くし型浮き桟橋の断面力の計算法

鳥取大学工学部　正会員　上田　茂　　鳥取大学工学部　正会員　白木　渡
鳥取大学大学院　学生員○川上　博之　　鳥取大学大学院　学生員　勝田みゆき

1.まえがき　近年、海洋性レクリエーションに対する需要は、余暇時代の到来とともに増大を続けている。多数のプレジャーボートが海上の浮き桟橋に係留される場合、荒天時にも海上係留させることができるような、環境外力を十分考慮し安全性に優れた浮き桟橋の構造設計が要求される。このような背景から、本研究では、くし型浮き桟橋に生ずるせん断力と曲げモーメントを、波浪中の箱型浮体の動揺に関する近似理論を用いて、簡便に計算する手法を示す。ここでは、浮体を剛体として解析する。

2.断面力の計算　浮体の動揺を考慮した断面力の計算[1]は、以下の手順に従う。図-1は、そのブロックチャートを示したものである。まず浮体が固定されていて動揺しないとして、浮体に作用する波強制力、すなわち通過波によるフルードクリロフ力および反射波によるディフラクション力を求める。このとき、くし型浮体を単体浮体の組み合わせとすると、位置の違いによる波の位相差が生じるので、それらを考慮し各部材の波力を合成して、くし型浮体全体に作用する波力を求める。図-2のような、くし型浮き桟橋に作用するフルードクリロフ力は、任意の点(x, y)におけるフルードクリロフ力が(1)式で与えられるので、図-2のO点(x=0, y=0)を基準とすると、部材数nが偶数のとき、(2)式のように表される。また、静水中で、くし型浮体が動揺することによって浮体が流体から受けるラディエーション流体力(造波抵抗力)および静水圧的復元力を求め、それぞれ流体力係数および静水圧的復元力係数の形に変換する。そして、これらの諸量を運動方程式に組み込み、くし型浮体の動揺の規則波応答を求める。このとき運動方程式は、(3)式のように表される。以上のようにして求めた動揺量を用いて、垂直せん断力および垂直曲げモーメントを求

$$p_z^{F\cdot K}=p_a\exp[i(\omega t+kx\cdot\cos\alpha-ky\cdot\sin\alpha)] \quad (1)$$

ただし、$p_a=\rho g\zeta_0\dfrac{\cosh k(h-d)}{\cosh kh}$

ここに、ρ:水（または海水）の密度, g:重力加速度, ζ_0:入射波の振幅,
　k:波数, d:喫水, h:水深, α:入射波と浮体の長軸とのなす角度,
　ω:入射波の角振動数, t:時刻

$$P_z^{F\cdot K}=\sum p_z^{F\cdot K}=\sum p_a\left\{\exp\left[i\left(\omega t-\frac{kd'}{2}\sin\alpha\right)\right]+\exp\left[i\left(\omega t-\frac{kd'}{2}\sin\alpha\right)\right]\right\} \quad (2)$$

$$(M+m)\ddot{x}+C\dot{x}+Kx=F \quad (3)$$

ここに、M:浮体の質量および質量慣性モーメント
　m:付加質量および付加質量慣性モーメント, C:減衰力係数,
　K:静的復元力係数, F:波強制力, x :変位, $\dot{x}$:速度, $\ddot{x}$:加速度

$$S(X)=S_I(X)+S_R(X)+S_S(X)+S_d(X)+S^{F\cdot K}(X) \quad (4)$$

$$M(X)=M_I(X)+M_R(X)+M_S(X)+M_d(X)+M^{F\cdot K}(X) \quad (5)$$

$$S_I(X)=-\rho Bd\left\{\left(X+\frac{L}{2}\right)\ddot{z}-\frac{1}{2}\left(X^2-\frac{L^2}{4}\right)\ddot{\theta}\right\} \quad (6)$$

$$S_R(X)=-\left(X+\frac{L}{2}\right)(M_H\ddot{z}+N_H\dot{z})+\frac{1}{2}\left(X^2-\frac{L^2}{4}\right)(M_H\ddot{\theta}+N_H\dot{\theta}) \quad (7)$$

$$S_S(X)=-\rho gB\left\{\left(X+\frac{L}{2}\right)z-\frac{1}{2}\left(X^2-\frac{L^2}{4}\right)\theta\right\} \quad (8)$$

$$S_d(X)=\zeta_0\frac{\sinh k(h-d)}{\sinh kh}(-\omega^2M_H+i\omega N_H)$$

$$\times\frac{i}{k\cos\alpha}\left\{-\exp(ikX\cos\alpha)+\exp\left(-i\frac{kL}{2}\cos\alpha\right)\right\}\exp(i\omega t) \quad (9)$$

$$S^{F\cdot K}(X)=\rho g\zeta_0\frac{\cosh k(h-d)}{\cosh kh}\cdot\frac{2\sin\left(\frac{kB}{2}\sin\alpha\right)}{k\sin\alpha}$$

$$\times\frac{i}{k\cos\alpha}\left\{-\exp(ikX\cos\alpha)+\exp\left(-i\frac{kL}{2}\cos\alpha\right)\right\}\exp(i\omega t) \quad (10)$$

$$M_I(X)=-\rho Bd\left\{\frac{1}{2}\left(X^2+XL+\frac{L^2}{4}\right)\ddot{z}-\left(\frac{X^3}{6}-\frac{L^2}{8}-\frac{L^3}{24}\right)\ddot{\theta}\right\} \quad (11)$$

$$M_R(X)=-\frac{1}{3}\left(X^3+\frac{L^3}{8}\right)(M_H\ddot{\theta}+N_H\dot{\theta})$$

$$+\frac{1}{2}\left(X^2-\frac{L^2}{4}\right)\{M_H(\ddot{z}+X\ddot{\theta})+N_H(\dot{z}+X\dot{\theta})\}-X\left(X+\frac{L}{2}\right)(M_H\dot{z}+N_H\ddot{z}) \quad (12)$$

$$M_S(X)=-\rho gB\left\{\frac{1}{3}\left(X^3+\frac{L^3}{8}\right)\theta-\frac{1}{2}\left(X^2-\frac{L^2}{4}\right)(z+X\theta)-X\left(X+\frac{L}{2}\right)z\right\} \quad (13)$$

める。このとき、浮体の動揺によって生ずる慣性力、ラディエーション流体力、静水圧的復元力および波強制力を求め、これらを浮体の長手方向および短手方向に沿って積分して、浮体の任意断面におけるせん断力S(X)および縦曲げモーメントM(X)を求めると、(4)および(5)式で与えられ、その各成分は、(6)～(15)式で与えられる。同様にして、水平せん断力、水平曲げモーメントおよびねじりモーメントも求めることができる。

4.あとがき　本研究では、浮体の動揺を考慮した断面力の計算法を用いて、くし型浮き桟橋に生ずる断面力の計算法の検討を行った。今後、数値計算および模型実験による検討が必要である。また、今回は無視したウォークウェイに作用する波力についても考慮し、さらに不規則波に対する計算法ならびに浮体の弾性変形を考慮した解析を進める予定である。

$$M_d(X)=\zeta_0\frac{\sinh k(h-d)}{\sinh kh}(-\omega^2M_H+i\omega N_H)$$
$$\times\left[\frac{i}{k\cos\alpha}\left(X+\frac{L}{2}\right)\exp\left(-i\frac{kL}{2}\cos\alpha\right)\right.$$
$$\left.-\frac{1}{k^2\cos^2\alpha}\left\{\exp(ikX\cos\alpha)-\exp\left(-i\frac{kL}{2}\cos\alpha\right)\right\}\right]\quad(14)$$

$$M^{F\cdot K}(X)=\rho g\zeta_0\frac{\cosh(h-d)}{\cos kh}\cdot\frac{2\sin\left(\frac{kB}{2}\sin\alpha\right)}{k\sin\alpha}$$
$$\times\left[\frac{i}{k\cos\alpha}\left(X+\frac{L}{2}\right)\exp\left(-i\frac{kL}{2}\cos\alpha\right)\right.$$
$$\left.-\frac{1}{k^2\cos^2\alpha}\left\{\exp(ikX\cos\alpha)-\exp\left(-i\frac{kL}{2}\cos\alpha\right)\right\}\right]\quad(15)$$

ここに、L:浮体長, B:浮体幅

$z,\dot{z},\ddot{z}$:ヒービングによる上下方向の変位, 速度, 加速度

$\theta,\dot{\theta},\ddot{\theta}$:ピッチングによる上下方向の変位, 速度, 加速度

$S_I(X), S_R(X), S_S(X), S_d(X), S^{F\cdot K}(X)$:

慣性力, 造波抵抗力, 静水圧的復元力, ディフラクション力,

フルードクリロフ力によって浮体の任意の断面に生ずるせん断力

$M_I(X), M_R(X), M_S(X), M_d(X), M^{F\cdot K}(X)$

:慣性力, 造波抵抗力, 静水圧的復元力, ディフラクション力,

フルードクリロフ力によって浮体の任意の断面に生ずる縦曲げモーメント

ただし、$M_H=\frac{\rho B}{3(h-d)}\left\{\left(\frac{B}{2}\right)^2+(h-d)^2\right\}$

$$N_H=\frac{\rho gB}{\omega}\cdot\frac{(kBf_B^2)/2}{n}$$

$$f_B=\frac{1}{k(h-d)}\cdot\frac{\sinh k(h-d)}{\cosh kh}$$

$$n=\frac{1}{2}\left(1+\frac{2kh}{\sinh 2kh}\right)$$

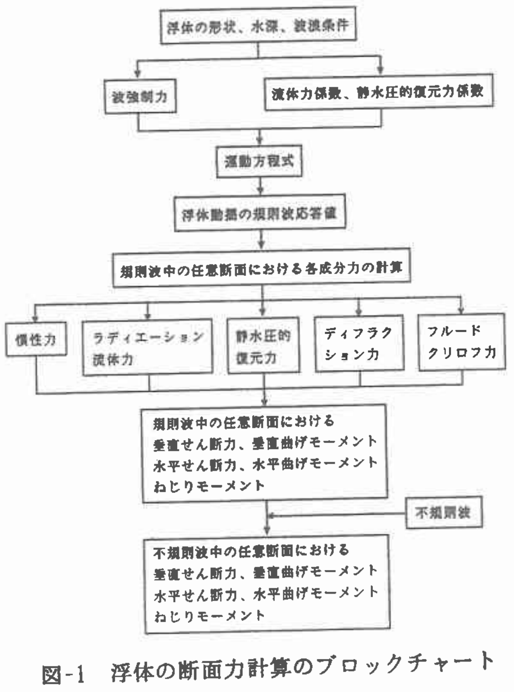

図-1　浮体の断面力計算のブロックチャート

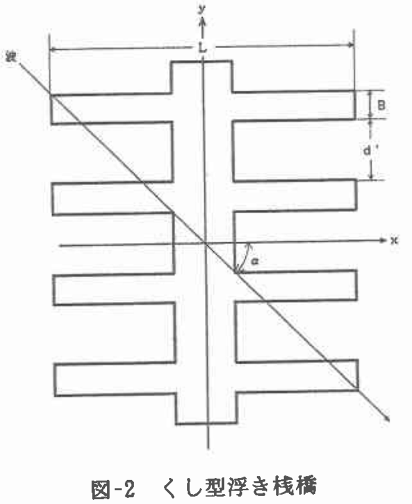

図-2　くし型浮き桟橋

参考文献　1)上田茂・白石悟・甲斐一夫:箱型浮体の波浪によるせん断力と縦曲げモーメントの計算法について, 港湾技研　資料No. 505, 1984. 12.