

漁港における浮体式構造物(けい船岸、防波堤)の開発と建設 Development and Construction of Floating Type Structures for Fishing Port - Mooring Wharf and Breakwater -

長野 章*・大塚浩二**・岡部俊三***・佐井正明***
Akira.Nagano,Kouji.Otsuka,Shunzo.Okabe,Masaaki.Sai

In addition to conservative way of massive development, contemporary planning of fishing port facility requires more consciousness of qualitative factors, such as safety, effectiveness, and comfort. This report introduces research and development for two kinds of floating type structures, namely mooring wharf and breakwater, and explains the state-of-the-art research. It also shows some application examples at fishing port areas in Japan with their investigation results.

Keywords : fishing port, floating type structure, mooring Wharf, breakwater

1 - 開発の目的

漁港をはじめとする水産施設に浮体式構造物を導入することは、浮体式構造物の持つ機能から、浮防波堤と浮体式けい船岸について開発研究がなされてきた。その結果、全国各地において数多くの施工が行われ、追跡調査も経て、設計技術、施工技術の確立がなされているところである。

浮防波堤については、地形条件により外洋波の直接の来襲から守られている場所において、波浪の制御と水質環境の保全が行えることから、給餌型の養殖場をその背後に計画する場合に適し、また、その計画地点が大水深あるいは地盤条件が悪いほど他の工法に比べ経済性でも有利である。これらの利点を有することから、本工法は沿岸域を高度・効率的に利用するための施設の1つとして開発されるようになり、当初は各民間会社で独自にその研究が進められ、種々のタイプの浮体が考案された。

浮体式けい船岸については、大潮位差地域における陸揚げ・準備岸壁として最も利用者のニーズの高い施設である。従来より設置されてきたチェーン係留方式による浮桟橋は波や風による動揺および水平移動が激しく、荒天時の利用に適さないこと、ローリング防止として広い浮体幅が必要となり、泊地の狭隘化や港内での漁業活動の阻害等の問題点があ

った。このため、漁港の特性を考慮し労働環境等の利用性の向上を目的として、潮位の変動にスムーズに追従し、かつ風や波による動揺を制御した浮体式の開発が望まれてきた。

これらは従来より研究開発が行われていたが、全国レベルで公共施設として実用に供するために、浮防波堤については防波機能の把握と浮体の係留方法を、また浮体式けい船岸については浮体の係留方法と外力の吸収方法をそれぞれ研究開発し、マニュアル化を図った。

2 - 開発の内容

(1) 浮体式防波堤

1) 開発の概要

現在、実用化に至っている浮体式防波堤は図-1に示したような手順で開発され、消波原理の面からは以下の3つのタイプに大別できる。

a. 反射方式

バリヤおよび側壁からの反射作用による消波効果を主体に、浮体動揺の位相差・摩擦などの複合的な作用により消波する。

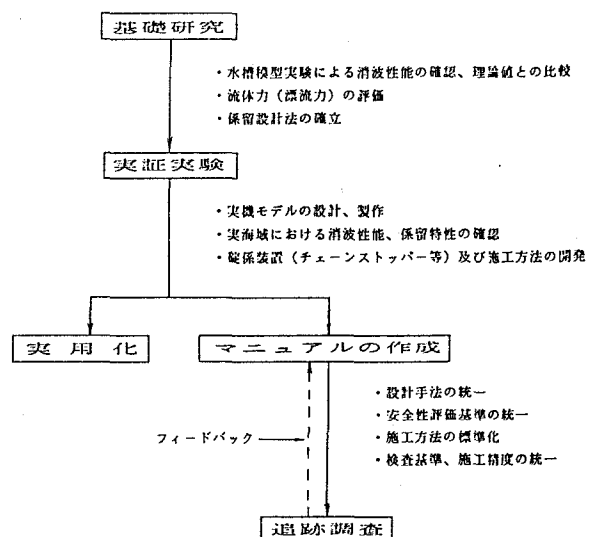


図-1 浮防波堤の開発手順

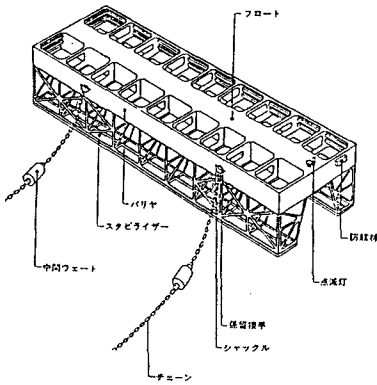
*正会員 (財) 漁港漁村建設技術研究所 調査研究部長 (107 東京都港区赤坂 6-13-16)
** (財) 漁港漁村建設技術研究所 調査研究部
*** 漁港新技術開発研究会

b. 碎波方式

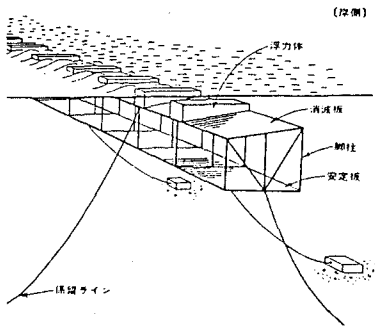
水面付近に設置した傾斜板・格子状浮体により波を強制的に碎波・消散させ消波する。

c. 共鳴方式

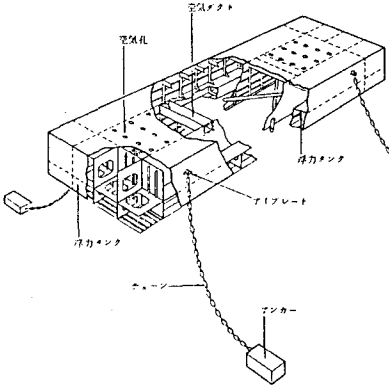
ボンツーン型の消波原理を改良・発展させたもので浮体遊水部の動きを利用し、浮体の運動・浮体が生ずる発散波を制御し、入射波と干渉させて消波する。



a. 反射方式の一例
(3重バリア型)



b. 碎波方式の一例
(なぎさ型)



c. 共鳴方式の一例
(空気制御型)

図-2 浮防波堤概要図

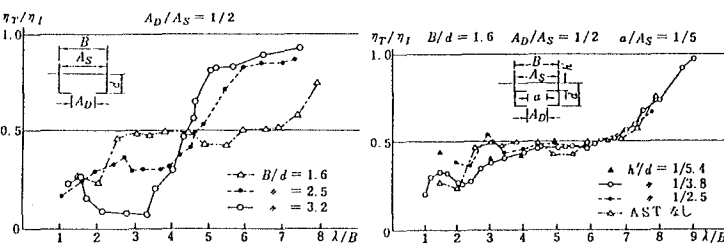
2) 基礎研究

これらの浮体は、初期の段階において模型による水槽実験により消波性能や流体力(漂流力)の評価が行われた。図-3は共鳴方式における消波性能実験の結果を示すもので、幅～吃水比(B/d)や浮体内部の構造を種々変化させることにより、長周期対応と短周期対応の浮体諸元を決定している。また、係留については海洋構造物で用いられている手法を応用し、カタナリー理論で係留チェーンのバネ特性を求め、浮体に作用する漂流力と浮体の動揺変位を考慮して、チェーンの最大張力及び浮体の最大移動量を算定する設計法を確立した。図-4にカタナリー理論から得られる係留特性の検証を目的とした水槽実験結果の一例を示す。

3) 実証実験

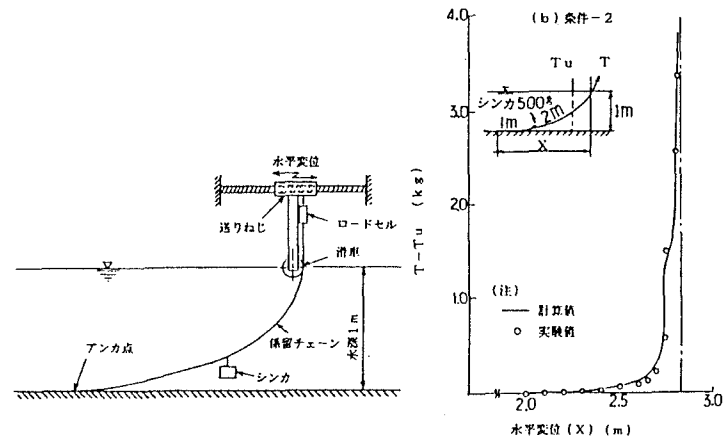
さらに実機モデルにより基礎研究の成果を検証するとともに、施工上の問題点を把握するため実海域において調査を行った。

図-5は愛媛県宇和島の沖合で行われた実験例で、台風通過時における消波効果に関するデータである。図-5 aは波高のスペクトル、図-5 bは波高透過率を示す。試験③は台風通過直後でスペクトルは短い波長のところであるが、1時間半ほど経過した試験⑤では波が発達して非常に大きな波高となっている。試験番号③の波スペクトルのピークの周波数



a. (B/d)の消波性能の関係
b. 二重底構造としたときの消波性能 ($B/d=1.6$)

図-3 共鳴方式(動揺制御型)の水槽実験結果の例



a. 係留ラインの張力計測
実験要領
b. 係留ライン特性
(シンカー付き)

図-4 係留チェーンのカテナリー特性確認実験

はまだ消波効果を期待し得る範囲であるが、試験番号⑤ではその範囲を越えた波長の波であることが分かる。しかし、スペクトル解析の結果求めた各成分波ごとの透過率は、実験堤の長さが30mと短く、回折波の影響があることを考慮すれば、両者共模型実験結果とよく一致している。図-6は、鹿児島県片浦湾で行った実験結果の一例で、係留チェーンの変動張力を示すものである。図中fは、式-1に示す変動張力係数であり、張力データより算出した値と水槽実験からの予測値を示している。両者は比較的良好に一致しており、水槽実験によって実海域の係留張力を予測することが可能であることが分かった。

$$f = \Delta F / \left(\frac{1}{2} \cdot W_o \cdot H_i \cdot d \cdot \ell \right) \quad \text{..... 式-1}$$

ここに、 W_o : 海水比重

H_i : 入射波高

d, ℓ : 浮体の吃水, 長さ

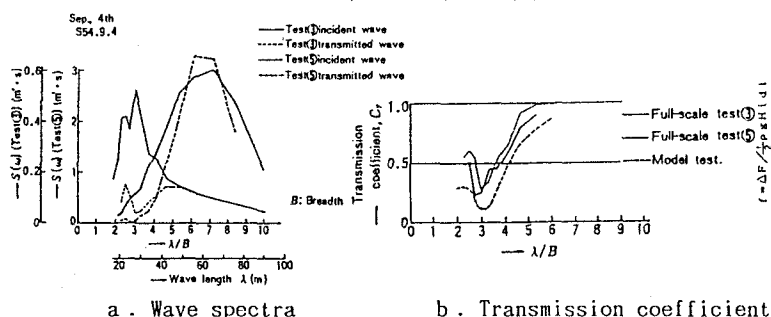


図-5 消波性能に関する実証実験

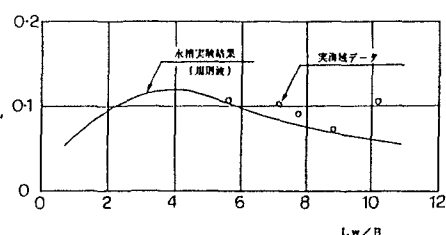


図-6 実海域における係留チェーンの変動張力

また、施工技術の面では、係留チェーンの定着装置として、据付誤差あるいは経年後のコンクリートブロックの沈下、傾斜がある海底でのチェーンのセットのされ方など、予測の難しいばらつきを修正することができるよう、球面座を有するチェーンストッパーやスリットにチェーンリンクを通じて定着するチェーンレスス等、チェーン長を容易に調整できる構造の採用が要求された。

4) 設計・施工マニュアル

浮体式防波堤の設計は一般に図-7に示した手順で行われる。波浪条件は消波対象波、構造設計波と個々に与えられ、マニュアルでは浮体規模から判断し消波対象波の周期が8sec以下のものに、また設置地点の水深については15m~100mをその適用範囲とした。浮体を使用される材料としては、鋼製、コンクリート製およびこれらの複合型(ハイブリッド製)を対象としている。

浮体諸元を決定する際の消波性能は、図-6で示したような規則波中の実験結果を基に、漁港事業における設置計画地点の状況から判断し、ブレードシミュレーター・光易型のスペクトル分布式から不規則波に対する値を算出し評価に用いる。

浮体の係留は、波浪動揺を考慮したチェーンカタナリー方式によるものとした。すなわち、係留チェーンに発生する張力は、

- ・ 浮体が所定位置に係留され、外力が作用しない状態での初期張力
- ・ 定常漂流力が作用し、浮体が係留チェーンの復元力と釣り合う位置まで移動した時に発生する張力
- ・ 波の周期的な運動により生じられる動揺に伴って発生する変動張力

を重ね合わせて求める。ここに定常漂流力は表-1によって算出する。

また、防食を考慮する期間は30年としており、それだけに初期(製作・据付時)における品質管理は重要な課題であり、精度・検査基準およびその方法等についてもマニュアルでは規定を設けた。

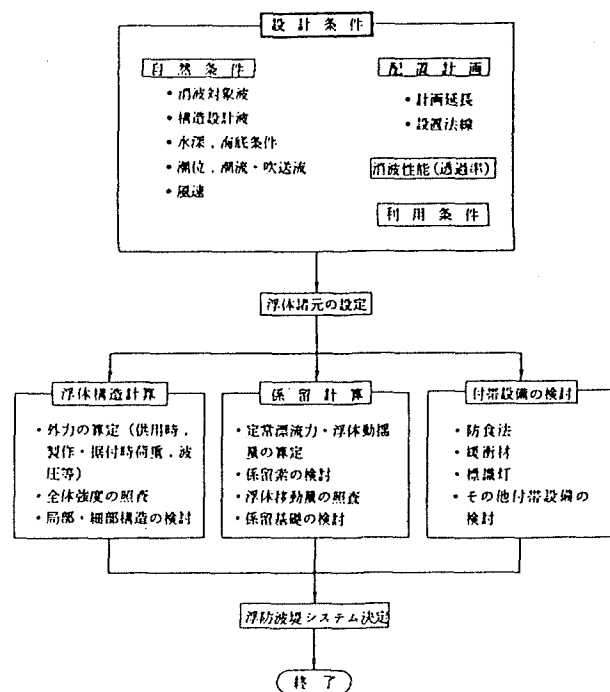


図-7 標準的な設計手順

(2) 浮体式けい船岸

1) 開発概要

潮位の変動に追従し、かつ浮体の動揺および水平移動を制御するため従来のチェーン係留方式に替わり杭係留方式とし、浮体と杭を浮体側に設けたローラー支承で連結する構造を動揺制御型浮体式けい船岸として開発した。この係留方式の採用により浮体は比較的強固に固定され、波・風・流れ等の外力に抵抗でき、浮体の運動は上下方向のみにスムーズに行われる。これにより以下の利点が得られた。

- ・ 浮体の安定性が優れ、荒天時における作業性、安全性が向上
 - ・ チェーン係留方式に比べ浮体の形状を細長くすることが可能となり、設置に必要な港内水域が小さく、けい船岸延長当たりの事業費が安価
 - ・ 水平方向の移動量が小さいため、既設の岸壁、護岸の近傍に浮体の設置が可能
- このため、漁港内での漁船の航行に対する支障がなくなる等、漁業活動へ及ぼす影響が小さく、また小規模な漁港での設置が可能となった。

2) 形式の分類

動揺制御型浮体式けい船岸は岸壁・護岸に対する取り付け方法や、連絡方法等により以下のように分類される。

a. 岸壁との配置関係による分類

- ・ 横付け式
 - 浮岸壁式
 - 岸壁補助式
- ・ 縦付け式
 - 突堤式(けい船連絡橋付)
 - 付加価値型突堤式(イクス付)

b. 岸壁との連絡方法による分類

- ・ 斜路式
- ・ 階段式
- ・ 可変角階段式

c. その他

- ・ 浮体の材質による分類
- ・ 浮体と杭の連結方式による分類

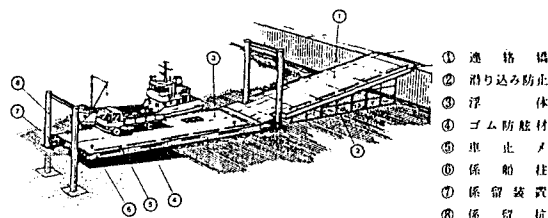
3) 設計マニュアル

動揺制御型浮体式けい船岸の開発により、漁港事業への適用は着実に増加しているが、計画から設計・積算に至るまでの統一的な基準が未整備であったため、水産庁の指導の下に設計マニュアル(案)および積算マニュアル(案)を作成した。設計マニュアル(案)は、「使い易い漁港施設」の実現化を目的として、総則・計画・設計および維持管理の4編から構成され、計画編ではそれぞれの漁港の特性と利用性・機能性等を考慮した型式の選定方法等を提案し、設計編では腐食量や生物付着量等の設計定数、浮体や係留部の構造設計基準のほか、利用性・安全性を考慮し、満載時・浸水時および偏心傾斜荷重作用時における浮体の安定と乾舷値を規定した。

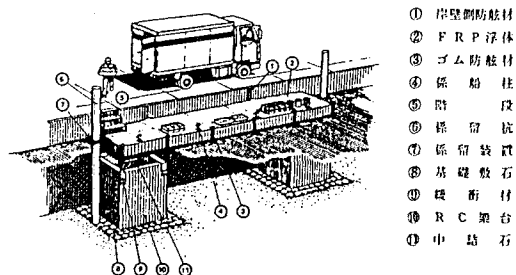
表-1 定常漂流力の算定方法

項	目	算 出 式
定 常 漂 流 力 I $F_c + F_v + F_a$	流れによる 漂 流 力	$F_c = C_D \cdot A \cdot \omega_0 \cdot \frac{V_c^2}{2g}$
	波による 漂 流 力	水理模型実験に基づく実験式によるか、下式により算定する $F_v = \frac{\omega_0}{8} \cdot \left[\frac{H_{1/3}}{\sqrt{2}} \right]^2 \cdot (1 - K_T^2) \cdot L_B$
	風による 漂 流 力	$F_a = C_D' \cdot A' \cdot \omega_a \cdot \frac{V_a^2}{2g}$

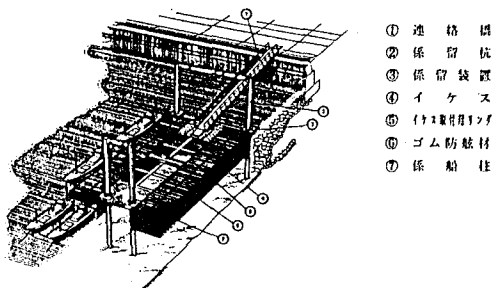
- C_D : 浮体の抗力係数(水中部)
- C_D' : 浮体の抗力係数(海面上部)
- A : 浮体の投影面積(水中部)
- A' : 浮体の投影面積(海面上部)
- L_B : 浮体長さ
- V_c : 設計潮流速+吹送流力
- V_a : 設計風速
- ω_0 : 海水の単位体積重量
- ω_a : 空気の単位体積重量
- $H_{1/3}$: 入射波高
- K_T : 透過率



係船連絡橋付突堤式



岸壁補助式



付加価値型突堤式(イクス付突堤式)

図-8 浮体式けい船岸概要図

3. 追跡調査

(1) 浮防波堤

漁港事業として実施された中から表－2に示す3つの地区を選定し、上述のマニュアルで定めた標準的な設計定数の妥当性の検証を主目的に、漁港施設としての効果の把握を含めて以下項目について追跡調査を実施した。

- ・係留チェーンの腐食、摩耗量・・・腐食、摩耗速度の標準値“1.0mm/年（飛沫帯、水中部共）”の実態調査
- ・生物付着量・・・標準値“水中重量8kg/m²（経年後）m²”の実態調査
- ・防食電位測定・・・鋼製浮体の防食仕様（電気防食＋腐食代）の妥当性検証

表－2 調査対象地区

調査対象		太平洋地区	日本海地区	東シナ海地区
設置年度		昭和61年度～昭和62年度	昭和61年度～平成元年度	昭和61年度～昭和62年度
設置場所		静岡県沼津市静岡	島根県隠岐支庁浦郷	長崎県下県郡豊玉町水崎
設置総延長		108m	375m	141m
構造諸元	形式	Bタイプ（なぎさ型 鋼製）	Cタイプ（PCハイブリッド型P.S.C製）	Dタイプ（動揺制御型短波長型 鋼製）
	寸法	幅8.5m×高さ5.8m×長さ50m	幅9m×高さ2.7m×長さ50m	幅4.2m×高さ2.0m×長さ45m
設計条件	消波対象波	波高：2.2m 周期：4.8sec	波高：1.2m 周期：3.6sec	波高：1.4m 周期：3.3sec
	構造設計波	波高：2.8m 周期：14sec	波高：2.4m 周期：3.6sec	波高：1.4m 周期：3.3sec
	静穏度	波高透過率を40%以下とする	波高透過率を40%以下とする	波高透過率を40%以下とする

係留チェーンについては経年後における定量的評価のための初期データ採取が主目的であるが、少なくとも現状では設計値と比べ以上は認められなかった。生物付着量は調査対象地区によりかなりのバラツキがあり、マニュアルに記載した標準値にほぼ達しているものもあり、今後も観測を継続的に実施する予定である。また、電位測定による防食効果調査では、浮体から10m離れた位置でも測定値に変化がなく、その効果はかなり広範囲に及んでいる事が分かった。これらの現地調査とともに、施設の利用状況を把握するため全国7カ所の漁業協同組合に対しアンケート調査を行ったところ、消波性能について大半の利用者に満足されているという結果が得られた。

(2) 浮体式けい船岸

動揺制御型浮体式けい船岸は他の漁港構造物に比べその歴史が浅く、設計マニュアルで計画・設計上の標準的な考え方の方向づけがなされているに過ぎない。このためマニュアル化において基準化できなかった項目や問題点、さらには事業主体・利用者のニーズへの適合といった面から、運用上の問題点の把握、設計マニュアル（案）の確認更生を主目的として、漁港事業で実施された中から表－3に示す3地区を対象に追跡調査を行った。外観調査では特に問題点はなく、管理者および利用者からの聞き取り調査では、動揺制御に対する効果を發揮していることが分かり、また利用上の配慮についての意見を聞くことができた。

表－3 調査対象地区

調査対象	東シナ海域	瀬戸内海域	太平洋沿岸域
設置年度	平成元年8月	平成元年2月	昭和62年3月
設置場所	長崎市／新長崎漁港	徳山市／恰大島漁港	常滑市／小鈴各漁港
分類	連絡橋付突堤式	浮岸壁式	岸壁補助式
浮体材質	鋼	PC＋鋼	FRP
浮体寸法 L×B×D（m）	30×12.5×1.8	28×6×2	10×2×0.6
設計波高（m）	0.3	0.5	0.76
風速（m/S）	30（異常時）	25	－
計潮位 H.W.L （m） L.W.L	3.6（H.H.W.L） 0.0	3.6 0.5	2.2 0.0
水深（m）	－12.0	－2.5	－1.0
底質	雲母岩層に粘性土と砂質土堆積	軟質風化岩 （N＝10～50）	砂泥（N＝50）

表－4 調査結果の概要

調査項目	結 果	調査項目	結 果
外観調査	・発錆、ひびわれの有無 ・乾舷の変化 ・係留杭の傾き ・係留装置の状態 ・連絡橋支承部	聞き取り調査	・潮位に左右されなく接岸できるので使い易い ・動揺が少なくてよい ・船によっては乾舷が異なるので浮体の乾舷を変えられないのか ・浮体上に水、電気が必要である ・各係留杭に防舷ゴムフェンダーを設けてほしい ・沖側にも照明灯が必要である（暗い時に接岸するため） ・干潮時に連絡橋が急勾配になる ・突堤式の場合、浮体両側部の他、沖側にも接岸したい
聞き取り調査	・積算基準が必要である ・防舷材の取替を留意にできる構造にしてほしい ・係留装置上に安全のための保護材が必要 ・動揺による接触音が小さくてよい ・係留杭の許容撓み量を基準化してほしい ・海中転落着用の救助ハシゴが必要		

4. 開発の結果

以上の技術開発の結果、浮防波堤および浮体式けい船岸という2種類の浮体式構造物は、水産関係公共施設である漁港施設および漁場施設として全国各地で数多く採用されている。浮防波堤については全国27箇所で総延長約5500m、造成漁場面積約300haの規模で実施され、漁場の拡大、漁港の静穏域確保が行われている。一方、浮体式けい船岸は既に全国30箇所で総延長約1300mが建設され、平成2年度にはさらに8箇所で計画されており、漁業者の利便性向上が図られている。

表-5 漁港、水産事業での施工実績

a. 浮防波堤

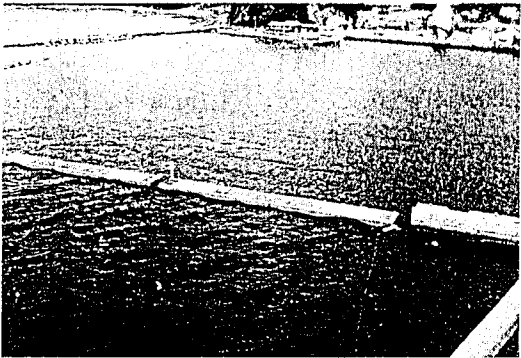
H3. 5現在

漁港名	県名	材質	延長	施工年度
岩松	愛媛	鋼、FRP	942m	S53~57
嵐口	熊本	鋼	190m	S53~55
牧木	熊本	鋼	232m	S54~56
深海	熊本	FRP	200m	S56~58
幣串	鹿児島	FRP	160m	S56~57
南浦	宮崎	鋼	262m	S57~H1
横浦	熊本	鋼	180m	S58~61
牛深	熊本	鋼	360m	S58~62
戸島	愛媛	鋼	372m	S61~H1
静浦	静岡	鋼	400m	S63~H2
計 10件			3298m	
方座浦	三重	ハイブリッド	72m	S53~55
青島	長崎	鋼	128m	S59~60
三本浦	三重	ハイブリッド	65m	S61
水崎	長崎	鋼	145m	S61~62
静浦	静岡	鋼	108m	S61~62
浦郷	鳥根	ハイブリッド	375m	S61~H1
大島	山口	鋼	223m	S62
阿多田	広島	ハイブリッド	49m	S63
水崎	長崎	鋼	94m	S63~H1
京泊	佐賀	鋼	150m	S63~H3
山島	宮城	鋼	160m	H1
篠原	愛媛	ハイブリッド	75m	H1
大入島	大分	ハイブリッド	29m	H1
田ノ島	福岡	ハイブリッド	290m	H1~
箱崎	広島	ハイブリッド	100m	H2
浅海井	大分	ハイブリッド	100m	H2
浦郷	鳥根	ハイブリッド	100m	H2
計 17件			2263m	
合計 27件	総延長		5561m	

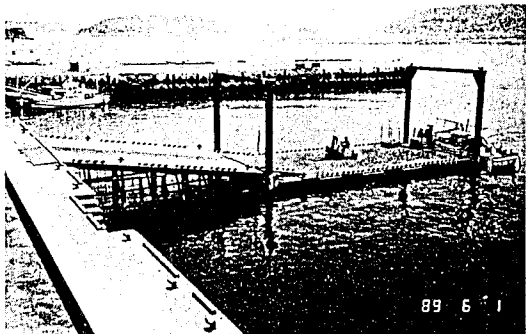
b. 浮体式けい船岸

H3. 5現在

漁港名	県名	型式	浮体材質	延長	連絡構型式	施工年度
恰大島	山口	浮岸壁式	PC + 鋼	180m	斜路(係船)	S63~H1
小鈴谷	愛知	岸壁補助	FRP	20m	階段	S62
草津	広島	岸壁補助	鋼	31m	斜路	S62~63
二江	熊本	岸壁補助	FRP	28m	可変角階段	S62
糸満	沖縄	岸壁補助	RC	19m	可変角階段	S63
吉富	福岡	突堤式	PC + 鋼	30m	斜路	S62
小値賀	長崎	突堤式	鋼	39m	斜路(係船)	S62
山島	宮城	突堤式	PC + 鋼	40m	斜路(係船)	S63
朝日	岡山	突堤式	PC + 鋼	28m	斜路(係船)	S63
波戸	佐賀	突堤式	FRP+鋼	13m	可変角階段	S63
折長崎	長崎	突堤式	鋼	180m	斜路(係船)	S63~H1
長洲	大分	突堤式	PC + 鋼	45m	斜路(係船)	S63
苅井	鹿児島	突堤式	鋼	35m	斜路(係船)	S63
阿久根	鹿児島	突堤式	鋼	45m	斜路(係船)	S63
大島	岡山	突堤式	PC + 鋼	20m	斜路	S62~63
高串	佐賀	突堤式	RC	32m	斜路	S63
名護	鹿児島	突堤式	鋼	50m	斜路(係船)	H1
幣串	鹿児島	突堤式	鋼	50m	斜路(係船)	H1
大多尾	熊本	岸壁補助	FRP	50m	階段	H1
二江	熊本	突堤式	鋼	35m	斜路	H2(静穏)
大野	愛知	岸壁補助	FRP	10m	階段	H2
島島	愛媛	岸壁補助	PC + 鋼	25m	斜路	H2
箱崎	広島	突堤式	PC + 鋼	48.5m	斜路(係船)	H2
横田	広島	岸壁補助	PC + 鋼	30m	斜路	H2
阿尾	和歌山	突堤式	PC + 鋼	45m	斜路	H2
金風呂	岡山	突堤式	PC + 鋼	18m	斜路	H2
東浦	大分	突堤式	PC + 鋼	20m	斜路	H2
吉和	広島	岸壁補助	PC + 鋼	70m	斜路	H2
本郷	熊本	突堤式	鋼	50m	斜路	H2(静穏)
波島敷	沖縄	突堤式	RC	27m	斜路	H2
合計 30件	総延長		1313.5m			



a. 浮防波堤



b. 浮体式けい船岸

写真-1 実施状況

5. まとめ

漁港における浮体式構造物の歴史は浅いため、引き続き追跡調査による設計定数の確認更正を行うとともに、浮防波堤については現在更に長周期対応型の開発を、浮体式けい船岸については「使い易い漁港施設」としての利便性・安全性・機能性の向上の追及と、外力作用時の動揺解析、係留装置の耐久性の検討を行っており、漁港施設にふさわしい浮体式構造物の開発を進めている。