

アンカーに繫留された浮体の挙動(第2報)

Behaviors of Moored Structures on the Sea (2nd Report)

浦 環*・戸島 敏雄**・高橋 幸伯*
Tamaki URA, Toshio TOSHIMA and Yukinori TAKAHASHI

1. はじめに

前報¹⁾では繫留系の過答応答の解析法について述べ、作用する外力を定式化し、例として、繫留された浮体が、繫留方向あるいは横方向に突風を受ける場合について解析を行った。

ここでは、アンカーに働く慣性力に対する検討がこれまで十分になされていないことが示された。この問題の基礎となる、土あるいは粉粒体の切削の動力学に関する研究はほとんど行われておらず、したがって本報告では、まず切削の加速度に比例する力である慣性力について実験的に検討する。さらに、海洋温度差発電装置等の繫留法や深海繫留法として注目される1点繫留あるいはそれを補う2点繫留(風上風下繫留)について、実験的・解析的に検討を行う。

2. アンカーに作用する慣性力

静止しているアンカーが急激に引かれる場合、チェーンの破断等が起こる可能性があり、アンカーに作用する慣性力すなわち見掛け質量の推定が重要である。従来、これらの現象の解析には、次のような両極端の仮定が設けられる。(A) アンカーの移動量=0、すなわち見掛け質量=∞。あるいは(B) 付加質量=0。前者では実際に比して極めて大きな応力が結果として得られ、後者では逆に小さな応力が得られ危険側となる。前報では実験による十分な裏付けはないが、把駐力に相当する固体摩擦力を考え、対応する抗力に相当した質量を見掛け質量とした²⁾。ここでは実験結果を基にして、文献[1](15)式を若干変更して提案する。

図1は重量 $M_A = 0.75 \text{ kg}$ のアンカー(最大把駐力=4.1 kg, 把駐力係数 $\lambda_0 = 5.4$)を $V_0 + A\omega \sin \omega t$ の速度で強制的に移動させ、アンカーに作用する慣性力を計測し、加速度との関係を表している。ただし $\omega = 10.47/\text{sec}$ である。鎖線で示す文献[1](15)式はやや大きめの推定値

を与えている。ここではアンカーとともに移動する砂とアンカーの重量の和は文献[1]と同様に考えるが、移動する砂の質量分布を図1に示すように三角形で仮定し、また、移動する砂の内部で加速度が三角形に分布すると仮定する。したがって、砂による付加質量 m_A^* は

$$m_A^* = \frac{2}{3} \{ (\lambda_0 / \tan \varphi) - 1 \} W_A / g \quad (1)$$

と与えられる。ここで φ は砂の内部摩擦角、 g は重力加速度である。したがってアンカーの見掛け質量 m_A は

$$m_A = \frac{2}{3} \{ (\lambda_0 / \tan \varphi) + 1/2 \} W_A / g \quad (2)$$

で与えられる。(2)式による値を図1に実線で示す。また、アンカー質量 W_A/g による慣性力を破線で示す。実験値と(2)式はおおむね一致しているが、加速度が大きくなると実験値はやや下まわるようになる。これは慣性力が把駐力に比べて必ずしも小さくなく、アンカーの姿勢が浮き上がるように変化するためである。実験ではワイヤーでアンカーを引いたために、 $A\omega$ を大きくすると、

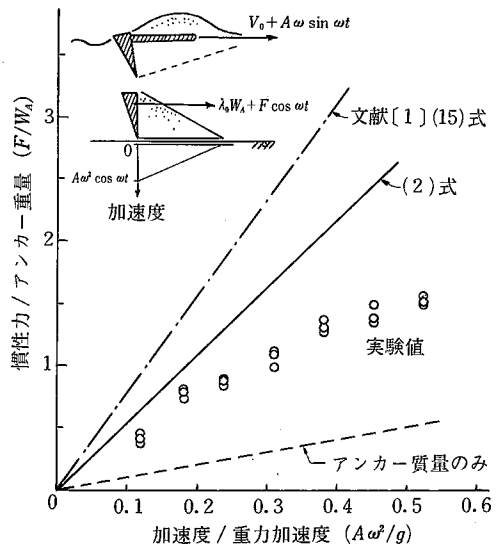


図1 アンカーに作用する慣性力

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 久保田鉄工株式会社

アンカーはピッチング運動を起こした。これには、慣性力の作用点が大きく影響すると考えられる。以下の計算では、これらの影響を無視して、アンカーの水平方向の運動に対する見掛け質量を(2)式で表す。また、ここでは周波数依存性は無視したが、さらに詳しい検討は今後の課題である。

3. 1点繫留実験

図2に示す装置を用いて、1点繫留された浮体が、繫留方向に突風を受けるときの過渡応答について検討した。実験は空中で行い、海水による影響は無視した。浮体はレール上を水平に移動し、heave・pitch運動は拘束した。風力・潮力に対応する荷重は重錘を用いて作用させ、浮体・アンカーの変位、錨鎖の浮体側・アンカー側張力を計測した。安定³⁾および不安定な2種類のアンカーを用いて実験を行った。繫留系の主な要目は文献[1]の9000 DWTモデルを想定して決定し表1に示す。ただし、浮体

の質量は1/40に軽くしてある。

図3-a・bは安定なアンカーを用いた系の張力と速度の時間変化を表しており、文献[1]に基づいた解析との比較を行っている。図4-a・bは不安定なアンカーを用いた同様の結果である。実験と解析はおおむね良い一致を示している。この程度の外力および初期張力に対

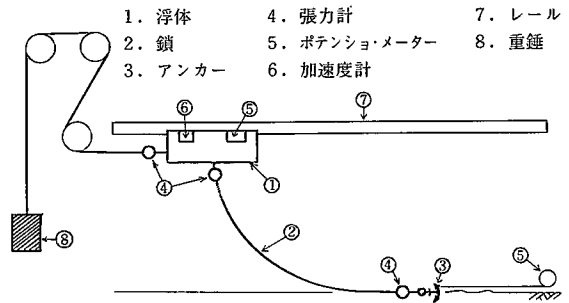


図2 1点繫留のシミュレーション装置

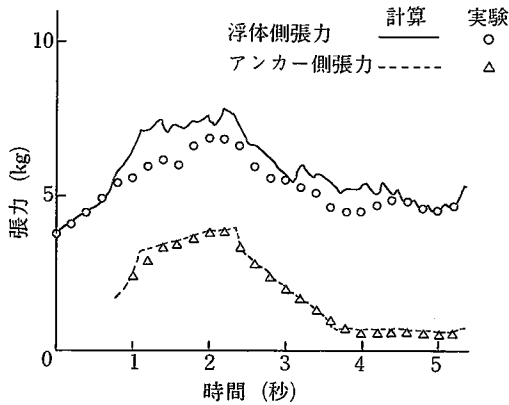


図3 安定なアンカーに繫留された浮体に突風が作用する場合の張力および速度

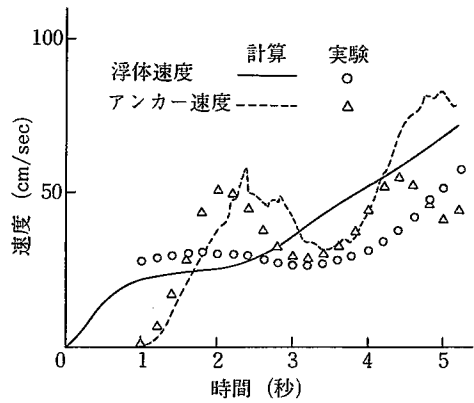
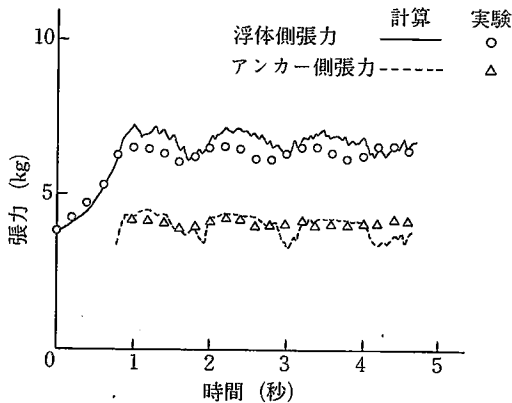


図4 不安定なアンカーに繫留された浮体に突風が作用する場合の張力および速度

研究速報

表1 繫留系的主要目

浮体重量	72 kg
鎖重量	0.92 kg/m
鎖長さ	6.7 m
水深	1.085 m
アンカー重量	
安定	0.75 kg
不安定	0.55 kg
最大把駐力	
安定	4.1 kg
不安定	4.1 kg

しては、安定なアンカーで浮体は静止し、一方不安定なアンカーでは動的な影響でアンカーが移動・転倒し、浮体は止まらないことが示された。ここで、初期張力とは、次節で述べるように大きな外荷重が加わる前に、系が静的に平衡している小さな荷重を表している。あるいは、予備のアンカーを風下側に用いて（風上風下繫留と呼んでおく）、突風が吹く以前に主たる繫留鎖側に十分な張力を与え、突風と同時に張力を解放することと対応すると考えられる。同じ大きさの外荷重が作用する場合でも、それ以前の張力状態により系の挙動は大きく変化することは明らかである。

4. 2点繫留

図5は1点繫留された浮体の変位と張力の水平成分との関係を示している。 x_A はアンカーの動き出す点で、安定なアンカーならば、図5-aのように x_A 以上の変位では実線で示される一定の張力を与え、一方、不安定なアンカーでは、アンカーの移動により回転して転倒するため、アンカーの静的な把駐力が減少して、破線のようになる。いま、無荷重の状態より外力 F_1 が作用すると、静的に平衡する変位は x_1 であるが動的影響により、 x_3 、 x_3^* (*は不安定なアンカーの場合)まで変位し、 x_4, x_4^* のまわりに振動する。一方、あらかじめ F_2 が作用して平衡状態にあるとき F_1 が作用すれば、 F_2 での平衡点 x_2 より x_5, x_5^* に変位するのみである。わずかな F_2 であっても大きな差が生ずるのは懸垂線の特徴であり、また錨が動くことにより、張力の水平成分は F_{max} を越えないことに由来している。たとえば、狭い錨地で多くの船舶が碇泊している場合には、 x_3, x_3^* のような大きな変位が生ずることは好ましくなく、 F_2 なる突風が予想される場合には、あらかじめ船を x_1 側に寄せておく必要がある。その方法として、たとえば、機関を用いて後退させるか、船尾側に小さいアンカーを打ち、船尾側へ船を引張ること、すなわち風上風下繫留が考えられる。

不安定なアンカーでは、 F_1 に対して一時的に x_4^* で停

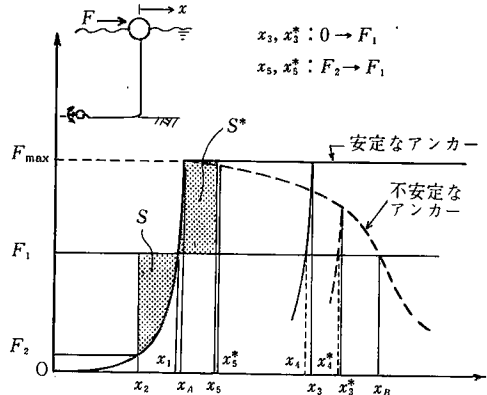


図5 1点繫留された浮体

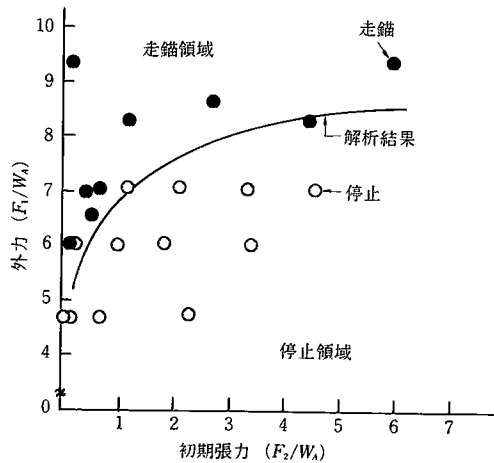


図6 初期張力と走錨との関係

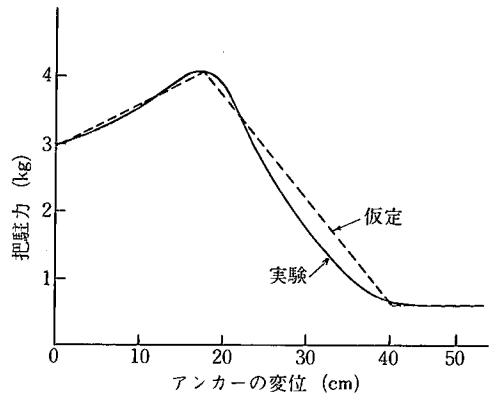


図7 不安定なアンカーの変位と把駐力の関係

止したとしても、いったん突風が治まり、その後再び F_1 が作用すれば、もはやアンカーは船を停止し得ないことが容易にわかる。したがって、JIS型アンカーのように不安定なアンカーを用いる場合には、変位が x_A を越えると徐々に把駐力が下がるので、 x_A を越えない繫留系

の設計を行うことが重要である。1回の突風に対しては、動的な影響で変位が x_B を越えなければ浮体は停止する。停止するために必要な F_2 は図5において $S=S^*$ となる $F_2=F_c$ であり、 F_c はアンカーの変位と把駐力の関係が知れば懸垂線理論により容易に計算される。図6は F_1 と F_2 を変えて、3節の不安定なアンカーを用いた実験結果と解析による浮体が停止する限界を示しており、良い一致を示している。ただし、アンカーの変位と把駐力の関係は図7に示され、解析では破線で近似して用いた。

5. おわりに

浮体に作用する外力に変動がある場合、1点繫留では

大きな変位が越こり得ることが示された。変位を少なくするには風上風下繫留が有効である。

(1980年5月24日受理)

参考文献

- 1) 浦・戸島・高橋：アンカーに繫留された浮体の挙動，生産研究，Vol. 32, No. 2, (1980), pp. 32~35
- 2) 戸島：走錨時における繫留系の挙動に関する研究，東京大学工学系大学院修士論文(1980)
- 3) Ura and Yamamoto; Stability Considerations of an Anchor Dragged in Non-Cohesive Sea Bed, Applied Ocean Res., Vol. 1-1 (1979), pp. 43-50

次号予告(9月号)

退官記念講演

計算機の研究..... 渡辺 勝

研究解説

メッシュ・データを用いた地形因子解析法による平均風速の推定に関する研究..... { 村上 周 三
小 峰 裕 己

研究速報

コンクリートからの後方散乱ガンマ線を低減させる表面材の研究(II)..... { 斉 藤 秀 雄
佐 藤 乙 丸

急拡大管における水中噴流の挙動に関する実験的研究..... { 小 林 敏 雄
一第1報 流動状態の分類と存在領域一 蛭 川 雅 彦
佐 賀 徹 雄

入射波と反射波の分離による垂直入射超音特性の測定法..... { 鈴 木 千 輝
矢 野 博 夫
橋 秀 樹

繊維強化複合材料の開発研究..... { 大 寺 藏 明 光
一ホットプレス法による複合材料一 本 田 敏 一

金[110]傾角粒界原子振動状態の計算機シミュレーション..... { 橋 本 稔
石 田 洋 一
山 本 良 一
堂 昌 男

時分割多重式地震波記録装置の試作..... { 関 豊 二
中 村 英 俊
瀬 尾 真 治

スターリング機関の機関性能の簡易予測法..... { 吉 識 晴 夫
一第2報 断熱膨張温度を考慮した場合一 高 間 信 行
上 村 光 宏

廃イオン交換樹脂の利用に関する基礎的研究(I)..... { 鳥 羽 山 満
一廃樹脂の変性と粉碎一 江 川 義 之
妹 尾 学