

浮体式係船岸の建設可能性について

運輸省第五港湾建設局

○小日山 定

佐藤 誠

正会員 外山 進一

1. はじめに

港湾の沖合展開、沿岸域の有効利用、海洋開発の進展に伴い、今後、わが国における港湾施設の整備は、大水深域、軟弱地盤帯等、自然条件、現場条件の厳しい海域へと展開して行くことが予想されている。

一方、東海地震をはじめとした大規模地震等に対する地震防災対策が構じられる中で、耐震性の高い、経済性に優れた構造物の整備は、港湾の重要な課題であり、新しい技術開発に基づく構造物の開発が期待されている。

このような背景から、大水深域、軟弱地盤帯などへの適合性に優れ、経済的で、耐震性、機動性、施工性を有した浮体式構造物の開発が要請されており、また、沖合人工島構想をはじめとする海洋開発の各分野においても、浮体式構造物の開発が発想される。

本調査は、このような各種要素を勘案し、これまでの調査研究を踏えて、係船機能を有した、より適用性の高い浮体式係船岸を開発するため、検討対象地点で浮体式係船岸の概略設計、従来工法との経済比較を行い、試設計を行ったものである。

2. 浮体式係船岸候補地の選定

浮体式係船岸の候補地の選定は、これまでの調査結果などを参考にして、特に可能性が高いと思われる箇所を4地点選定した。

これらの地点は、いずれも外海からの波浪が外郭防波堤あるいは、埋立地等により有効に遮断され既存港湾内に位置していることから、波浪条件に恵まれた立地条件となっている。

3. 浮体式係船岸の概略設計

(1) 設計条件の概略設定

浮体式係船岸建設可能性検討箇所として選定された4地点について、浮体式係船岸及び従来形式による係船岸について概略設計を行い、経済性の比較検討を実施するために、①各港の港湾資料、②文献、③各種調査報告書等の既存の文献、資料に基づき自然条件、計画条件、利用条件、荷重条件等の基本的な設計条件を設定した。

(表-1参照)なお、設計条件の概略設定に際しては、設計条件の確認を行うとともに浮体式係船岸配置計画上の諸条件並びに要望事項等を調査し、各港の港湾計画との適合性、隣接港湾構造物との整合性が確保されるように配慮することとした。

(2) 浮体本体の概略設計

浮体の構造は、コンクリート(PC)製浮体、鋼製浮体、ハイブリッド構造浮体の3構造タイプを比較することとし、各地点の設計条件に基づき、浮体本体の概略設計を行った。浮体の平面形状のうち法線方向はバース長、幅については対象地点における岸壁法線の前出しに関する制約条件に基づき浮体式係船岸の配置計画を行ったが、浮体の高さについては、各地点ともに比較的恵まれた波浪条件が得られることから、 $D=3\sim 6\text{m}$ (浮体の構造により異なる)の深さで設計外力に対し十分であるとの結論を得た。

また、減揺対策については各地点ともに浮体の動揺特性検討結果から、荷役作業限界条件に対し、浮体式係船岸配置計画上の制約条件内の浮体幅で対応可能であり、敢えて特別な減揺装置を取付ける必要はないとの結論を得た。

(3) 係留システムの概略設計

浮体の係留システムは各地点の設計条件、浮体の形状諸元、動揺特性等を考慮し、ドルフィン方式、ブリッジ方式、アンカーチェーン方式、スパッド方式及びこれらの組合せ方式等の中から、(表-2)に示すような係留方式を選定し、係留システムの概略設計を行った。

(4) 連絡橋等付属工の概略設計

連絡橋は既設構造物とのとりあい、スパン長を考慮し、各地点共に、構造タイプを鋼橋として、概略設計を行った。また、付属工については、船舶接岸用防舷材、けい船曲柱に関する検討を行った。

表-1 浮体式係船岸設備設計条件一覧表

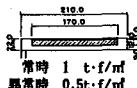
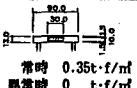
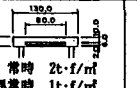
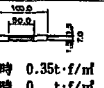
項目		地点名		A		B		C		D	
自然条件	潮位		H・V・L +1.70m L・V・L ±0.00m		H・V・L +1.70m L・V・L ±0.00m		H・V・L +1.70m L・V・L ±0.00m		H・V・L +2.00m L・V・L ±0.00m		
	高潮(既往最高潮位)		H・H・V・L +2.20m		H・H・V・L +2.07m		H・H・V・L +2.21m		H・H・V・L +3.86m		
	波浪	異常時	波向	30° ~50° 全方向	30° ~50° 全方向	30° ~50° 全方向	30° ~50° 全方向	30° ~50° 全方向	30° ~50° 全方向		
			波高	Hmax=0.9m Hmax=1.6m	Hmax=0.5m Hmax=2.0m	Hmax=1.1m Hmax=1.0m	Hmax=1.6m Hmax=1.1m				
		周期	Tmax=20sec Tmax=3sec	Tmax=17sec Tmax=3sec	Tmax=18sec Tmax=2sec	Tmax=8sec Tmax=2sec					
	常時	波向	岸壁法線に対し30° ~50°	岸壁法線に対し80° ~90°	岸壁法線に対し0° ~30°	# 0° ~30° 全方向					
		波高	H1/3= 0.3m 0.3m 0.1m	H1/3= 0.3m 0.3m 0.1m	H1/3= 0.3m 0.3m 0.1m	H1/3= 0.5m H1/3= 0.3m					
		周期	T1/3= 5SEC 8SEC 13SEC	T1/3= 5SEC 8SEC 13SEC	T1/3= 5SEC 8SEC 13SEC	T1/3=5sec T1/3=1.5sec					
	風	異常時	風向	全方向	全方向	全方向	全方向				
			風速	35m/sec	50m/sec	35m/sec	40m/sec				
常時		風向	全方向	全方向	全方向	全方向					
		風速	16m/sec	16m/sec	16m/sec	16m/sec					
設計震度		0.2		0.2		0.2		0.2			
計画条件	水深	現水深	-6.5m		-4.5m		-4.0m		-4.0m		
		計画水深	-6.5m		-5.5m		-7.5m		-5.0m		
	ハース諸元	ハース数	2 B		1 B		1 B		1 B		
		ハース長	210m		90m		130m		100m		
	対象船舶	船型	3,000 D/W		2,000 D/W		5,000 D/W		1,000 G/T級(7x9)		
		接岸速度	0.15m/sec		0.15m/sec		0.15m/sec		0.15m/sec		
	法線計画	既設岸壁法線からの前だしは2.0m程度とする		既設岸壁法線から1.5m海側をハース法線とする		建設中の岸壁法線と一致させる		既設機橋位置に配置する			
		天橋高	浮体	1.5m程度		3.0m程度		2.5m程度		2.0m程度	
	護岸		+2.5m		+3.5m		+3.5m		+3.0m		
	取扱貨物	品目	魚、船用品		離島航路貨物、旅客		雑貨、自動車		フェリー旅客		
荷役方式及び荷役機械		トラックレン(30t吊) トラック(T-20)、7t-トラクト A ⁺ クレーン		本船クレーン、7t-トラクト トラックレン(35t吊) トラック(T-20)		トラックレン(50t吊) トラック(T-20) 乗用車(自走)		トラック(T-20) (緊急物資搬入用)			
荷重 (2222m)		 常時 1 t・f/m ² 異常時 0.5t・f/m ²		 常時 0.35t・f/m ² 異常時 0 t・f/m ²		 常時 2t・f/m ² 異常時 1t・f/m ²		 常時 0.35t・f/m ² 異常時 0 t・f/m ²			
維持管理定期点検		定期点検入票は不可とする (入票は損傷による補修を必要とする場合に限定)									
損傷条件 (水密隔壁配置)		隣接2区画の同時浸水により傾斜後 上甲板は冠水しないこととする									
利用条件	代替構造形式 (従来形式)	直杭式機橋		重力式(ケーソン式) 岸壁		重力式(ケーソン式) 岸壁		直杭式機橋			
	勾配	通常の潮位(HWL~LWL)で最大7%程度									
	車線数	2車線×2橋(1等級)		1車線×2橋(1等級)		2車線×2橋(1等級)		1車線×1橋(歩道兼)			
その他	既存施設への配慮	既設岸壁の全面的な改造は避けたい		既設岸壁は老朽化が進んでいるため埋殺し方式で対処する		既設ブロックは埋殺し、または撤去する		既設可動橋は現状維持し可動橋を一本増設する			
	浮体式係船岸に対する要望	船溜内の係船水域を確保するため係船岸の前だしは必要最小限としたい		津波に対する配慮		津波に対する配慮		工事期間中もフェリーの運航に支障とならないように施工を行いたい			

表-2 地点別係留方式

地点名	係留システム	
	長手方向	短手方向
A	ドルフィン・フェンダー方式	
B	ドルフィン・フェンダー方式	
C	スパッド方式	
D	スパッド方式	

4. 従来形式との経済比較

(1) 浮体式係船岸の工費算定

浮体本体、係留システム及び連絡橋等付帯工の検討結果に基づき浮体式係船岸の工費を算定した。なお、浮体本体及び連絡橋は基本的にメンテナンスフリーとなるように例えば鋼製浮体については側面、底面共に耐用年数に相当する腐食代を考慮し、かつ、側面には美観用のモルタルライニングを施す費用、また、鋼製の連絡橋についても底面、側面に美観用のモルタルライニングを施す費用を計上し、維持管理費分の費用を初期投資額に含め、浮体式係船岸の工事費を算出することとした。

また、係留装置の維持管理費用については、ドルフィン・フェンダー方式、スパッド方式の防舷材、及びアンカーチェーン方式の鋼製チェーンに対し、部品の取り替えが必要になるものと考えられるが、部品の劣化度あるいは消耗、摩耗の程度の予測が困難であり、入手しうるデータも限られていることから、これらに要する維持管理費用は、浮体式係船岸工事費の算定には含めないこととした。

(2) 従来形式による工費算定

浮体式係船岸候補地として選定された地点は、既存の港湾内に位置し、経済性等の検討結果に基づく構造形式により係留施設が建設されていることから、各港における従来形式による係船岸の構造形式については、隣接部の係留施設の構造形式あるいは対象地点における構造形式として予定する断面等について調査し、工費算定に用いる構造形式を設定した。

また、外海からの波浪は既存の防波堤により有効に遮蔽された波浪条件が比較的静穏な地点に位置する。したがって、従来形式による係船岸の建設に際し、波浪条件は施工に関する制約条件とはならず、また、各地点の構造形式は一般的な断面であることから、工費の積算は対象地点周辺における工事単価を準用して概算工事費を積算することとした。

(3) 経済比較（基準値100に対する割合で示している）

浮体式係船岸候補地における浮体式係船岸と従来形式による係船岸の工事費算出結果を経済比較一覧表としてとりまとめると（表-3）に示すとおりである。浮体式係船岸と従来形式との経済比較を行った結果、（浮体式係船岸の維持管理費用は除く）建設工費の面からは、D地点の浮体式係船岸が従来工法の係船岸に比較し、若干有利な結果となった。

なお、浮体式係船岸には、維持管理に要する費用は含まれていないが、D地点の浮体式係船岸について維持管理費用（定期点検・補修5年毎、部品交換20年毎）を試算すると耐用年数30年の期間で約7の経費が必要になるものと考えられる。

表-3 浮体式係船岸・従来式係船岸の経済性比較表

地点名		A			B			C			D		
浮体式	浮体構造	PC	鋼製	ハイブリッド	PC	鋼製	ハイブリッド	PC	鋼製	ハイブリッド	PC	鋼製	ハイブリッド
	工事費	120	130	120	50	50	50	70	80	70	40	40	40
従来式	構造形式	桟橋式			ケーソン式			ケーソン式			桟橋式		
	工事費	40			30			40			45		

注) 基準値100に対する割合

5. 施工方法の検討

浮体式係船岸候補地点4箇所における浮体式係船岸の施工方法について検討を行った。

コンクリート（PC）製浮体、鋼製浮体、ハイブリッド製浮体の3構造形式に対する浮体本体の施工手順は（図-1）に示すとおりである。

係留施設については、係留構造により施工の順序が異なり、チェーン方式の場合には、浮体曳航据付後アンカーの展張を、ドルフィン・フェンダー方式の場合には、浮体製作中に同時並行してドルフィンの現場施工を、スパッド方式の場合には、浮体設置時に鋼管杭の打設あるいは、鋼管杭の接合を行う手順となる。

また、連絡橋については、浮体設置及び係留施設施工完了後にクレーン船を用いて架橋することになる。

なお、D地点については、工事期間中フェリーの運航に支障とならないように配慮して施工方法を検討した。各地点における浮体式係船岸の工期をとりまとめると（表-4）に示すとおりである。

図-1 浮体本体の施工手順

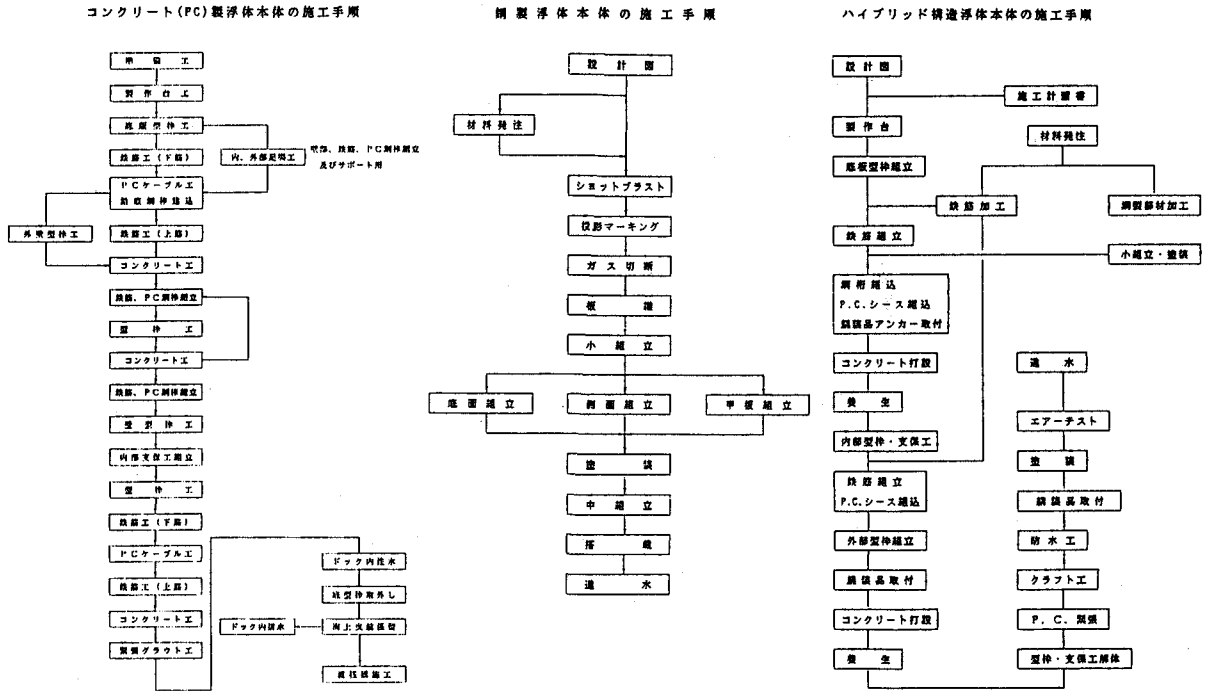


表-4 浮体構造形式別工期

地点名	平面形状	P		鋼 製		ハイブリッド	
		工 期	高 さ	工 期	高 さ	工 期	高 さ
A	m m 210×22	3.5ヶ月 (7)	m 5.5	6ヶ月 (11)	m 4.5	6ヶ月 (10)	m 5.0
B	90×15	4 (8)	6.5	4 (9.5)	4.0	4 (9.5)	5.7
C	130×18	7.5 (14.5)	6.0	5 (8)	3.5	6 (9)	5.0
D	100×10	3 (6)	5.5	2.5 (6.5)	3.0	4.5 (8.5)	4.5

注) 上段 浮体本体製作工期
下段 () 浮体式係船岸全体工期

6. 利用面での検討

本調査においては、設計条件の確認を行なうと共に、港湾施設を実際に利用している利用者へのヒアリングを行ない、これらの意見、要望を設計条件に反映させることとした。

港湾施設利用者へのヒアリング調査に際しては、調査実施前に調査表を作成し、想定される取扱貨物の種類に対する荷役作業形態、作業限界条件、施設利用条件等について関係者を訪問して聞き取り調査方式により調査を実施した。

港湾施設利用者へのヒアリング結果を要約すると以下の通りである。

- ①浮体式係船岸については、いずれの事業者も関心を示し、特にフェリー、旅客船事業者は、乾舷高一定の構造物について強い興味を示した。
- ②浮体式係船岸の作業限界条件のうち動揺量については各事業者ともに係船岸動揺時の荷役経験がないことから明確な回答が得られなかった。
- ③浮体の動揺については、荷役作業員は通常波浪による動揺のない陸上で作業を行っているため、トラックの運転手、トラッククレーンのオペレーターを含め、動揺量が多い場合には、作業効率の低下が懸念される旨の回答があった。
- ④いずれの地点も台風時以外は稼働可能であり、波の条件は良好である。
- ⑤対象地点周辺のバースは、一度船舶が入港着岸し荷役を開始すると風、波による荷役の中断は皆無に近いとの事であった。

7. 浮体式係船岸候補地の選定

浮体式構造物は、従来形式の構造物に比較すると、大水深、軟弱地盤、地震時の耐震性等への対応が想定されるが、一方では、「外力による一定範囲の運動を許容する方式の施設」として位置づけられることから、大型の船舶が接岸し、トラッククレーン、フォークリフト等の荷役機械を用いた荷役形態が予定される係船岸においては、通常の荷役時における浮体の動揺量並びに、異常時における浮体本体、係留システムの安全性が基本的な課題であり、経済性、施工性、維持管理の難易度等が総合的に評価されることとなろう。検討対象地点に関する①対象地点の特性、②浮体式係船岸計画上の優位性、③浮体式係船岸計画上の問題点をとりまとめると（表－５）に示すとおりである。

表－５ 浮体式係船岸検討対象地点比較一覧表

	A	B	C	D
対象地点の特性	・泊地内は手狭である。 ・防波堤により外海からの波浪は有効に遮蔽された地点である。 ・長周期の波浪を考慮する必要がある。 ・土質条件は上部に粘性土層が見られるが、比較的良好である。 ・岸壁法線の前だしは20m程度である。	・港内及び直背後地が手狭である。 ・防波堤が建設されることにより十分な遮蔽効果が期待できる。 ・長周期の波浪を考慮する必要がある。 ・土質条件は岩盤が露出する部分と、岩盤面が深く軟弱層が堆積している部分とにより構成されている。 ・岸壁法線の前だしは15mである。	・泊地直背後に十分なスペースがある。 ・防波堤並びに埋立地により十分に遮蔽された地点である。 ・長周期の波浪を考慮する必要がある。 ・土質条件は計画水深より浅い水深に岩盤が露出する。 ・隣接の－5.5m岸壁は、現在工事中である。 ・岸壁法線の前だしは20mである。	・港内は手狭である。 ・岬により、外海からの波浪に対しては遮蔽された地点に位置する。 ・防波堤開口部の方向からN方向の波浪に対し、静穏性の確保が難しい。 ・土質条件は良好である。 ・既設岸壁設置位置に構造物を設置する必要がある。
浮体式係船岸計画上の優位性	・耐震性が高いため、地震防災拠点港湾としての構造物に適合する。 ・工費が少なく、現場施工量を少なくすることが出来るため、施工中の隣接バース、泊地利用する船舶に及ぼす影響を軽減できる。	・公有水面の埋立を必要としないため、法的な手順が簡便である。 ・潮位の変動に対しても浮体の乾舷が一定であることから、旅客の乗降が簡便である。	・公有水面の埋立を必要としないため、法的な手順が簡便である。 ・移設できる構造形式諸元であることから、港湾計画あるいは土地利用計画の変更に対し、対応が可能である。 ・施工中の隣接バースに及ぼす影響を軽減できる。	・既設岸壁を撤去し、同位置に構造物を設置する必要があることから工費が少なく、現場施工量を少なくすることができ、工期の短縮が可能であり、フェリーの運航に与える影響を軽減できる。 ・従来形式に比較し、経済性に優れている。
浮体式係船岸計画上の問題点	・泊地における回頭水域の確保が難しい。 ・岸壁利用形態を考慮すると浮体幅は、2.2mが必要となる。 ・津波に対する配慮が必要である。 ・従来形式に比較すると割高となる。	・沖防波堤の設置を前提条件とした検討結果であり、既存の防波堤のみでは浮体本体、係留システムが大規模なものとなる。 ・津波に対する配慮が必要である。 ・従来形式に比較すると割高となる。	・隣接バースの岸壁法線との関連で浮体幅が制限される。 ・バース増設時の対応を考慮しておく必要がある。 ・津波に対する配慮が必要である。 ・従来形式に比較すると割高となる。	・係留方式としてスパッド形式を選定する場合、津波時に対応するためには、スパッドの天端高を高くする必要があるが、通常時には不用であり、美観を損なう恐れがある。 ・アンカーチェーン方式は、計画水深が－5mと浅くカテナリーがとれないことから割高となる。
総合評価	△	△	○	●

凡例 ● 可能性が高い
○ 可能性が比較的高い
△ 可能性が比較的低い

計画地点の特性及び経済性に関する検討結果から、従来形式による係船岸に比較し、経済性に優れ、あるいは同等であり、また、波浪時における動揺量が小さいことから荷役に及ぼす影響がほぼ回避しうる地点としてD地点が選定されよう。

・D地点

浮体式係船岸は現場施工量が少なく工期が短縮できることから、フェリーの運航に与える影響を軽減できる。

なお、浮体、係留システム、連絡橋の各接点等局所的な集中荷重が作用する部材に対する応力照査等の試設計、検討結果を踏まえて数量の増減を補正し、浮体式係船岸に対する工費を算出することにより従来式係船岸との経済性を比較すると（表－６）に、また、その配置図を（図－２）に示すとおりである。

表-6 浮体式係船岸・従来式係船岸の試設計後の経済比較表

地点名		D		
浮体式	浮体構造	P C	鋼製	ハイブリッド
	工事費	37	38	37
従来式	構造形式	棧橋式		
	工事費	44		

注) 基準値100に対する割合

図-2 浮体式係船岸の配置計画図

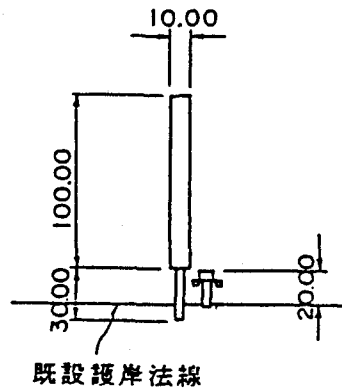


図-3 浮体式係船岸の概念図

