

非線形回折波力算定方法について

名古屋工業大学 正 員 喜 岡 渉
名古屋工業大学 学生員 ○浅 田 勝 頼

1. はじめに

通常設計外力として考慮されるような波形勾配の大きい入射波に対して、回折波力进行計算する場合、波の非線形性の影響を的確に評価しておくことが重要である。こうした問題については、大口径円柱に対して従来より検討されており、Stokesの第2次近似理論^{1), 2)}、cnoid波の第1次解³⁾および孤立波の第1次解⁴⁾に基づく波力算定式が誘導されている。本研究では、波力係数の特性および、回折波の砕波限界に関連づけて、これら非線形回折波理論の近似解の適用性について若干の検討を行った。

2. 波力係数の算定式

Stokes型のせつ動法を用いることにより、喜岡・石田¹⁾は、第2次近似解として自由表面についての無限積分で示される次式を得た。(ただし、2次の速度ポテンシャルによる波力項のみにについて示す。)

$$\frac{F_2}{\rho g (H/2)^2} = \text{Re} \left\{ e^{-2i\omega t} \int_0^\infty f(r) g(r) dr \right\} \quad \dots \dots (1)$$

ここに、 $f(r)$ は、 k :波数、 a :円柱の半径、 $\nu = \omega^2/g$ 、およびBessel関数 $J_n, J_n', H_n^{(1)}, H_n^{(1)'}$ によって表示される自由表面境界条件の非線形項を示す関数で、 $g(r)$ は、 h :水深、 $k_n: 4\nu = -k_n \tanh k_n h$ の正の実根、およびBessel関数 $K_1, K_1', H_1^{(1)}, H_1^{(1)'}$ により表示される倍周波数のradiationポテンシャルを示す。一方、cnoid波理論に基づく第1次解としてIsaacson³⁾は、次式を求めている。

$$\frac{F}{\rho g H a h} = \frac{4}{k a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{n H_1^{(1)'}(n k a)} e^{-in\omega t} \quad \dots \dots (2)$$

ただし、 A_n は、母数 k に対して数値的に求める必要がある係数である。なお、係数 A_n は、 $k \rightarrow 1$ では収束しないが、Isaacson⁴⁾によって孤立波理論の第1次解が $H_n^{(1)'}(ka)$ の無限積分形で与えられている。

3. 回折波の砕波限界

入射波の波形勾配 H/L が進行波の砕波限界波形勾配より小さい場合にも、波と構造物の干渉によって構造物前面に砕波が発生する。こうした回折波の砕波は全波力に対しても著しい影響を及ぼすことが考えられるので、ここでは円柱周辺で生じる砕波発生限界について検討することとした。

砕波条件として、円柱壁面上で重複波の砕波条件と同様に式(3)を適用する。

$$\left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)_{\max} = -g \tanh^2 k h \quad \dots \dots (3)$$

線形解により $\partial w / \partial t$ を求めると、砕波限界として次式を得る。

$$\frac{H}{h} = \frac{2 \tanh k h}{k h a b s \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \beta_n \left[\frac{2 i}{\pi k a H_n^{(1)'}(k a)} \right] \cos(n\theta) \right\}} \quad \dots \dots (4)$$

ここに、 $\beta_0 = 1$ 、 $\beta_n = 2i^n$ ($n \geq 1$) である。式(4)から明らかなように、砕波限界は比水深 kh のみならず回折波パラメータ ka の関数として示される。

4. 解析結果とその考察

式(1),(2) から、与えられた比水深 h/L の値に対して回折パラメータ ka と波形勾配 H/L の値を変化させて波力係数を求めた。図-1 は計算結果の一例で、波力係数に対する非線形解と線形解の比を実験値⁵⁾とともに示したものである。式(1) によるStokes第2次解は同様な方法に基づいて誘導されたRahman²⁾の結果と一致する。なお、ここで示した範囲では H/D が0.75以下であることから後流渦の影響は無視できると考えてよい。 $h/L = 0.136$ と 0.153 のケースにおいては、Stokes第2次解はやや過大値を与えるものの実験値と良く一致している。また、入射波の砕波限界波形勾配の1/4以下の範囲については線形解の適用性が良い。cnoid波理論の適用範囲と考えられる $h/L = 0.09$ のケースでは、Stokes第2次解は実験値に対して過小な値を与え、平均的に見ればcnoid波理論の第1次解との適合性が良い。ただし、近似オーダーの差異による適合度は、データ数が少なく H/L が比較的小さい場合に限られているので明らかではない。ここで検討した範囲内(アールセル数 $Ur = HL^2/h^3$ が27以下)については、回折波波力の算定においても進行波の適用範囲の結果と同様に、 h/L が0.1以下では式(2)によるcnoid波理論解が適用されるといえる。

なお、回折波の砕波限界についても式(4)の計算結果を実験値とも比較することにより具体的な検討を行ったが、その結果については講演時に報告する。

最後に、本研究は日本鋼管㈱からの研究助成金によって行われたことに付記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 喜岡・石田, 第31回海講, pp620~624, 1984.
- 2) Rahman, Applied Ocean Research, vol.6, pp90~100, 1984.
- 3) Isaacson, Proc. A.S.C.E., vol.103, No. WW1, pp69~82, 1977.
- 4) Isaacson, Proc. A.S.C.E., vol.109, No. WW1, pp121~127, 1983.
- 5) Mogridge・Jamieson, National Research Council Canada, MH-111, 1976.

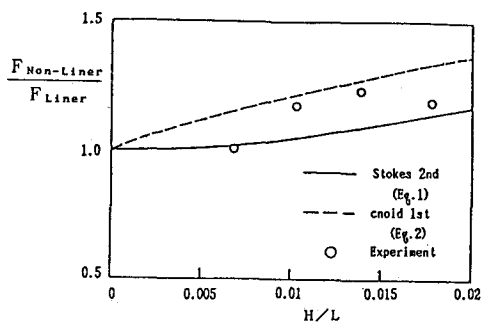
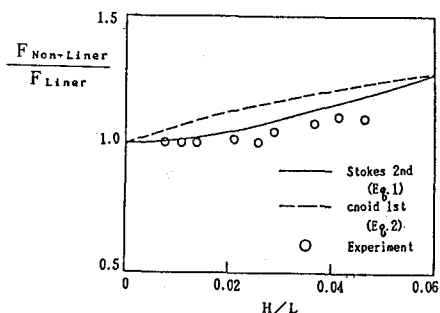
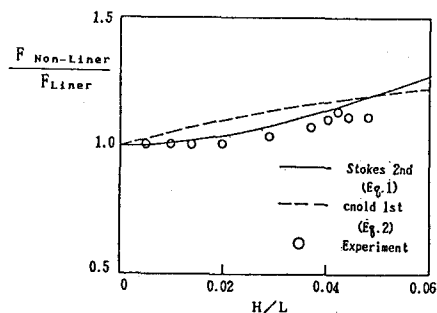
(a) $h/L=0.090$, $ka=0.18$ (b) $h/L=0.136$, $ka=0.27$ (c) $h/L=0.153$, $ka=0.25$

図-1 波力係数の比較