

波浪による海底地盤内間隙水圧変動解の適用範囲

京都大学工学部 ○ 酒井哲郎, J R 西日本 畑中克也, 京都大学工学部 間瀬 肇

1. まえがき 波浪によって生じる海底地盤内間隙水圧変動の解析モデルとして, Biot(1941) の圧密の式がよく用いられる。この方程式の厳密解は, Yamamoto et al. (1978) によって求められている。Mei and Foda(1981) はその近似解を求めた。一方, Finn et al. (1983) は, より簡単な解として, 地盤を剛と仮定した浸透流の扱いで間隙水圧を求め, 地盤骨格の有効応力は一相の弾性体としての全応力の解から上述の間隙水圧を差し引いて与える方法 (uncoupled analysis) を提案している。本研究では, 3 者の比較を行って, その適用範囲を明らかにする。

2. 無次元パラメータを用いた Mei and Foda(1981) の近似解

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

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

$$z/(\sqrt{2}\delta) = (kG/\rho_w g^2 Th)^{-1/2} \cdot z/L \times \{n \cdot G/\beta + (1-2\nu)/2(1-\nu)\}^{1/2} \quad (5)$$

Mei and Foda(1981) は, 地盤骨格と間隙水のそれぞれの連続式と運動方程式をいくつかの仮定を用いて変形し, 地盤骨格と間隙水の速度が等しいとして一相で扱う外部領域と, 両者の相対速度が無視できない海底面近くの境界領域とで各々解を求め, 両者の和を最終の解とする近似解法を示した。外部領域では, 正弦波状に変動する振動荷重が表面を一定速度で移動する場合の半無限弾性体の疑似静的な変形の問題となり, すでに解は求められている。一方境界領域では, Terzaghi の一次元圧密の問題となる。式(1)~(4) は海底面での波圧変動が微小振幅波理論で与えられる場合の間隙水圧変動 p' の近似解を無次元表示したものである。ここで, p_0 : 海底面での波圧振幅, n : 間隙率, ν : ボアソン比, 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 : 地盤深度, L : 波長, T : 周期, g : 重力加速度, h : 水深, H : 波高, λ : 波数, x : 波の進行方向座標, ω : 波の角周波数, t : 時間, δ : 境界領域厚さ, k : 透水係数, ρ_w : 海水の密度である。なおここでは碎波帯のような浅海域を考慮して, $L \approx T\sqrt{gh}$, $\cosh(\lambda h) \approx 1.0$ と仮定している。これらの式から, 海底面波圧振幅で無次元化した間隙水圧変動は, 地盤に関する $n, \nu, G/\beta$, 波に関する $T\sqrt{g/h}, H/h$ および両者に関する

$kG/\rho_w g^2 Th$ を無次元パラメータとして, θ と z/H の関数として与えられることがわかる。

3. 間隙水圧変動解の比較 図-1 は, $n = \nu = 1/3, T\sqrt{g/h} = 11.0, H/h = 0.75, G/\beta =$

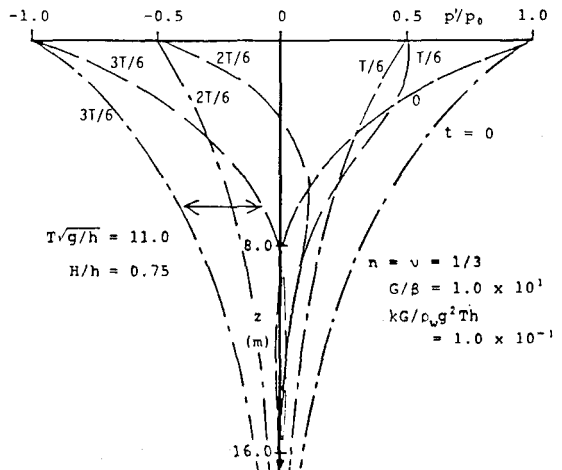


図-1 厳密解と uncoupled analysis 解の比較

1×10^1 および $kG/\rho_w g^2 Th = 1 \times 10^{-1}$ の場合の Yamamoto らの厳密解 (破線) と Finn らの uncoupled analysis (一点鎖線) による間隙水圧変動の鉛直分布を示している。両者の相違を表す代表量として $t = 3T/6$ (波の谷の位相) での両者の差の最大値を用いる。この場合は、 $z = 6.5$ m 付近で現れる。パラメータ G/β と

$kG/\rho_w g^2 Th$ の値を $10^{-1} < G/\beta < 10^2$, $10^{-3} < kG/\rho_w g^2 Th < 1$ の範囲で変化させ、他の条件はそのまま両者の差の最大値を計算した。同様に、厳密解と境界領域近似解の変動間隙水圧の差の最大値を計算した。

4. 適用範囲 図-2は、厳密解と uncoupled analysis 解の差の最大値の等値線 (実線) および厳密解と境界領域近似解の差の最大値の等値線 (破線) を、横軸に G/β 、縦軸に $kG/\rho_w g^2 Th$ をとって一緒

に示したものである。適用範囲の基準として、海底面での波圧振幅で無次元化した差が 0.05 以下となる場合を考えると、この図から uncoupled analysis 解と厳密解の差が 0.05 の曲線より左上側では uncoupled analysis 解が適用でき、それより右下側では近似解を用いる必要があるが、その境界の一部では厳密解を用いなければならない領域があることがわかる。

5. 現地観測結果との比較 以上のように三つの解の適用範囲が明らかになったので、次に現地観測結果との比較を行う。観測データとして善ら(1989)の波崎海洋研究施設におけるものを用いた。図-3の●印は、観測記録から選んだ1波について、間隙水圧変動の最大値の鉛直分布を示している。この図は原論文の図-17を書き直したものである。現地の地盤が一般的な砂地盤であることを考えて $n = \nu = 1/3$, $k = 2.8 \times 10^{-4}$ m/s, および $G = 1.0 \times 10^8$ N/m² とし、残りの間隙水圧の有効体積弾性係数 β は、図-3の実測値に合うように値を変えた。図-3の四つの

実線の曲線は、 β の値を図中に示したように 3×10^7 N/m² から

6×10^6 N/m² まで変えた場合の、Meiらの近似解である式(3-2)の $\theta = 0$ (波の峰の位相) における結果を示している。海底面を除いた三点の実測値のうち二点に一致する β としては 3×10^7 N/m²、一番上の実測値に一致する β としては 6×10^6 N/m² となる。これらの場合の G/β の値はそれぞれ 3.3 および 1.2×10^1 となり、 $kG/\rho_w g^2 Th$ の値は 5.1×10^{-3} となる。 $G/\beta = 3.3$ および 1.2×10^1 いずれの場合も、uncoupled analysis が適用できず近似解が適用できる範囲に入っている。

6. 参考文献 Biot(1941): J. of Appl. Phys., Vol.12., Finn et al.(1983): J. of Geotech. Eng., ASCE, VOL.109, No.4., Mei and Foda(1981): Geophys. J. R. astr. Soc., Vol.66., Yamamoto et al.(1978): J. of Fluid Mech., Vol.87, part1., 善ら(1989): 海洋開発論文集, 土木学会, Vol.5

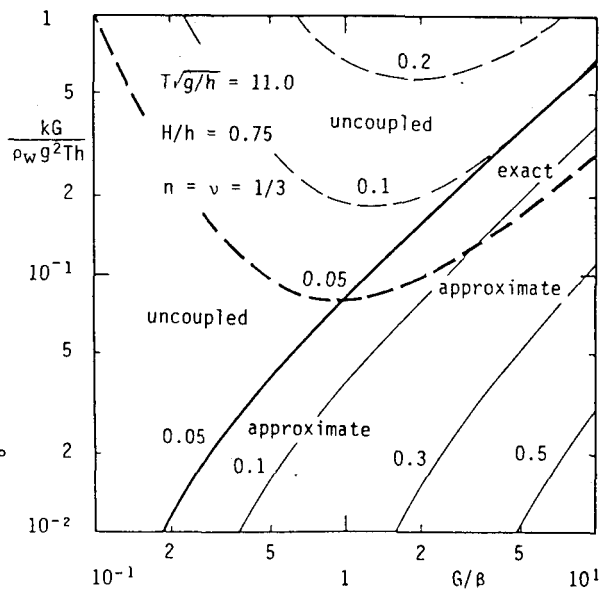


図-2 適用範囲

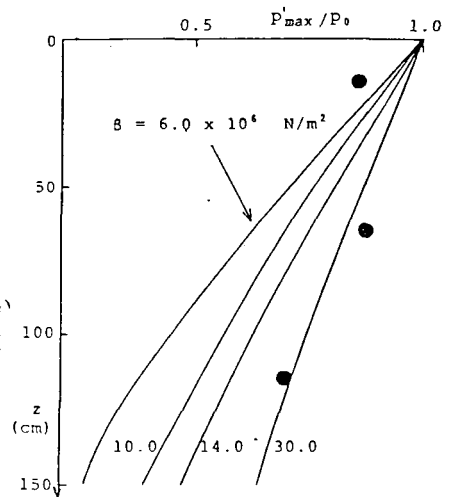


図-3 実測値との比較