

# 浅海域の波無し浮体形状と波浪応答

九州大学大学院 学生員○成合 功光

九州大学総理工 正 員 経塚 雄策

## 1 はじめに

コラム・フーティング式やセミサブ式の海洋構造物では、特定の周期の波に対して波浪強制力が0になる場合があり、それらを設計するときには、その「波無し」特性を利用することにより、波浪中、動揺性能の優れた海洋構造物を作ることができる。この理論的な説明は「別所の波無し理論<sup>1)</sup>」によって確立され、実用的な形状の提案や実験による確認などへと発展してきた。これはハスキントの定理によって、「静水中で動揺するときに発散波を造らなければ、逆に波浪中で波浪強制力を受けない」という相反定理に基づいている。ただし、これまでの研究は無限水深中での問題に限られており、浅海における波無し浮体形状がどのようなものであるかについてはまだ知られていない。本研究では、浅海域の波無し特異点によって、2次元および3次元軸対称浮体形状を求めるとともに、得られた浮体形状の波浪強制力の特性を計算と実験によって確認することを試みたので報告する。

## 2 理論解析

### 2.1 3次元軸対称問題

図-1の座標系において、3次元吹き出しの速度ポテンシャル $\phi_S^{3D}(x, y, z; \xi, \eta, \zeta)$ は、級数展開表示では次式で与えられる。

$$\phi_S^{3D} = -4\pi \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(k_n^2 + K^2) \cos k_n(h-\zeta) \cos k_n(h-z)}{h(k_n^2 + K^2) - K} K_0(k_n R) + 2\pi i \frac{(k_0^2 - K^2) \cosh k_0(h-\zeta) \cosh k_0(h-z)}{h(k_0^2 - K^2) + K} H_0^{(2)}(k_0 R) \quad (1)$$

$$\text{ただし } R = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2} \\ K = \omega^2/g = k_0 \tanh k_0 h = -k_n \tan k_n h$$

3次元波無し特異点は

$$\phi^{3D}(R, z; 0, \zeta) = \{K_3 + \frac{\partial}{\partial \zeta}\} \phi_S(R, z; 0, \zeta) \quad (2)$$

とし  $R \rightarrow \pm\infty$  で発散波が0になるために

$$K_3 = k_0 \tanh k_0(h-\zeta) \quad (3)$$

とすればよい。波無し浮体形状は、上下揺の物体表面条件を考慮して

$$\Phi^{3D}(R, z; 0, \zeta) = -z + m\phi^{3D}(R, z; 0, \zeta) \quad (4)$$

とおき、停留点近傍から出発する流線を流線追跡法で求めれば得られる。

### 2.2 2次元問題

2次元問題では、(1)を次式で置き換えれば同様となる。

$$\phi_S^{2D} = -4\pi \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos k_n(h-\zeta) \cos k_n(h-z)}{2k_n h + \sin 2k_n h} e^{-k_n|x-\xi|} + 4\pi i \frac{\cosh k_0(h-\zeta) \cosh k_0(h-z)}{2k_0 h + \sinh 2k_0 h} e^{-i k_0|x-\xi|} \quad (5)$$

## 3 数値計算結果

図-2は水深が浮体喫水の2倍の場合の波無し特異点の位置(×印)による浮体形状の変化を表したものである。この例から分かるように波無し浮体形状は特異点の位置によって無限の選択ができ、唯一に定まらない。これを図-3の水深無限大のもの<sup>2)</sup>と比較すると、浅海影響の特徴として形状を細くすることが分かる。図-4は波無し形状で重要な意味を持つ最大幅と水面幅を浅水深( $h=2d$ )と水深無限大とで比較したものであるが、双方とも特異点位置による形状への影響は同じような傾向を示している。図-5は特異点の位置を一定にして水深を変化させたものであるが、水深による影響は比較的小さい。

## 4 模型実験

3次元模型の実験には平面造波水槽( $L \times B \times D = 12m \times 6.0m \times 1.0m$ )を使い水深を0.4mとした。模型喫水(d)を0.2m、波無し周期Twを1.0sec( $Kd=0.805$ )と設定した。図-6に模型の断面を示す。実験は規則波で行い、3分力計(5 Kg)で波浪強制力を計測した。なお波高は約4cm、計測時間を30秒とし計測波形をフーリエ解析した。2次元では2次元造波水槽( $L \times B \times D = 16m \times 0.3m \times 0.6m$ )を使い3次元のときと同様に行っているが、ここでは割愛する。

## 5 実験結果

図-7は3次元軸対称模型での波浪強制力の理論値との比較である。理論値は3次元特異点分布法によって計算した。上下揺れの結果をみると、設計段階における波無し点は $Kd=0.805$ であるのに対し、実験結果は $Kd \approx 0.9$ 付近にずれているようにみえる。この原因としては使用した入射波高が相対的に大きかったことによる非線形影響や粘性影響などが考えられるが、全般的には理論値と実験値の対応はとれていることが分かる。左右揺れについても同様のことが言える。

## 6 おわりに

本報告では、浅海域における波無し形状を波無し特異点を用いる方法で求めてみた。その結果、波無し形

状に対する水深影響は最大幅や水面幅の減少として表れるが、その程度は比較的小さなものであること、浅海域の波力応答は浮体形状に大きく依存するということがわかった。

#### 参考文献

- [1] 別所正利: 日本造船協会論文集、第117号(1965)、pp.127-138.
- [2] Kyoizuka, Y. and Yoshida, K.: Applied Ocean Research, Vol.3, No.4(1981), pp.183-194

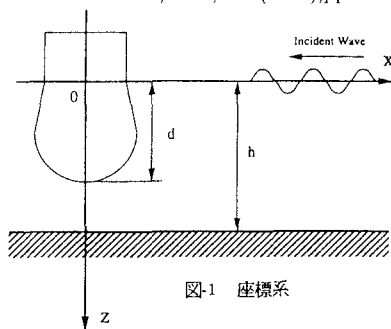


図-1 座標系

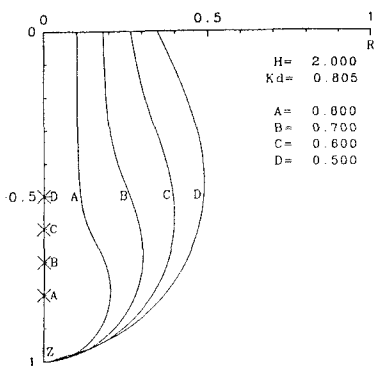


図-2 特異点による形状変化 (3D,  $h/d=2.0$ )

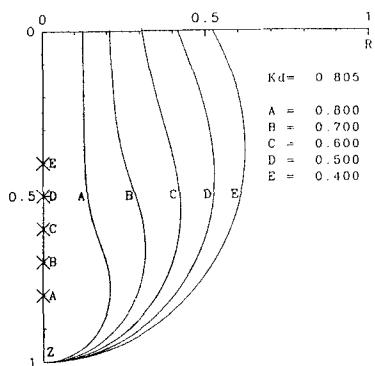


図-3 特異点による形状変化 (3D,  $h/d=\infty$ )

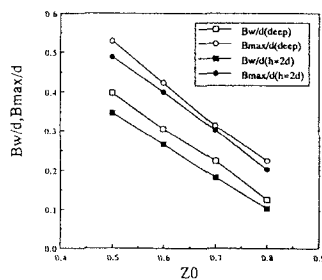


図-4 特異点と水面幅、最大幅 (3D,  $Kd=.805$ )

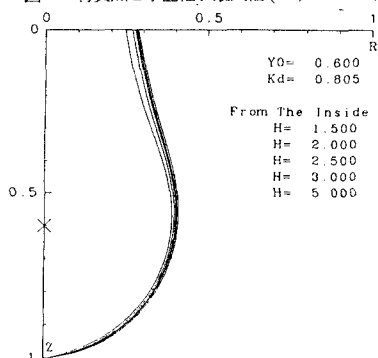


図-5 水深と波無し形状 (3D,  $Kd=.805$ )

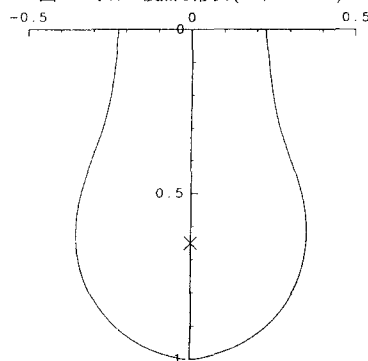


図-6 模型断面図 (3D)

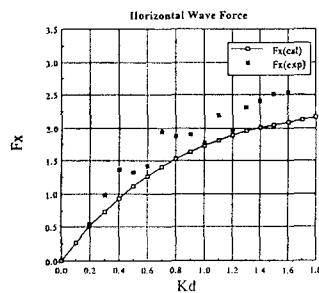
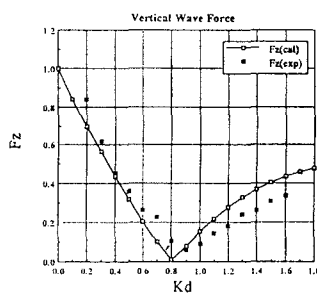


図-7 波浪強制力応答 (3D)