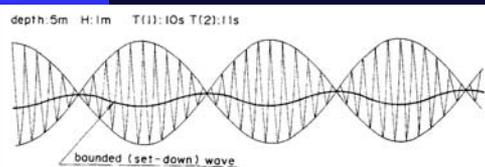


既存および新規岸壁における 係留システムに着目した係留船舶の長周期波対策

横浜ゴム株式会社



風浪からうねり、さらに長周期波



拘束長周期波
(Bounded Long-Period Waves)

自由長周期波
(Free Long-Period Waves)

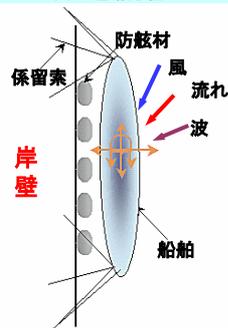
波高のみでは港内静穏度
評価できない

船体動揺シミュレーション

時系列解析
流体力に関する数値解析

$$\sum_{j=1}^6 \{M_{y_j} + m_{y_j}(\infty)\} \cdot \ddot{x}_j(t) + \sum_{j=1}^6 \int_{-\infty}^t \dot{x}_j(\tau) \cdot L_{y_j}(t-\tau) d\tau + \sum_{j=1}^6 \{C_{y_j} + G_{y_j}\} \cdot x_j(t) = F_j(t), (j=1,2,\dots,6)$$

6次元運動方程式



- 外力
- 造波抵抗力
- 波強制力
- 風圧力
- 流圧力
- 係留力
- 係留索
- 防舷材
- 係留システム

船体動揺量による荷役稼働率の評価
(港内静穏度評価)

1. 既存岸壁係留船舶の長周期波対策事例

(1) 対象港湾・船舶

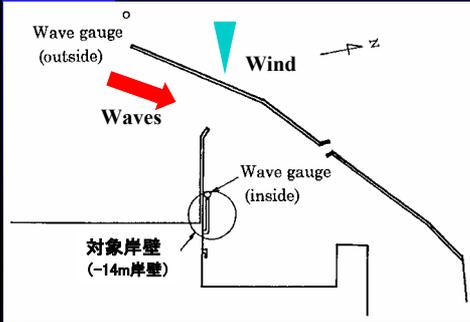


図1 対象港湾

- ・共用開始直後から係留索切断
- ・防舷材の過圧縮・せん断変形
- ・緊急離岸
- ▶ 冬季の石炭供給不足

係留索の切断

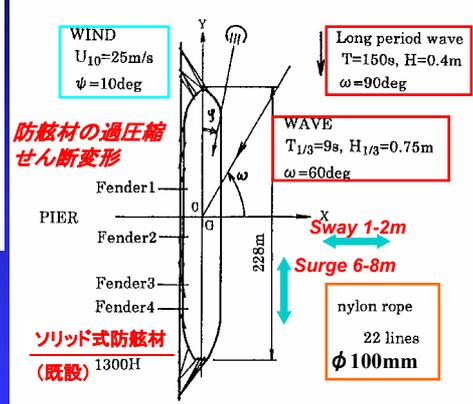


図2 船舶の係留状況

(60,000DWT 石炭運搬船)

(2) 原因究明

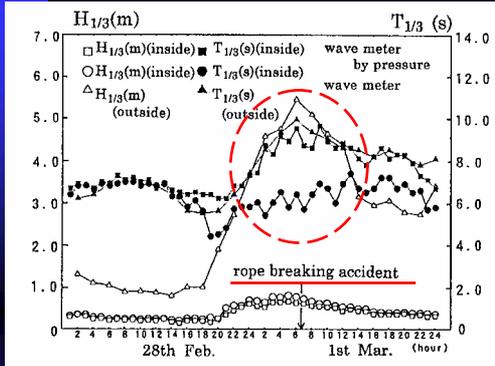


図3 港外・港内波の状況 (係留索の切断事故)

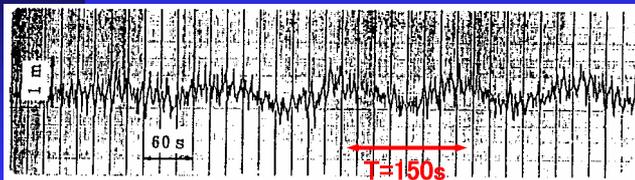


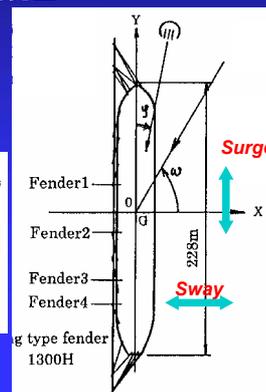
図4 港内波の時系列 (係留索の切断事故時)

大きな長周期船体動揺

船体固有周期 (Surge): 140s

船体固有周期 (Surge) と
港内長周期波との共振

* 港外長周期波と港内湾水振動との共振も発生



(3) 対策検討 船舶係留システム変更による対策

船体固有周期の変更 (Surge) : 140s → 80s
 (係留ドルフィンの追加/係留索の変更)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}}$$

T : 固有周期
 M : 質量
 K : パネ定数

防舷材の変更: 非線形係留 → 線形係留 (Sway)

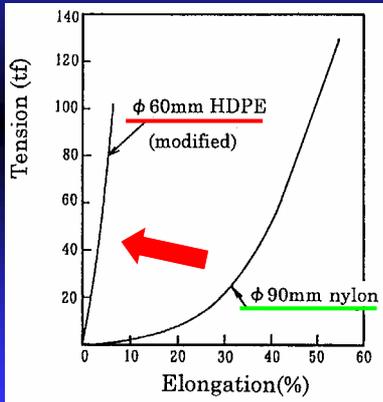


図5 係留索の張力特性

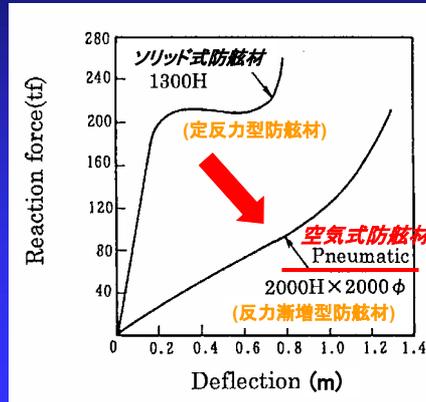
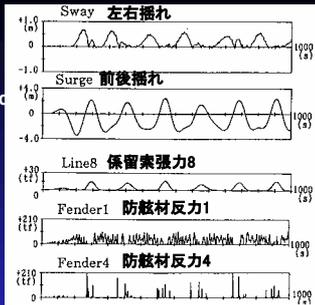


図6 防舷材の反力特性

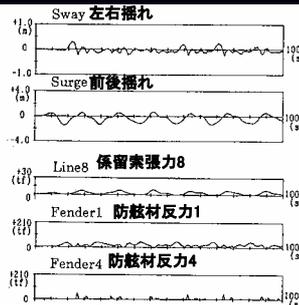
Surge : 8m, 150s

Sway : Subharmonic motions

Tension : 35ton
 Fender R : 210ton



(a) 既設係留システム



(b) 改良係留システム

Surge : 2m, 80s+150s

Sway : -
 Tension : 15ton
 Fender R : 50ton

図7 船体動揺および係留力のシミュレーション結果

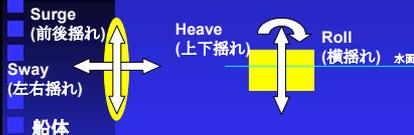
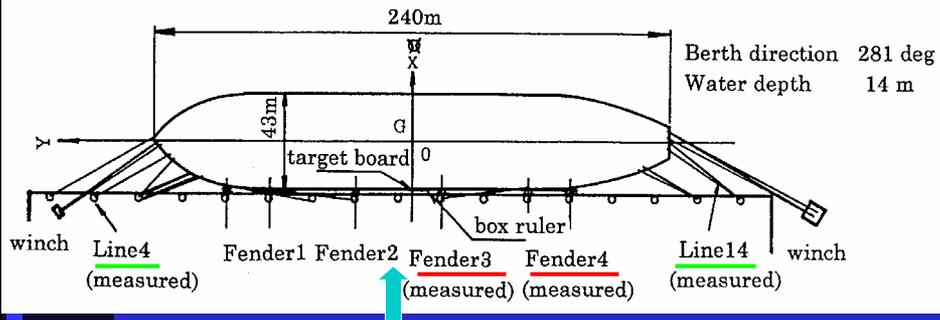


写真1 接岸状況(空気式防舷材へ変更後)

(4) 現地観測による効果の検証



Measuring of moored ship motion

図8 船体動揺等の現地観測状況

対象船舶: L=240m, B=43m, d=9.33m, W=75,590ton

計測項目: 船体動揺、係留索張力、防舷材変形量・内圧
港外・港内波、風速



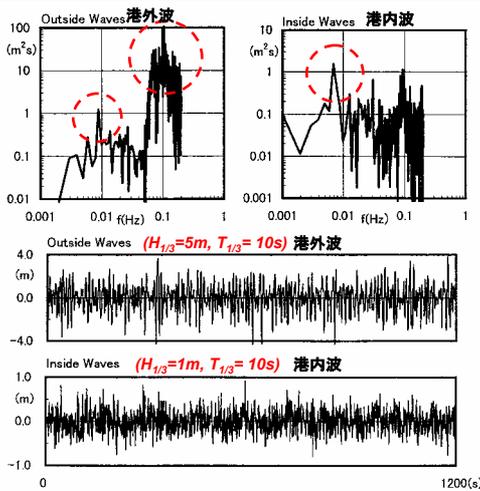


図9 港外・港内波のスペクトルと時系列波形 (現地観測時)

卓越波周期:

港外波 11s, 110s
 港内波 11s, 146s

➡ 港外および港内に長周期波が存在する状況

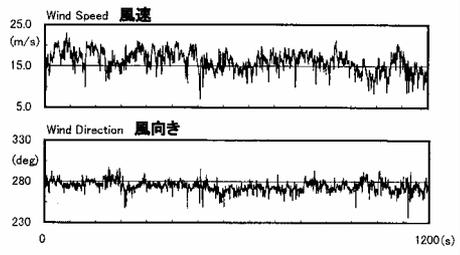
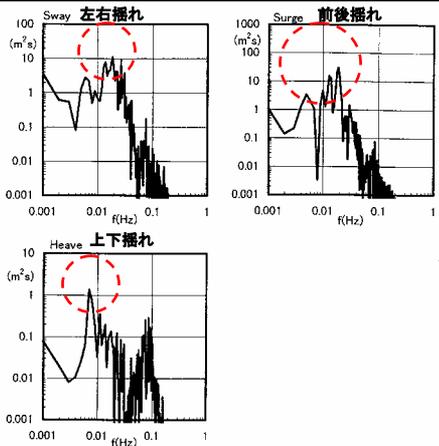
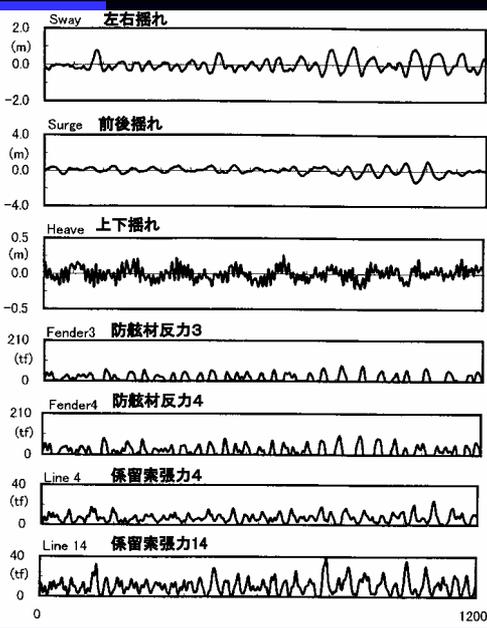


図10 風速・風向の時系列波形 (現地観測時)



➡ 係留索の切断や防舷材の異常変形なし
 船舶は安全に係留避泊できた

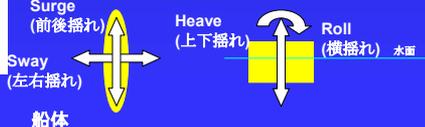


図11 船体動揺、係留索張力および防舷材反力の計測結果(現地観測時)

(5) 船体動揺シミュレーションによる効果の検証(現地観測の再現)

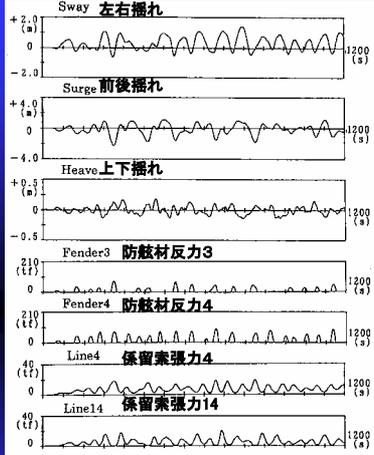


図12 計算結果 (改良係留システム)

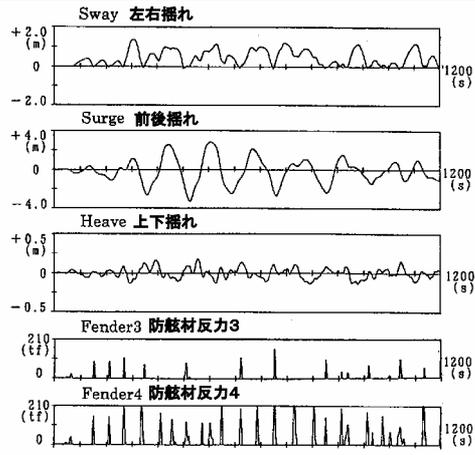
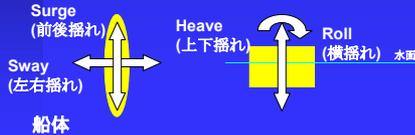


図13 計算結果 (既設係留システム)



- Surge 55%低減
- Swayの周期特性が短周期化
- 防舷材反力が50%に低減

2. 新規岸壁における係留船舶の長周期波対策検討

(1) 空気式とソリッド式防舷材を併用する場合

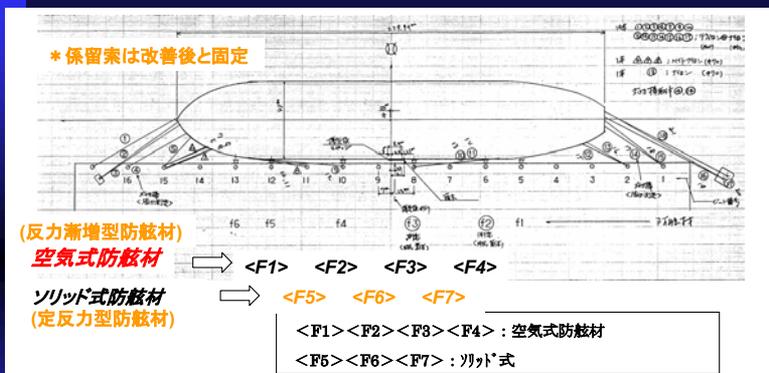


図14 バネ特性の異なる防舷材を併用する場合の検討

- ソリッド式防舷材は1300Hとする
- 空気式防舷材は2000H(高さ差あり:700mm)
- 外力は現地観測時

船体動揺シミュレーション結果:

- 船体動揺量と係留索張力はほぼ同じ
- 防舷材反力に違いが見られた

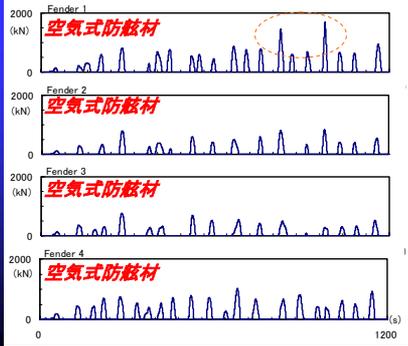


図15 防舷材反力(空気式4基のみ)

防舷材の発生最大反力 ()内は圧縮率 (%)

防舷材 ケース番号	防舷材反力 (kN)			
	F1	F2	F3	F4
現地観測	-	-	784 (33.6)	967 (42.0)
再現計算	1688 (59.7)	822 (35.5)	766 (32.7)	1016 (44.0)

(備考) 当該空気式防舷材 ABFP の最大圧縮率 def=65%

防舷材の発生最大反力 ()内は圧縮率 (%)

防舷材 ケース番号	防舷材反力 (kN)						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
ケース 1 (空気式+ソリッド式)	1353 (53.5)	787 (33.8)	766 (32.7)	1016 (44.0)	1474 (10.3)	0 (0)	0 (0)

空気式防舷材の負荷軽減

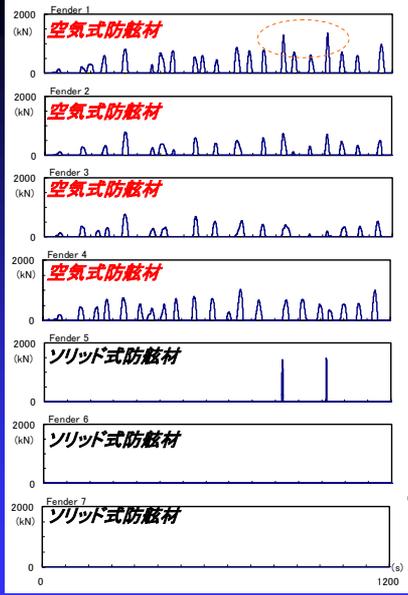


図16 防舷材反力 (空気式4基にソリッド式3基併用)

- ・安全な作業環境を保持
- ・荷役作業の定時性を高める
- ・船舶係留や荷役作業の障害に起因する荷役コスト上昇を抑制

沿岸技術ライブラリー No.21

港内長周期波影響評価マニュアル

- 長周期波対策
- ① 長周期波の港内波高低減(防波堤,消波工)
 - ② 船舶係留システム
 - ③ 船舶の運用による(長周期波予測)
- 所要費用 ⇔ 稼働率向上による効果

平成16年 8月

財団法人 沿岸技術研究センター

長周期波に起因する課題

主に外洋に面した港湾において、大きな波高を伴う擾乱が無いにも拘わらず、係留中の大型船舶が大きく動揺し、荷役作業の中断、係留索の切断、防舷材ならびに船体の損傷などが発生する事例

- ・課題に直面している港湾
- ・新規の計画立案の港湾

① 小名浜港
小名浜港では、船舶の使用頻度が高くエネルギー安定供給に対して重要である大船ふ頭地区の長周期波に対する港湾の整備水準を高めるため、大船防波堤延伸 100m および防波堤(第二) 開口部に大船防波堤(波胸) 100m を設置して乗波軽減率の向上を図っている。
図-8.2.1(2)、(3)は、波向 SB と BSE 周期 40.0s における対策施形の設置比を示している。乗波軽減率は大船ふ頭部の船種が半ば(5,000 トン級石炭タンカー)であることから、本マニュアルの数値-2.1を参照し許容軽減率を 0.15m とした。ブシネス方眼式を用いた乗波軽減率の計算結果①、②、③は、地区の乗波軽減率はそれぞれ 98.3%、98.1%、99.3% と目標値(97.5%)を満たすことが確認された。

