

山形粗度に作用する最大波力の特性に関する実験的研究

名古屋大学工学部 正会員 ○ 富田 孝 史
 名古屋大学大学院 金 俊 圭
 名古屋大学工学部 正会員 岩田好一朗

1. はじめに：開放性沿岸海域に建設された海域構造物基部周辺の未固結砂岩・泥岩の互層岩盤が波により洗掘される事例が、ここ数年前から報告され始めている。この岩盤に作用する流体力には慣性力や抗力などが考えられるが、岩盤の洗掘がどのような流体力に起因しているのかは明らかにされていない。本研究は、岩盤の洗掘機構を解明する基礎として、砂岩・泥岩の互層の突出部を山形粗度に近似し、山形粗度に作用する波力の特性を粗度の幾何形状と関連づけて水理実験によって解明することを目的とする。

2. 水理実験：本研究で対象とする未固結砂岩・泥岩の互層岩盤の突出部の幾何形状にともなう突出部に作用する波力の特性を検討するために、突出部を図-1に示すような左右対称な山形粗度によってモデル化する。この山形粗度に作用する水平および鉛直方向波力を計測するために、アルミ材の山形粗度を使用して図-2に示すような水平および鉛直方向波力計を作成した。これらの波力計の静的な作用力による検定結果は、図-3に示すように計測対象波力の間ではほぼ線形であった。実験に使用した水槽は名古屋大学工学部土木工学教室の片面ガラス張り2次元鋼製水槽であり、波力計を設置するために前面に1/14勾配の斜面をもつ水平床を水槽内に設置した。山形粗度の相互干渉効果を検討するために、波力計の前後の約1.5~2波長間に山形粗度を水平床上に敷きつめた場合と波力計のみを設置した場合の2種類の実験を行なった。水平および鉛直方向波力計は波進行方向に対して直角に並べて設置した。発生波は、静水深 $h=33.3\text{cm}$ で周期 T を2種類(1.1、1.8s)、波高 H を4種類(8、12、15、20cm)変化させたうちの合計6種類である。なお、水平および鉛直方向波力計の固有周波数はそれぞれ41Hzと44Hzであり、本実験の範囲では作用波と波力計の共鳴干渉はないものと考えられる。計測は、山形粗度に作用する波力の他、粗度上の変動水位および粗度周辺の流速をそれぞれ容量式水位計と2成分電磁流速計あるいはプロベラ式流速計によって行なった。

3. 実験結果および考察：図-4(a)、(b)および(c)、(d)は、それぞれ1つだけの山形粗度(single)と3~4波長間に山形粗度を敷きつめた場合の中央の粗度(multiple)に作用する水平と鉛直方向無次元波力(F_x/F_{x_m} 、 F_z/F_{z_m} ； F_{x_m} と F_{z_m} は水平と鉛直方向最大波力)、および粗度上の無次元水面変動(η/H)の時間波形の代表例を示したものである。図に示した場合の粗度の重心位置の水平方向最大流速 u_m に対し、微小振幅波理論を適用して得られる値は(a)と(c)は20.4cm/s、(b)と(d)は35.1cm/sである。これらを使用してK.C.数($u_m T/\lambda$ ； λ は粗度底部の長さ)を計算すると(a)と(c)は6.4、(b)と(d)は18.4である。水面と水平方向波力の時間波形の間には $T/4$ の位相差が認められ、水平方向波力は水平方向加速度の位相と一致し、慣性力によって大きく支配されている。これはK.C.数の値から見ても妥当なものである¹⁾。しかし、K.C.数が大きくなると尖鋭的に大きな波力が生じるようになり、これには抗力の影響があるものと予想される。粗度が1つだけの場合と多列の場合の水平方向波力の時間波形を比較すると、K.C.数が小さな場合には大きな変化は認められないが、K.C.数が大きな粗度1つだけの場合(図-4(b))に見られる尖鋭的な波力波形は、多列の場合(図-4(d))には認められなくなる。鉛直方向波力は、水面が静水面よりも上にある場合には下向きに、水面が静水面よりも下にある場合には上向きに作用しており、静水面を基準にしたときの粗度上の水柱の重量の変動に対応して変動すると考えられる。鉛直方向波力の時間波形では、粗度1つの場合と多列粗度の場合の間には大きな差異はないが、K.C.数が小さな場合には1周期間に1つの極大値と1つの極小値をもつ波形であるのに対し、K.C.数が大きな場合には1周期間に複数の極大値と極小値をもつ波形になる。このK.C.数にともなう波形の変化には抗力が大きな影響を及ぼすものと思われる。

図-5は、多列粗度の場合の無次元水平方向最大波力($F_{x_m}/\rho u_m^2 \lambda^2$)とK.C.数($u_m T/\lambda$)の関係を示したものである。非砕波の場合、無次元水平方向最大波力は、K.C.数が約20以下では概ねK.C.数の-1乗に比例しており、慣性力が支配的な力であると考えられる。しかし、時間波形から(例えば図-4(d)参照)、K.C.数が約10以上の場合には、粗度からの渦の吐き出しにともない作用する抗力も重要な力になると予想される。また、砕波が生じる場合には、 u_m の評価法にも問題はあるが、本実験の範囲では無次元水平方向最大波力は非砕波の場合よりも若干小さくなる傾向が認められる。岸向き(+向き)に作用する最大波力と冲向き(-向き)の最大波力を比較すると、K.C.数が10以下では冲向きの方が大きく、K.C.数が10以上では岸向きの方が大きくなる傾向が認められる。これについては、底面近傍の定常流に起因する波力の評価を行なう必要があると思われる。

図-6は、無次元鉛直方向最大波力($F_{z_m}/\rho u_m^2 \lambda^2$)とK.C.数の関係を示したものである。無次元鉛直方向最大波力はK.C.数が約10以下ではK.C.数の-1乗に比例し、K.C.数が約10以上ではK.C.数によらず一定値になり、抗力が重要な力になっていることが認められる。また、K.C.数にかかわらず上向きの最大波力の方が下向きのものよりも大きい。

4. おわりに：今回の研究では、左右対称な山形粗度に作用する波力を水理実験から検討した。今後は、左右非対称な山形粗度に作用する波力や、波力の特性を粗度周辺の流況と関連づけて検討する所存である。

参考文献：1) 水谷法美：没水球体に作用する波力の特性に関する基礎的研究、博士学位論文、pp.72-97、1989。

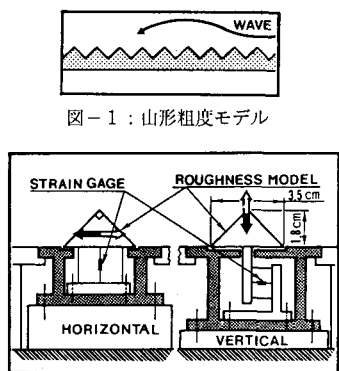
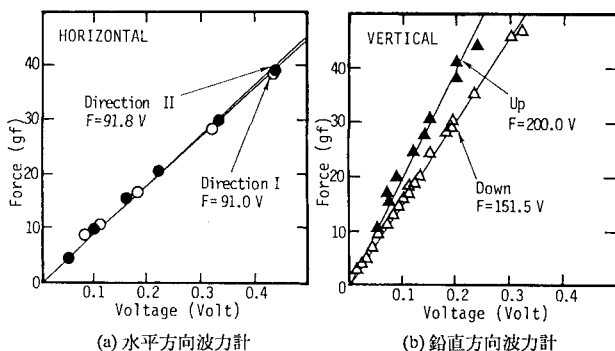


図-1：山形粗度モデル

(a) 水平方向波力計 (b) 鉛直方向波力計

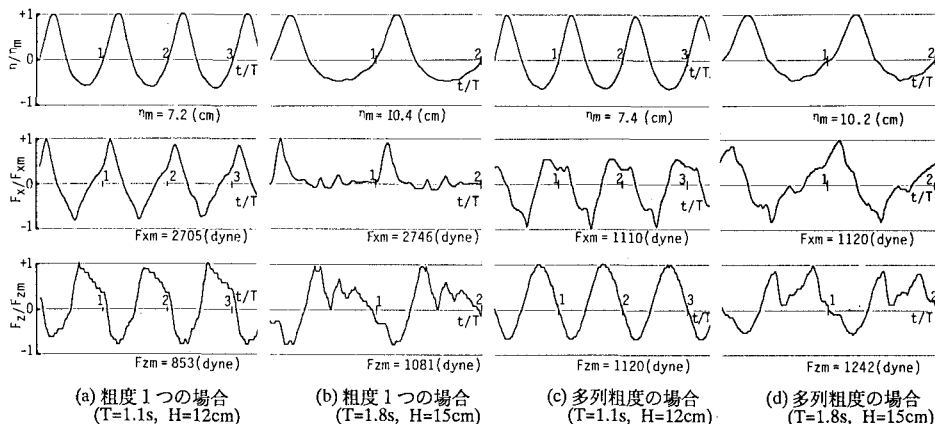
図-2：波力計



(a) 水平方向波力計

(b) 鉛直方向波力計

図-3：波力計の検定結果



(a) 粗度 1 の場合
(T=1.1s, H=12cm)

(b) 粗度 1 の場合
(T=1.8s, H=15cm)

(c) 多列粗度の場合
(T=1.1s, H=12cm)

(d) 多列粗度の場合
(T=1.8s, H=15cm)

図-4：水面と水平および鉛直方向波力の時間波形

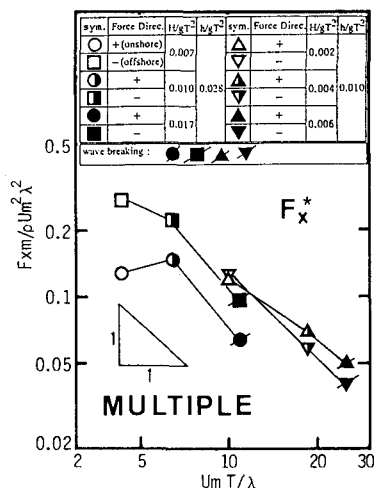


図-5： $F_{xm}/\rho u_m^2 \lambda^2$ と $u_m T/\lambda$ の関係

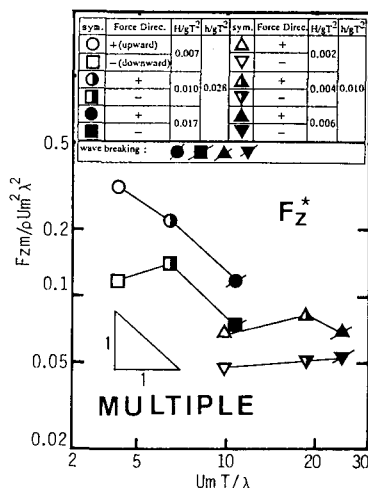


図-6： $F_{zm}/\rho u_m^2 \lambda^2$ と $u_m T/\lambda$ の関係