

完全没水型係留浮体の係留索配置角が張力変動に与える影響について

北海道大学大学院工学研究科 学生員 ○星崎 心吾
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 佐藤 太裕
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 蟹江 俊仁
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 三上 隆

1. まえがき

本研究は完全没水型係留浮体における三次元的な動的特性に及ぼす係留索配置形状の影響について解析的に把握することを目的としている。完全没水型の係留浮体とは、浮力を有する円筒状の函体を係留索（テンションレグ）により水中に安定化させる構造形式を有するものである。将来的には交通輸送を想定した水中浮遊式トンネルや、エネルギー輸送を目的とした海洋パイプライン、波浪制御施設への適用など、今後の海洋開発における新規な発展に寄与する高い汎用性、可能性を有した構造形式であるといえる。係留浮体では一般的に、浮体の大きな動揺に伴う係留索張力変動により引張力を失う（スラック状態）と、その後の張力回復時にスナップ荷重という準衝撃的な力が作用することが知られている。本研究はスナップ荷重発生メカニズムを解析的に検討する前段階として、係留索配置角に特に着目しスラックの発生条件について検討するものである。

2. 解析モデル

検討対象とする完全没水型係留浮体は、右図に示すような4本の係留索(長さ: l , ヤング係数: E , 断面積: A)を用いて, xy 平面傾角 α ($0 \leq \alpha < 90^\circ$), yz 平面傾角 γ ($0 \leq \gamma < 90^\circ$), 取り付け角度 β ($0 \leq \beta < 90^\circ$) で水中に安定させた円形断面(半径 R)を有するものである。また完全没水型係留浮体は剛体であると仮定する。外力の入射角を図-1(c)に示す λ とし, 外力はすべて重心に作用すると仮定する。この係留浮体(質量: m , 奥行: L)が水中で安定となるためには, 浮力が重力を上回ることが条件となる。また静平衡状態における係留索1本あたりの初期張力 T_p は次式となる。

$$T_p = \frac{(\pi R^2 B - m) \sqrt{1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \gamma}}{4 \cos \alpha \cos \gamma} \quad (1)$$

3. 復元力

係留浮体重心における水平変位 x , 鉛直変位 y , 奥行変位 z , xy 平面回転角 ϕ , yz 平面回転角 θ , xz 平面回転角 ψ の6個の自由度による復元力は次式で表される。

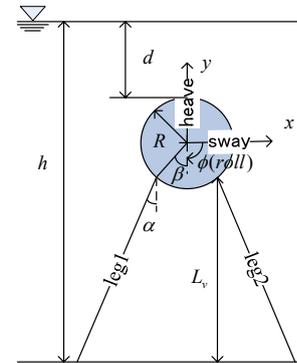


図-1(a) 解析モデル (end)

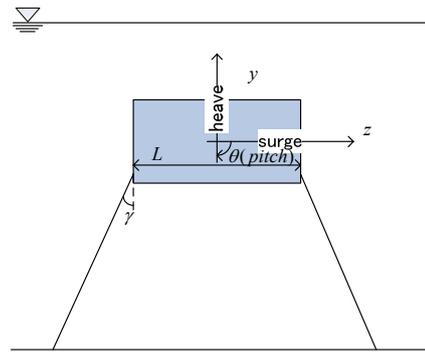


図-1(b) 解析モデル (side)

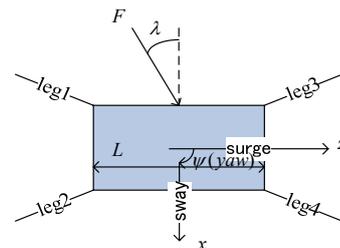


図-1(c) 解析モデル (top)

キーワード 水中トンネル, 三次元, 復元力, スラック, スナップ荷重,

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北十三条西八丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL011-706-6176

$$\begin{Bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \\ f_\phi \\ f_\theta \\ f_\psi \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 4K_h & 0 & 0 & -4K_h R \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 4K_v & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4K_p & 0 & -4K_p R \cos \beta & 0 \\ -4K_h R \cos \beta & 0 & 0 & 4R^2(K_h \cos^2 \beta + K_v \sin^2 \beta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -4K_p R \cos \beta & 0 & 4(K_v \frac{L^2}{4} + K_p R^2 \cos^2 \beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4(K_h \frac{L^2}{4} + K_p R^2 \sin^2 \beta) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \\ \phi \\ \theta \\ \psi \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ここで

$$K_h = \frac{4(EA \sin^2 \alpha \cos^2 \gamma + T \cos^2 \alpha)}{l(1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \gamma)} \quad (3)$$

$$K_v = \frac{4(EA \cos^2 \alpha \cos^2 \gamma + T(\sin^2 \alpha \cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cos^2 \alpha))}{l(1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \gamma)} \quad (4)$$

$$K_p = \frac{4(EA \sin^2 \gamma \cos^2 \alpha + T \cos^2 \gamma)}{l(1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \gamma)} \quad (5)$$

また流体力は修正モリソン式により評価する。

4. 解析結果と考察

(1) 解析条件

解析条件は以下の通りである。

(係留浮体) 断面半径 $R=6.05[\text{m}]$, 質量 $m = 2.82 \times 10^6[\text{N/m}]$, 浮力 $w=4.19 \times 10^6[\text{N/m}]$, 奥行 $L=100[\text{m}]$

(係留索) ヤング係数 $E=2.06 \times 10^{11}[\text{N/m}^2]$, 断面積 $A=0.09[\text{m}^2]$

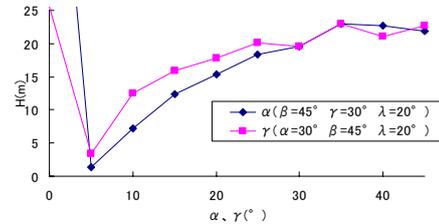
(海洋条件) 波周期 $T=13[\text{sec}]$, 水深 $h=100[\text{m}]$, クリアランス $d=30[\text{m}]$

(2) スラックが発生する波高の変化

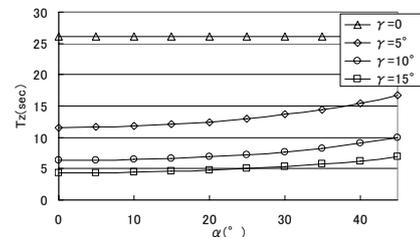
図—2 は α , γ の変化によってスラックが発生する波高 H の変化を示したものである。このグラフより $\alpha=0^\circ$ または, $\gamma=0^\circ$ の場合スラックが発生しにくいことが読み取れる。 α や γ を 0° から徐々に大きくしていくと H の値が急激に減少し, $\alpha=5^\circ$, $\gamma=5^\circ$ の状態では非常にスラックが発生しやすいことがわかる。この現象は図—3 に示される Surge 方向の固有周期特性によると $\gamma=5^\circ$ の場合, Surge 方向の固有周期と今回使用した波周期が近い値をとり, 共振状態となるためであるといえる。同様のことが Sway 方向にも言える。

図—4 は $\alpha=0^\circ$ の場合の Sway 方向の変位と, $\gamma=0^\circ$ の場合の Surge 方向の変位を表したものである。このグラフより $\alpha=0^\circ$, $\gamma=0^\circ$ の場合, 前途の通りスラックは非常に発生しにくい, それぞれの角度に対応する方向の変位が大きくなることがわかる。

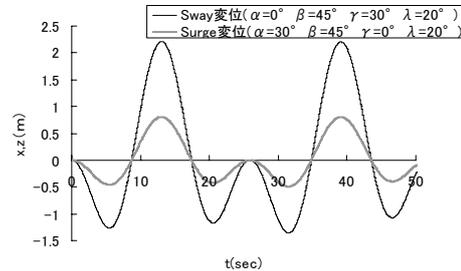
設置角を 0° より大きくする場合は波周期との共振



図—2 スラックが発生する波高の変化



図—3 Surge 方向固有周期特性



図—4 Sway, Surge 変位

を防ぐため設置角を大きく (30° 程度) する必要がある。これらのことより完全没水型係留浮体の用途によって設置角を考えなければならないといえる。今後は非線形振動解析によりスナップ荷重の定量的評価を可能とする解析を現在検討中である。

参考文献

- 1) Plaut, R.H., Archilla, J.C. and Mays T.W.: Snap loads in mooring lines during large three-dimensional motions of a cylinder, Nonlinear Dynamics, Vol.23, pp.271-284, 2000.
- 2) 佐藤太裕, 蟹江俊仁, 三上 隆: 係留索配置形状が水中係留浮体の動的特性に与える影響の評価, 海洋開発論文集, 第 19 巻, pp.649-652, 2003.