

有脚浮揚式係船岸の開発について（第二報）

Development of Pile Moored Sandwich Type Pontoon(P.M.S.) (Part 2)

小笹博昭^{*}・加藤久雄・松本清次^{*}・元野一生^{*}・大瀬信一

Hiroaki Ozasa, Hisao Kato, Seiji Matsumoto, Ichio Motono, Shinichi Ohse

The pile moored sandwich type pontoon is one of the newly developed pontoon for small to medium sized vessels, which enables smooth embarkation, disembarkation and cargo handling at any tidal level in sea areas with large tidal range. The authors installed this pontoon off the Port of Kanda, Fukuoka Prefecture and conducted field test. As a result, it was proved that the pile moored sandwich type pontoon could keep good conditions for cargo handling because of small pitching and rolling even in wavy conditions.

Keyword: Pontoon, Pile, Large tidal range, EPS

1. はじめに

九州・山口地域の海域では、有明海、周防灘等潮位差が4 m程度の大潮位差海域が広く存在する。このような海域に存在する港湾においては、中・小型船舶が利用する－5.5 m程度以下の岸壁、物揚場の利便性が十分ではなく、潮位の変動に影響されずに荷役、乗・下船を容易に行うことのできる係留施設の整備が求められている。

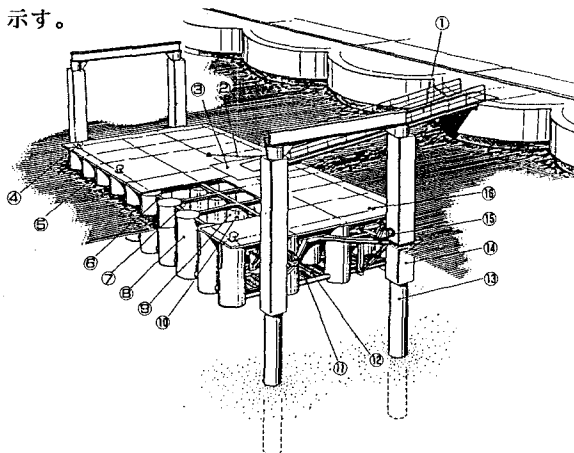
第四港湾建設局では、このような要請に応えることのできる新しい形式の係船岸として、有脚浮揚式係船岸の開発を行っている。現在開発を進めている試験用係船岸は、次のような特徴がある。

- ① 本係船岸は、動揺特性に優れたサンドウィッチ型の浮体部と杭式の係留部からなる浮体式係船岸であるため、通常のポンツーンに比べ波浪に対する動揺量が少ない。
- ② 本係船岸では、試験的に木甲板及びEPS浮体を使用し、鋼材部の塗装にモルタルライニング及び亜鉛溶射塗装を行い、新しい材料の導入に関する調査をあわせて行っている。

本論文では、試験用係船岸を用いて、実海域での運動性能、耐久性等について実証観測を行った結果を報告するものである。

2. 現地計測の概要

福岡県荊田港沖の土砂処分場に設置された有脚浮揚式係船岸を用いて、1990年10月より翌年3月までの約5ヶ月間現地計測を行った。計測に用いた有脚浮揚式係船岸の構造図を図-2に、計測機器配置図を図-3に示す。



- | | | | |
|----------|---------|-----------|--------------|
| ① 連絡橋 | ⑤ ゴム防舷材 | ⑩ 発泡スチロール | ⑬ 鋼骨杭 |
| ② 鋼さチェーン | ⑥ 縦桁 | ⑪ 内部カラム | ⑭ 保護コンクリート |
| ③ 船板 | ⑦ 横桁 | ⑫ 水平材 | ⑮ ローラー式フェンダー |
| ④ 係船曲柱 | ⑧ 外側カラム | ⑬ 減速板 | ⑯ 木甲板 |

図-2 有脚浮揚式係船岸構造図

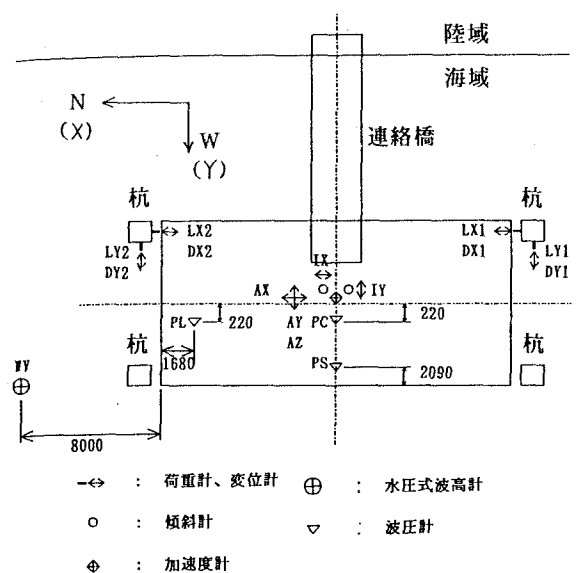


図-3 計測機器配置図

^{*} 正会員 運輸省第四港湾建設局下関調査設計事務所（750 下関市竹崎町4-6-1）

① 波浪中の係船岸の動揺量及び係留反力特性

各波高に対する係船岸の動揺量及び係留反力を水圧式波高計、傾斜計（2方向）、加速度計（3方向）、変位計及び荷重計により計測した。計測方法は、荒天時を中心に3日間以上2時間毎に20分間の計測とした。また、船舶の係留の有無による動揺の違いを比較するため、係船岸に船舶を係留した状態と無係留状態について観測を行った。

② 係船岸への船舶接岸の安全性及び係船岸の荷役利便性

船舶（49G.T）が接岸した際の係船岸の動揺量、係留反力を傾斜計、加速度計、変位計、荷重計により計測した。計測方法は、船舶の接岸速度及び接岸角度を数ケース変化させて行った。

また、係船岸上でフォークリフトを走行させた場合の係船岸の動揺量を傾斜計により計測し、同時にフォークリフトの運転のしやすさについて、運転手にヒアリングを行った。

③ 係船岸の動揺による船酔等人体の知覚状況

係船岸の動揺が人体に与える影響について確認するため、係船岸へ試乗した人に動揺等についてアンケートを行い、傾斜計、加速度計、変位計で計測された動揺量と比較した。

④ 係船岸の耐久性等の確認

係船岸の木甲板、係留部、EPS浮体（発泡スチロール）及び鋼材部の塗装の耐久性等について計測した。計測方法は、木甲板に作用する揚圧力を圧力計で計測し、係留部のローラー式フェンダー（図-4参照）の劣化状況について陸上より目視観測を行い、EPS浮体の収縮量及び塗装の劣化状況の計測をダイバーにより行った。

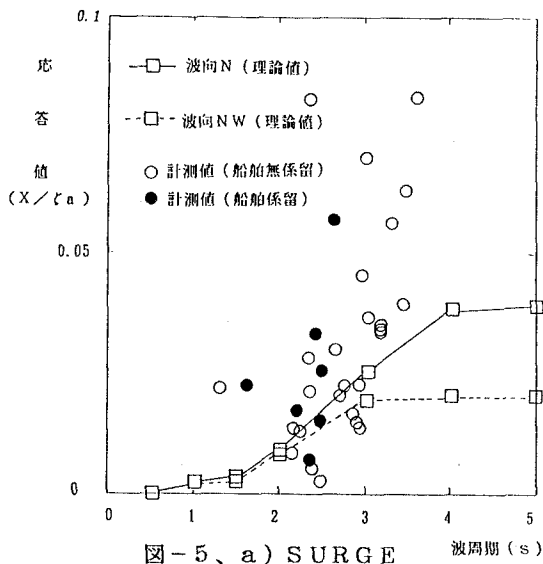


図-4 ローラー式フェンダー

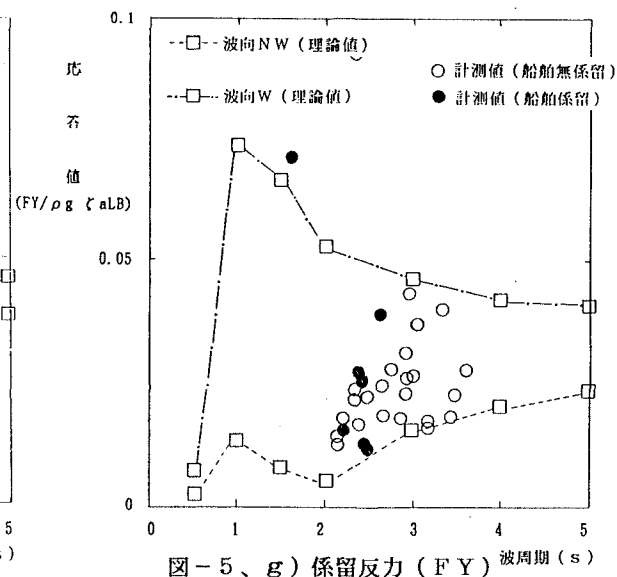
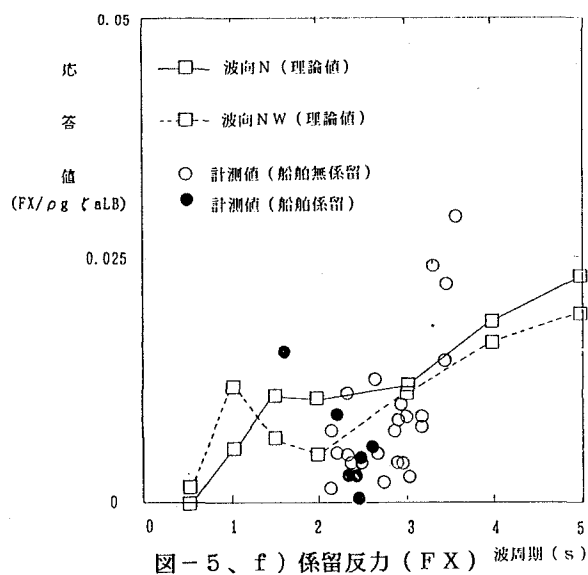
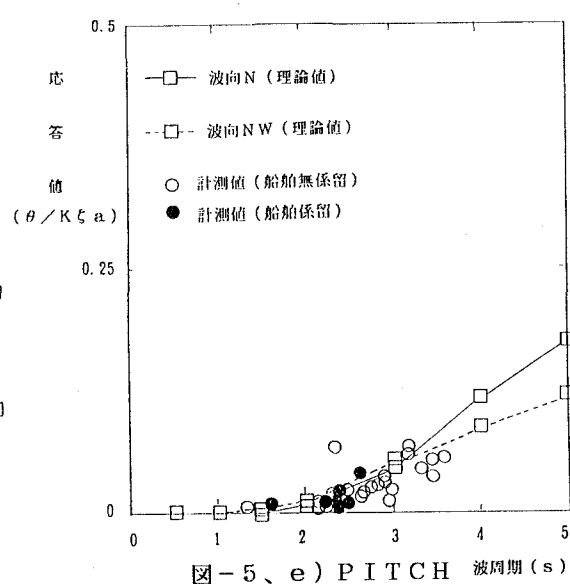
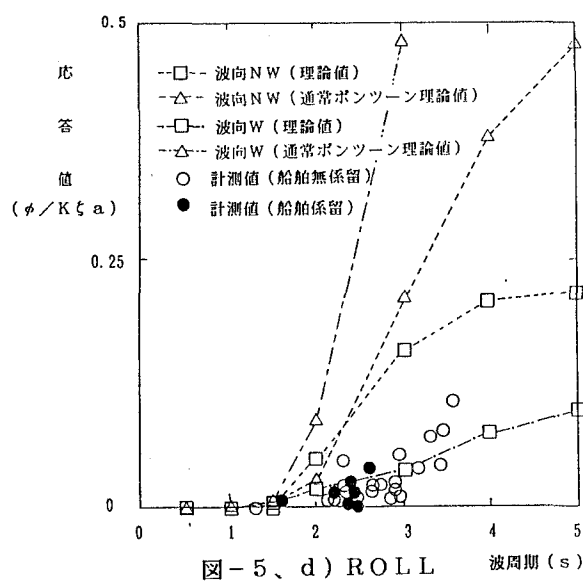
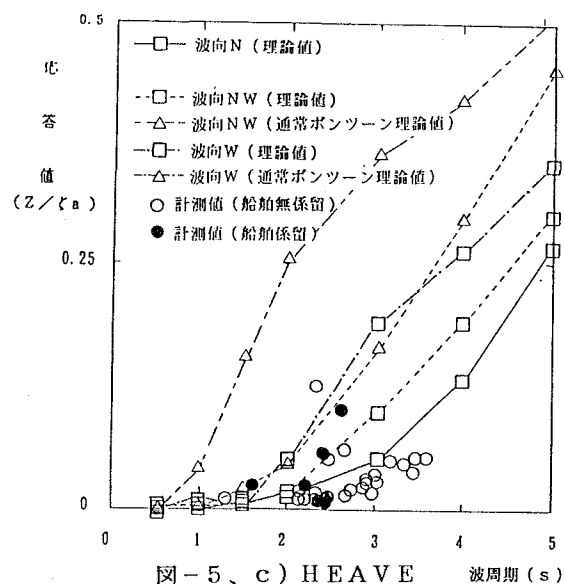
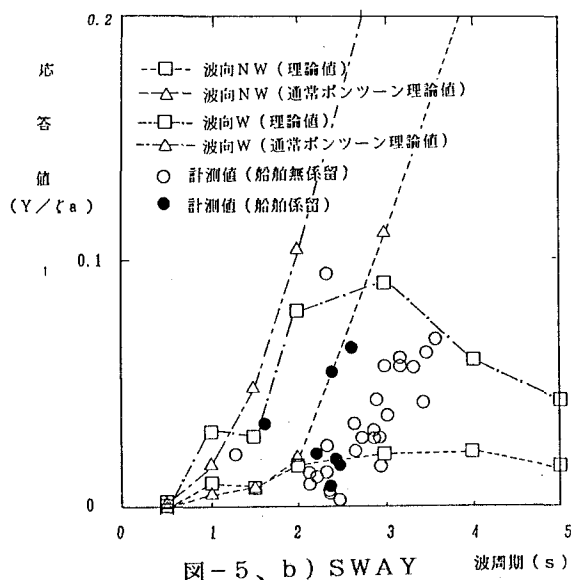
3. 有脚浮揚式係船岸の動揺特性

3-1 波浪による動揺量及び係留反力

計測期間中の各波浪に対する係船岸の動揺量及び係留反力を図-5に示す。ここでは、現地観測値と理論計算による動揺応答関数の値とを比較した。理論計算では、杭係留された矩形浮体（サンドウィッチ型ではない）について、3次元特異点分布法により計算した不規則波中の動揺応答関数を示す。（不規則波中の動揺応答関数は、短期の不規則波の波スペクトルと規則波中の応答関数を用いて線形重ね合わせの理論より求めた）現地計測では、波向を計測しておらず、また護岸の近くであるため重複波が発生しており、水深値が理論計算と異なっている。これらの相違点にもかかわらず計測値と理論値はおおむね同様な傾向を示している。SWAY、HEAVE、ROLLについては、同形状（20m×10m）のチェーン係留のボンツーンの理論計算値も図中に示している。杭係留式構造物の低動揺性は、SWAY、ROLLにおいて顕著に見られる。計測値は、杭係留の場合の計算値とおおむね一致している。



ここに X : SURGEの振幅 (m)
Y : SWAYの振幅 (m)
Z : HEAVEの振幅 (m)
 ϕ : ROLLの振幅 (deg)
 θ : PITCHの振幅 (deg)
 ζa : 有義波高 (m)
K : 波傾斜 ($2\pi/Lw$)
FX、FY : 係留反力 (tf)
L : 係船岸長さ (20m)
B : 係船岸幅 (10m)
Lw : 波長 (m)



3-2 船舶の接岸による動揺量及び係留反力

船舶接岸実験における係船岸の動揺量及び係留反力を図-6に示す。係船岸の動揺量及び係留反力は、接岸速度の増加とともに増加する傾向となっている。

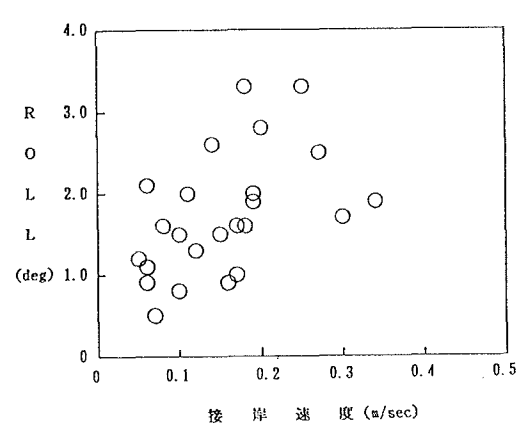


図-6、a) 接岸速度と動揺量

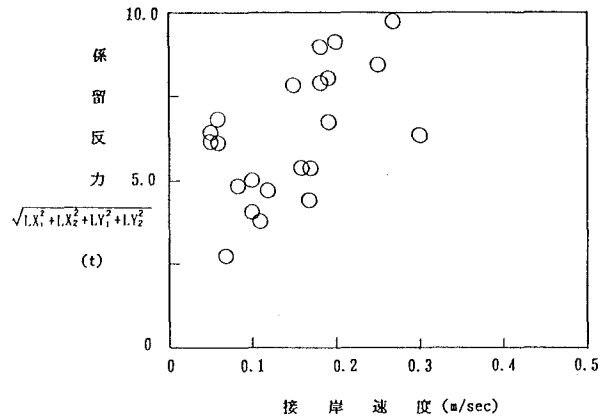


図-6、b) 接岸速度と係留反力

接岸エネルギーと水平加速度の関係を図-7に示す。水平加速度は接岸エネルギーの増加とともに大きくなるが、接岸エネルギーが0.2 t f・mを越えると水平加速度は増加していない。この現象は防舷材のエネルギー吸収特性より、接岸エネルギーが0.2 t f・mを越えても反力はほとんど増加しないため、係船岸の水平加速度の増加も見られないと考えられる。

3-3 フォークリフトの走行による動揺量

フォークリフトの走行速度と最大傾斜角の関係を図-8に示す。最大傾斜角とは、走行中のフォークリフトが停止した後計測される係船岸の最大の傾斜角のことで、平均傾斜とは、フォークリフトが係船岸端部に静的に停止しているとき計測される係船岸の傾斜角をさす。実験結果を見ると、走行中のフォークリフトが停止することによる慣性力のため、最大傾斜角が平均傾斜を上回り走行速度が速くなると、最大傾斜角も大きくなる傾向がある。また、フォークリフトに載荷(約0.5 t f)した場合は、傾斜角が多少大きくなるが動揺の傾向は変わらない。

一方、運転のしやすさについては、スタート時に係船岸が傾斜しているため、やや運転しづらいと感じるが、慣れるにつれて通常の運転と変わらないことが分かった。運転者の知覚については、フォークリフトの移動により係船岸が傾斜するのを認知できるが、運転に支障をきたすほどではなく、むしろ係船岸幅ぎりぎりまで走行したことによる緊張感の影響が大きいことが明らかになった。

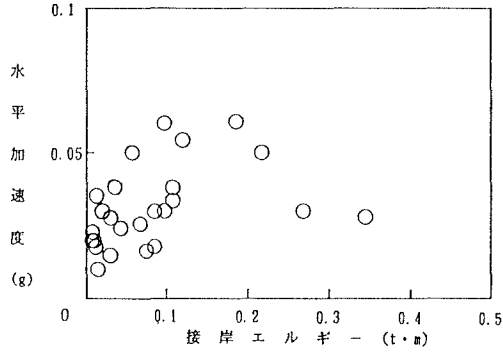


図-7 接岸エネルギーと水平加速度

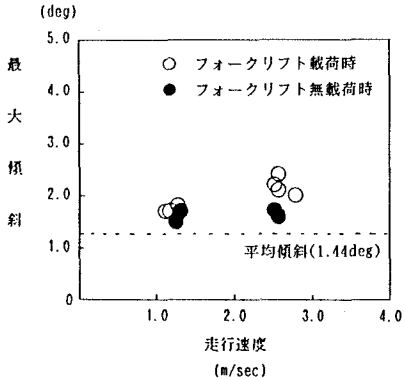


図-8、a) 走行速度最大傾斜角
(長辺方向)

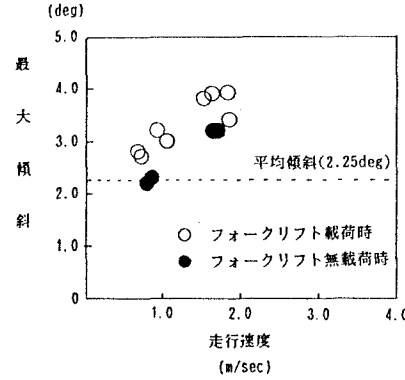


図-8、b) 走行速度最大傾斜角
(短辺方向)

4. 有脚浮揚式係船岸の動揺が人体に与える影響

図-9は、船舶の動揺による船酔いの状況を加速度と周期についてまとめたものである。図中にプロットされたデータは、係船岸に人が試乗した際計測された加速度と周期の関係である。2回の調査データをみても動揺が人体に与える影響が非常に小さいことが分かる。アンケートの結果は1回目の調査は対象人員16名で行ったが、気象・海象とも穏やかで僅かに揺れを感じるが普段と変わらないという結果だった。2回目の調査は対象人員63名で行い1回目より波高($H_{1/3}=0.13\text{m}$)も高かったが、揺れはさほど感じられず普段と変わらないという結果であり、有脚浮揚式係船岸の低動揺特性が確認された。

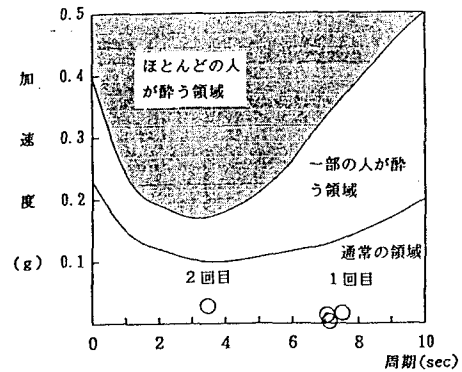


図-9 加速度と周期の関係

5. 有脚浮揚式係船岸の耐久性

5-1 木甲板の耐久性

木甲板に作用する揚圧力と波高の関係を図-10に示す。波高と揚圧力はあまり相関がないが原因としては、係船岸付近で重複波が発生し入射波高が正確に計測されていないことによると考えられる。計測結果では、最大揚圧力 $P_{MAX}=1.42\text{tf/m}^2$ が計測され、一部木甲板にひび割れが発生した。これは、木材の強度のばらつきが大きいことにも起因している。

5-2 係留部の耐久性

計測期間中、係留部のゴム製のローラー部やクッション部は、ともに耐久性上問題となるようなヘタリ、摩耗、損傷等の異常は観測されなかった。また、係留杭の変位について計測したが、変位量20mm程度と小さく進行的な変位ではないため、係留上問題はないと考えられる。

5-3 EPS浮体の耐久性

EPS浮体の直径の経時変化を図-11に示す。水中部のEPSほど収縮率が大きく、時間の経過とともに増加する傾向がある。今後、浮力体として長期的にEPSを使用する際は、体積の減少に伴う浮力の減少を検討する必要がある。

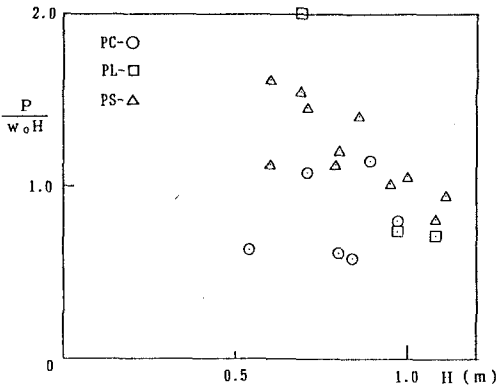


図-10 波高と揚圧力の関係

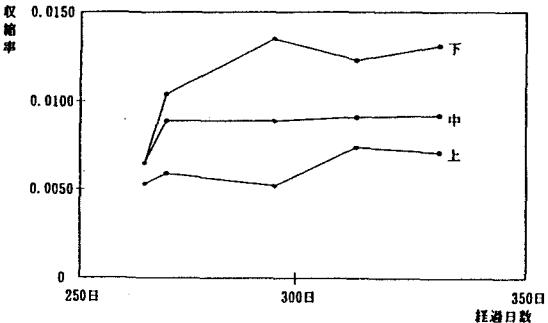
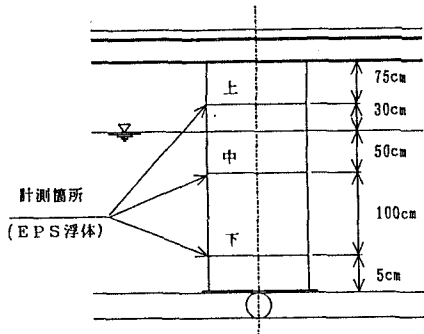


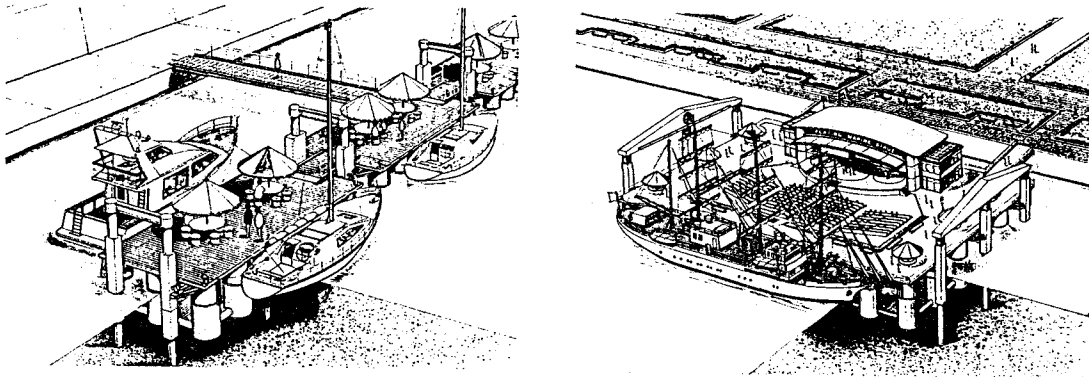
図-11 EPS浮体の経時変化

5-4 塗装の耐久性

係船岸の鋼材部には、モルタルライニング及び亜鉛溶射塗装を行い、その耐久性を観測した。モルタルライニング及び亜鉛溶射塗装ともにピンホールからの発錆が観測されるが、亜鉛溶射塗装の方がピンホールが少ないこと、船舶の接岸等による衝撃力に対して強いという利点を有していることが確認された。

6. あとがき

現地調査の結果より、実海域での有脚浮揚式係船岸の低動揺特性及び耐久性等が確認された。今回製作された係船岸は実証試験用の小規模なものであるが、人工地盤や親水護岸等への発展性を有している（図-12参照）。



a) マリーナとしての利用

b) イベントバースとしての利用

図-12 有脚浮揚式係船岸の発展性