

大水深耐震強化岸壁を備えた高規格コンテナターミナルに付帯する荷さばき地における技術的検討

有松 勇

近畿地方整備局 神戸港湾事務所 第三建設管理官室
(〒651-0082 兵庫県神戸市中央区小野浜町7番30号)

国際コンテナ戦略港湾「阪神港」(大阪港, 神戸港)の一躍を担う神戸港では, 日々, 多くのコンテナが取り扱われている。地震の多い我が国では, 大規模地震発生時にもこの港湾物流機能を維持・継続することを目的にこれまでも耐震強化岸壁の整備が進められてきた。岸壁の耐震化が進む一方で, 運搬される貨物の荷さばき地を耐震化しなければ効率的な荷役を行うことができない。これらの背景を受け, 神戸港の荷さばき地において, 地震時においてもコンテナターミナルが一体となって供用可能な機能を発揮することを目的に耐震化を目指す技術的検討を行った。

キーワード 荷さばき地, 液状化対策, コスト縮減

1. はじめに

神戸港は, 2011年4月1日に施行された港湾法及び特定外貿埠頭の管理運営に関する法律の一部を改正する法律に伴う港湾法施行令の改正により, 阪神港として「国際戦略港湾」に定められた。

本改正により, 国際戦略港湾が長距離の国際海上コンテナ運送に係る国際海上貨物輸送網の拠点として機能するために必要な係留施設(水深 16m 以上の大耐震強化岸壁)に付帯する荷さばき地は直轄工事として施工することとなった。

神戸港ポートアイランド(第2期)地区岸壁(-16m)(以後, PC-18 と略称)荷さばき地では, 2013年度より耐震化に向けての検討が行われている。本検討で対象とするのは, 2019年度に検討を行った PC-18 荷さばき地(拡張部: 共同デポ)より更に西側の耐震強化岸壁 PC-18 背後の荷さばき地(西側拡張部)である。当該荷さばき地は, 隣接する荷さばき地及び PC-18 岸壁 (-16m) と一体となって機能を発揮すべく, 地震時においても供用可能な耐震性を有する必要がある。

本検討は, 神戸港の大水深耐震強化岸壁背後の荷さばき地において, 耐震化に向けて経済性, 施工性, 当該施設への適用性等の総合的観点から地盤改良工法の選定を目的とする。

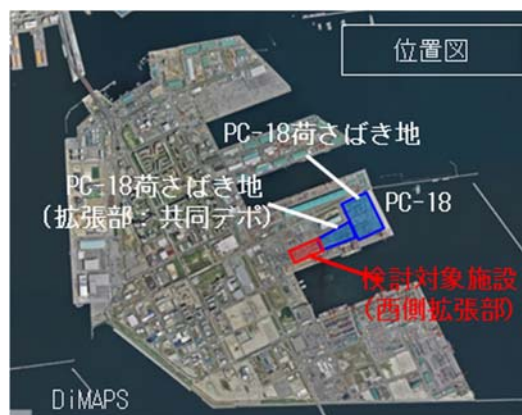


図-1 設計対象位置図

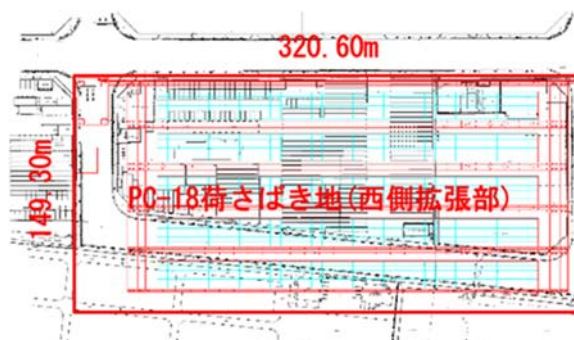


図-2 設計対象平面図

2. 検討条件について

(1) 概要 (荷さばき地)

荷さばき地とは、岸壁背後に見られる、コンテナ船から荷揚げする貨物の一時的な蔵置エリアのことであり、クレーン等の荷役機械及び建物である上屋が設置されている。神戸港の大水深耐震強化岸壁は埋め立て地に整備されることが多く、多種多様な埋立材料が使用されているため、埋立履歴も把握する必要があること、また供用中のコンテナターミナルにおいては、ターミナルを占有した状態での施工が必須になるなど、耐震化にあたっては現場状況を把握し対応していくことが重要となる。

(2) 設計条件

対象施設周辺には、図-3で示すように、岸壁の整備前に建設された仮護岸の存在が確認されている。構造形式は捨石式傾斜堤構造であり、本体工や基礎工に捨石が使用されているため、液状化対策工法の選定や改良体の配置を検討するうえで制約条件となる。

また、荷さばき地の設計には、地震動や潮位の自然条件だけでなく、取り扱う貨物や運行する荷役機械等の荷さばき地の利用形態も重要となる。

本検討で設定した設計条件を表-1に示す。

(3) 要求性能及び性能規定値

港湾の施設において、施設の運用上必要な要求性能及び性能規定が「港湾の施設の技術上の基準」¹⁾において定められており、基準に適合するように建設・改良・維持をしなければならない。荷さばき地においても、表-2の様に要求性能・性能規定値が定められており、これらの基準を満たす様に改良工法を検討する。

本対象施設では、表-2の基準を踏まえた上で、「港湾の施設の維持管理技術マニュアル(改訂版)」²⁾より、荷役作業に影響を及ぼさない沈下量10cmを性能規定値として設定する。

3. 地盤改良工法の検討

まず、現況断面においてFLIP解析を行う事で、地震時の

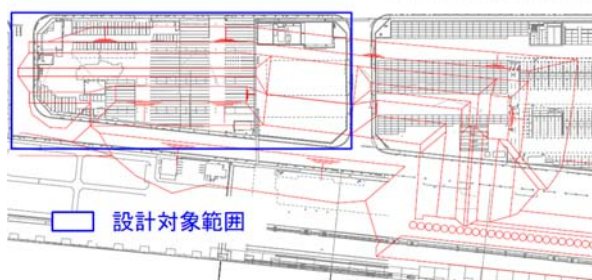


図-3 捨石式傾斜堤護岸分布図

液状化による本対象施設の現況の沈下量を把握する。FLIP解析の結果及び第2章の設計条件を踏まえて地盤改良工法を抽出する。

(1) FLIP (概要)

FLIPとは二次元の地震動応答解析の事であり、沈下量等を評価することが可能である。また、地盤と構造物を一体的にモデル化して解析を行うため、地震後の地盤・構造物の挙動を予測する事が可能であり、港湾施設を中心に多数の使用実績がある。しかし、FLIP解析は、あくまでも岸壁挙動による側方流動の影響を考慮した地盤沈下量解析であり、過剰間隙水圧消散に伴う排水沈下量は解析できないので、別途解析が必要になる点に留意する。

本検討では、表-1で示す地震動について、FLIP解析及び液状化解析を実施した。

(2) 現況断面の照査結果

現況の断面の解析の結果、東南海・南海地震動以外のケースでは、埋め立て地盤全般の液状化の発生により性能規定を満足しなかった。南海トラフ巨大地震動・コン

表-1 設計条件

種別	項目	設計条件
一般条件	設計想定面積	約 48,000㎡ (約 150m×約 320m)
利用条件	計画水深 (D.L)	-16.0m -12.0m(参考)
	主な荷役機械	RTG トレーラシャーシ
	取扱貨物	コンテナ (最大5段)
	上載荷重	53.6kN/㎡ (実入りコンテナ5段積み時)
	設計供用期間	改良後 50年
自然条件	潮位 (D.L)	H.H.W.L +3.70m H.W.L+1.70m L.W.L+0.10m R.W.L+0.60m (重力式)
	地震動	L1 地震動 (国総研 HP) L2 地震動 (直下型) : 兵庫県南部地震観測波 L2 地震動 (海溝型) : 東南海・南海地震動 南海トラフ巨大地震動

表-2 荷さばき地における要求性能及び性能規定値 (基準抜粋)

項目	内容	参考
要求性能	レベル 2 地震動作用後、速やか (短期間の後) にコンテナ貨物の荷役を行うことができるように、コンテナ蔵置エリアの平坦性を確保する。(蔵置されているコンテナの転倒防止、荷役作業機械の走行性を確保する観点より) ※ただし、沈下は許容する。	省令第43条2項
性能規定	作用による損傷の程度が、荷役作業に支障を及ぼさない限界値以下であること。	告示第83条2項

テナ満載の条件下で、沈下量が最も大きくなり、最大126.4cmの沈下となった。

図4に南海トラフ巨大地震における解析結果を示す。図上部の赤着色箇所が過剰間隙水圧比0.9以上の範囲であり、設計対象範囲内の大部分が著しく液状化する事が分かる。

本章にて、上記の最も厳しい条件下において性能規定を満足する改良断面を検討する。

4. 改良断面の決定

(1) 改良工法の抽出

本検討では、1次選定・2次選定・3次選定と3段階の手順を踏まえ、地盤改良工法の抽出を行った。

1次選定では、液状化現象等に伴う地盤変位の抑制対策として適用可能と考えられる工法を、過去の施工実績を元に整理を行った。整理の結果、34種類の工法が挙げられた。

2次選定では、第2章で定めた本対象施設の検討条件を踏まえ、適用性の高い工法について、抽出した。その結果、締固め工法、深層混合処理工法(格子状改良工法)及び薬液注入工法の3工法を抽出した。

3次選定では、2次選定において抽出した3工法に対して、更に一般的な施工を想定の上、各工法の特徴(長所・短所や使用機械等)や本対象施設への適用性等を整理するとともに工法の抽出を行った。その結果、締固め工法(SCP工法)及び深層混合処理工法(機械攪拌式工法)の2工法を抽出した。

(2) 対策断面の創意工夫

3次選定で抽出した2工法について、対象施設における

改良地盤の側方変位及び液状化沈下解析による安定性の照査を行い、本対象施設の要求性能・性能規定を満足するための改良仕様を検討した。締固め工法においては、改良率の組合せ等を調整しながら性能規定値を満たす改良仕様を検討し、深層混合処理工法においては、格子改良の改良仕様(格子間隔, 改良強度)について、準2次元FLIPモデルで感度分析を行い、確認された諸元(格子間隔15.0m~20.0m程度, 改良強度1.0MN/m²~2.0MN/m²程度)を基本に、南北方向及び東西方向の断面の2次元FLIPモデルにて効果を検証した。

どちらの工法でも仮護岸の存在により、地盤の挙動が抑制され、仮護岸より陸側では改良率や改良範囲を抑制できる結果となった。

a) 締固め工法

締固め工法の液状化発生の抑制が可能となる改良仕様として、仮護岸を挟み海側地盤では改良率19.6%、陸側地盤では改良率7.2%の組み合わせが妥当だと考えられ、表-1に示す全ての地震動で当該施設の性能規定値10cm(最大沈下量9.8cm)を満足する結果となった。

図-5に当該地盤に対する影響が大きい南海トラフ巨大地震の解析結果を示す。

b) 深層混合処理工法

深層混合処理工法の改良壁の改良強度及び格子間隔は、これまでに当該関連施設(PC-18荷さばき地等)において、改良体の目標強度とし1.0MN/m², 格子間隔を25.0mを基本として設定し、設計及び施工が行われてきた。

本検討では、液状化対象地盤の深度分布に応じ、長壁(着底型)20.0m間隔, 短壁(浮き型)³⁾10.0m間隔の格子仕様(組み合わせ)により、対象施設内の性能規定値10cm(最大沈下量9.5cm)を満足できることを確認した。これは、これまでの施工実績に対して改良目標強度を2.0MN/m²または2.5MN/m²と現実的に可能な範囲で高め、格子間隔を広げる事や非液状化層に着底させる長壁と非

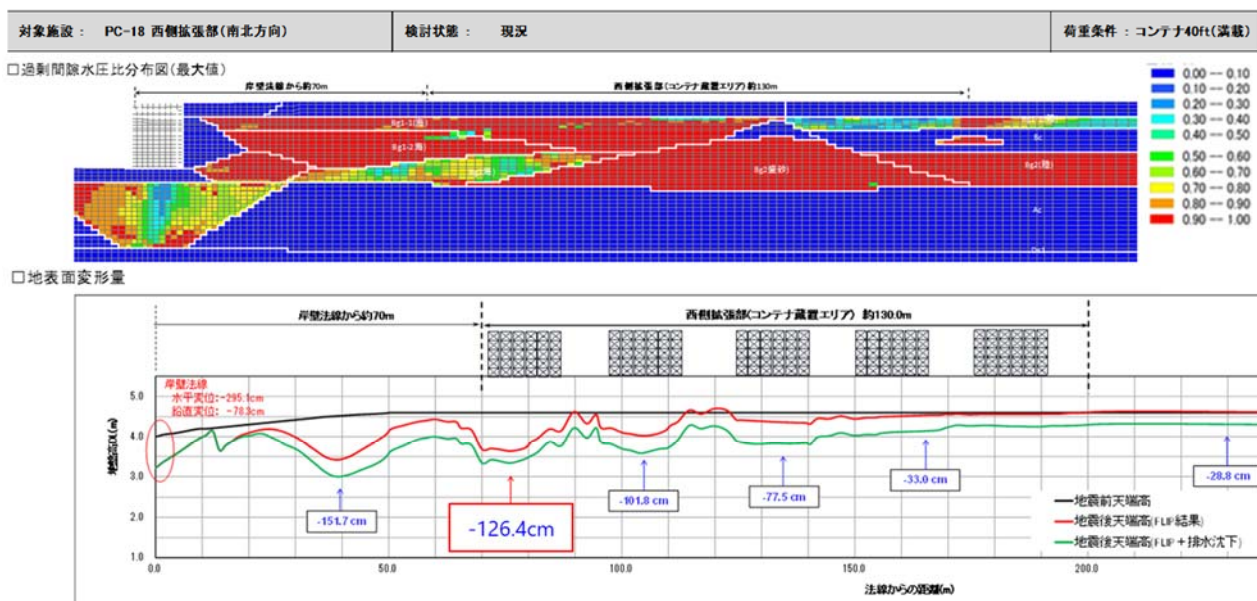


図4 現断面の解析結果(南海トラフ巨大地震)

液状化層に着底せずに浮き型として改良深度を縮減させた短壁を組み合わせることでコスト縮減や工期短縮等に配慮した結果である。また、補助工法(先行掘削)の併用を要する、仮護岸への干渉が想定される仮護岸直前面の短壁(浮き型)を省いても性能規定値を満たすことがわかったため、更なるコストの縮減を図る事が可能となった。

図-6に当該地盤に対する影響が大きい南海トラフ巨大地震動の解析結果を示す。

結果を示す。

比較検討の結果、概算費用及び工程でともに優位となった深層混合処理工法を当該対象施設の最適工法として選定した。

5. おわりに

本稿では、供用中のコンテナターミナルにおける荷さばき地の改良設計一例について報告した。

荷さばきの改良設計においては、コンテナターミナルの利用状況、荷さばき地の新設から改良設計に至るまで

(3)改良工法の選定

第2節にて検討した締固め工法及び深層混合処理工法の改良仕様について、詳細に比較検討(特徴、概算費用、工程、当該施設への適用性等)を行った。表-4に工法比較

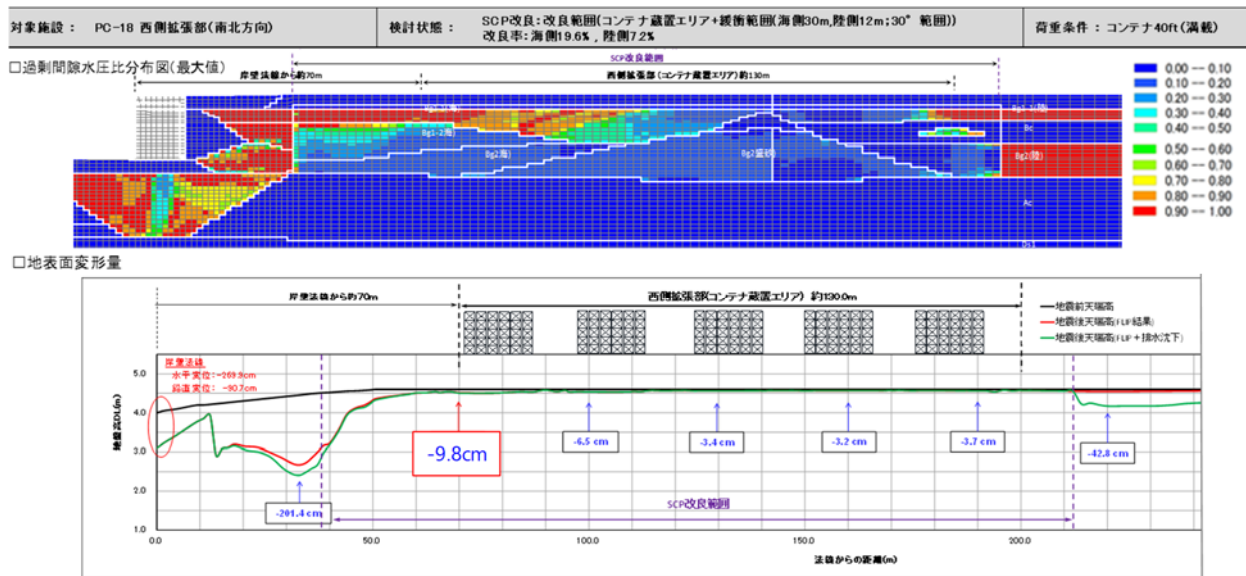


図-5 改良断面(締固め工法)

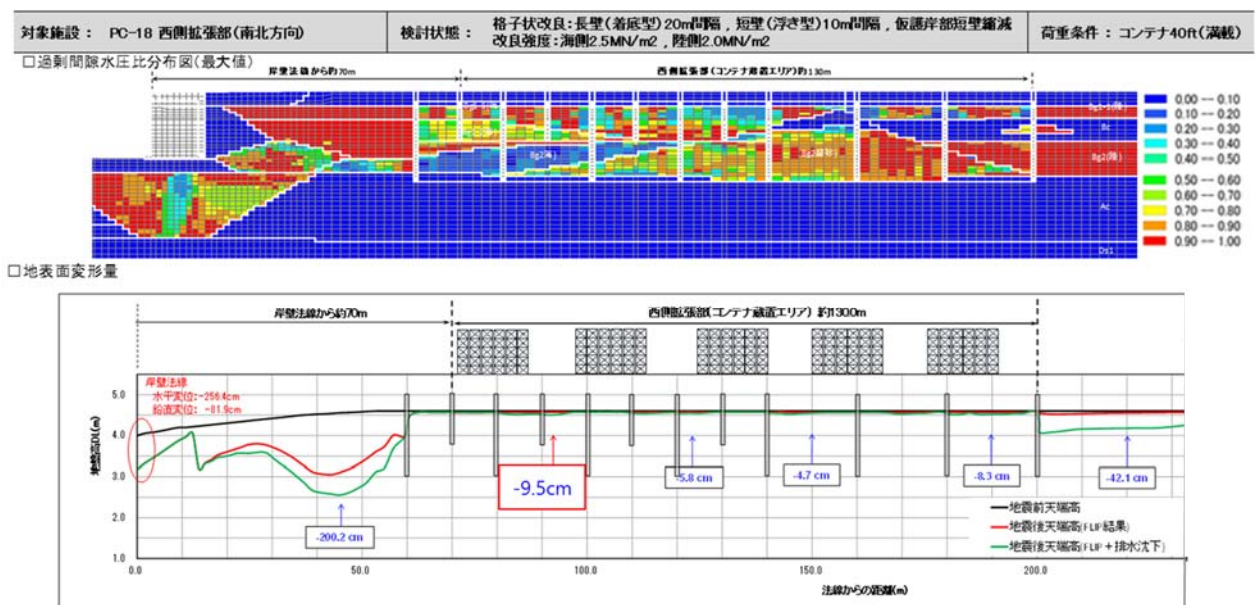


図-6 改良断面(深層混合処理工法)

の背景等の現場状況を踏まえた上で、基準とする要求性能・性能規定を満たす改良工法を選定する事が重要となる。当該対象施設では、本検討で設定した表4の格子配置で工事発注予定であったが、実施設計の段階で埋設管の存在が確認された。そのため、工事発注前に現地調整を行い、埋設管を避ける格子配置で工事発注を行った。

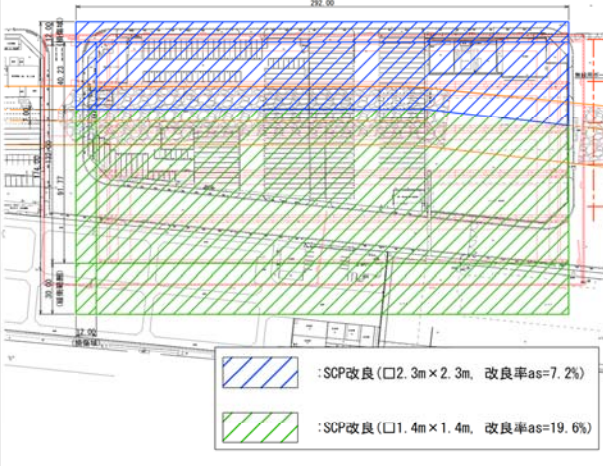
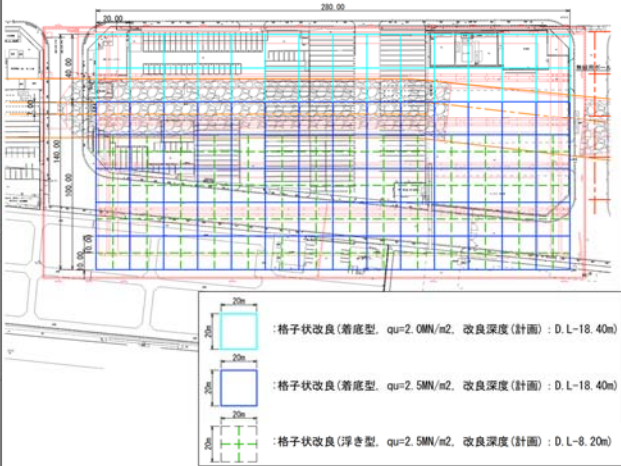
本稿は著者の従前の所属である神戸港湾空港技術調査事務所における所掌内容を取りまとめたものである。

謝辞：本稿では、設計業務を担当されました方々に多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：港湾の施設の技術上の基準について
- 2) 一般財団法人沿岸技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル(改訂版)2018年7月
- 3) 独立行政法人港湾空港技術研究所，一般財団法人沿岸技術研究センター，五洋建設株式会社，清水建設株式会社，株式会社竹中土木，東亜建設工業株式会社，東洋建設株式会社，株式会社不動フトラ：浮き型格子式液状化対策工法(フューラット工法)技術マニュアル(案)2014年10月

表4 抽出工法比較

工法名	サンドコンパクションパイル(SCP)工法	深層混合処理工法(格子状改良) 機械攪拌式(代表：RASコラム工法)
改良仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・陸側範囲：改良率7.2%(□2.3mピッチ)、杭径φ700mm ・岸壁側範囲：改良率19.6%(□1.4mピッチ)、杭径φ700mm 	<ul style="list-style-type: none"> ・陸側範囲：格子間隔20m，改良強度2.0MN/m²，着底型(改良深度D.L.-18.4m) ・岸壁側範囲：格子間隔20m(着底型，改良深度D.L.-18.4m) 格子間隔10m(浮き型，改良深度D.L.-8.2m) 改良強度2.5MN/m²
改良平面図	 <p>改良平面図</p> <p> : SCP改良(□2.3m×2.3m, 改良率as=7.2%) : SCP改良(□1.4m×1.4m, 改良率as=19.6%) </p>	 <p>改良平面図</p> <p> : 格子状改良(着底型, qu=2.0MN/m², 改良深度(計画): D.L.-18.40m) : 格子状改良(着底型, qu=2.5MN/m², 改良深度(計画): D.L.-18.40m) : 格子状改良(浮き型, qu=2.5MN/m², 改良深度(計画): D.L.-8.20m) </p>
概算工費	・約(1.16)	・約(1.00)
概算工期(供用日数)	計: 約2年	・計: 約1年
総合評価	△ (格子状改良(機械攪拌式)に比べ、工費、工期ともに劣る)	○ (締固め工(動的SCP)に比べ、工費、工期ともに優位)