

海底面に作用する不規則波圧と波圧勾配に関する実験的研究

京都大学工学部 正会員 間瀬 肇
 京都大学工学部 学生員 ○立山 洋幸
 Univ. of Delaware Daniel T. Cox
 京都大学工学部 正会員 酒井 哲郎

1. はじめに

波浪に対する海底地盤応答の理論的研究には、初期には海底地盤を非圧縮性流体で満たされた多孔質剛体というモデル化から出発して、近年は気泡の混入を考慮した圧縮性流体で満たされた多孔質弾性体というモデル化のもとで、Biotの圧密理論が用いられることが多い。Biotの式をはじめとして、海底地盤内の過剰間隙水圧および有効応力変動を求めるためには境界条件としての海底面に作用する波圧変動が必要である。不規則波浪場での海底地盤の応答を調べるためには、波圧変動の情報が必要となり、直接海底面に波圧計を置いて測定するか、あるいは、水位変動から推定しなければならない。海底地盤の液状化不安定やせん断不安定は、漂砂にも関係しているのではないと思われるが、前者は間隙水圧の鉛直勾配による上向きの浸透力によって有効応力が0となり砂地盤が液状化するというものであり、後者は碎波直前の波のように前面波形が急勾配でそれに伴って水平方向の波圧勾配が大きくなると、表面近くの海底砂地盤内の間隙水圧の水平勾配も大きくなり、この力がせん断抵抗よりも大きくなって砂地盤が不安定となり砂移動が生じるといものである。海底面における波圧勾配は、流体力学的には水粒子速度の物質微分（全時間微分）、すなわち、水粒子の加速度に対応している。したがって、海底砂地盤内の波圧勾配はせん断破壊の作用外力であるばかりでなく、海底面においては砂粒子に働く慣性力に関連している。本研究は、浅水領域・碎波帯内外の海底面における波圧変動および水平方向の波圧勾配変動について実験的に調べるものである。

2. 研究方法

水位変動、波圧変動、波圧勾配変動の詳細な記録を得るため、長さ 27m、幅 50cm、深さ 75cm の両面ガラス張り水槽を用いて水理実験を行なった。実験は波の条件を変えた二つのケースについて行なった。模型海浜は、1:20 の一様勾配地形である。実験で用いた二種類の不規則波は Pierson-Mozkowitz型スペクトルを持つもので、そのピーク周波数を 0.6Hz および 1.0Hz とした（それぞれ実験条件1および実験条件2とする）。実験条件1では巻き波型碎波、実験条件2では崩れ波型碎波が支配的な碎波形式である。本実験では、二つの圧力計を用いてその差から圧力勾配を求めた。二つの圧力計の間隔は、Madsen (1974) が実験で用いた 1.7cm に近い 2cm とした。計測器は三つの波高計、二つの波圧計、一つの遡上計からなる。波高計は二つの波圧計の中央の真上とそれより 30cm 沖側に設置し、それらを移動させて 11 箇所の地点での水位変動と波圧変動を計測した。波圧変動を計測した地点は静水深が 35, 30, 25, 20, 17.5, 15, 12.5, 10, 7.5, 5, 3cm の地点である。水位変動から波圧変動の推定法として、線形フィルター法、修正線形フィルター法、局所曲率法、修正局所曲率法を検討した。

3. 解析結果

- 1) 有義波から微小振幅波理論を用いて求めた有義波圧波高は、実験値より碎波帯でやや大きめになるが、両者の一致程度は良かった。
- 2) 波圧変動のスペクトルは $f < 1.5f_p$ (f_p はピーク周波数) では微小振幅波理論による計算値と実測値はよく一致するが、 $f > 1.5f_p$ の高周波領域では計算値は過小評価となる。

Hajime Mase, Hiroyuki Tateyama, Daniel T. Cox and Tetsuo Sakai

3) 線形フィルター法、修正線形フィルター法、局所曲率法および修正局所曲率法によって水位変動から波圧変動を推定し実測結果と比較した結果、線形フィルター法は誤差が $\pm 5\%$ 以内となりもっとも推定精度がよかった(図-1 参照)。ただし、微小振幅波理論は高周波成分の伝達特性を小さく見積るので波の峰では推定値は実験値よりも若干小さくなる。局所曲率法では推定結果が滑らかな変動にならないことが多い、特に、平均水位付近で不自然な波圧波形となる。修正局所曲率法は局所曲率法とほとんど同じ結果となる。修正線形フィルター法は一般的な方法ではない。

4) 水平波圧勾配変動は水位変動に比べ位相が約 90° 進んでおり、水平波圧勾配変動の岸向きピークは水位変動のゼロアップクロス点に、沖向きピークはゼロダウンクロス点にほぼ対応している。

5) 水平波圧勾配変動の岸向きおよび沖向きピーク値の大きいものから $1/3$ の数の平均値(有義ピーク値)は水深の減少に伴って増加する(図-2 参照)。これは波の前傾化パラメーターの変化と一致する。

6) 水平波圧勾配変動のスペクトルは水位変動のピーク周波数および 2 倍調和周波数成分付近にエネルギーピークを有するとともに、水深が浅くなるにつれて高周波領域のエネルギーが増加する。また低周波領域(サーフビート領域)のエネルギーが水位変動のそれと同様に見られる(図-3 参照)。水平波圧勾配は流体の水平加速度に対応するものであり、この水平流体加速度の場合にも低周波成分(サーフビート成分)のエネルギーが存在することを意味し、Elgar-Guza(1988)の微小振幅波を用いた解析結果と異なる。

7) Madsen(1974)は海底砂地盤の一時的せん断不安定が生じる条件として無次元水平波圧勾配が 0.5 以上を提示したが、本実験では 0.5 以下であった。しかし、波の峰が通過後海底地盤内には鉛直上方の作用力が生じ鉛直有効応力が減少するため Madsen(1974)が示した 0.5 より小さくてもせん断不安定が生じる可能性がある。

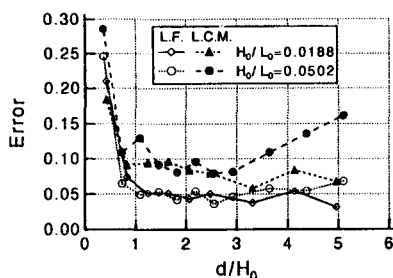


図-1 波圧変動に関する実測値と予測値との誤差

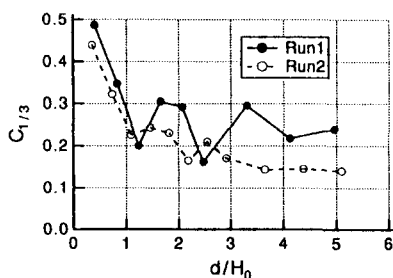


図-2 岸沖方向の1/3最大水平波圧勾配

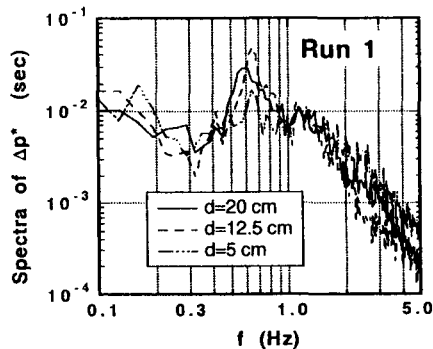
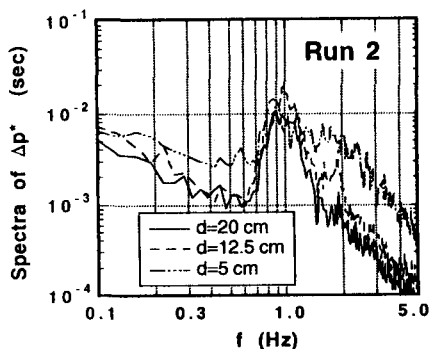


図-3 水平波圧勾配変動のスペクトル