

## 波浪による人工海藻の動揺特性

京都大学工学部 正員 酒井哲郎、正員 浅野敏之、学 〇上田康浩

1. はじめに 人が海に親しむ場として海浜が重視されるようになり、近年では景観を損なわない消波構造物及び養浜工法の一つとして人工海藻が考えられるようになった。しかしその研究の歴史は浅く、波による人工海藻の運動については明らかにされていない。本研究では、既に浅野(1987)によって提案されている、波浪による人工海藻の運動モデルを検討・改良し、改良したモデルの結果といくつかの実験結果を比較し考察する。

2. 理論 波力による人工海藻の運動を考えるに当たり、次のような波力による柱体の横振動モデル(石田(1984))を考える。

$$\rho_* b w \ddot{\xi} + C_1 \dot{\xi} + EI \xi z z z z$$

$$= \frac{1}{2} C_D \rho_w b (u - \dot{\xi}) |u - \dot{\xi}| + (C_M - 1) \rho_w b w (\ddot{u} - \ddot{\xi}) + \rho_w b w \ddot{u}$$

この式の右辺第1項の抗力項を

$$\frac{1}{2} C_D \rho_w b (u - \dot{\xi}) |u - \dot{\xi}| = \frac{1}{2} C_D \rho_w b |u| u - C_D \rho_w b |u| \dot{\xi}$$

と変形し、さらに右辺に浮力の項  $-(\rho_w - \rho_*) g b w \xi z$  を加え、 $C_1 = 0$  とすると、浅野(1987)の提案した波浪による人工海藻の各部分の運動方程式を得る。

$$(\rho_* + \rho_w) b w \ddot{\xi} + (\rho_w C_D b |u|) \dot{\xi} + EI \xi z z z z + (\rho_w - \rho_*) g b w \xi z$$

$$= \frac{1}{2} \rho_w C_D b |u| u + \rho_w C_M b w \ddot{u} \quad (1)$$

ここで、 $\rho_*$ 、 $\rho_w$  : 海藻及び水の密度、 $b$  : 海藻の幅、 $w$  : 海藻の厚さ、 $C_M$  : 慣性力係数、 $C_D$  : 抗力係数、 $\xi$  : 波の進行方向の海藻各部分の変位、 $u$  : 波の進行方向の水粒子速度、 $E$  : 海藻のヤング率、 $I$  : 海藻の断面2次モーメント、 $z$  : 海底面を原点とする鉛直上向き座標、上付き  $\cdot$  は時間  $t$  に関する1階微分、上付き  $\ddot{\cdot}$  は時間  $t$  に関する2階微分、下付き  $z$  は  $z$  に関する1階微分、下付き  $z z z z$  は  $z$  による4階微分を意味する。

海藻は海底面をヒンジとする棒状の運動をするとし、海藻頂部の変位を  $\xi$  とし、 $\xi = z/l \cdot \xi$ 、 $\xi z = \xi/l$  とし、 $0 \leq z \leq l$  で積分すると、

$$\frac{1}{2} (\rho_* + \rho_w) b w l \ddot{\xi} + \frac{1}{2} \rho_w C_D b l |u| \dot{\xi} + \int_0^l EI \xi z z z z dz + (\rho_w - \rho_*) g b w \xi$$

$$= \frac{1}{2} \rho_w C_D b l |u| u + \rho_w C_M b w l \ddot{u}$$

となる。ここで、式(1)中の諸量は全て  $z$  の関数ではないものとしている。浅野(1987)では、左辺の第1項と第2項の係数が1となっている。

この式の右辺の第2項の慣性力項を無視し、第1項の抗力項をフーリエ展開して、その第1項のみを使用する。さらに片持ち梁の先端に働く力とたわみの関係から考えて、

$$\int_0^l EI \xi z z z z dz = \frac{3EI}{l^3} \xi$$

とした。浅野(1987)では、右辺の係数を  $1/2$  としている。また左辺第2項の  $|u|$  を、簡単のため、流速振幅  $\hat{u}$  とした。結局方程式は振動外力を受ける2階線形常微分方程式になり、 $C_D = 2.0$ 、 $C_M = 1.0$  とすると、その強制解として次のような結果が得られる。

$$\xi = \frac{\hat{u}}{3\pi} \frac{\hat{u}}{\omega} \cos(\omega t - \phi) \quad (2)$$

この  $\xi$  は、浅野(1987)の解の2倍になる。

Tetsuo SAKAI, Toshiyuki ASANO, Yasuhiro UEDA

$\phi$  の値は、 $EI = 0$  では  $\phi = \pi/2$  となり、 $EI$  の値が大きくなると  $\phi$  の値は小さくなる。このことから、柔らかい人工海藻の変位は、水位の変化より約  $\pi/2$  だけ位相が遅れることが分かる。

3. 実験結果との比較 上で述べたモデルを検証するために、浅野・筒井(1987)の実験結果、運輸省第3港湾建設局(1988)の人工海藻水理模型実験の結果および運輸省港湾技術研究所(1988)の実験結果を解析した。

浅野・筒井の実験と第3港湾建設局の実験では、水槽底面に人工海藻を群生させ、波による人工海藻の挙動と波の様子をビデオで撮影している。港湾技術研究所の実験では、一本の人工海藻の運動を撮影している。これらのビデオから、水位変化と海藻の変位を測定した。このような方法で行った読み取り結果の例を図-1に示す。これを見ると、さきに述べたように海藻変位は水位変化よりおよそ  $\pi/2$  位相が遅れていることが分かる。

次に、図-1の曲線から読み取った波高  $H$  と周波数  $f$  から、式(2)を用いて求めた海藻頂部の変位  $\hat{u}$  の振幅の2倍と、図-1の曲線から読み取った海藻頂部の振幅の2倍とをグラフにプロットしたものが図-2である。この際、式(2)における  $\hat{u}$  には、海藻頂部の高さにおける  $\hat{u}$  の  $1/\sqrt{2}$  倍を用いた。これは、 $u$  の値を水深方向に平均したものは海藻頂部の  $\hat{u}$  の値よりも小さくなることによる。

これを見ると、浅野・筒井の実験結果は理論値と実験値がほぼ一致することが分かる。第3港湾建設局の実験結果についても、同様のことが言える。しかし、港湾技術研究所の実験では、実験値の方が理論値を大幅に上回っている。この場合には、ビデオの観察では人工海藻は直立しており、他の2つの実験の素材に比べて剛性がかなり大きいように思われる。不一致の理由として、この場合には人工海藻が波動下で共振運動をしている可能性もある。

最後に、本研究は運輸省第3港湾建設局神戸調査設計事務所の「人工海藻による養浜工開発調査の研究」の1部として実施したものであることを付記する。また貴重なビデオを提供して頂いた神戸調査設計事務所および港湾技術研究所に感謝する。

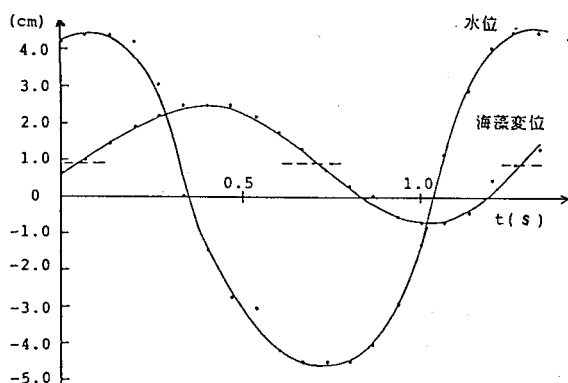


図-1 海藻変位の実験結果の例  
(浅野・筒井, 1987,  $f = 0.8\text{Hz}$ )

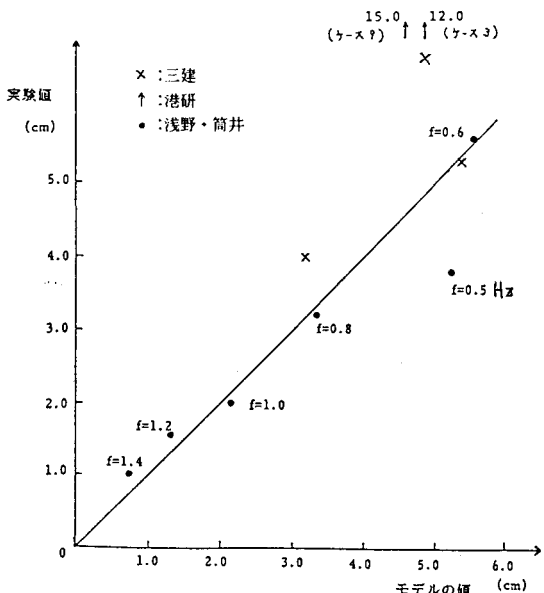


図-2 人工海藻頂部の変位の2倍の実験結果と理論値