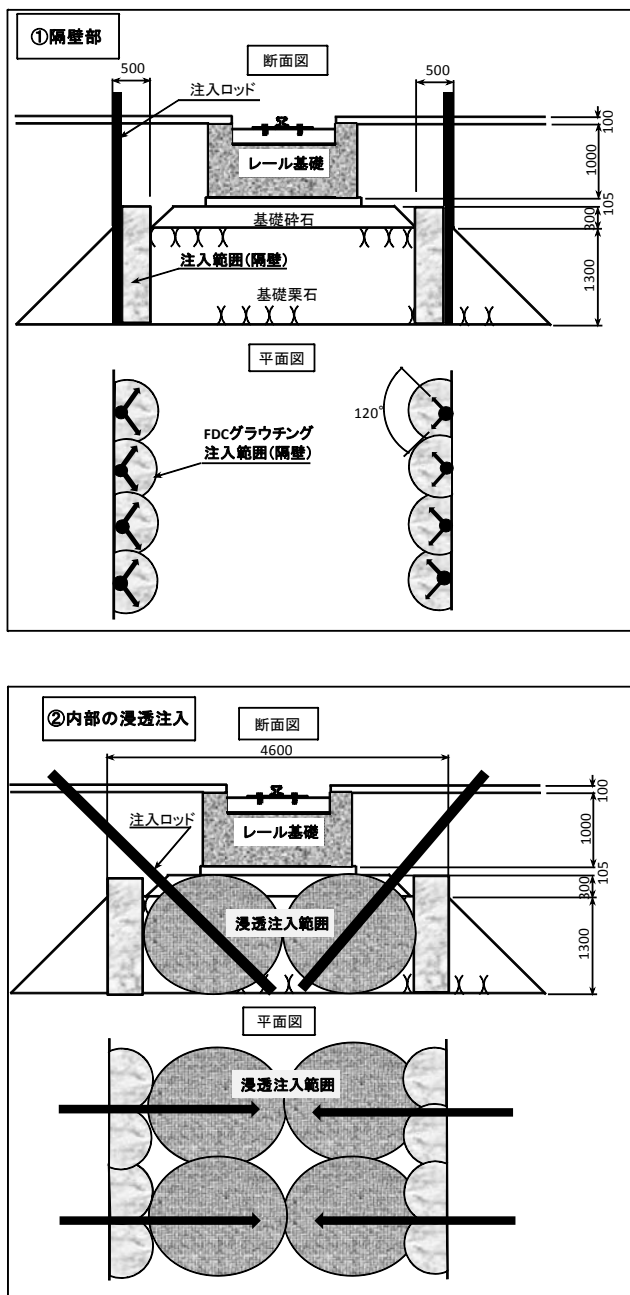


図-4 手順概念図

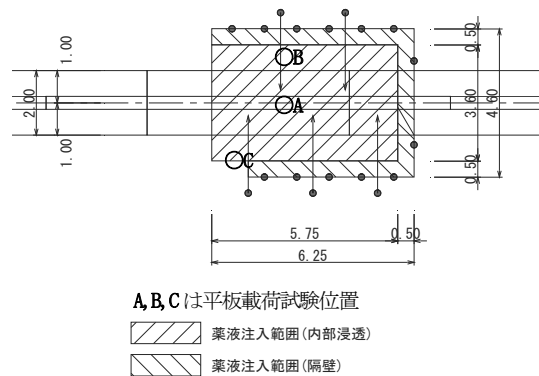
(2) 試験施工 1

前述の工法の適用性を検証するため、試験施工を行った。試験施工は、図-3のNo.7.3地点において実施し、隔壁、内部浸透注入とも注入材として超微粒

子注入材(平均粒径 $1.5\mu\text{m}$)のみを用い、注入率を対象容積の36%とした。図-5に試験施工平面図を示す。図に示す通り、隔壁の効果を確認するため、一部に隔壁の施工を行わない部分を設けた。

試験施工後の平板載荷試験結果を表-3に示す。表より、地盤改良によって地盤反力係数の増加は目標値以上に達することが確認された。ただし、隔壁のない部分については値が小さい結果となった。また改良箇所のボーリングを行い、充填性の確認を行った。図-6の注入状況イメージに示す通り、全体として上部の充填性がまだ不十分であった。特に隔壁のない部分は、より充填性が劣ることから、隔壁は薬液の逸走防止に有効であると確認できた。

また、施工時のレール等の変状を測量で確認した結果、レール等に変状を及ぼさないことを確認した。



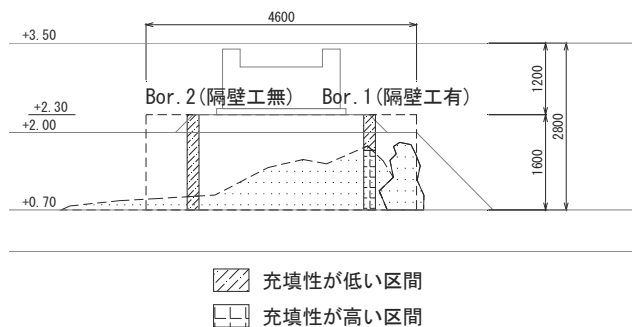
A, B, Cは平板載荷試験位置

- 薬液注入範囲(内部浸透)
- 薬液注入範囲(隔壁)

図-5 試験施工平面図

表-3 試験施工での平板載荷試験結果

位置	鉛直方向地盤反力係数 K_{vo} (kN/m ³)			目標鉛直方向地盤 反力係数 K_{vo} (kN/m ³)	判定
	改良前	改良後	増分		
A	390,600	676,000	285,400	>	OK
B	757,600	1,111,000	353,400	>	OK
C	—	277,000		<	NG



- 充填性が低い区間
- 充填性が高い区間

図-6 注入状況イメージ

(2) 試験施工2

上記の試験施工1の結果を受け、再度、試験施工を実施した。改善点は、以下の2点である。

- ①上部まで充填させるため、注入率を36%から41%に引き上げる。
- ②注入材を2種類とし、1次注入で間隙の大きい部分を対象としたセメントベントナイト注入(5%)を行った後、2次注入で間隙の小さい部分を対象とした極超微粒子セメント注入(36%)を行う。

図-7は、試験施工後に採取したコアボーリング試料にフェノールフタレン溶液を塗布したもの(セメントのカルシウム分に反応すると赤色に着色)である。前回試験施工とは異なり、改良天端まで着色されており、充填性が改善されていることを確認した。また施工時のレールの変状は見られなかった。

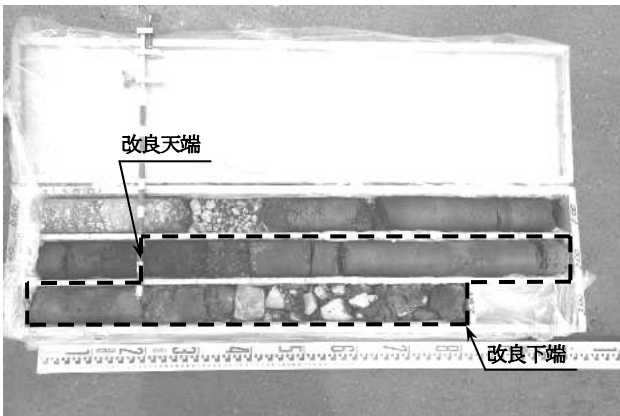


図-7 コア試料フェノールフタレン溶液塗布状況

4. 本施工

試験施工2と同様の方法で延長350mの本施工を実施した。本施工の概要を表-4に、削孔状況を図-8に示す。削孔にはロータリーパーカッションドリル4台を、1次注入には8セットを、2次注入には12セットを使用し、2.5ヶ月の工期を要して施工が完了した。注入速度を12L/min以下とし、レール等の動態観測を行いながら施工した結果、レール等に変状は見られなかった。

施工完了後、平板載荷試験6ヶ所、チェックボーリング及び孔内水平載荷試験を7ヶ所実施した。それらの結果を表-5に示す。表に示すよう通り、地盤の必要支持力が得られたことを確認した。

表-4 本施工の概要

■ 隔壁注入工 FDCグラウチング工法(120° 2方向) 本数 736本 計画注入量 1次注入(セメントベントナイト) 27,484L 2次注入(極超微粒子セメント) 181,518L	
■ 内部の浸透注入 ダブルパッカー工法(スリーブ注入) 本数 349本 計画注入量 1次注入(セメントベントナイト) 93,686L 2次注入(極超微粒子セメント) 659,518L	



図-8 削孔状況

表-5 施工後の強度確認結果

項目	No.	測定値	目標値	判定
平板載荷試験 地盤反力係数 Kvo (kN/m ³)	1	339,000	285,000	合格
	2	1,129,900		合格
	3	330,000		合格
	4	359,700		合格
	5	389,100		合格
	6	476,200		合格
孔内水平 載荷試験 地盤係数 Em (kN/m ²)	1	46,596	45,000	合格
	2	55,440		合格
	3	92,098		合格
	4	57,868		合格
	5	82,936		合格
	6	57,693		合格
	7	63,251		合格

5. 結論

(1) 改良対象地盤は、粗石が多数混入する礫質土で、その間隙には砂および細粒分が詰まっているという特殊な地盤であった。セメントベントナイトによる1次注入と極超微粒子セメントによる2次注入を組み合わせることにより、特殊な地盤への薬液注入を実現した。

- (2) 本工事では改良体上面に高い支持力が求められた。任意方向への浸透の制御が可能なFDCグラウチング工法で逸走防止の隔壁をつくった後、内部浸透注入するという工法を選択した結果、改良体上面に適切な支持力を確保することができた。
- (3) 薬液の注入速度を12 L/min以下で管理した結果、ガントリークレーンのレール等に変状を与えることなく施工することができた。

6. あとがき

本年6月には拡張された新パナマ運河が供用開始される予定であり、北米東海岸航路の大型コンテナ船の日本寄港も期待されている。本報告では、ガントリークレーンの大型化に対応できるクレーン基礎の改良について、荷役を行いながら施工できるメニューを提案した。今後、こうした事案が増えていくことが予想される。本報告が工法選定の一助となれば幸いである。