# 越波低減浮体パネルの上下運動特性に関する実験的一考察

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 〇 舟橋 徹 名古屋大学大学院工学研究科 正 会 員 川崎浩司 西松建設 福本 正

### <u>1. はじめに</u>

台風が幾度なく来襲する日本では、高潮・高波に伴う越波災害を被っている. 1999 年の海岸法の改正によ り、防災のみならず海域の景観や利用の面にも配慮した海岸防災施設のあり方が重要視されている. このよう な社会的要望の下,低天端高で越波防止性能に優れた新しい形式の護岸が開発・検討されている. 一方,建設 コストの縮減により,既存の護岸に越波低減効果を有する対策を施すことで,越波量の低減が試みられている. 川崎ら(2010)は浮体パネルを既設の直立護岸前面に設置した越波低減護岸を考案し,規則波および長周期波を 対象とした水理模型実験によって浮体パネルの有効性を検討した. その結果,浮体パネルが護岸前面の水面変 動に追随し、上下に動くことにより、直立護岸背後への越波流量を大幅に低減できることが判明した. 一方, 浮体パネルの固有周期に対して周期の短い波が作用した場合には,浮体パネルの追随性が低下することが指摘 された. そこで、本研究では、理論と水理模型実験の両面から、入射波周期に対する浮体パネルの上下運動の 基本特性を把握することを目的とする.

### 2. 理論的考察

正弦波で表される規則波が作用した場合の浮体パネル の上下運動 z を,加速度と速度の抵抗を考慮した運動方程 式で表すと,以下のようになる.

 $(M+m)\ddot{z} + N\dot{z} + \rho gA_w z = \rho gA_w Z \sin\omega t$ (1)

ここに, *M*は浮体パネルの質量, *m*は付加質量, *N*は減衰 係数, *A*<sub>w</sub>は浮体パネルの底面積, *Z*は護岸前面における水 面変動の振幅, *ω*は入射波の角周波数である.

式(1)を解くと、次のようになる.



$$z = e^{-\omega_s \zeta t} \left[ \mathcal{C}_1 \cos\left(\omega_s \sqrt{1-\zeta^2}\right) t + \mathcal{C}_2 \sin\left(\omega_s \sqrt{1-\zeta^2}\right) t \right] + \frac{\omega_s^2 Z}{\sqrt{(\omega_s^2 - \omega^2)^2 + 4\zeta^2 \omega_s^2 \omega^2}} \sin\left\{\omega t - \cot\left(\frac{2\zeta \omega_s \omega}{\omega_s^2 - \omega^2}\right)\right\}$$
(2)

ここに,抵抗係数 $\zeta = N/\{2\omega_s(M+m)\}$ および浮体パネルの固有角周波数 $\omega_s = \sqrt{\rho g A_w/(M+m)} = 2\pi/T_s$ である. 式(2)の右辺第1項は自由振動で, $e^{-\omega_s \zeta t}$ が掛っているため,時間とともに減衰する.第2項は強制項である. ここで,強制項について考えると,浮体パネルの上下運動は,以下のように示される.

$$z = \frac{\omega_s^2 Z}{\sqrt{(\omega_s^2 - \omega^2)^2 + 4\zeta^2 \omega_s^2 \omega^2}} \sin\left\{\omega t - \cot\left(\frac{2\zeta\omega_s\omega}{\omega_s^2 - \omega^2}\right)\right\} = \mu Z \sin\{\omega t - \varepsilon\}$$
(3)

ここで, *ε* は入射波に対する位相の遅れを意味する.また, *μ* は護岸前面の水面変動に対する浮体パネルの動揺の比を表している.

 $\mu$ ,  $\varepsilon$ を無次元周期  $T_s/T$  によって整理すると、図-1 に示すようになる. 同図より、浮体パネルの挙動は  $T_s/T$  によって以下のように大別される.

- ・ $T_s/T \rightarrow 0$  : 浮体パネルは波に完全追随する(位相の遅れ= $0^\circ$ ).
- T<sub>s</sub>/T→∞ : 浮体パネルは動揺しない(位相の遅れ=180°).
- ・ $T_s/T=1$  :  $\mu$ はその近傍で極大となり,抵抗 $\zeta$ が小さいほど動揺する.  $\varepsilon$ の変化も大きく  $T_s/T=1$  で $\varepsilon=-90^\circ$ .

### 3. 水理模型実験

名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻の断面2次元造波水路(長さ30m,幅0.7m,高さ0.9m)を

用いて水理模型実験を行った. 図-2 に実験模型の 概要を示す.本実験では,模型縮尺を 1/20 とし, 直立護岸前面に浮体パネルを設置した.浮体パネ ルは,厚さ 3cm,高さ 20cm,喫水 10cmの直方体 の浮体で,潮位または波浪による水位変化に伴い, 高さ 25cm のフレーム内を上下方向に動く形式で ある.また,浮体パネルの固有周期 *T*,は,静水面



図-2 実験模型の概要

上で自由減衰振動する浮体パネルの挙動から算出した.その結果, *T*<sub>s</sub>=0.74s であった.実験は,水深を *h*=42.5cm に固定し,規則波を作用させた.波の非線形効果を小さくするために波高を *H*=1cm とし,周期を *T*=0.5s~2.24s の範囲で変化させて実験を行った.浮体パネルの挙動の測定は,実験水槽側面に設置した高速ビデオカメラで 撮影した動画を動画解析ソフトウェア (Ditect 製: Dipp Motion Pro)を用いて解析した.具体的には,浮体パネル側面に設置した円印を相関追尾することによって,浮体パネルの時々刻々の座標を算出した.また,容量 式波高計を用いて,直立護岸前面における水面変動も同時に計測した.

図-3(a)~(c)に, *T<sub>s</sub>*/*T*=0.33, 0.99, 1.14 の場合における護岸前面水位と浮体パネルの上下運動の時系列変化を それぞれ示す. *T<sub>s</sub>*/*T*=0.33 の場合, 浮体パネルは水面変動に良く追随しながら上下運動する様子が確認できる.

*T<sub>s</sub>/T*=0.99 の場合,浮体パネルの上下運動が水面変動に 比べて大きく,共振が認められる.また,水面変動の ピーク時に浮体パネルの変位が0であることから,位 相が約90°遅れていることがわかる.最後に,*T<sub>s</sub>/T*=1.14 の場合,浮体パネルの上下運動は水面変動と逆位相と なっている.

次に,護岸前面水面変動と浮体パネルの上下運動の 振幅比 $\mu$ ,および水面変動と浮体パネルの運動の位相差  $\varepsilon$ [°]と $T_s/T$ の関係を図-4に示す.同図より, $T_s/T$ =1 付近で共振による振幅比の増大がみられ, $T_s/T$ =0.99で 極大値 $\mu$ =3.8を示した.また, $T_s/T$ が0に近づくと $\mu$ は1に漸近し, $T_s/T$ が1より大きくなると $\mu$ の値は減 少している.一方,位相差 $\varepsilon$ は $T_s/T$ が小さい時は0で あるが, $T_s/T$ =0.85付近から急激に変化し, $T_s/T$ =1で  $\varepsilon$ =-90°を通る曲線を描き,最大 $\varepsilon$ =-160°付近にまで達 している.また,図-1と図-4の比較から,実験結果は, 入射波周期に対する浮体パネルの上下運動特性に関し て定性的に理論とよく一致することがわかった.

## <u>4. おわりに</u>

本研究では,理論と水理模型実験の両面から浮体パ ネルの上下運動特性を検討した.その結果,理論によ って浮体パネルの挙動を表現できることが示され,本 研究成果は越波低減浮体パネルの実現化に設計面にお いて役立つものといえる.

#### [参考文献]

川崎ら(2010):土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.741-745.



