

底版型潜堤と波との干渉に関する非線形解析

九州大学工学部 学生員○三原泰司 正員 入江 功
九州共立大学工学部 正員 小島治幸

1. まえがき

近年、海岸の景観を損なう保全施設(離岸堤など)の設置が困難となってきたため、離岸堤の潜堤化などが採用され始めているが、開口部における沖向きの流れで浮遊砂が堤体外へ流出することがあるため、海浜の安定のためには必ずしも有効ではない。そこで、海浜保全に有効な海浜流を起こす可能性のある構造物の開発が考えられ、その一形式として底版型潜堤が提案されている¹⁾。

本研究では著者らが示したポテンシャル接続法の非線形解析²⁾により、潜堤近傍で起こる渦によるエネルギー損失を考慮し、高周波成分波や波力特性の効果を調べ、潜堤の最適な形状を解析的に明らかにすることを目的とする。

2. 解析方法

図-1 に示すような海域にある底版型潜堤(複列没水水平版)を対象として、 x の正方向から有限振幅波が入射する場合を考え、1 次のオーダーの波(微小振幅波)の振幅を ζ_0 、波数を k 、角周波数を $\sigma(=2\pi/T:T$ は周期)で表す。解析法は、摂動展開法によって2 次のオーダーまで考慮した速度ポテンシャルに関する定常非線形解析法である。このとき、水平版両端で起こる渦等によるエネルギー損失の効果を取り入れるため、水平版の端点における仮想鉛直境界面での流速の2 乗に比例する抵抗と流体の加速度に比例する抵抗により表せると仮定する。それらの係数を C_D, C_M とすると、境界面($x=a$)では、圧力の連続条件より次の式が得られる。

$$\frac{1}{\rho}(p_1 - p_2) = -\frac{1}{2}C_D|v_1|v_1 - C_M\frac{\partial v_1}{\partial t} \quad (1)$$

Lorentz の等価仕事則を用いて上の式の右辺の時間に関する非線形項を線形化し、流体圧力と流速を速度ポテンシャルで表して、境界条件とした。この境界条件を、水面を有する領域の1 次のオーダーのポテンシャルの連続条件にのみ取入れ、水平版の下領域および2 次の連続条件には導入していない。これらの条件より得られる未定係数に関する連立一次方程式を解いて未定係数を決めることになるが、速度ポテンシャルの条件式には、非線形項が含まれるから、繰り返し計算を行って解を求めた。

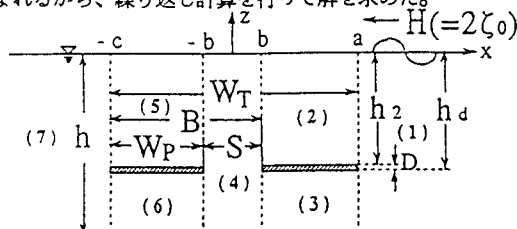


図-1 底版型潜堤の諸元

1 次と2 次の未定係数が決まれば速度ポテンシャルが決まり、Bernoulli の式より水面波形と波力を求めることができる。従って、入射側に位置する水平版に作用する無次元の鉛直と水平波力 F_z, F_x は1 次と2 次の波圧分布、 $p_1^{(1)}$ と $p_1^{(2)}$ から次式で与えられる。なお、上付きの(1)と(2)は、1 次と2 次の成分を表すこととする。

$$F_z = \frac{f_z(x, z)}{\rho g \zeta_0 W_p} = \int_b^a \left\{ p_3^{(1)}(x, z, t) + \epsilon p_3^{(2)}(x, z, t) \right\} dx - \int_b^a \left\{ p_2^{(1)}(x, z, t) + \epsilon p_2^{(2)}(x, z, t) \right\} dx \quad (2)$$

$$F_x = \frac{f_x(x, z)}{\rho g \zeta_0 D} = \int_{-h_d}^{-h_2} \left\{ p_4^{(1)}(x, z, t) + \epsilon p_4^{(2)}(x, z, t) \right\} dz - \int_{-h_d}^{-h_2} \left\{ p_1^{(1)}(x, z, t) + \epsilon p_1^{(2)}(x, z, t) \right\} dz \quad (3)$$

3. 解析法の検証

理論解析法の検証を1 列と複列水平版について行う。

(1) 1 列没水水平版 図-2 は、版長 $W_p/h = 2.00$ 、版上水深 $h_2/h = 0.25$ 、版厚 $D/h = 0.05$ の水平版に波高 2.8cm の波が入射するときの、通過波の1 次と2 次の振幅比を示したものである。 C_D を変えると $\zeta^{(1)}/\zeta_0$ の理論値が実験値に近づくが、 $\zeta^{(2)}/\zeta_0$ の理論値は実験値に比べ大きく、さらに改良が必要である。図-3 に通過率に対して最適な C_D (この例では、 $C_D = 1.0, C_M = 0.0$) を用いて計算を行った鉛直力の理論値と実験値を示している。loss はエネルギー損失を考慮したもので、no loss は考慮せずに計算したものである。この図より損失を考慮すると理論値と実験値がほぼ一致することがわかる。また、2 次の成分は1 次に比べ非常に小さい値となっており、波力に対しては1 次の成分が支配的となっている。

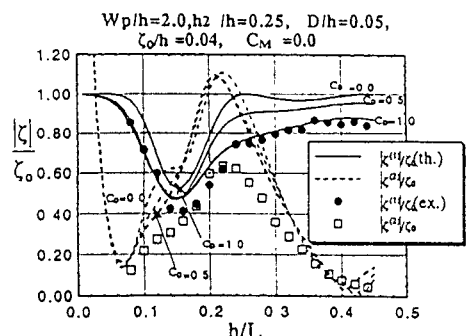


図-2 通過波の振幅比

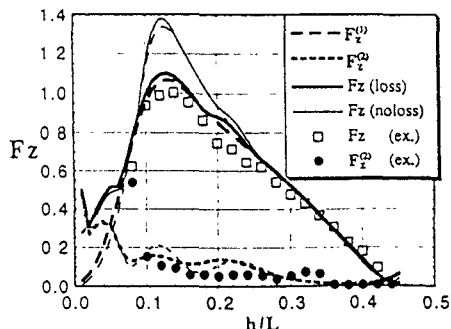


図-3 鉛直力の比較

(2) 複列没水水平版 $W_p/h = 2.50, S/h = 0.5, h_2/h = 0.50, D/h = 0.05$ の複列水平版に波高 2.8cm の波が入射するときの、1 次、2 次の通過波の振幅比 ($\zeta^{(1)}/\zeta_0, \zeta^{(2)}/\zeta_0$)、波高比 (H/H_0)、2 乗平均の振幅比 (ζ_{RMS}/ζ_0) の理論値と実験値を図-4 に示した。理論値と実験値の一致は、定性、定量的に十分に満足いく結果が得られた。また、3 種類の異なる定義の通過率を示しているが、高周波成分が励起される場合、通過率の定義の方法によりその値が異なるので注意が必要である。

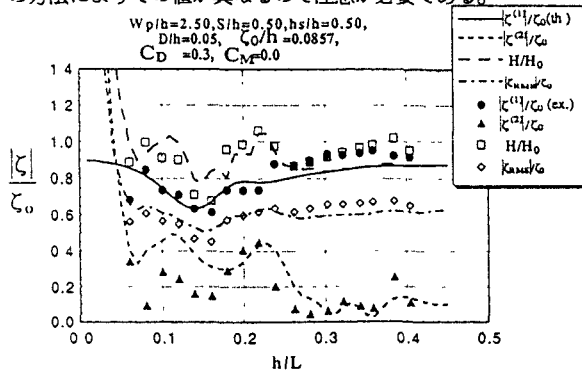


図-4 2 列没水水平版の通過波の振幅比

4. 底版型潜堤の最適断面

ここでは版間隔についてのみ考察する。図-5 は、上図が、 $W_T = 5.50$ の一定で、 S/h を変化させたときの入射波に対する 1 次、2 次の振幅比を示したものである。版の間隔が広いほど $h/L = 0.11$ 付近における $\zeta^{(1)}$ の極小値は大きく、 $h/L = 0.22$ 付近では逆に小さくなり、 $\zeta^{(2)}$ についてはこれとは逆の傾向を示している。特に、間隔が大きくなるにつれ、 $h/L = 0.20 \sim 0.22$ で 2 次成分が増大する現象が顕著に現れ、これが入江ら (1991) が示した測定の通過率の異常な低下の一因であると考えられる。下図の 2 次の水位上昇量の入射波に対する比についても、値は小さいが $\zeta^{(2)}$ と似た傾向を示している。これらの結果と波力の結果から、版間隔が狭いときは $h/L = 0.15$ 、広いときは $h/L = 0.23$ 付近で 1 次の通過率が最小値となる。後者の場合、高次の成分が増大し顕著な波分裂が起こり波長短縮効果も期待できる。また、水位上昇量、鉛直、水平波力とも $h/L = 0.15$ の間隔が狭いときの値よりも $h/L = 0.23$

の間隔が広いときの値の方が小さくなっている。従って、版間隔が広く版の実質部分の長さが短い方が底版型潜堤の断面として有利であると考えられる。

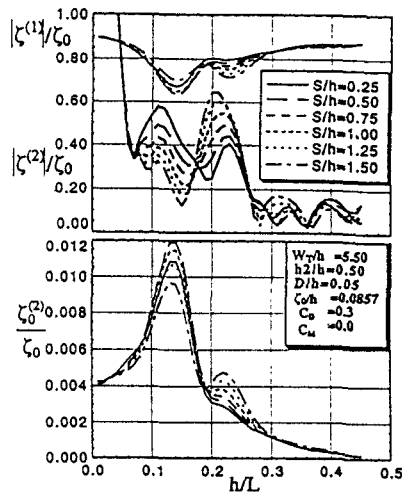


図-5 版間隔の 1 次、2 次の振幅と 2 次の水面水位

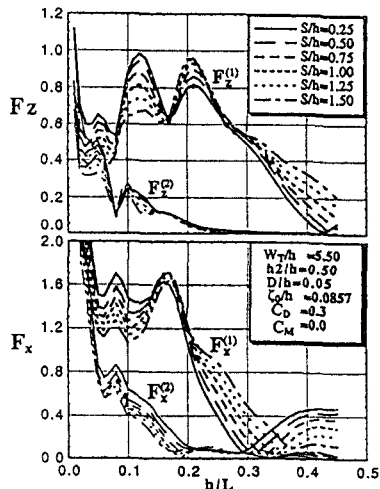


図-6 入射側の版の鉛直力と水平力

5. あとがき

底版型潜堤の非線形解析法を検証し、その解析結果より版間隔が広い断面が有効であることを示した。版間隔をどの程度広げることが可能か、計算中であり、さらに版厚や板の配置などの検討もしており講演会で発表する。

参考文献

- 1) 入江功ら (1991): 底版型潜堤の波浪減殺効果, 海岸工学論文集, 第 38 巻
- 2) 小島治幸・吉田明徳・鶴本良博 (1989): ポテンシャル接続法 (選点解法) を用いた有限振幅波の境界値問題解析法, 平成元年度 土木学会西部支部研究発表会 講演概要集, pp.276-277