

水中係留浮体の係数励振振動特性に及ぼす係留索配置の影響

北海道大学大学院工学研究科	学生会員	小室 達明
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. はじめに

水中係留浮体とは重力よりも大きな浮力をもつ浮体を、係留索を用いて水中に引き込み安定させるという新しい考え方の構造体である。この構造体は今まで利用されなかった水中を利用することとなり、同時に浮遊式であることによる動的不安定現象の発生の問題が予想される。動的不安定現象の一つとして係数励振振動があげられ、特に $\omega \cong 2\omega_h$ (ここに ω_h を構造物の固有振動数、 ω を周期変動力) の関係の時、動的不安定領域は最も大きく、水中係留浮体の設計上、留意しなければならない。本研究は、波浪などの外力により係留索に作用する周期変動張力による浮体の動的な不安定性の問題について検討していく。

2. 解析モデル

本研究に用いる水中係留浮体のモデルを図-1 に示す。水中浮体の変位は水平変位 (x)、鉛直変位 (y)、および回転変位 (θ) を微小変形の範囲で考える。浮体は質量 m 、体積 V 、円形で半径 r 、内空半径 r_2 の中空円とする。この時、 U を浮体にかかる上向きの力とすると、 $U = V - mg > 0$ が成り立つ。構造諸元は $r = 10[m]$ (半径) $r_2 = 9[m]$ (内空半径)、二本のレグは一つの連結点に傾角 α をなして、二つの連結点 A, B に繋がれている。各連結点と浮体の中心を結ぶ線のなす角度をここで連結角と呼び β とする。係留索は伸び剛性を EA 、長さを L_s とし質量は係留浮体に比べ非常に小さいものとして無視する。係留索に作用する周期変動張力を $T_s = T_p + T_0 \cos \omega t$ とし、この時、 $4T_p \cos \alpha - U = 0$ が成り立つ。(初期張力を T_p 、軸方向周期変動張力を $T_0 \cos \omega t$)

3. 支配方程式の誘導

図-1 における四本のレグによる水中係留浮体の復元力は次式で表される。

$$\mathbf{F}_{x\theta} = \begin{bmatrix} 4K_x & -4K_x \cos \beta \\ -4K_x \cos \beta & 4r^2(K_x \cos^2 \beta + K_y \sin^2 \theta) \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで

$$K_x = \frac{1}{L_s}(EA \sin^2 \alpha + T_s \cos^2 \alpha), \quad K_y = \frac{1}{L_s}(EA \cos^2 \alpha + T_s \sin^2 \alpha)$$

である。水平、回転方向について非時間依存項 (\mathbf{K}_1) と周期変動張力による時間依存項 (\mathbf{K}_2) に復元力を分け運動方程式をたてると

$$[\mathbf{M}]\{\ddot{\mathbf{u}}\} + 2[\boldsymbol{\varepsilon}]\{\dot{\mathbf{u}}\} + [\mathbf{K}_1]\{\mathbf{u}\} + [\mathbf{K}_2]\{\mathbf{u}\} \cos \omega t = 0 \quad (2)$$

さてここで(2)式の変位ベクトル $\{\mathbf{u}\}$ を $[\mathbf{K}_2] = 0$ における基準振動系の $\{x_1\}, \{x_2\}$ に分解し、(2)式に代入して基準振動系の直交性を用いて変換すると

$$\ddot{q}_j + 2 \begin{bmatrix} h_1 \omega_1 & 0 \\ 0 & h_2 \omega_2 \end{bmatrix} \dot{q}_j + \begin{bmatrix} \omega_1^2 & 0 \\ 0 & \omega_2^2 \end{bmatrix} q_j + \frac{2\mu \cos \alpha}{K(\alpha)} \omega_h^2 \begin{bmatrix} k_{11}^{*2} & k_{12}^{*2} \\ k_{21}^{*2} & k_{22}^{*2} \end{bmatrix} q_j \cos \omega t = 0 \quad (3)$$

と表せる。ここで

$$\omega_h = \sqrt{k_{11}^{(1)}/m}, \quad \mu = T_0/2T_p, \quad B = EA/4T_p \cos \alpha, \quad K(\alpha) = (\cos \alpha + 4B \sin^2 \alpha)$$

である。得られた(3)式より本解析モデルにおける $\omega_h \approx 2\omega_1$ (一次モード)、 $\omega_h \approx 2\omega_2$ (二次モード) に相当する動的な不安定領域の境界の関数が求められる。

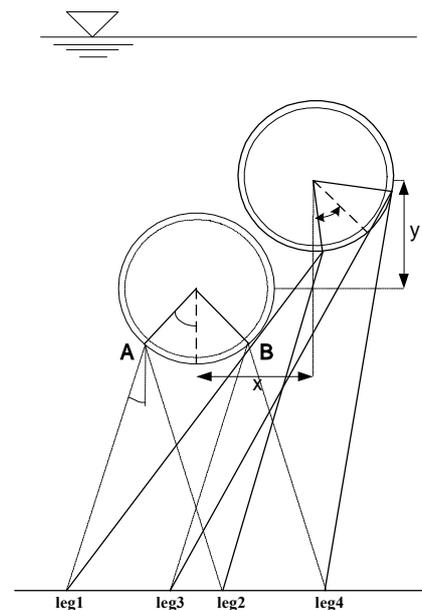


図-1 解析モデル

キーワード 係数励振振動、共振、係留浮体、変動張力

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学 tel.011-706-6176 fax.011-706-6174

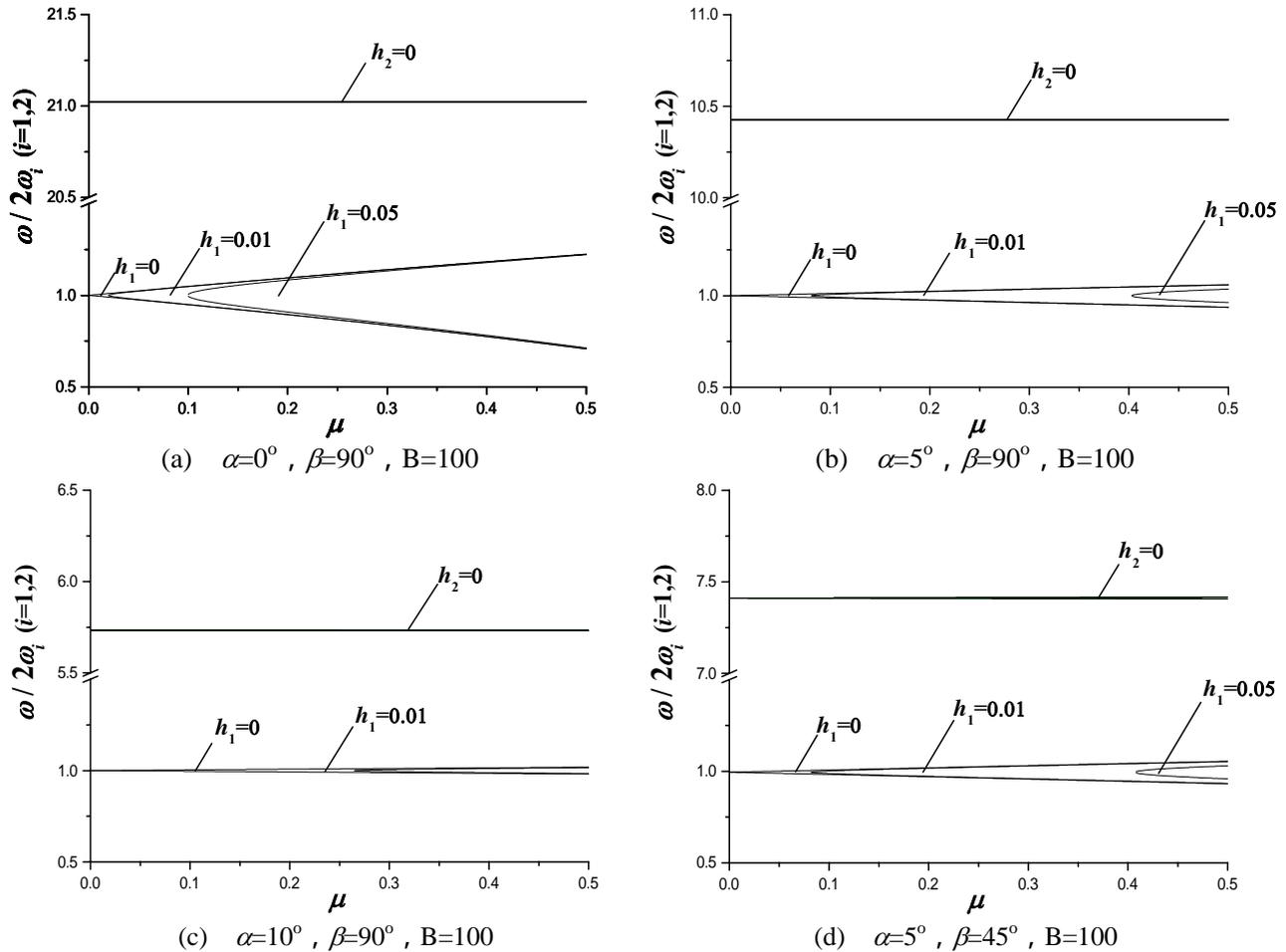


図-2 各係留索配置における動的不安定領域

4. 解析結果

(3)式より得られた主不安定領域の広がり様子を図-2に示す。各グラフの下方のグラフは $\omega \approx 2\omega_1$ に相当する不安定領域、上方は $\omega \approx 2\omega_2$ に相当する不安定領域を示している。水中係留浮体の設計条件が広がり内側にあるとき、振動における浮体の振幅は時間とともに無限大に発散してしまう。 h_1, h_2 は各モードの減衰定数である。 $45^\circ < \beta < 90^\circ$ のとき、 $\omega \approx 2\omega_2$ に相当する不安定領域は $\omega \approx 2\omega_1$ に相当する不安定領域に比べ有意な広がりではなく、 $h_2=0.01$ で(a)から(d)いずれのケースにおいても広がり完全に消失した。また h_i は $\omega \approx 2\omega_i$ に相当する不安定領域($i=1, 2$)に支配的な影響を与え、 h_i は $\omega \approx 2\omega_j$ ($i \neq j, j=1, 2$)に相当する不安定領域にほとんど影響を与えないことを確認した。

まず α を増加させたとき、 $\omega \approx 2\omega_1$ に相当する不安定領域は大きく減少していることから、傾角の増加は主不安定領域を減少させるといえる。次に β を小さくしたとき、 $\omega \approx 2\omega_2$ に相当する不安定領域は若干ではあるが広がりはあるものの、 $\omega \approx 2\omega_1$ に相当する不安定領域の広がりにはほとんど変化が見られないことから、連結角の変化は不安定領域の振動数域には影響を与えるものの、傾角に比べると分布領域の広がりにはほとんど影響がないといえる。また、(a)から(d)いずれのケースにおいても、減衰定数を大きくすると不安定領域は減少した。減衰係数による不安定領域の減少の割合は α の増加に伴い大きくなり、 $\alpha=10^\circ$ では $h_1=0.05$ で $\omega \approx 2\omega_1$ に相当する不安定領域は消失した。

以上より、 $\omega \approx 2\omega_2$ に相当する不安定領域は減衰を考慮することにより無視できる大きさの広がりである。よって、連結角による影響は少なく、ある程度の傾角があれば本解析モデルにおける構造物の動的な主不安定領域を大きく減らせることが分かる。

5. あとがき

本研究においては係留索に変動張力が作用する時の水中係留浮体の動的な主不安定領域について検討した。係留索配置の動的な主不安定領域に与える変化について以下の知見が得られた。1)傾角の増加は動的な主不安定領域を大きく減少させる。2)連結角の与える影響はほとんどなく減衰を考慮するとほとんど無視できる。3)減衰作用は不安定領域を減少させ、特に傾角を大きくすると減衰による不安定領域の減少効果も大きなものとなる。