

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560516

研究課題名（和文） 長周期動揺を生じないニューマティック係船装置の考案と流体力学的問題点の解明

研究課題名（英文） Study on Ship motions moored by "Pneumatic Caisson Mooring System"

研究代表者

吉田 明德（YOSHIDA AKINORI）

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：30117288

研究成果の概要（和文）：全く新しい係船方法「ニューマティック係船装置」の実現に必要な流体力学的問題点の解明を目的として、海底からケーソンが上昇し、船体が浮遊状態からケーソン上に安定して定置されるまでの、遷移期間における船体・ケーソン・波浪の動的相互干渉について検討をおこなった結果、ケーソンと浮体間の距離が小さくなると鉛直方向の動揺は波高によらず急激に小さくなり、ケーソンに着底する直前に浮体の鉛直速度はほぼケーソンの上昇速度に達し常に滑らかに着底するため、ケーソンと船体間には衝撃的な接触が生じることが無く、極めて円滑に船体の定置が実現することが確認された。

研究成果の概要（英文）："A pneumatic caisson mooring system" to moor ships to a quay has been devised. The method is completely different from the conventional mooring where ropes are used to connect a floating ship to a quay: a caisson, which is set at the sea bottom in front of the quay wall, starts to move upward, touches the ship's bottom and continuously lifts the ship upward. After loading and/or unloading, the caisson starts to move downward together with the ship, and at some point the ship separates from the caisson and floats freely. In order to investigate the response of the ship hull in these transient states, wave tank experiments were conducted with a model on 1/45 scale under wave-existing and no wave-existing conditions. The markers, attached to the ship hull and the caisson, were recorded on video in motion, and their trajectories were analyzed using a motion capture system. It was found that the ship moves upward at almost the same speed as the caisson just before contacting with it, and this always results in the ship's smooth landing on the caisson.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、水工学

キーワード：長周期動揺、係留船舶、ニューマティックケーソン、港湾、長周期波

## 1. 研究開始当初の背景

係留船舶の動揺においては、水平方向の変

動と鉛直軸周りの回転には、静水圧による船体自身の復元力が働かないため、防弦材や係

留策などの係留系によって固有周期が決まる。特に係留策の船長方向のバネ定数は、船舶の質量に対して相対的に小さく、船長方向の動揺（サージ）の固有周期は、大型船舶では1～5分程度と極めて長くなる。悪いことに、風波の非線形干渉で生じる拘束長周期波（風波の成分波間の差の周波数成分）と、これが拘束を解かれ自由波として進行する自由長周期波の周期が、サージの固有周期とほぼ合致することから、船体が大きな動揺を生じ、荷役に支障を来たすとともに、係留策の切断、船体の漂流、岸壁との衝突などの被害が生じている。長周期波の港内への侵入を、防波堤の延長によって防ぐのはほとんど不可能であり、加えて大港湾では、港内で誘発される副振動の周期がサージの固有周期と一致する場合が多いことも問題の解決をいっそう困難としている。

この長周期動揺の低減を目的に、港内の護岸を大型の消波岸壁とする案や、港内に緩やかな砂浜海浜を造成するなどの対策工法が研究されているが、それらが恒久的な対策として施工され効果を上げている港湾は全く無い。長周期波の波長は数百mから数kmと極めて長いため、構造物の平面的スケールも大きくなり、容易に施工できるものではないことが原因である。船舶の大型化と常時荷役可能な港湾の整備を見据えると、長周期動揺対策は緊急に解決すべき工学的な問題であり、従来の発想を転換する新しい係留方法を考案する必要に迫られている。

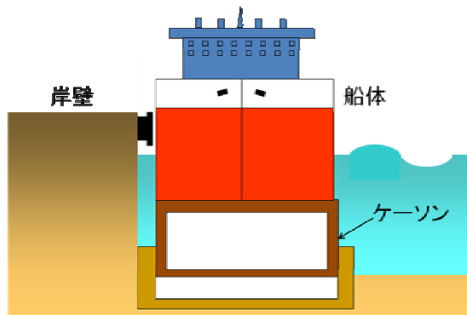


図-1 ニューマティックケーソン係船装置模式図

## 2. 研究の目的

大型船舶の船型は船底がフラットな矩形の断面形状を有していること、長周期波の波浪外力自体はそれほど大きくはないこと、の2点に着目し、従来の発想を転換する新しい係留方法として、空気圧等によって上昇と下降が可能なケーソンにより船体を若干持ち上げ、浮力変化で生じる荷重によって長周期波に抵抗し、完全な静止係留を実現する「ニューマティックケーソン係船装置」を考案した（図-1）。しかし、ケーソンが上昇し船体との

距離が小さくなると、船舶工学で制限水路影響と呼ばれる現象（船底とケーソン面との流水速度が速くなりベルヌーイの定理によって船体が引かれて思わぬ動きをする現象）によって、ケーソンと船体が間歇的に接触反発を繰り返す振動応答を誘発したり、傾斜した船体が浅いほうに横滑りする現象が生じるなどが考えられる。本研究は船体が浮遊状態からケーソン上に安定して定置されるまで（およびその逆）の遷移期間における船体・ケーソン・波浪の動的相互干渉の様子を把握することを目的とする。

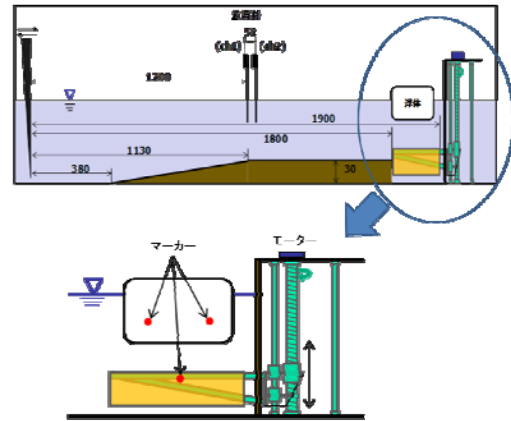


図-2 実験水槽とケーソン装置

## 3. 研究の方法

ケーソンと船体の相互干渉を理論的に解析するのは困難であったことから、水槽実験を行って解明することとした。実験は図-2に示すように反射波吸収式造波装置を有する二次元造波水路を用いておこない、ケーソン係船装置は、モーターで螺旋ネジを切った鋼棒を回転させ、これをガイドとしてステンレスで作製したボックス状のケーソンを上昇、下降させる装置を作製して用いた（図-2）。船体（浮体）模型の寸法は、実験水槽の大きさを勘案して縮尺を1/45に取り、船体模型として箱状浮体を作製した。岸壁前面の水深を37cm（現地換算17m）とし、満載喫水33cm（現地換算15m）の場合を主に、一部干載喫水16cm（7.2m）についてもおこなった。ケーソン上昇下降速度は2.5mm/s（現地換算1.6cm/s）～10.0mm/s（6.4cm/s）を2.5mm/sきざみで4通り変化させた。港内波浪の無波浪時と有波浪時について行ない、波浪周期は、1.19秒（現地換算8秒）、1.50秒（10秒）、3.0秒（20秒）の3ケース、各周期ごとに波高をほぼ0.5cm刻みで4通りに変化させた（0.8cm～3.5cm）。

ケーソンと浮体の側面それぞれに径1cmのマーカを取り付け、それらの動きを水槽側面からビデオカメラで撮影した。モーションキャプチャーを用いて撮影したマーカ

の位置をビデオ画面上での座標値として読み取り、浮体の鉛直および水平位置の変位とケーソンの鉛直変位について、ビデオ画像のサンプリング間隔（約 0.033 秒）の時系列を得た。また、それらの時系列を用いて浮体底面隅角点（左右）とケーソン上面間の距離（最短距離）の変化の時系列を算定した。なお、ビデオ画像の傾きの補正を、水槽側壁の静水線上に 90 cm 離して取った 2 点の固定マーカーを基準にしておこなった。港内の有波浪時を想定して造波する場合には、造波板と浮体間の距離、および造波する波の群速度を考慮して、ほぼ波が到達する直前にケーソンを駆動させた。ケーソン下降時も同様の手順で測定した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 波無し条件

図-3 は波無し時のケーソン上昇時の例で、浮体の鉛直変動はケーソンスタート直後にわずかに上方に移動するが、再び初期位置でほぼ静止し、その後ケーソンが近づいてくると（浮体-ケーソン間の距離が小さくなると）緩やかに上昇を始めケーソンとの距離が縮まるとともに浮体の上昇速度が増大し、着底直前にはほぼケーソンの上昇速度に達し滑らかにケーソン上に着底する。図-4 中の赤丸で示すのは着底時における浮体の静止位置からの上昇量で、ケーソンの速度にほぼ比例している。着底後はケーソンの上昇とともに上昇し鉛直方向の自由動揺は止まるが、水平動揺は鉛直動揺に幾分遅れて停止し、ケーソン上に定置されることが見て取れる。図-4 中の青四角で示すのはケーソンから離脱後の浮体の下降量でケーソンの下降速度に対して二次曲線的に変化する。図-3 は例として上昇速度  $V=10.0$  mm/s の場合を示したが、これらの様相は上昇速度にかかわらず全て同様であった。

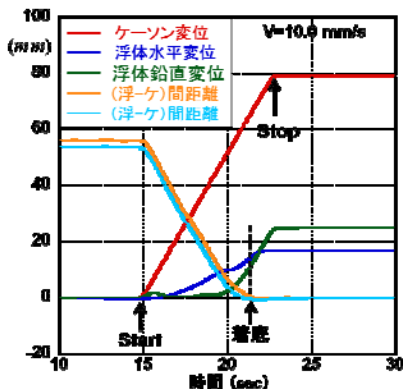


図-3 ケーソンと浮体の変位（波無し、上昇時）

##### (2) 波有り条件

図-5 は波有り時のケーソン上昇時の例で、入射波のもとで浮体が動揺（鉛直、水平、回

転）するため浮体の鉛直変位、水平変位および浮体とケーソン間の距離が入射波の周期

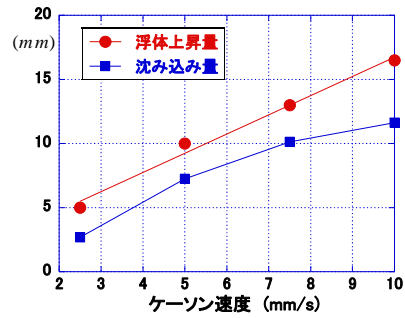


図-4 ケーソン上に着底時の浮体上昇量

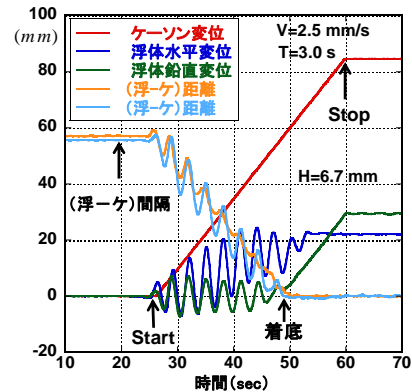


図-5 ケーソンと浮体の変位（波有り、上昇時）

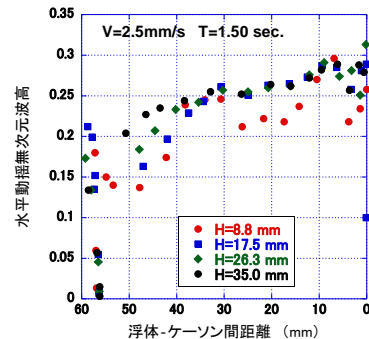
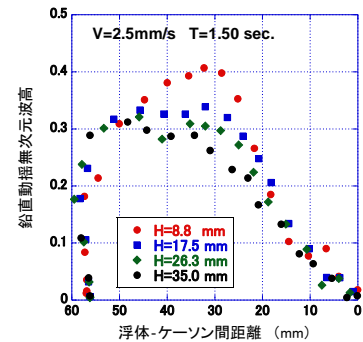


図-6 浮体の鉛直・水平動揺波高の変動

で周期的に変動している。図-5 の例ではケーソンのスタートとほぼ同時に浮体が波によ

って動揺を始め入射波の波高に応じた動揺を行うが、ケーソンが浮体に近づくとともに動揺の振幅が小さくなり、着底時には鉛直動揺は0となっていることが見て取れる。しかし、水平動揺は着底後も継続しており、一定時間が経過した後には停止している。浮体の鉛直変位と水平変位を、それぞれ浮体の平均位置と周期動揺成分に分解し、周期動揺成分についてゼロアップクロス法により各波ごとに波高を読み取って、浮体とケーソン間距離に対する波高（入射波高で無次元）変動を調べた結果を、上昇速度  $V=2.5 \text{ mm/s}$  の場合について図-6 に示している。上段に示す鉛直動揺より、いずれの場合にもケーソンと浮体間の距離が小さくなると動揺波高も一様に減少し、最後に0となって着底することがわかる。着底する前に動揺によって浮体の一方の隅角点がケーソン上面に触れ、その反動で平均位置が移動するなどの変動は実験を行ったすべてのケースで見られなかった。一方、図-6 下段に示す水平動揺の波高変化を見ると、周期によって幾分異なるもののケーソンと浮体間の距離が小さくなっても動揺の波高は減少することはなく、しかも距離が0になっても動揺を続け、停止するまでに時間を要することがわかる。これは浮体がケーソン

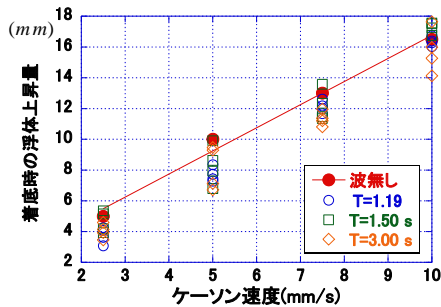


図-7 ケーソン上に着底時の浮体上昇量

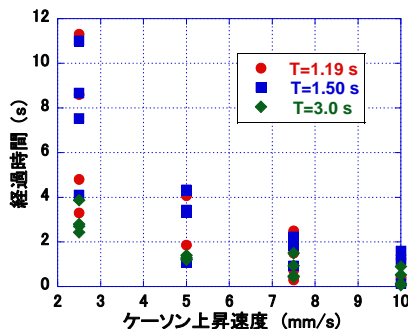


図-8 着底から停止までの経過時間

上に着底しても水平波力が作用しているため、上昇によりケーソンに作用する浮体の自重増大に伴う摩擦力の増大と、水平波力の減少とがあいまって急激に停止状態が生ずる様子が観察された。図-6 に示す波高変動の様子はケーソンの上昇速度が違っていても同様

であった。図-7 は波有りの場合における着底時の浮体上昇量で、図中には波無しの場合の

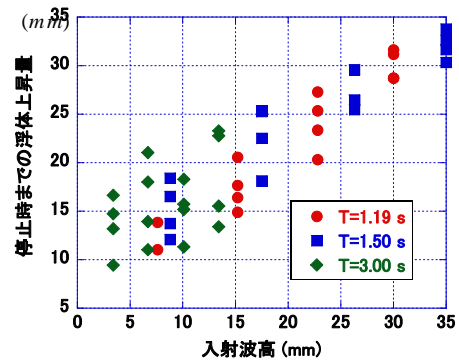


図-9 停止までの浮体上昇量

データ（図-4 中の赤丸）も併記している。入射波高の違いによってバラツキはあるものの、波無しの場合とほぼ同様の値を示しケーソン速度に比例して増大する。図-8 は着底後水平変動が停止するまでの経過時間を示している。当然ながらケーソンの上昇速度が遅いほど停止までの経過時間が大きく入射波高による変動も大きい。速度が大きくなると波高や周期によらず小さくなる。ケーソンがスタートしてから最終的に浮体がケーソン上で停止するまでの上昇量を図-9 に示す。ケーソンの上昇速度によって変動するものの入射波高が大きいほど大きくなる傾向にあり、港内波浪が存在する場合には、船体がケーソン上で完全に停止するまでの上昇量は、主に水平波力の大小に大きく左右されることがわかる。詳細な（ケーソン・浮体・波）間の相互干渉の検討は、ケーソンの上昇速度、ケーソン上面の摩擦係数、喫水、重量、重心位置、慣性能率などの浮体条件、港内波浪の条件、岸壁防舷材など多くの要素が関わってくることから、数値シミュレーションによる検討が必要で今後の検討課題であるが、実験の結果は数値シミュレーションの妥当性の検討にも用いることができる。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

太田一行、吉田明德、山城賢、ブシネスクモデルによる長周期波浪場の再現性について、土木学会論文集 B2（海岸工学）、査読有、第 66 巻、2010、pp.166-170

〔学会発表〕（計 2 件）

①松尾 雄太、ニューマティックケーソン係船装置の開発に関する研究、土木学会西

部支部研究発表会、平成 25 年 3 月 9 日、熊本大学 黒髪北キャンパス

②若林 信孝、ニューマテック係船装置の開発に関する研究、土木学会西部支部研究発表会、平成 24 年 3 月 2 日、鹿児島大学(鹿児島市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉田 明德 (YOSHIDA AKINORI)  
九州大学・工学研究院・准教授  
研究者番号：30117288

### (2) 研究分担者

山城 賢 (YAMASHIRO MASARU)  
九州大学・工学研究院・助教  
研究者番号：70336014

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：