

岸壁利用を考慮した既存岸壁の耐震改良に関する技術検討について

松田 智太¹・鈴木 慶二郎²

¹近畿地方整備局 港湾空港部 神戸技術調査事務所 技術開発課 技官（〒651-0082兵庫県小野浜7-30）

²近畿地方整備局 港湾空港部 神戸技術調査事務所 技術開発課 第二係長（〒651-0082兵庫県小野浜7-30）

近い将来、東南海・南海地震が発生すると予測されている中で、このような大規模地震により施設が被害を受けても短期間で修復を行い、物流の停滞を防ぐことは重要である。また、供用中の岸壁で工事を行う場合、岸壁利用への影響を最小限にすることは重要である。

そこで、本検討では供用中である岸壁の利用をできるだけ妨げずに、発災直後においても物流機能を維持することを目的とした、耐震性強化改良工法について技術検討を行った結果を報告するものである。

キーワード グラウンドアンカー、耐震改良、既存岸壁

1. 対象岸壁の概要

神戸港ポートアイランド（第2期）地区岸壁（-15m）（PC-16,17）は、神戸埠頭公社が平成3年度から事業着手し施工中であったが、平成7年1月に兵庫県南部地震において被災し、平成8年3月に復旧設計が行われ、現在の構造形式で施工されている。対象岸壁であるPC-16,17は平成10年2月に供用が開始された。



図-1 対象岸壁位置図

2. 設計条件

対象岸壁は既に供用中であることから、設計に際しては背後ヤードにはコンテナが多数あることや上屋等も建設されていることを考慮する必要がある。

入力地震動については、レベル1地震動及びレベル2地震動（東南海・南海地震、兵庫県南部地震(再来)）で検討を行った。

表-1 設計条件

	PC-16,17
現況水深	水深15m
改良後対象船舶	100,000DWT
改良内容	増深(水深16m)・耐震改良
施設延長	800m(400m*2)
前提条件	・1バース一定期間の占有可能 ・防舷材の取替(大型化) ・築造限界対策
利用状況写真	 (PC-17)

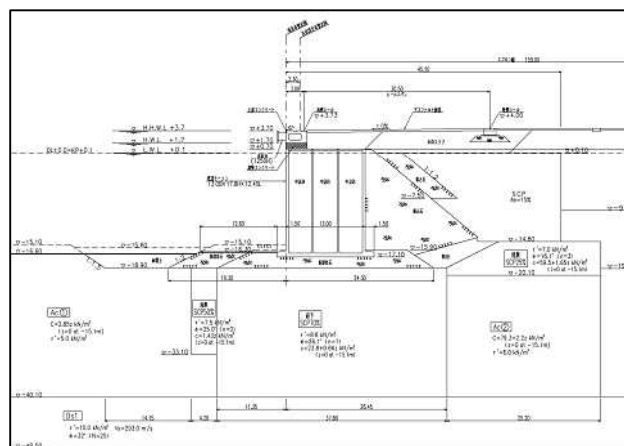


図-2 標準断面図（現況）

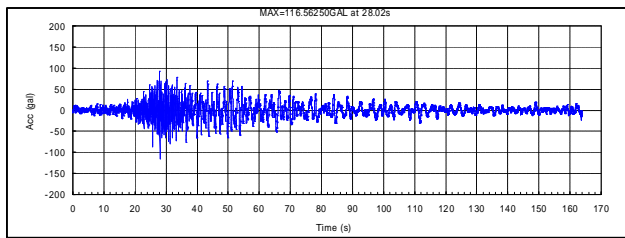


図-3.1 レベル1地震動波形

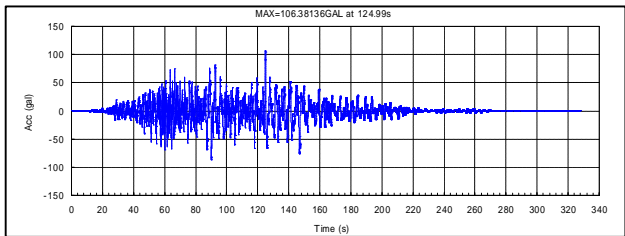


図-3.2 レベル2地震動波形(兵庫県南部地震の再来波)

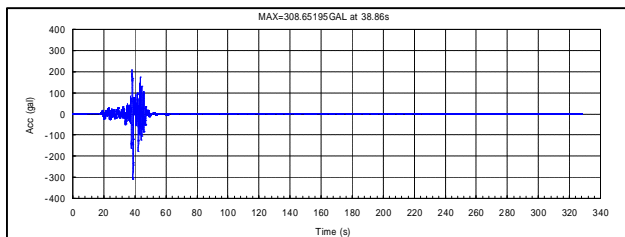


図-3.3 レベル2地震動波形(東南海・南海地震波)

土質条件に関しては、既存資料及び平成21年度に実施した土質調査の結果を用いて地盤定数を設定した。地盤は、上部には埋立土砂が、その下に海成粘性土主体の沖積層、砂礫層・砂層及び粘性土が互層状に堆積する上部洪積層が厚く分布している。岸壁北側法線水平方向(PC-14,15N側)及び、岸壁北側法線水平方向(PC-15E,16,17側)における土質調査で、層厚8m以上の洪積砂礫層(Dg1)が確認されている。

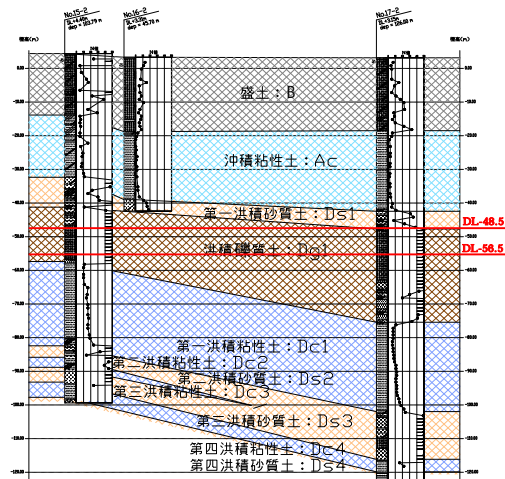


図-4.2 土層モデル(岸壁東側法線水平方向)

3. 耐震性能規定の設定

対象岸壁は、『(特定)幹線貨物対応の耐震強化施設』であることから、コンテナクレーンが搭載された岸壁であることを考慮し、性能規定を設定した。岸壁本体及びコンテナクレーン基礎部の性能規定値は、表-2の通り。なお、性能規定の設定に際しては、港湾空港技術研究所の資料¹⁾や既往の性能規定設定事例を参考にしている。

表-2 設計条件

	要求性能	設計状態		照査項目	性能規定値	
		状態	主たる作用			従たる作用
岸壁本体	使用性 (地震後、使用上の不都合を生じずに施設等を使用できる性能)	永続	自重	水圧、載荷重	円形すべり	耐力作用比 1.0以上
		変動	L1地震動	自重、土圧、水圧、載荷重	壁体の滑動・転倒、基礎地盤の支持力	耐力作用比 1.0以上 (岸壁天端の許容変形量: Da = 10cm)
	修復性 (地震後、構造的な安定が保たれ、一定期間の後に、緊急物資等の荷役を行うことができる性能)	偶発	L2地震動	自重、土圧、水圧、載荷重	法線の変形	・残留変形量: 100cm未満 ・残留傾斜角: 3°未満
		偶発	L2地震動	自重、土圧、水圧、載荷重	エプロンの変形	・ケーン背後段差: 0.3m
クレーン基礎部	修復性	偶発	L2地震動	自重、土圧、水圧、載荷重	法線の変形	・レールスパンの変位量: 30cm以内

4. 現況断面の照査

PC-16,17の現況断面について、レベル1地震動に対し静的照査、レベル2地震動(2種類)に対し有効応力解析プログラム(FLIP)を用いた動的照査を行った。

その結果、レベル1地震動に関して、滑動及び支持力照査で1.0を満たさないことや、レベル2地震動に関して、変位が性能規定値を超える結果となり、何らかの対策が必要であることが判明した。

表-3 PC-16,17の現況断面照査結果

状態	レベル1地震動に対する変動状態	
潮位	H.W.L. +1.70m	
クレーン荷重	有り	
堤体上の上載荷重	無し	
滑動照査	-17.10m面	0.97 < 1.0
転倒照査	-17.10m面	1.37 > 1.0
支持力照査 (Bishop法)	-17.10m面	0.878 < 1.0
状態	レベル2地震動に対する偶発状態	
潮位	R.W.L. +0.60m	
クレーン荷重	有り	
堤体上の上載荷重	有り	
対象地震波	兵庫県南部地震の再来波	東南海・南海波
残留変位量	岸壁天端	77.8cm < 100cm
残留傾斜角	岸壁天端	0.7° < 3.0°
レール間変位		24.3cm < 30cm
エプロン段差		11.2cm < 30cm
		164.4cm > 100cm
		1.6° < 3.0°
		22.0cm < 30cm
		30.8cm > 30cm

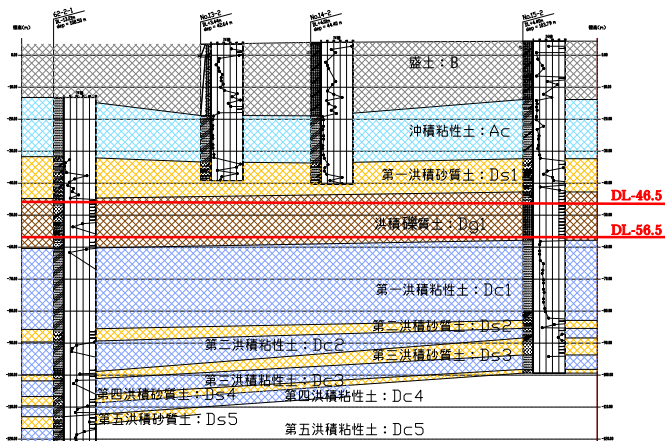


図-4.1 土層モデル(岸壁北側法線水平方向)

5. 耐震改良工法の抽出

現況断面が性能規定値を満たさなかったため、改良工法の検討を行った。対策工法は、表1に示した前提条件、1バースにつき半年までの占有が可能なこと、対象船舶の大型化に伴う防舷材の大型化や築造限界(船舶が接岸時に接触しない範囲)対策を考慮し、施工実績、現地での適用性などを検討した結果、「グラウンドアンカー補強工法」、「控鋼管式アンカー工法」及び「薬液注入固化処理工法」の3工法に絞った。

5.1 抽出した工法の概要

5.1.1 グラウンドアンカー補強工法²⁾

グラウンドアンカー補強工法は、地中に造成するアンカー体と構造物とを鋼線等の引張部材で連結して、構造物にプレストレスを与える工法である。引張部材の張力を受圧部材から地盤に伝えるようにしてケーソン及び地盤の移動層を安定するように保持する仕組みとなっている。アンカー体はグラウトにより地盤中の洪積砂礫層(Dg1)に定着・固定させる。図-4.1、図-4.2の通り、定着層として十分な層厚が確保されていることは確認済みである。

優位性：施工占有面積が削孔に必要なスペースだけなので小さく、岸壁利用に対する影響を最小限に抑えることができる。横浜港(南本牧地区)で長尺施工の実績があり、事前混合処理工法等の他の耐震改良工法と比べて工期が短く工費が安い。

留意点：定着地盤の詳細な調査(土性、地下水圧の確認等)や試験施工による張力の確認が必要。また、沈下に対する追従性に課題があるため、張力の維持管理が重要で、張力管理のための点検孔や点検設備(ロードセル等)が必要である。

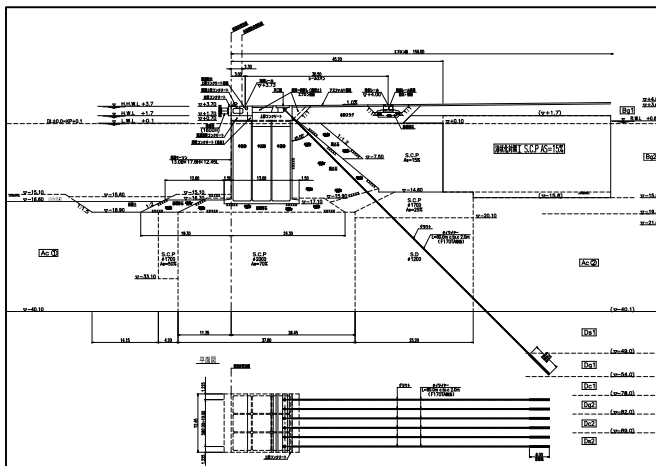


図-5 グラウンドアンカー補強工法

5.1.2 控鋼管式アンカー補強工法

控鋼管式アンカー補強工法は、アンカー体と構造物と

を鋼線等の引張部材で連結して、構造物にプレストレスを与える工法である。アンカー体を控杭(大口径鋼管杭)に定着・固定させるところがグラウンドアンカー補強工法と異なる部分である。

優位性：鋼管杭を直杭として利用できるため、定着部の信頼性が高い。グラウンドアンカー補強工法と同様に施工に必要な面積が小さく、岸壁利用に対する影響を最小限に抑えることができる。アンカー孔へのグラウト注入が不要である。

留意点：定着地盤の詳細な調査は必要ないが、試験施工や張力の維持管理についてグラウンドアンカー補強工法と同様に留意する必要がある。また、アンカーを控杭へ定着させるために高精度な削孔が求められる。そのため、グラウンドアンカー補強工法より施工が難しい。岸壁の耐震補強工法としての実績はない。

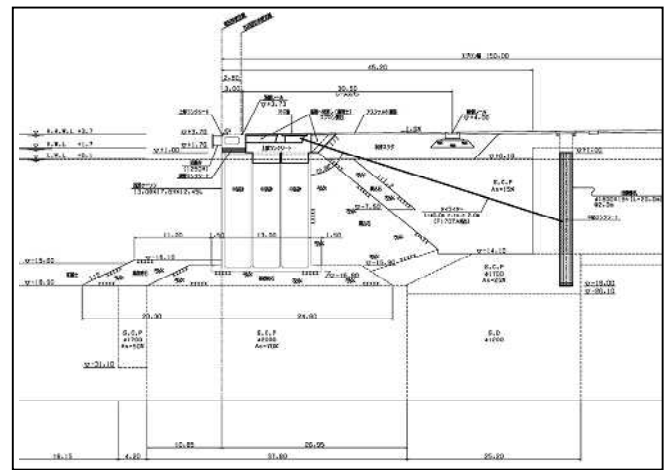


図-6 控鋼管式アンカー補強工法(参考)

5.1.3 薬液注入固化処理工法

薬液注入固化処理工法は、地盤中に薬液を注入して、地盤の透水性を減少させるとともに、地盤強度を増加させることで、土圧軽減を図る工法である。

優位点：1カ所当たりの施工占有範囲が小さく、岸壁利用状況に合わせて日単位での施工機械の移動が可能である。

留意点：岸壁の耐震補強工法としての実績はないため、試験施工が必要。また、改良体の長期耐久性が実証されていないことや維持管理に課題がある。環境負荷が大きいため注入薬剤の流出防止対策が必要で、選定した3工法の中で工費が一番高い。

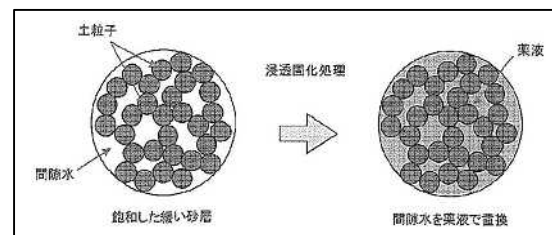


図-7.1 薬液注入固化処理法の原理³⁾

(参考文献3)より引用)

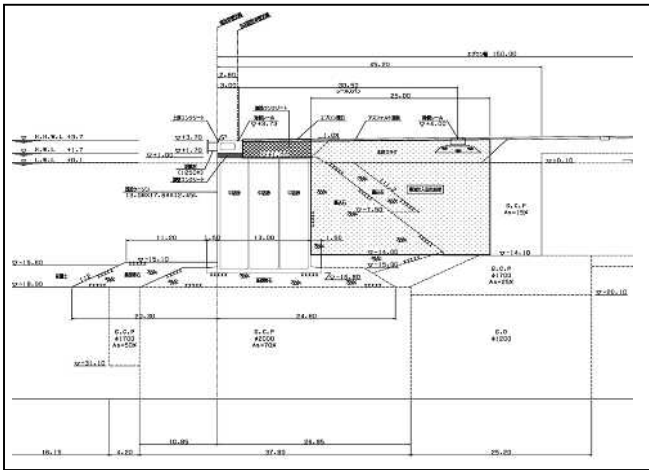


図-7.2 薬液注入固化処理工法(参考)

6. 耐震改良工法の選定

5で抽出した3工法について、工法の特徴や施工性、経済性について比較検討を行った。その結果、概算工事費、工期、岸壁利用への影響の少なさ等から、グラウンドアンカー補強工法を最適案として選定した。

そこで、グラウンドアンカー補強工法を用いた改良断面について詳細な検討を行う。

先の留意点で述べたようにこの工法ではプレストレス確保のため、アンカー張力が維持されている必要がある。しかしアンカーの定着層としている洪積砂礫層(Dg1)の上層には図-4.1,図-4.2の通り沖積粘性土層が厚く分布しており、圧密が終了していないためケーソンが自重等により沈下し張力が弱まると予想される。そこで、アンカー張力の確認と再緊張可能なようにRC板を設け、維持管理可能な断面を検討した。この点が、横浜の事例と異なる新しい試みであるといえる。

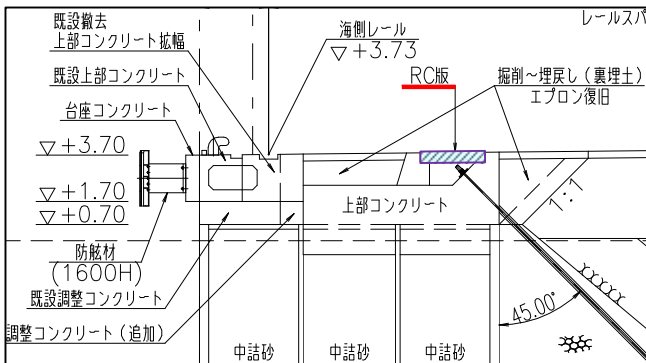


図-8 グラウンドアンカー補強工法 (ケーソン上部工拡大)

改良断面について、レベル1地震動に対し静的照査、レベル2地震動(2種類)に対し動的照査を行った。その結果、表4.1,表4.2の通り、全て性能規定値を満足した。

表4.1 静的照査結果一覧

バース名	状態	レベル1地震動に対する変動状態				
		HWL +1.70m				
バース名	潮位	有り		無し		
	クレーン荷重 堰体上の上載荷重	無し	有り	無し	有り	
PC-1617	滑動照査	-17.10m面	1.11 > 1.0	1.12 > 1.0	1.02 > 1.0	1.03 > 1.0
	転倒照査	-17.10m面	1.81 > 1.0	1.82 > 1.0	1.89 > 1.0	1.90 > 1.0
	地盤反力 (参考)	-17.10m面	Pmax=687.31kN/m2 (b=13.20m)	Pmax=688.29kN/m2 (b=13.20m)	Pmax=546.85kN/m2 (b=14.64m)	Pmax=556.75kN/m2 (b=14.64m)
	支持力照査 (Bishop法)	-17.10m面	1.104 > 1.0	1.103 > 1.0	1.123 > 1.0	1.130 > 1.0

表4.2 動的照査結果一覧

バース名	状態	レベル2地震動に対する偶発状態		
		対象地震波	兵庫県南部地震の再来波	東南海・南海地震波
PC-16,17	残留変位量	岸壁天端	44.6 cm < 100 cm	64.8 cm < 100 cm
	残留変形角	岸壁天端	0.3 ° < 3.0 °	0.4 ° < 3.0 °
	レベル間変位		15.1 cm < 30 cm	13.5 cm < 30 cm
	エブロン段差		11.3 cm < 30 cm	18.4 cm < 30 cm

7. まとめ

本検討では、既に供用中である岸壁の利用をできるだけ妨げずに耐震性強化を図り、発災直後においても物流機能を維持することを目的とした、最適な耐震改良工法について技術検討を行った。PC-16,17に関して、経済性、工期、施工性等の面から『グラウンドアンカー補強工法』を最適案として選定した。

選定されたグラウンドアンカー補強工法の実施にあたって重要な点は定着層の付着抵抗力の確認である。

レベル1地震動とレベル2地震動(2種類)に対し、岸壁に求められる要求性能をそれぞれ設定し、静的照査及び動的照査によって、改良断面が耐震性能照査基準を満足することを確認した。

このグラウンドアンカー補強工法は日本国内である程度の施工実績を有しているが、大水深岸壁に適用した実績は少ない。また、ケーソン上部工にRC板を設け、アンカー張力の維持管理を考慮するなど、新たな試みも行われている。

現在、本改良工法を採用した工事が鋭意施工中である。

参考文献

- 1) 港湾空港技術研究所：港湾構造物の耐震性能照査型設計体系について、港空研資料No1018.
- 2) 沿岸技術研究センター：岸壁・護岸耐震補強アンカー工法(摩擦圧縮・ナット定着グラウンドアンカーを用いた岸壁・護岸の耐震補強工法), pp.1-3, 2009
- 3) 財団法人沿岸技術研究センター：浸透固化処理工法技術マニュアル(改訂版), pp.4, 2008