

1. まえがき 波浪による砕波帯海底地盤の不安定性を議論する場合, 間隙水圧や鉛直有効応力に関する考察以外に, 海底地盤微小部分に働く有効応力勾配項, 圧力勾配項, 間隙水と地盤骨格の速度差に起因する Darcy の抗力項についても検討する必要があると考えられる。Madsen(1974) は, 砕波または砕波の直前の状態の波が通過するときの海底地盤の安定性を評価するために, 波浪によって瞬間的な海底地盤の破壊が発生するときの水平, 鉛直方向それぞれの条件式を提案している。本研究では, この条件式を参考にして海底地盤微小部分に働く有効応力勾配項, 圧力勾配項, Darcy の抗力項の大きさと位相変化について検討する。

2. Madsen(1974) の考え Madsen(1974) は, 波浪による海底地盤中に働く水平及び鉛直方向の間隙水圧勾配の変化によって瞬間的な地盤の破壊が発生する条件式として以下の式を提案し, 特に砕波のような前面が急勾配な波の場合, 鉛直方向(z)の式(2)よりも水

$$-(\partial p / \partial x) \geq (\rho_t - \rho) g \tan \phi, \quad (1) \quad \text{平方方向(x)の式(1)の条件が先に満たされて地盤のせん断破壊が生じることを指摘している。ただし } p \text{ は}$$

$$-(\partial p / \partial z) \geq \rho_t g, \quad (2) \quad \text{静水圧分を含めた間隙水圧, } \rho_t \text{ は底質の飽和単位}$$

体積重量, ρ は水の単位体積重量, g は重力加速度, ϕ は土の内部摩擦角, z は鉛直上向き座標である。

3. 地盤骨格の運動方程式 式(1), (2)に対応するものとして, 地盤骨格の運動方程式が考えられる。水平方向と鉛直方向の2次元では次のように表すことができる (Mei and Foda, 1981)。

$$\rho_s \ddot{v}_{sx} = 1/(1-n_w) \cdot (\partial \sigma_{xx} / \partial x + \partial \sigma_{zx} / \partial z) - \partial p / \partial x + 1/(1-n_w) \cdot n_w^2 / K \cdot (v_{wx} - v_{sx}), \quad (3)$$

$$\rho_s \ddot{v}_{sz} = 1/(1-n_w) \cdot (\partial \sigma_{xz} / \partial x + \partial \sigma_{zz} / \partial z) - \partial p / \partial z - \rho_s g + 1/(1-n_w) \cdot n_w^2 / K \cdot (v_{wz} - v_{sz}), \quad (4)$$

ただし, ρ_s は地盤骨格の正味の単位体積重量, n_w は間隙水の正味の空隙率, K は透水係数 k を重力加速度 g と水の単位体積重量 ρ で除したもので, v_{wz}, v_{wx} は z 方向および x 方向 (波の進行方向) の間隙水の速度, v_{sz}, v_{sx} は z 方向および x 方向の地盤骨格の速度, $\ddot{v}_{sz}, \ddot{v}_{sx}$ は z 方向および x 方向の地盤骨格の加速度, σ_{xx} は水平有効応力, σ_{zz} は鉛直有効応力 (引っ張りを正), σ_{zx}, σ_{xz} せん断応力である。

4. 地盤骨格微小部分に働く力 最初に海底面に働く波圧を微小振幅波理論によって与え, Mei and Foda (1981) の境界領域近似解を用いて式(3), (4) 右辺各項を計算した。その結果, 水平方向の運動方程式の各項については, 鉛直方向の各項より1オーダー小さく, とくに圧力勾配の値は鉛直方向の方がかなり大きいことがわかった。ここでは, 海底面の波圧を現地波浪の実測結果で与えた場合の式(3), (4) の右辺の各項の値を, 地盤骨格及び間隙水圧の加速度と海底面に働く波浪による摩擦力を考慮した境界領域近似解 (酒井ら, 1989) を用いて計算した結果を示す。図-1 は, 計算に用いた観測データである。これは, 善ら(1989) の運輸省波崎海洋研究施設の棧橋先端の水深約 4.0 m の海底面上の波圧データの中の1波をとりだして拡大したものである。計算条件は, 波高 (海底面に働く波圧が直接測定されているため特に設定する必要はない) 以外は, 砕波帯の砂地盤を想定して周期 $T = 7.0$ s, 水深 $h = 4.0$ m, 空隙率 $n_w = 1/3$, ボアソン比 $\nu = 1/3$, 土粒子骨格のせん断弾性係数 $G = 10^8$ N/m², 間隙水の有効体積弾性係数 $\beta = 10^7$ N/m², 透水係数 $k = 2.8 \times 10^{-4}$ m/s とした。実測波高は約 1.9 m であった。この波の周期は 14.7 s であるが, ここではより液状化が起り易い条件での結果を得るために 7.0 s とした。同様の理由から, 図-1 で与えられる波圧を 1.5 倍にし (波高を約 3 m としたことに相当), $z = -0.1$ m (海底面下 10 cm) の深さでの各項の値を計算した。図-2 は, 式(3) の右辺各項の1周期の変化を示している (図中の破線は式(1)の右辺の値

Tetsuo SAKAI, Katsuya HATANAKA

である)。水平圧力勾配

$\partial p / \partial x$ は波の前面の位相で最大となっており、 $t =$

1.1 ~ 1.2 s の位相で式

(1) を満たしている。図-3 は、鉛直方向運動方程式(4)の右辺各項の1周期の変化を示している(図中の破線は式(2)の右辺の値である)。鉛直圧力勾配 $\partial p / \partial z$ は波の背面の位相で最大となっていて、 $t = 2.4 \sim 3.0$ s の位相で式(4)を満たしている。なお、海底面波圧と間隙水圧変動の差と水中土被り圧を加えて求めた近似的な鉛直有効応力はこの位相で負になり、液状化が発生している。以上のことから砕波帯の波のように峰が鋭く谷が平坦な波が通過する時、波の峰の前面において水平圧力勾配が非常に大きくなって瞬間的にせん断破壊が生じ、続いて峰の通過直後において鉛直圧力勾配が非常に大きくなり瞬間的な液状化が起こるということが考えられる。

5. 参考文献 Madsen, O.S.

(1974) : Proc. of 14th Coastal Eng. Conference, ASCE, Vol. II, pp. 776-794, Mei, C.C. and Foda, M.A.

(1981) : Geophys. J. R. astr. Soc., Vol. 66, pp. 597-631,

酒井哲郎・服部明彦・間瀬肇 (1989) : 第36回海岸工学論文集, pp. 794-798,

善功企・山崎浩之・佐藤泰

(1989) : 海洋開発論文集,

Vol. 5, pp. 85-90.

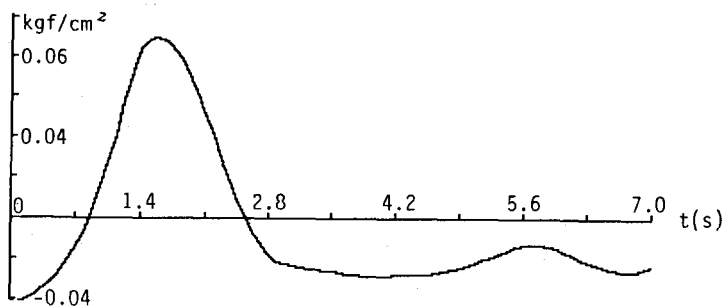


図-1 現地砕波帯波浪による海底面波圧 (善ら, 1989) ($t = 7.0$ sec)

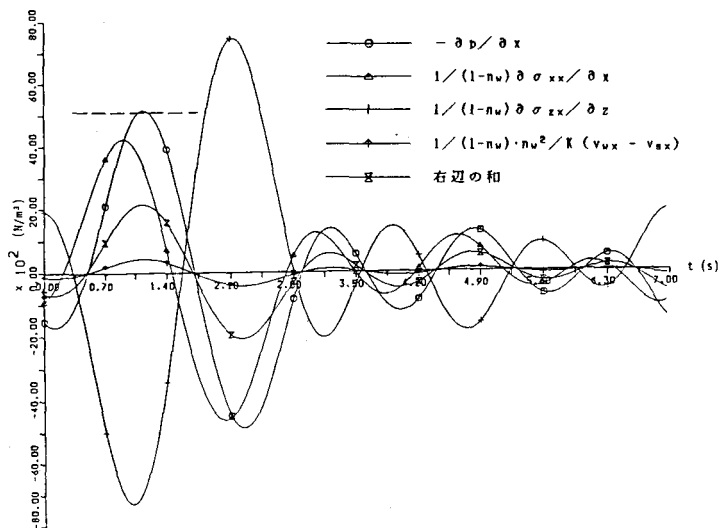


図-2 波の進行方向の地盤骨格運動方程式右辺各項の位相変化 ($z = -0.1$ m)

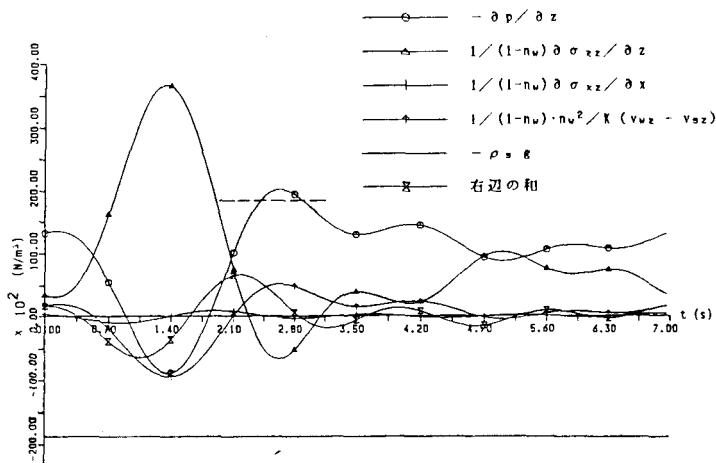


図-3 鉛直方向の地盤骨格運動方程式右辺各項の位相変化 ($z = -0.1$ m)