

高松港朝日地区の耐震強化岸壁(-7.5m)における棚式構造の適用

高松港湾空港技術調査事務所	設計班	御船	佑哉
高松港湾空港技術調査事務所	設計班	岡田	克寛
高松港湾空港技術調査事務所	設計班	山野	俊介

高松港では貨物需要の増大に伴う船舶の増加や大型化への対応と大規模災害時の海上輸送拠点確保が必要とされており、課題解決のために朝日地区における水深-7.5m耐震強化岸壁の整備を行う。本稿では、水深-7.5m耐震強化岸壁の基本設計を行う中でフェリーを運航しながらの施工や既設護岸への影響、圧密沈下対策等の観点から各構造形式を比較・検討し、耐震強化岸壁としては全国的に事例が殆どない棚式構造を選定したことを報告する。

キーワード 基本設計，耐震強化岸壁，フェリーターミナル，棚式構造，圧密沈下

1. はじめに

高松港は神戸港との間で1日4往復（2隻）のフェリーが就航しており、広域的な物流拠点となっている。しかし、近年は利用貨物の増大により、積み残しが生じるなどその取扱い能力は限界に達している。そこで、今後も進む貨物需要の増大やフェリーの大型化等に対応するため、整備前の水深-6.0mから増深し、水深-7.5mの岸壁を整備することになった（図-1）。

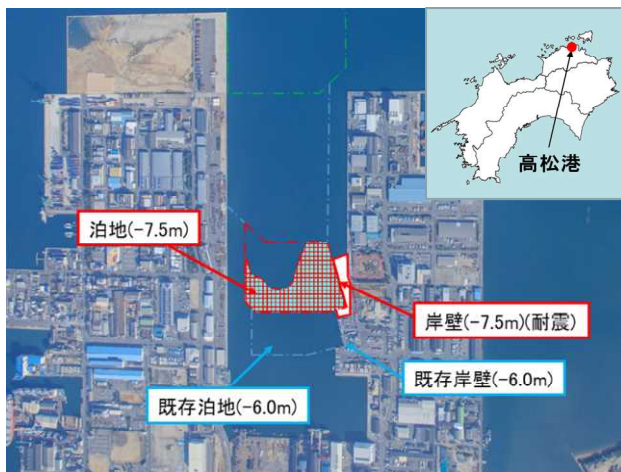


図-1 対象施設位置図

また、耐震強化岸壁とすることで、今後高い確率で発生が予想される南海トラフ地震など大規模地震発生時には、緊急物資輸送を行う復旧復興の拠点としても位置づけられている。

本事業の整備範囲は図-2に示すとおり、標準部170mと船首尾部30mの計200mを予定しており、先行して船首尾部30mとその取付部30mを対象に基本設計を行った。現在、現行フェリーの3,700GT級より大幅にサイズアップした10,000GT級の利用が計画されており、船首尾部にはそのために可動橋や防衝工、係留施設が必要となる。また、フェリーの運航中の施工となるため、利用者や航路を阻害しない施工範囲や既存の周辺施設への影響を考慮する必要もある。

上記のような条件を踏まえた上で、施工性・経済性等の観点から最適な構造形式を検討した結果、棚式構造を選定した。本稿では、その棚式構造を選定するに至った経緯について、本検討区間の課題と各構造形式の対策方法の比較を踏まえて報告する。



図-2 計画施設平面図

2. 施工検討箇所の課題について

(1) 圧密沈下

本検討区間における土層分布は、図-3に示すような、表層が沖積砂質土及び粘性土層で以下砂質土と粘性土の互層で構成された地盤となっており、特徴として、砂分・礫分の分布が一樣ではなく同一層とする中でもN値や粒度分布に変化がある。

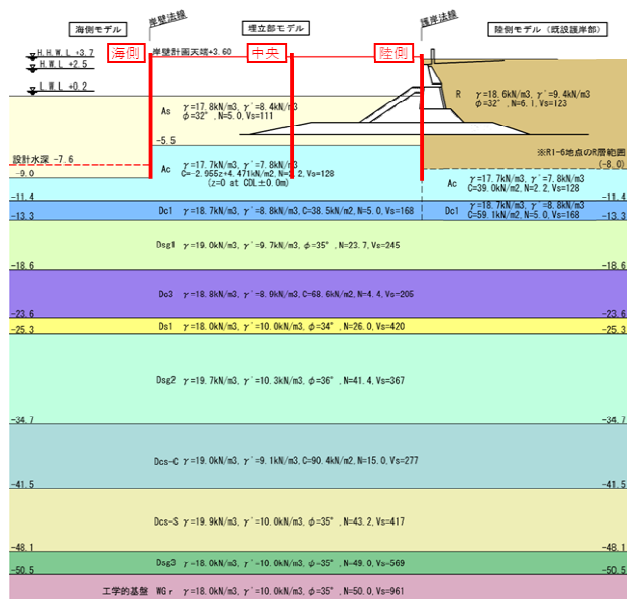


図-3 土層モデル図（船首尾部法線直角方向）

そのような土層条件下で埋め立てを行った場合の荷重増加を考慮した沈下量を算定するために圧密沈下計算を行った。沈下量は圧密沈下計算ソフト「Decalto ver.17.1D」を使用し、e-logP曲線を用いた e法で算定する。現況地形をモデル化し、算定した結果を表-1に示す。

表-1を見ると船首尾部断面中央で最大沈下量が発生しており、粘性土の圧密沈下43.1cmと、砂質土の排水沈下8.8cmの計52cm沈下している。

圧密沈下は部材に影響を及ぼし、岸壁の破壊が起こる要因となるため、圧密沈下を考慮した対策が可能な、構造形式を選定する必要がある。

表-1 沈下量の算定結果

単位：cm

土層		取付部断面（橋軸直角方向）			船首尾部断面（橋軸方向）		
		陸側	中央	海側	法線	中央	陸側
粘性土	Ac1	11.1	26.1	19.8	16.3	26.1	15.9
	Dc1	2.1	4.8	4.0	3.9	6.9	3.7
	Dc3	2.9	5.6	4.5	5.0	8.2	4.8
	Dcs-C	1.0	1.4	1.1	1.4	1.9	1.4
	計	17.0	37.9	29.4	26.7	43.1	25.8
砂質土		18.0	7.9	-5.8	6.4	8.8	6.2
全層合計		35.0	45.8	23.7	33.0	51.9	32.1

3. 構造形式の選定

係留施設の構造形式の選定に当たっては、各構造形式の特性を考慮し自然条件・利用条件・施工条件について比較検討し、経済性を考慮して決定する。

本章では一次選定・二次選定を行い、構造形式の選定に至るまでの過程を説明する。

(1) 構造形式の一次選定

抽出に当たっては、設計業務の基本となっている「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成30年5月、以降「港湾基準」と称す）」¹⁾に記載の構造形式から背後ヤードと連続した車両の通行の可否と標準部が連続した整備が可能である「栈橋式」、「重力式」、「セル式」、「矢板式」、「棚式」について構造特性・施工性上での適用性の判断により一次選定を行った。各構造形式の選定結果を表-2に示す。

一次選定を行った結果、「矢板式（二重矢板式）」、「矢板式（グラントアンカー式）」、「棚式」の3構造形式を選定した。（図-4）

表-2 一次選定結果

構造形式	非選定理由	評価
栈橋式	・ 栈橋上部工と可動橋基礎が一体構造となることからレベル2地震後の杭の応力状態の再現が難しく、健全性の確認が困難	×
重力式	・ ケーソン及びマウンドの設置のために、供用中の隣接岸壁及び既設取付護岸を撤去する必要があるため、適用が困難	×
セル式	・ 隅角部と既存護岸の間のスペースに限りがあり、滑動抵抗及びせん断抵抗を確保するためのセル幅の確保が困難	×
矢板式	自立矢板式	×
	控え矢板式	×
	二重矢板式	○
	グラントアンカー式	○
棚式		○

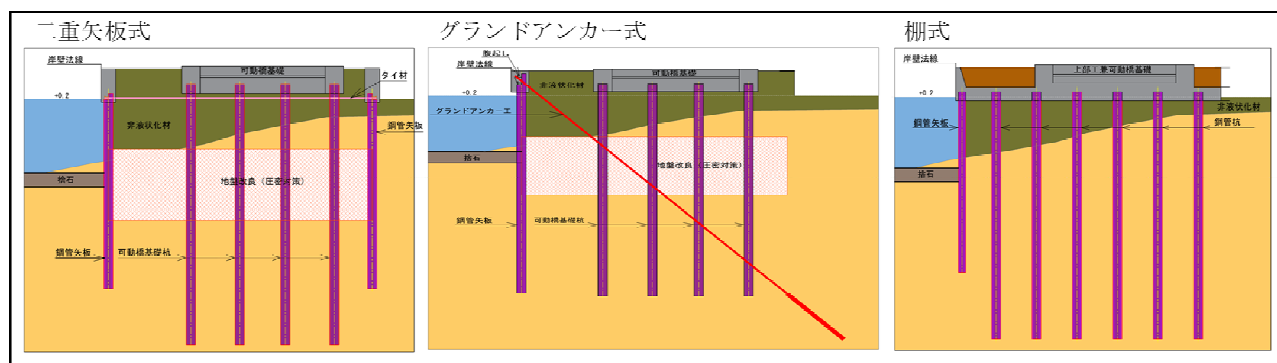


図-4 検討構造タイプ（イメージ）

この構造特性・施工性上での適用性の高い3案について二次選定を行う。

a)各構造形式の最終断面の決定

まず、永続・変動状態の安定性照査で設定した初期断面に対して、有効応力解析のための解析プログラムの一つで、土質定数を適切に設定すれば精度の良い結果の出るFLIPによりレベル2地震動が作用した場合の変形及び部材照査を実施する。性能を満たさない場合は部材を見直して再度FLIP解析を実施する。

棚式

水平変位:最大=0.56m
残留=0.51m
鉛直変位:最大=0.03m
残留=0.02m

二重板式

水平変位:最大=0.59m
残留=0.52m
鉛直変位:最大=0.03m
残留=0.02m

グラウンドアンカー式

水平変位:最大=0.37m
残留=0.31m
鉛直変位:最大=0.02m
残留=0.01m

○性能規定[偶発状態]

- ・残留水平変位
200cm以下
- ・残留鉛直変位
一定期間の応急復旧により緊急物資の荷役が行える程度の変型量に収まること

図-5 残留変形図（取付断面：偶発状態(南海トラフ)）

この断面諸元を基に埋立に伴う圧密沈下への対応による経済性、施工性を考慮して構造形式の選定を行う。

ある。地盤改良工法は対象地盤への適用性が高い高圧噴射攪拌工法を選定する。

棚式構造では圧密沈下が発生しても棚が杭で支持されているため天端面が下がることが無く、施工後の残留沈下を許容できるため、圧密対策としての地盤改良は行わず構造計算時に考慮する。

地盤改良は足場設置・撤去、高圧噴射固化改良工の作業に1年程度要し、直接工事費の3割ほどの金額を占めるため地盤改良を行わず、工期、経済性ともに優れている棚式構造が有利である。

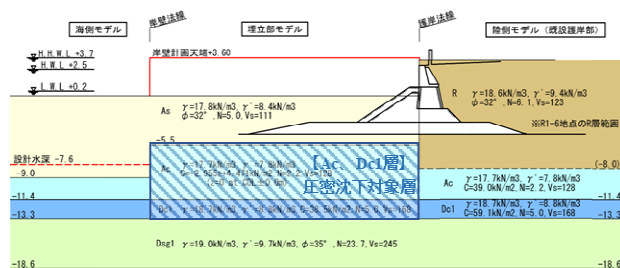


圖-6 地盤改良範圍

工期、経済性ともに優れている棚式構造ではあるが、耐震強化岸壁に棚式構造を適用する場合、性能規定の設定や性能照査について、設計業務の基本となる「港湾基準¹⁾」に記載がない項目があり、事例も全国的に少ない。その基準内で不足している点を補うため、有識者の助言をいただき、以下のことを考慮して判断を行った。

・棚杭と同様に複数の杭で構成される栈橋構造の鋼管杭の性能規定を準用して複数個所で限界曲率に達することを許容

- ・過剰間隙水圧比が0.9程度と高い値を示した非液状化層であるAs層を液状化層とした検討

・岸壁隅角部に適用された構造形式であるため、棚杭の合成応力を確認

・棚下部の圧密沈下量分の空隙を考慮した地盤バネと周面摩擦の設定

上記を踏まえた検討の結果、棚式構造が耐震強化岸壁に適用することができ、経済性、工期ともに他2案よりも優れていることから図-7に示す棚式構造を選定した。

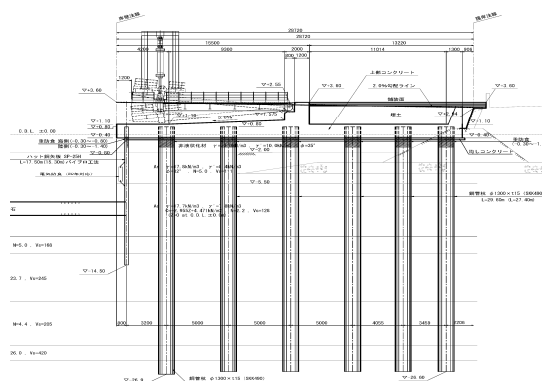


図-7 標準断面図（棚式）

4. 施工計画の概略検討

基本設計にて決定する断面は、期限までに施設を完成させるために、現場での作業内容や制限、期間を踏まえた現実的な断面とする必要がある。本業務では選定した構造形式に対し、施工時を考慮した杭打ち時の振動・騒音対策、施工手順の検討を行った。

(1) フェリー運航施工に伴う振動・騒音対策

岸壁工事区域は「準工業地域」に区分されており、高松市HPに記載の規制基準²⁾を参考に作成した表-3に示すとおり、騒音の大きさは85デシベル、振動の大きさは75デシベルを越えないこととされている。

表-3 準工業地域における振動・騒音規定基準

	振動	騒音
規制法の区域区分	第2種区域	第3種区域
大きさ	75デシベルを越えないこと	85デシベルを越えないこと
作業時間	午前7時から午後7時	
1日当たりの作業時間	上記作業時間中の10時間以内	
連続作業日数	連続6日を越えないこと	
作業の禁止日	日曜、祝日は禁止	

本検討区間では、法令の基準値に準じて杭打ち工事を行った場合の振動・騒音の影響範囲について検討した。

杭打ち工法は一般的な工法を対象とし、振動・騒音の影響を受ける係留中のフェリーの船室、フェリーの乗船用通路、フェリー乗り場待合室の3地点を対象に振動・騒音の影響評価を行った。方法としては、各工法の基準点振動・騒音レベル、基準点からの距離から対象施設における振動・騒音の大きさを求め、表-3にも記載してある基準との比較を行った。

振動・騒音の影響結果のまとめを表-4に示す。

なお、フェリーの対象施設は基本的に建物の中にあるので、騒音に関しては建物の遮音効果を考慮して建物の内側は外側より騒音値が20デシベル低減されるものとし、騒音許容値は建物内側の値としている。

表-4 振動・騒音の影響評価のまとめ

対象施設	自走式圧入工法			オーガー併用圧入工法			パイプロハンマ工法		
	振動(dB)	騒音(dB)		振動(dB)	騒音(dB)		振動(dB)	騒音(dB)	
フェリー施設	敷地境界	26	49	33	77	51	87	83	81
	フェリー船室	---	61	41	---	89	69	---	103
	乗客用通路	37	56	36	43	85	65	68	101
	乗り場待合室	24	47	27	30	75	55	51	87
対象施設	高周波パイプロハンマ工法			中掘杭工法			油圧ハンマ工法		
	振動(dB)	騒音(dB)		振動(dB)	騒音(dB)		振動(dB)	騒音(dB)	
フェリー施設	敷地境界	---	88	37	78	55	96	92	90
	フェリー船室	---	104	84	---	94	74	---	112
	乗客用通路	57	102	82	54	92	72	72	110
	乗り場待合室	---	88	68	37	78	58	55	96

注1)敷地境界での騒音の許容値は室外で85dBとし、許容値を超えるケースを赤字下線とした。
注2)フェリー施設での騒音の許容値は室内で85dBとし、許容値を超えるケースを赤字下線とした。

検討した結果、振動に関しては、すべての対象施設において杭打ち工法の区別無く許容値を満足する結果とな

った。騒音に関しては、一部基準値を越える工法があり、僅かに基準値を超えたパイプロハンマ工法並びに高周波パイプロ工法は、隣接する公園の敷地を工事の際に借用し敷地境界までの距離を延長する等の対策が有効である。油圧ハンマ工法は敷地境界、フェリー船室並びに連絡通路において大幅に基準値を超えるため、防音カバーを設置、フェリー出港中に行う等の騒音低減対策が必要である。

(2) 柵式構造の施工手順の検討

柵式構造の新設護岸について供用中の周辺岸壁に配慮した施工計画の概略検討を行った。施工手順と各工程の所要日数を図-8に示す。

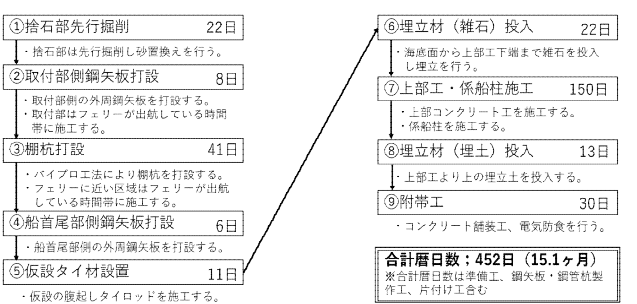


図-8 施工手順図（柵式）

各工程ごとに数量を算出し、作業にかかる日数を想定している。また、と のようにフェリーの入出港の影響により作業が不可能な範囲がある工程は、日当たり作業量に差を設けて日数を算出している。そのため、フェリーの影響の有無を考慮した所要日数となっており、実態に合った工程を組むことができています。

5. おわりに

本検討では、朝日地区岸壁の特徴である圧密沈下を考慮した構造形式の比較・検討を行い、柵式構造を選定し、対策断面を作成した。いつ起きてもおかしくない災害への早急な対策が必要であり、予算にも限りがある状況の中、工期が短く経済性にも優れた構造形式と断面検討を行うことができた。

船首尾部の基本設計以降、本検討区間の施工に加えて、隣接区間である標準部170mの基本設計が開始される。施工と基本設計共に、本検討にて出た留意事項や検討内容に注意して進めていくことが重要である。

参考文献

1) (社) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、2018
2) 高松市公式ホームページ：高松市の環境情報(環境測定結果等) https://www.city.takamatsu.kagawa.jp/kurashi/kurashi/kankyo/kankyo_sokutei/kankyo_kijun.html