

名古屋大学工学部 正員 富田孝史
 名古屋大学大学院 金 俊 圭
 名古屋大学工学部 正員 岩田好一郎

1. はじめに

開放性沿岸海域に建設された構造物の基部周辺の洗濯板のような未固結砂岩と泥岩の互層岩盤が波により洗掘される事例が、数年前から報告され始めている。この互層岩盤を洗掘させる要因には、互層岩盤の突出部に作用する底面剪断力、抗力や慣性力などが考えられる。本研究では、これまであまり論議されることのなかった波作用下の互層岩盤の突出部に作用する流体力に着目し、この突出部を山形粗度に近似して、山形粗度に作用する波力の特性を粗度の幾何形状や粗度周辺の流況と関連づけて水理実験により考究する。

2. 水理実験

実験で使用した水槽は鉛直2次元造波水槽(長さ25m×幅0.7m×高さ0.95m)であり、水槽内に先端に1/14勾配の1様傾斜面をもつ高さ30cmの水平床を設置し、その上に山形粗度を設置した。山形粗度は、図-1に示すような直角二等辺三角形(Type-A)と直角不等辺三角形の2種類の断面形状の三角柱であり、直角不等辺三角形の場合には波向に対してその向きを変化させた(Type-BとType-C)。粗度の設置状況は粗度1つだけ($\ell/\lambda = \infty$; λ , 山形粗度の底辺の長さ; ℓ , 粗度頂部の間隔)の場合、同形の粗度を $\ell/\lambda = 1.0, 1.5, 2.0$ の無次元間隔で入射波の3~4波長分設置した場合の4種類である。山形粗度に作用する水平と鉛直方向波力を計測するために、長さ5cmのアルミ製L形アングルを使用して水平と鉛直方向波力計を粗度の幾何形状に合わせて合計4種類作製した。波力計の設置位置は、水槽のほぼ中央(粗度が連続する場合にはそれらの中央)であり、同形の粗度形状の水平と鉛直方向波力計を水槽の幅方向に並べて設置した。

実験条件は、山形粗度底面から静水面までの静水深 h を33.3cm、入射波の周期 T を1.10sと1.83sの2種類、それぞれの周期に対して入射波高 H_I を約7cm, 10cm, 12cm, 14cmの4種類変化させた。実験では、波力計で波力の時間変動を計測すると同時に、波力計上の水面変動や波力計頂部より約1.5cm上の流速をそれぞれ電気容量式水位計や電磁流速計で計測した。

また、山形粗度周辺の流況の可視化実験を行った。可視化実験では、1つの山形粗度の頂部および粗度の沖側と岸側斜面の中央部に設けた穴から流れでる牛乳や染料をビデオカメラやカメラで撮影した。

3. 実験結果とその考察

図-2は流況の1例を示したものであり、Type-Aの山形粗度を $\ell/\lambda = 1.0$ の無次元間隔で設置したときの波谷(図中,III)と波峰(VII)の位相における流況である。同図に代表的に示されるように、波作用下の山形粗度では、冲向き流速が作用するときには粗度の沖側、岸向き流速が作用するときには粗度の岸側にそれぞれ渦が生成される。渦の大きさをみると、岸向き流速の作用するときよりもその作用時間が相対的に長くなる冲向き流速が作用するときの渦の方が大きく、さらに波の周期が1.10sの場合よりも1.83sの場合の方がより大きくなる傾向が認められた。また、 ℓ が微小振幅波理論に基づくexcursion length; ℓ_e よりも小さい場合、つまり $\ell/\ell_e < 1$ の場合には、粗度から吐き出された渦が隣の粗度によりその移動や成長を妨げられるといった様子が認められた。

図-3は、水位 η 、水平方向流速 u 、単位幅当たりの水平方向波力 F_x の時間波形をそれぞれの最大値(下付き m)で無次元化したものの2例である。図-3(a)はType-Bの山形粗度を1つだけ($\ell/\lambda = \infty$)設置し、入射波として $T = 1.10s$, $H_I = 15cm$ の波を入射させたものである。このケースでは、水平方向波力の波形は岸向き(+)と冲向き(-)の最大値の間ではほとんど直線的に変化し、岸向きと冲向きの最大波力の生じる位相はそれぞれ波峰と波谷の位相にほぼ一致していることから、波力として抗力がかなり卓越していると推察される。なお、流速の実測波形は水位波形より若干位相が遅れているが、これは渦などの影響によるもの

と思われる。図-3(b)は、Type-Aの山形粗度を連続して($\ell/\lambda = 1.0$)設置した場合のものである。このケースの水位と流速の時間波形の位相差は図-3(a)の場合ほど顕著ではなく、このようなとき岸向きと沖向き最大波力は、それぞれ水位がゼロアップクロス点から波峰の位相の間とゼロダウンクロス点から波谷の位相の間に現れ、また慣性力が最大になる水位がゼロダウンクロス点の位相に沖向き波力が生じ時間波形にハンプを形成している。このような波力の時間波形は他の多くの本実験ケースでも認められ、このような波形には水平方向波力として抗力だけでなく慣性力も大きく寄与しているものと推察される。

図-4は、無次元沖向き最大波力 $F_{nm}/\rho u_a^2 \delta$ (F_{nm} : 単位幅当たりの沖向き最大波力, u_a : 微小振幅波理論に基づく山形粗度の重心位置の水平方向流速, δ : 山形粗度の高さ, ρ : 水の密度) と KC 数 $u_a T/\delta$ の関係を示した数例であり、同図(a)と(b)はそれぞれ $\ell/\lambda = \infty$ と 1.0 の場合のものである。最大波力として抗力が支配的な場合には、無次元最大波力は横軸によらず一定値となるが、山形粗度の場合には KC 数の増大にともなって無次元最大波力は減少するので、最大波力としては抗力だけでなく慣性力も重要であると理解できる。また無次元最大波力と KC 数の傾きに注目すると、 $\ell/\lambda = 1.0$ のよりも $\ell/\lambda = \infty$ の方が傾きが緩くなっていることから、 $\ell/\lambda = \infty$ の方が抗力の寄与がより大きいと考えられる。さらに $\ell/\lambda = 1.0$ の場合であっても Type-A の山形粗度よりも Type-B や Type-C の粗度の方が傾きが緩やかになっている。これらの傾向は、 $\ell/\lambda = 1.0$ の場合には図-2に示されるように山形粗度の沖側と岸側の両方に渦が形成され、それぞれの渦によって作用する沖向きと岸向き抗力が互いに相殺するためであり、とくに Type-A の場合には粗度の沖側と岸側の渦の強さが同程度になるためであると考えられる。

4. おわりに

山形粗度に作用する水平方向波力には粗度から吐き出される渦による抗力だけでなく慣性力も重要になることを水理実験から明らかにした。今後は、粗度に作用する鉛直方向波力を検討するとともに、全水平および鉛直波力に対し抗力と慣性力がどの程度の割合で寄与しているのか検討して、互層岩盤の洗掘機構を明らかにする所存である。

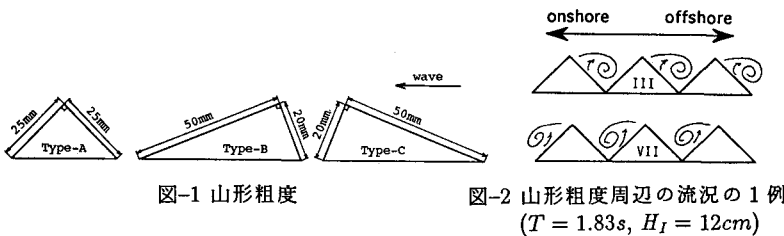
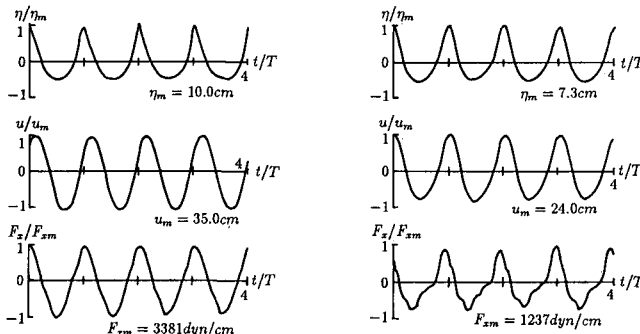
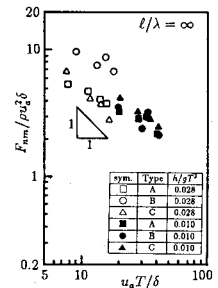
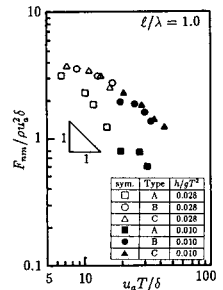


図-1 山形粗度

図-2 山形粗度周辺の流況の1例
($T = 1.83s$, $H_I = 12cm$)(a) Type-B の山形粗度 ($\ell/\lambda = \infty$)
 $T = 1.10s$, $H_I = 15.0cm$ (b) Type-A の山形粗度 ($\ell/\lambda = 1.0$)
 $T = 1.83s$, $H_I = 11.2cm$ 図-3 η , u と F_x の時間波形(a) $\ell/\lambda = \infty$ (b) $\ell/\lambda = 1.0$ 図-4 $F_{nm}/\rho u_a^2 \delta$ と $u_a T/\delta$ の関係