

波浪による間隙水圧変動の鉛直分布を支配する無次元パラメータ

京都大学工学部 正 酒井哲郎, 京都大学大学院 修士課程 学 ○北野利一

1. 波浪による海底地盤内の間隙水圧の変動の現象は海岸構造物の安定性や海底地盤そのものの安定性にとって重要であり、Mei and Foda(1981)の近似解により容易に計算できる。しかし、波浪と地盤の両方のパラメータを含むため、この現象にとってどのようなパラメータが支配的であるかを見極めにくい。砕波帯のような極浅海の場合に対して、酒井ら(1990)が解を無次元化した。ここでは、2つの無次元パラメータの値を変化させ、間隙水圧変動の鉛直分布がどのように変化するかを検討する。

2. 酒井らは、Mei and Fodaの解を用い、波速を線形長波の波速で近似することによって、海底面に働く微小振幅波の波圧振幅 p_0 で無次元化した間隙水圧変動 p' を次式で与えた。

$$p'/p_0 = 1/(1+m) \cdot \exp(-2\pi \cdot z/L) \cdot \cos \theta + m/(1+m) \cdot \exp(-z/\sqrt{2}\delta) \cdot \cos(\theta + z/\sqrt{2}\delta) \quad (1)$$

ここで、 $z/\sqrt{2}\delta = (kG/\rho_w g^2 Th)^{-1/2} \cdot z/L \cdot \{n \cdot G/\beta + (1-2\nu)/2(1-\nu)\} \cdot \sqrt{\pi}$, (2)

$$m = n/(1-2\nu) \cdot G/\beta, \quad (3) \quad \theta = \lambda x - \omega t, \quad (4) \quad z/L = H/h \cdot z/H \cdot (T\sqrt{g/h})^{-1} \quad (5)$$

また、 n :間隙率、 ν :地盤骨格のポアソン比、 G :地盤骨格のせん断弾性係数、 β :間隙水の有効体積弾性係数、 z :海底面を原点とする鉛直下向き座標、 L :波長、 λ :波数、 ω :波の角周波数、 x :波の進行方向水平座標、 t :時間、 T :波の周期、 g :重力加速度、 h :水深、 H :波高であり、 δ は浸透流としての応答を考える海底面付近の薄層(境界層)の厚さで、次式で与えられる。

$$\delta = (kG/\rho_w g \omega)^{1/2} \cdot \{n \cdot G/\beta + (1-2\nu)/2(1-\nu)\}^{-1/2} \quad (6)$$

ここで、 k :透水係数、 ρ_w :間隙水の密度である。ここで用いられている仮定は、

$$\cosh(\lambda h) \sim 1, \quad 2\pi/\lambda \equiv L \sim T\sqrt{gh} \quad (\text{あるいは、} (T\sqrt{g/h})^{-1} \sim \lambda h/2\pi) \quad (7)$$

である。このように、無次元間隙水圧変動 p'/p_0 は、 $T\sqrt{g/h}$, H/h , n , ν , G/β および $kG/\rho_w g^2 Th$ を無次元パラメータとする θ と z/H の関数であることがわかる。酒井らは、Yamamoto et al.(1978)の厳密解、Finn et al.(1983)の uncoupled analysis および Mei and Foda の近似解の適用範囲を一般的に議論するのに、 n , ν はそれほど変化しないことを考え、 G/β と $kG/\rho_w g^2 Th$ の値を変化させて議論している。

3. 式③より G/β が大きくなるにつれ m の値も増大し、式①右辺第2項の補正解の影響が強くなることがわかる。また式⑥より、 G/β が大きくなるにつれ、境界層厚さは薄くなって、補正解の減衰の程度が早くなり、また同じ地盤深度に対して外部解に対する補正解の時間的遅れは大きくなる。またもう一つの無次元パラメータ $kG/\rho_w g^2 Th$ が小さくなるにつれ、境界層厚さは薄くなり同様のことが言える。ただし、ここで注意すべきことは、 G/β は m に関係があり、解に対する補正解の寄与の大小を決定するのにも関係するが、 $kG/\rho_w g^2 Th$ は補正解の相対的大きさには全く無関係である。

4. 計算においては、 $T\sqrt{g/h}=11.0$, $H/h=0.75$, $n=\nu=1/3$ で固定し、 $G/\beta=0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0$, $kG/\rho_w g^2 Th=0.01, 0.02, 0.05, 0.10$ と変化させた。無次元化の仮定⑦に関しては、 $\cosh(\lambda h)=1.19$, $(T\sqrt{g/h})^{-1}=0.091$, $\lambda h/2\pi=0.096$, となり、ほぼ満たしていると言える。結果の一部を図に載せる。

5. $kG/\rho_w g^2 Th=0.01$ で固定し、 $G/\beta=10.0$ (図(2))と 0.1 (4)の場合を比較すると、下方についての減衰については、 $G/\beta=0.1$ に比べて、 $G/\beta=10.0$ では減衰が大きい。時間的遅れについては、 $3/12T$ (0:波の峰の位相)の位相を見るのが見やすい。 $G/\beta=0.1$ では鉛直分布にほとんど遅れがないが 10.0 では遅れ

Tetsuo SAKAI, Toshikazu KITANO

が顕著である。一般に $G/\beta \geq 1.0$ で時間的遅れが生じる。次に、 $kG/\rho_w g^2 Th$ の影響について、 $G/\beta = 10.0$ で固定し、 $kG/\rho_w g^2 Th$ を $0.1(1)$ 、 $0.01(2)$ と変化させると、明らかに 0.01 の方が下方についての減衰が早くなっている。ところが、 $G/\beta = 0.1$ で固定し、 $kG/\rho_w g^2 Th$ を同様に変化させる $((3), (4))$ と、この場合には $kG/\rho_w g^2 Th$ が変化してもほとんど鉛直分布は変化しない。この様に、 $kG/\rho_w g^2 Th$ の効果は、 G/β が大きい場合にのみあらわれる。この理由は 3 で述べたとおりである。

6 ここでは、無次元パラメータ G/β と $kG/\rho_w g^2 Th$ の効果に対して考察を行ったが、特に β は間隙水の飽和度によって大きく変化する経験定数である上に、現地で実際に測定できるものではない。しかし、地盤中を伝わるせん断波と圧縮波の波速の比の二乗 (α とおく) を用いることで、Mei and Foda の近似解は以下のように書き直すことができ、 β を用いることを避けることができる。

$$p'/p_0 = (1-e\alpha)/(1-\alpha) * \exp(-\lambda z) * \cos \theta + (e-1)\alpha/(1-\alpha) * \exp(-\zeta \lambda z) * \cos(\theta + \zeta \lambda z) \quad (8)$$

ただし、 $e = 2(1-\nu)/(1-2\nu)$ 、 $\zeta^2 = \{4\pi * e(1-e\alpha) * kG/\rho_w g^2 Th\}^{-1}$ であり、 ζ は、波長 L と境界層厚さ δ の比に比例し、 $\zeta^2 \sim (L/10 * \delta)^2$ の関係がある。この式 (8) を用いた現地観測データ解析の方法も、既にある程度検討している。

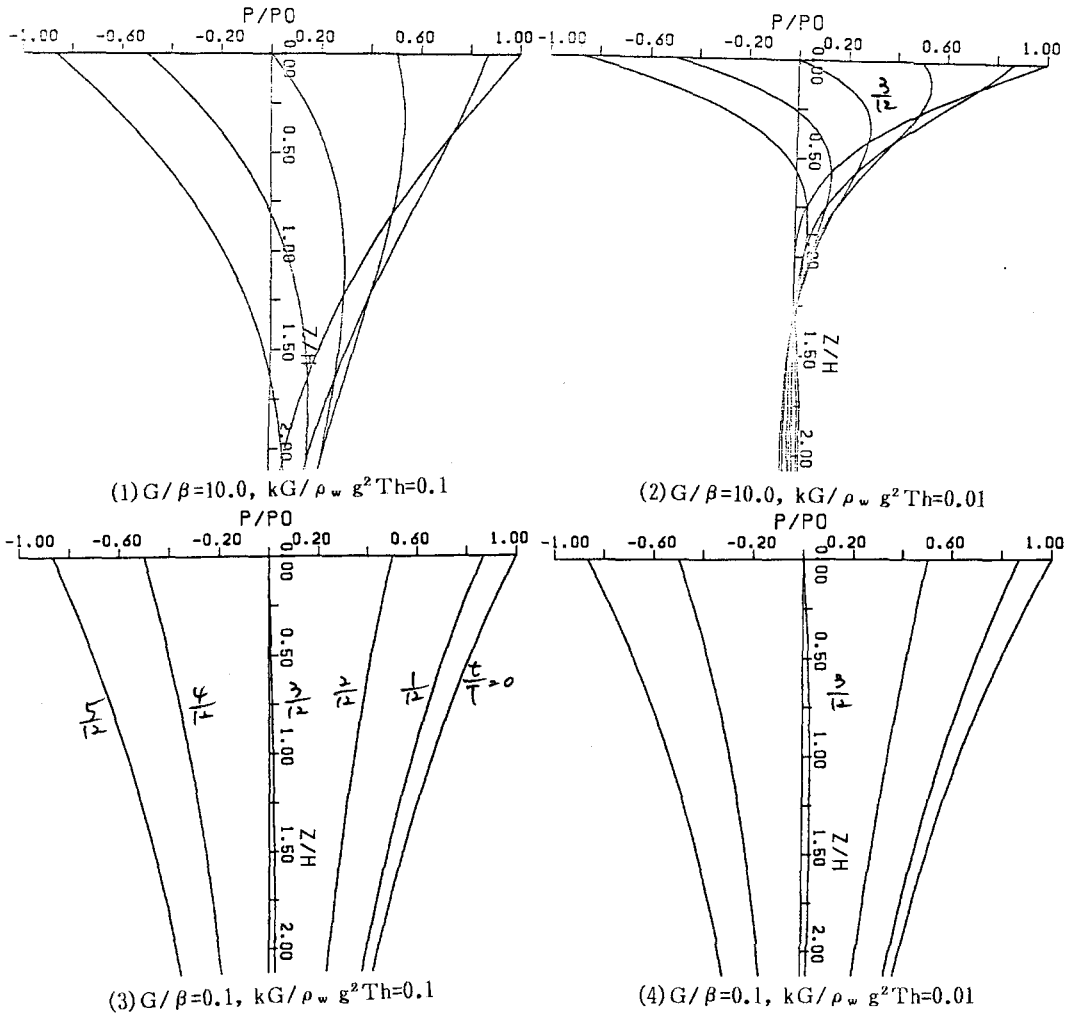


図 波浪による間隙水圧の変動