

ハイブリッド消波堤の波力特性

九州共立大学 ○学生員
九州大学大学院 正会員

三木 直也 正会員 小島 治幸 小林 久夫
入江 功

1.はじめに

現在、比較的大水深域で広範囲の海域を静穏化するための構造物として、没水水平版や浮体構造物が考えられている。これらの構造物の消波効果については、多くの研究がなされている。没水水平版は比較的波長の長い波に対して優れた消波効果があり、浮体構造物は短波長の波に対してすぐれた消波効果がある。これらの特徴から2つの構造物を組み合わせたハイブリッド消波堤が提案されている。ハイブリッド消波堤の一形式として、浮体の真下に水平版を設置し、水平版付きポンツーンの一体構造形式が考えられる。この堤体は、鉛直グイで固定されるか、鉛直グイとローラーとによって鉛直方向のみの運動が許容される2つの構造が考えられる。本研究は、鉛直運動を許容した構造形式とした消波堤の波力特性を理論計算と水理実験により明らかにすることを目的とする。このとき、規則波の場合を考える。

2.実験方法と条件

水理実験は、全長30.0m、深さ0.7m、幅0.5mの2次元造波装置を用い、水槽の水深を40cmに固定した。堤体は、アクリル製で、堤体幅 $B=16$ cm、堤体が静止しているときの喫水は $d_f=6.0$ cmで、他の諸元は図-1に示すとおりである。堤体には、4本の支柱がついており、それらをガイドとして堤体が上下運動できるような構造になっている。堤体は支柱とボールベアリングで接している。実験における波力測定には、圧力計を用いた。水平波力の測定の場合、堤体のほぼ中央の位置に水面からの深さ1.5cm、4.5cm、そして水面下10.5cmのそれぞれ前後、計6ヶ所に圧力計を取り付けた。鉛直波力の場合、浮体の

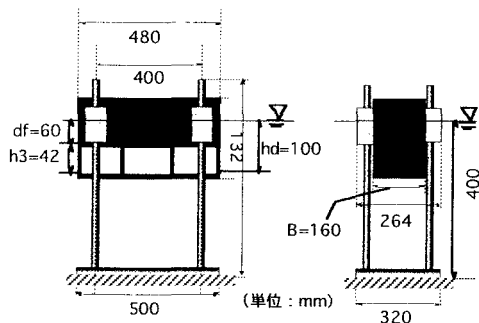


図-1 ポンツーン模型図

底面(深さ6.0cm)、水平版上面(深さ10.0cm)、水平版下面(深さ11.0cm)それぞれ3面に堤体の入射波側から2.65cm、8.0cm、13.35cmの3ヶ所に圧力計を取り付けた。入射波は規則波を用いた。入射波の諸元は、波高 $H_0=3$ cm、6cmの2通りで、周期を $T=0.57$ 秒から2.15秒まで変化させた。これらの波圧計から得られる圧力変化をデジタルレコーダーによりサンプリング周波数20Hzで1500個のデータを収録した。このデータより圧力の振幅を求め、その値に各圧力計が分担する受圧面積を掛けることにより水平と鉛直波力を算定した。

3.解析方法

図-2に示すような堤体に、 x の正方向から微小振幅波が入射する場合を考え、流体域を鉛直の境界面によっていくつかの一定水深 h_i ($i=1, 2, \dots$)の領域に分割する。流体運動は、速度ポテンシャル $\phi(x, z, t)$ が存在すると仮定する。堤体は鉛直方向のみの運動をし、任意時刻における重心の z 座標を z_0 、鉛直変位を η とする。各領域のポテンシャル関数は、自由表面を有する領域(1)、(4)では、自由水面条件と水底面の不透過境界条件を満足するラプラス方程式の解が求まる。ポンツーンと水平版が鉛直運動することにより変動境界面を持つ流体域(2)と(3)では、境界面の鉛直流速がフーリエ級数展開式で表わせると仮定して、その境界条件を満足するポテンシャル関数が求まる。堤体の質量を M 、それに作用する流体力の鉛直合力を F_z 、静水圧による復元力を F_b 、ローラーによる抵抗力を F_r とすると、堤体の運動方程式は次式で表わせる。

$$M \frac{d^2 z_0}{dt^2} = F_z + F_b + F_r$$

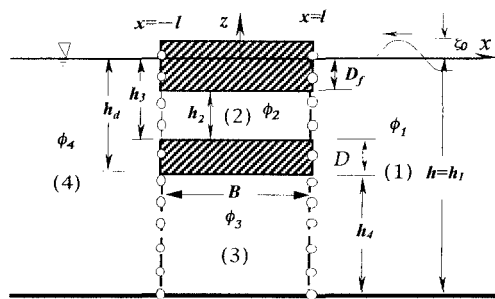


図-2 構造物の断面形状と諸元の記号

ここで、ローラーのサポートシステムによる抵抗力は、堤体鉛直運動の速度の2乗に比例するとしてその係数を $\gamma_n \cdot \eta^* = \eta / \xi_0$ とすると、次式で与えられる。

$$F_y = -2\rho g l \frac{\gamma_n}{g} \left| \frac{\partial \phi}{\partial t} \right| \frac{\partial \phi}{\partial x} = 2\rho g l \xi_0 \gamma_n \frac{\sigma^2 h \xi_0}{g} \frac{1}{h} |\eta^*| \eta^* \exp(i\sigma t)$$

この運動方程式とポテンシャル関数および速度ポテンシャルと流速の連続条件より未定係数に関する連立一次方程式を得ることができる。適当な抵抗係数 γ_n を与えることにより、この方程式を選点解法で解くと未定係数がきまる。水平波力は、ポテンシャル関数 ϕ_1 と ϕ_4 を堤体の受圧部分に対して z 方向に積分することにより求められる。同様に、鉛直波力は ϕ_2 と ϕ_3 を x 方向に積分して求めることができる。

4. 結果と考察

図-3は、入射波高6cm 相対水深 $h/L=0.70$ における堤体前面に作用する水平圧力の時間波形の一例を示している。CH1が深度1.5cm, CH2が深度4.5cm, CH3が深度10.5cmにおける圧力を表している。水面に近いCH1では、圧力変化が途中で切られたような波形になっている。これは、圧力計が水面から出てしまい、計測できないためである。

図-4は鉛直運動を許容する場合、図-5は固定した場合の水平波力係数 $F_x / \rho g \xi_0 h$ を示している。各図には上図に入射波高3cm, 下図に6cmの水理実験値(マーク)と理論計算値(曲線)を示している。図中の F_{x_f} は堤体前面, F_{x_b} は堤体後面, F_x は F_{x_f} と F_{x_b} の合力を表している。図-4の $H_0=3$ cmで鉛直運動を許容した場合、前面と後面に作用する水平波力 F_{x_f} , F_{x_b} の計算値は、相対水深が小さいところ以外は実験値と定性的、定量的にそれなりに合っている。そのため全水平波力も計算値と実験値の一致は良好である。ただし、相対水深が $h/L=0.45 \sim 0.70$ のところで実験値が計算値より小さくなっており、入射波高が大きくなるほど、相対水深が広い範囲で実験値と計算値は合わなくなる。また、図-5に示しているように固定の場合ほど、この傾向は顕著に表れている。これは、図-3で見られるように水面が下降するとき、水面に近い圧力計が水面から出てしまうことを考慮すると、計算値を算定するときの積分範囲が問題である。

5. あとがき

水平波力の理論計算に関しては、積分範囲を静水面からとると実際の波力とは大きく異なることになる。鉛直波力に関しては、現在、実験をすすめているところであり、講演時にその結果を発表する。

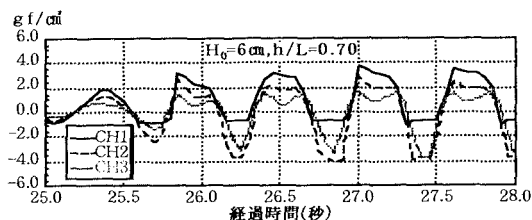


図-3 堤体前面における水平圧力の時間波形

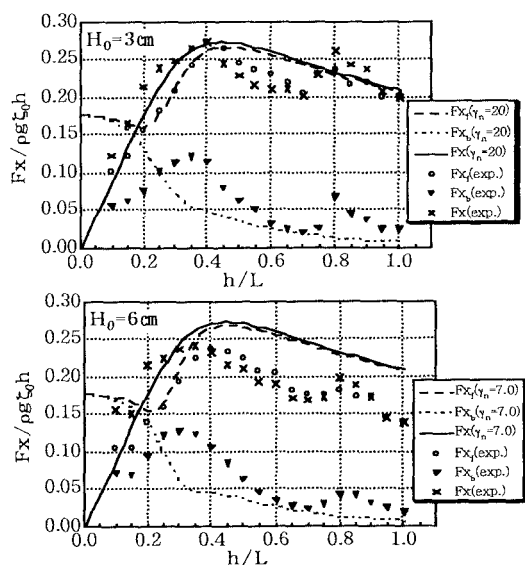


図-4 鉛直運動を許容した場合の水平波力

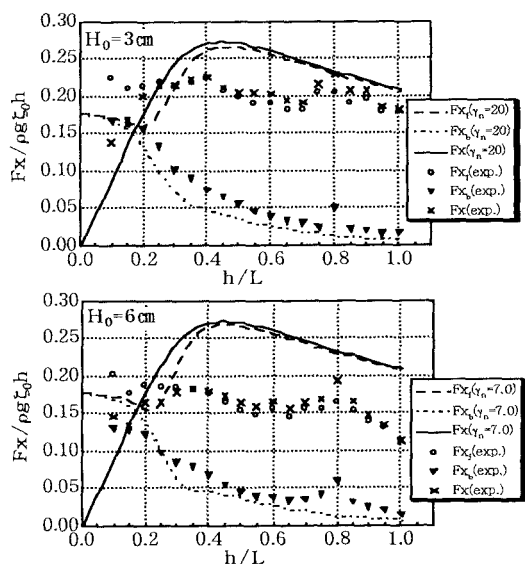


図-5 固定した場合の水平波力