

# 既設防潮堤における沈下対策の 取り組みについて

吉川 和宏<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (公財) 兵庫県まちづくり技術センター 企画部情報政策課

(〒540-8586兵庫県神戸市中央区栄町通6-1-21) .

兵庫県では、南海トラフ巨大地震等に備える地震・津波対策を効果的かつ効率的に進めるため、かねてから「津波防災インフラ整備5箇年計画（暫定版）」を策定するなどいち早く対応してきたが、この度、地震動による防潮堤等の沈下対策の検討を行い、これを反映した津波対策後の浸水地区の縮減対策を取りまとめた「津波防災インフラ整備計画」を2015年6月に策定した。計画では、甚大な浸水被害が想定される地区を「重点整備地区」に設定し、全ての津波対策の完了を10年間（2023年まで）として、計画的・重点的に津波対策を推進することとしている。

県が管理する尼崎西宮芦屋港海岸は、南海トラフ巨大地震による津波被害が想定されており、特に、背後に人口・資産が高度に集積する「尼崎地区」「鳴尾地区」「西宮・今津地区」が重点整備地区（図-1）に設定され、既設防潮堤の沈下対策が喫緊の課題となっている。

本論文では、既設防潮堤の沈下対策を迅速に進めるために実施した「複数工区で進める設計の思想や条件を統一するための会議」や、「先行工事による液状化対策工法の効果検証」などの取組みと課題を考察する。

<キーワード 南海トラフ巨大地震, 既設防潮堤, 液状化対策, 津波対策>

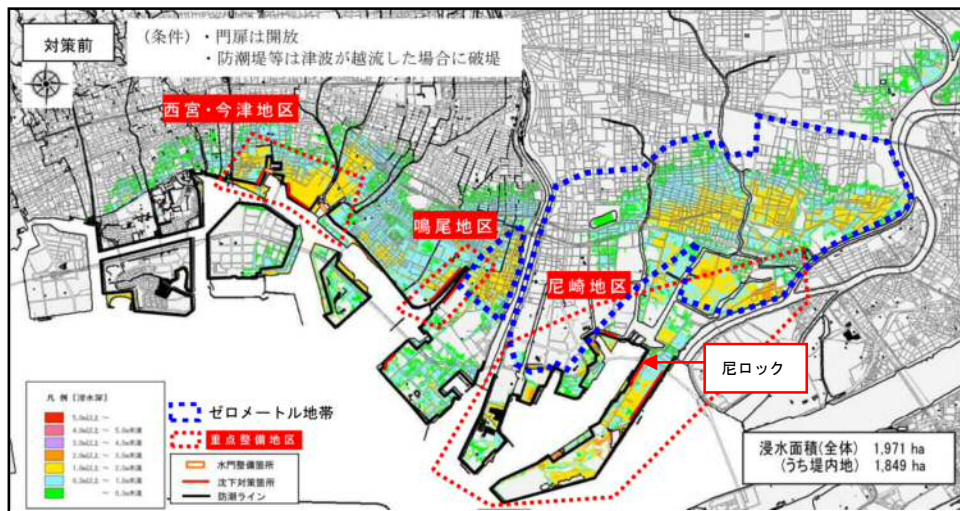


図-1 尼崎西宮芦屋港海岸 重点整備地区

## 1. 防潮堤をとりまく現状

### (1) 地形特性

尼崎西宮芦屋港海岸は、人口・資産が高度に集積する地域を背後に控え、特に尼崎市では工業地帯を中心に地下水の汲み上げによる地盤沈下が進んだため、一部西宮市域を含む国道2号付近までゼロメートル地帯が存在している。

### (2) 施設の現状

#### a) 高潮対策

尼崎西宮芦屋港海岸線では、1950年のジェーン台風や、1961年の第2室戸台風による甚大な高潮被害を契機とし

て、1951年～1998年にかけて海岸線約58kmに第一線防潮堤を整備している（図-2）。



図-2 防潮堤建設状況

b) 阪神淡路大震災による被害と災害復旧

1995年の阪神淡路大震災では、地盤の液状化により約16kmにわたって防潮堤が沈下するなどの被害を受けたため、災害復旧事業で嵩上げ等の原型復旧を行ったが、液状化層の地盤改良など被災原因の対策は行っていない。

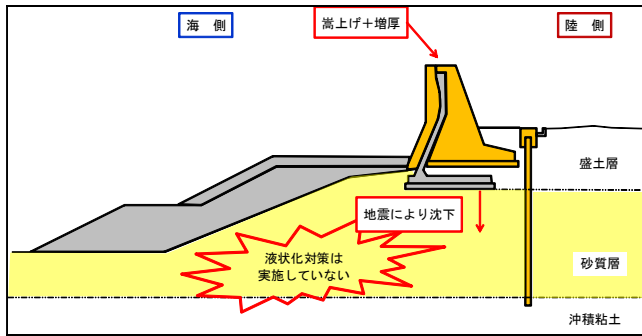


図-3 災害復旧断面図

c) 津波対策

2008年に尼崎市、西宮市、芦屋市など県内市町が「東南海・南海地震防災対策推進地域」に指定されたことを受けて策定した「兵庫県海岸保全施設耐震対策整備計画」において、安政南海地震（M8.4）を想定した耐震・耐津波照査の結果、耐津波性が不足する箇所が判明したため、防潮堤の増厚補強工事を実施し、2011年までに対策を完了している。これにより、100年に1回のレベル1津波については安全性が確保されている。

(3) 南海トラフ巨大地震による被害想定

東日本大震災を契機として、国が新たに南海トラフ巨大地震（M9.1）に伴う津波（レベル2津波）の想定結果を発表したことを踏まえ、県独自で防潮堤等の耐震照査及び浸水想定を行った。結果、地震動により堤体直下の基礎地盤が液状化し、防潮堤が約0.5m～2.3m沈下すること、その後押し寄せるレベル2津波に対して天端高さが最大1.1m不足し、津波の越流により防潮堤の背後地約1,971haが浸水することが明らかになった。そこで県では「津波防災インフラ整備計画」を策定し、効果的かつ効率的な津波対策を計画的に推進することとしている。

表-1 設計条件表 (抜粋)

種類	項目	内容	設計C1					設計C2					設計C3					設計C4					設計C5					決定内容
土質調査	ボーリング調査	調査開閉																										
	土質定数	C、φの決定方法																										
測量調査		設計基準面																										
		基準点の位置、座標																										
設計	1) 設計思想	準拠基準類																										
	2) 共通事項	津波																										
		地震動																										
	4) 老朽化対策	対象変状																										
		電対																										
	8) 沈下対策	地盤評価の方法																										
FLIP解析	1) 解析条件	解析モデル範囲																										
	1) 解析条件	工学的基礎面																										
	2) 入力地震動	レベル2地震動																										
	3) 使用プログラム	FLIPバージョン																										
	4) 解析定数設定	N値																										
5) 出力項目	排水沈下量計算法、抽出箇所																											

2. 沈下対策実施にあたっての課題

当該重点整備地区の防潮堤沈下対策は、全箇所早急に進める必要があるため、2014年から複数同時に調査・設計に着手する中、設計を進める上で以下の課題が生じた。

(1) 対策にかかる設計基準

南海トラフ巨大地震による津波対策については、詳細設計実施時点では、統一的な基準がなかったため、国への確認や他府県からの事例収集などをもとに設計条件を整理することとした。特に、レベル2津波に対する性能規定値（沈下対策の要否判定の基準値も同様）については、地震時の変位量（沈下量、傾斜角、水平移動量等）に対し、県独自の目標値を設定する必要があった。

(2) 液状化対策の効果検証

防潮堤直下に液状化層が存在する場合の沈下対策については、液状化層に対して地盤改良等の液状化対策が必要となるが、県内での施工実績がなく、その効果検証や課題の抽出を行いながら設計を進める必要があった。

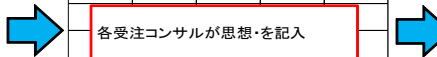
3. 課題の解決策及び得られた成果

(1) 設計条件にかかる調整会議

設計思想や基準を統一して共有化するため、事務所、本庁主管課（港湾課）、各受注コンサルタントの担当者で構成する設計条件にかかる調整会議（以下、「調整会議」という。）を設置し、先行工事を除く7箇所の詳細設計を並行して実施した。調整会議では、設計思想や土質定数の設定など、設計に必要な条件を抽出するとともに、抽出された条件に対して各受注コンサルタント毎の考え方を整理した設計条件表（表-1）を基礎として検討を重ね、設計条件等の統一を図った。

a) 統一の結果

設計思想、土質定数の設定、性能規定、地盤耐震解析



の条件等については、各地区の間でバラつきが改善された。また、土質調査の頻度、地盤の改良範囲など現場ごとに設定が必要な項目も、各地区の状況も踏まえて考え方が統一化され、設計期間の短縮、手戻り防止を図ることができた。

**b) 性能規定**

「兵庫県海岸保全施設耐震対策整備計画検討委員会（以下、「委員会」という。）」の助言により、「沈下対策の判定条件」＝「性能規定値」としていたが、設計を進める中で天端幅が広い防潮堤の水平変位量の考え方について課題が出たため、調整会議を活用して他府県事例を収集する等により、性能規定値（図-4）の設定に寄与することができた。

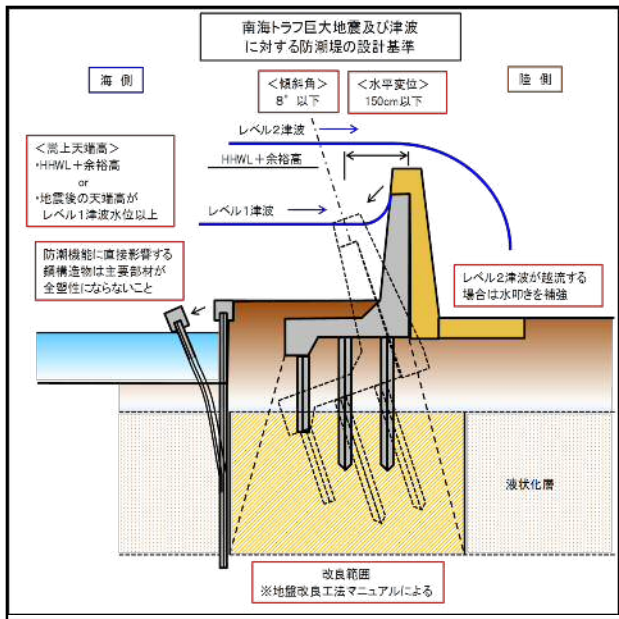


図-4 性能規定イメージ図

**c) 会議による副次的効果**

防潮堤の沈下対策に関わる担当者全員が調整会議に参加することで、各地区の持つ課題、対策方法等を情報共有できたことにより、技術レベルの底上げに繋がった。更に、各設計コンサルの得意分野、不得意分野を互いに補い、より良い成果へと導くことができた。

**(2) 先行工事による液状化対策の効果検証**

尼崎地区の尼ロック西側にある第一線防潮堤は、津波から背後のゼロメートル地帯を護る重要な施設であるが、耐震照査の結果、地震で矢板が塑性化することが判明している。加えて、津波が越流浸水すると排水処理に長期間を要し、復旧に困難を極めることが予想されるため、液状化対策工法の効果検証も含め2014年から先行工事を実施した。

**a) 対策工法の選定**

耐震照査の結果、液状化に伴う地盤のせん断変形により防潮堤の変状が確認されたため、委員会の助言を踏まえ、液状化対策を主とする地盤改良工法を中心に検討し

た結果、堤体直下の改良が可能で、周辺地盤への影響が少ない恒久グラウト剤を使用する「薬液注入工法」を採用した。

**b) ボーリング調査の重要性**

先行工事は近傍の既存土質調査結果をもとに工事発注し、施工時に確認ボーリング(100m毎)を実施することとした結果、液状化層の層厚が想定と大きく異なり（図-5）、修正設計が必要となったことから、これを教訓として、他工区の設計ではジャストポイントでの土質調査結果を踏まえて設計することとした。

特に、軟弱地盤を埋め立てた地区においては、河口部であっても地層の分布が一様でないことに留意する必要があることがわかった。

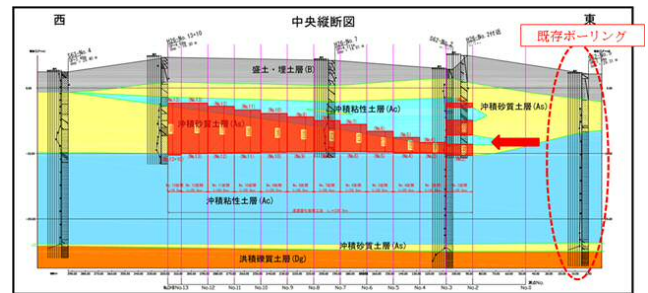


図-5 土質縦断面図

**c) 工事の結果**

先行工事において、施工後の改良層のサンプルを採取し、強度試験を実施した結果、改良範囲、強度において、所定の効果が確認できた。また、地盤改良工事による周辺地盤等の変形や地下水への影響について、地盤高の測定や水質を計測した結果（図-6、表-2）、周辺地盤・堤体及び水質への影響がほとんど認められなかった。このことから、薬液注入工法は背後に建物があり周辺地盤の変形に配慮が必要な箇所でも適用可能であることが確認できた。

表-2 施工管理項目

観測種別	計測等位置	計測項目	
		垂直変位	水平変位
変位計測	防潮堤天端	垂直変位	水平変位
	背後地盤	〃	〃
改良後強度	上部	一軸圧縮強度	
	中間		
	下部		
観測孔採水	改良層背後	PH値	

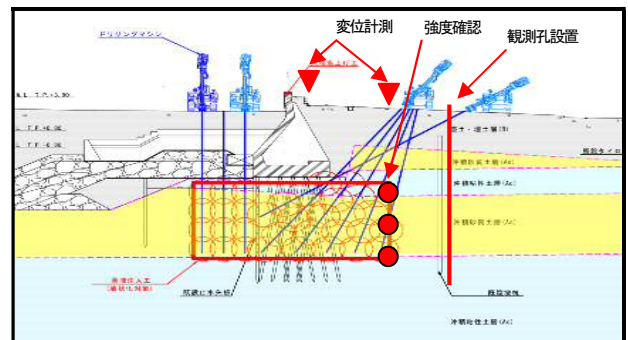


図-6 対策工断面図

e)対策効果のPR

本対策では目的物が地中にあるため、対策効果が目に見えないことから、住民に対する事業効果PRを積極的に実施する必要があると考えた。先行工事では、施工業者の協力を得てビジュアルな取り組みとして以下のことを実施した。

- ・液状化対策効果のわかる模型の製作・展示 (図-7)
- ・液状化対策工法のPR看板の製作・展示 (図-8)

工事現場見学会においてこれらを用いて説明を行った結果、事業効果の住民への理解に寄与できたことが確認できた。



図-7 改良前・後の土層模型



図-8 PR看板

f) 先行工事から得られた成果

先行工事の結果、対策工法の効果、周辺への影響、土質調査の重要性について確認することができ、結果、そ

の他工区的设计・施工に反映することができた。

以上、施工実績の少ない工法を設計する場合の、先行試験工事を実施することの有効性が実証された。

また、工事PRの必要性についての課題及びその一つの解決策を得ることができた。

4. おわりに

南海トラフ巨大地震の30年以内における発生確率が70%と言われる中、住民の津波防災インフラ整備に対する関心が高まり、津波に対する迅速なハード対策が求められている。

今回の設計過程でとりまとめた設計手法は、震度法による設計だけではなく、性能規定の考え方も取り入れるなど、今後の軟弱地盤上の防潮堤の設計を進める上で有用な成果を得たと考えている。

現在も設計及び工事は継続中であり、工法検討中の工区も複数ある中、委員会で提唱された工法では対策が困難な箇所も発生している。今後、更なる課題に遭遇することが予想されるが、常に最新の知見を取り入れることにより、技術力を高め、技術者同士情報を共有しながら課題に取り組むことにより、解決できるものと考えている。本論が新たな設計を進める上での参考となり、土木技術向上の一助となれば幸いである。

※異動に伴う対応

発表者は人事異動があり、本論は従前の所属である兵庫県阪神南県民局 尼崎港管理事務所 港湾整備課における所掌内容である。

謝辞：本事業を進めるにあたり、多くの知識及び協力を頂いた設計コンサルの皆さま、工事現場においてPRのため、創意工夫をもって協力いただいた請負業者の皆さまに感謝します。また、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた尼崎港管理事務所、本庁港湾課の皆様に感謝します。

参考文献

- 1) 兵庫県海岸保全施設耐震対策整備計画 (2008)
- 2) 津波防災インフラ整備計画 (2015)
- 3) 尼崎閘門建設誌