

II-315 碎波帯海底砂地盤のせん断応力

京都大学 正 酒井哲郎、J R 西日本 正 畑中克也、京都大学 正 間瀬 肇

1. まえがき 碎波帯の砂地盤の波浪による不安定性に関して、これまでは主に鉛直有効応力の減少による液状化が議論されている。酒井ら(1989)は Mei and Poda(1981)の境界領域近似を用いて、海底面に働く摩擦力を考慮した間隙水圧変動を求めている。この解を利用して、海底面に働く摩擦力を考慮した地盤内のせん断応力の計算を行った。またせん断応力が鉛直有効応力に摩擦係数を乗じたものより大きくなるのが海底地盤の破壊と関係すると考え、両者の比較を行った。

2. 海底面に働く摩擦力を考慮した地盤内せん断応力 酒井ら(1989)は海底面に働く摩擦応力を式(1)のように仮定(z は海底面を原点とし鉛直下向き正とする)することによって、海底面に働く摩擦力および地盤骨格と間隙水の加速度を考慮した地盤骨格の速度の外部領域解を求めている。ここで i は虚数単位、 λ は波の波数、 x は波の進行方向座標、 ω は波の角周波数、 t は時間である。この解を時間で一回積分すると変位の外部解($V_{xt}^\circ, V_{zt}^\circ$)が得られる。

Mei and Poda(1981)によると全応力は外部解のみで決定される。したがってせん断応力は Hooke の式に地盤骨格の変位の外部領域解を代入することにより次のように表すことが出来る。

$$\begin{aligned}\sigma_{zx} &= G (\partial V_{xt}^\circ / \partial z + \partial V_{zt}^\circ / \partial x) \\ &= -2aq(1+s^2) / \{(1+s^2)^2 - 4sq\} \times \{\exp(q\lambda z) - \exp(s\lambda z)\} \times \sin(\lambda x - \omega t) \\ &\quad + b(1+s^2) / \{(1+s^2)^2 - 4sq\} \times \{(1+s^2) \times \exp(q\lambda z) - 4sq / (1+s^2) \times \exp(s\lambda z)\} \\ &\quad \times \cos(\lambda x - \omega t)\end{aligned}\quad (2)$$

ここで G は地盤骨格のせん断弾性係数、 z は鉛直上向きを正とする。 a は海底面に働く波圧振幅で微小振幅波理論(式(3))により、また海底面での摩擦応力振幅 b は a の $1/10$ とした(式(4))。

$$a = -0.5\rho_w g H \cdot \text{sech}(\lambda h) \quad (3), \quad b = -1/10 \cdot a \quad (4)$$

ここで ρ_w は水の密度、 g は重力加速度、 H は波高、 h は水深である。 s と q は次式で与えられる。

$$s = \{1 - \omega^2 / (\lambda^2 C_s^2)\}^{1/2} \quad (5), \quad q = \{1 - \omega^2 / (\lambda^2 C_p^2)\}^{1/2} \quad (6)$$

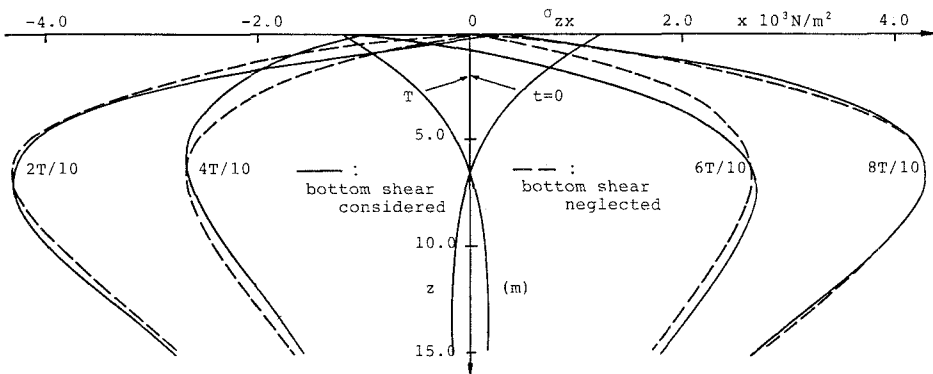
C_s と C_p は、次式で与えられる弾性体内の縦波とせん断波の伝播速度である。

$$C_s^2 = G / \rho_o \quad (7), \quad C_p^2 = 2(1 - \nu_o) / (1 - 2\nu_o) \times G / \rho_o \quad (8)$$

ρ_o は固相と液相の二相の等価密度、 ν は等価ポアソン比である。

$$\begin{aligned}\rho_o &= n\rho_w + (1-n)\rho_s \quad (9), \quad \nu_o = 0.5 \times \{2\nu / (1-2\nu) + \beta / nG\} \\ &\quad \times \{1 / (1-2\nu) + \beta / nG\}^{-1} \quad (10)\end{aligned}$$

ただし n は間隙率、 ρ_s は地盤骨格の密度、 ν はポアソン比、 β は間隙水の有効体積弾性係数である。



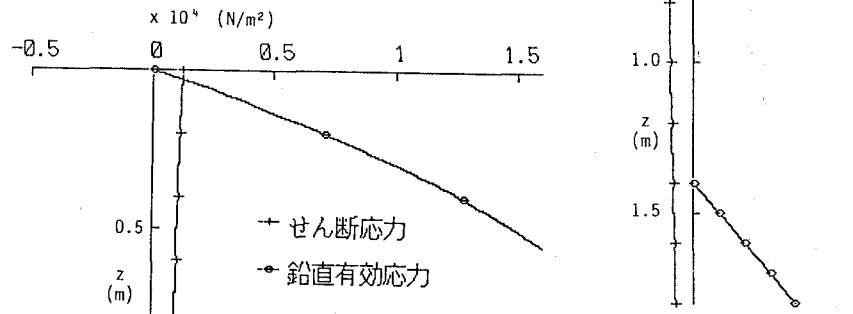
図—1 海底面に働く波による摩擦を考慮した場合の地盤骨格に働くせん断応力の鉛直分布

図—1の実線は、海底面に働く摩擦力および加速度を考慮した場合の地盤骨格に働くせん断応力の鉛直分布を示している。計算条件は $h = 4.0\text{m}$ 、 $T = 7.0\text{s}$ 、 $H = 3.0\text{m}$ 、 $n = 1/3$ 、 $\nu = 1/3$ 、 $G = 1.0 \times 10^8 \text{N/m}^2$ 、 $\beta = 1.0 \times 10^6 \text{N/m}^2$ である。およそ $z = 6.0\text{m}$ 以浅において海底面に働く摩擦力の影響のため海底面摩擦を無視した場合（破線）とかなり異なった値となっていることがわかる。それより深いところではほぼ同様の値を示している。

3. 鉛直有効応力との比較 前述のせん断応力の場合と同様に、地盤骨格の変位の外部解（摩擦力と加速度を考慮）を Hooke の式に代入すると、鉛直全応力変動の解が求められる。鉛直有効応力変動は、引っ張りを正とすると鉛直全応力変動と間隙水圧変動（酒井ら（1989））の和として与えられる。鉛直有効応力は、鉛直有効応力変動にその地点での水中土被り圧 $\gamma'z$ を加えたものとした。ただし一般的な砂地盤を想定して $\gamma' = 910 \times 9.8 \text{N/m}^3$ とした。

図—2は、海底面に働く摩擦力と加速度を考慮したせん断応力と鉛直有効応力の鉛直分布を示している（ $t = 0$ は波の峰の位相）。縦軸は地盤深度（m）、横軸は応力（ N/m^2 ）である。 $t = 0$ の場合、鉛直有効応力は土被り圧より大きくなり、海底面下数センチメートルの地点までせん断応力の方が大きくなっている。一方 $t = 5/10 T$ （波の谷の位相）の場合、海底面下約 140 cm の地点まで鉛直有効応力が0となって液状化が起り、それ以浅で地盤が不安定になっている。一般に、地盤骨格に働くせん断応力 σ_{zx} > 鉛直有効応力 σ_{zz} となるのは海底面下数 cm の範囲であり、 σ_{zz} 自身が 0 になる深さに比べてはるかに浅いことがわかる。

4. 参考文献 Mei, C.C. and Foda, M.F. (1981), Geophys. J.R. Astr. Soc., Vol.66, pp.597-631.
酒井ら（1989）、海岸工学論文集、第36巻、pp.794-798.



図—2 せん断応力と鉛直有効応力（ $t = 0$ ）

（ $t = 5/10 T$ ）