

波圧の時間的な変動特性による海底地盤の応答について

愛媛大学大学院連合農学研究科 学生員 ○桑原久実
高知大学農学部 正員 玉井佐一

1. はじめに: 波浪による海底地盤の応答特性は、ここ10年間では、Biotの圧密理論を基本とする研究が、Madsen, YamamotoおよびOkusaらによって行われている。また、前野らは、浅海域にも適応可能な波形勾配を含めた実験式を提出している。しかし、いずれの研究も時間的に対称な波圧変動を用い海底地盤の挙動を考察したものであり、風や海底地盤等に影響され波圧変動の非対称性の影響を検討したものは見あたらない。ここでは、波圧の時間的な変動特性である前・後傾化及び上下非対称性による海底地盤の応答について検討することにした。

2. 解析手法の概要: 本研究の解析手法は、善, Nagoらが、正弦波の水圧変動の作用下にある鉛直1次元地盤の動的応答特性を検討する際に用いた手法である次式のBiot圧密式を差分法により求めるものを用いた。

$$\frac{k}{\rho_w g m_v} \frac{\partial^2 p_m}{\partial y^2} = \left(1 + \frac{n \cdot m_v}{m_v}\right) \frac{\partial p_m}{\partial t} - \frac{\partial p_b}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 k :透水係数、 ρ_w :水の密度、 g :重力加速度、 p_m :間隙水圧、 p_b :海底地盤表面の圧力変動、 n :間隙率、 m_v :土の体積圧縮係数、 m_v :間隙流体の圧縮率を示しており、海底地盤における液状化の条件は、 $\sigma'_{v0} + (p_b - p_m) \leq 0$ (σ'_{v0} :初期の鉛直有効応力)で示される。

波圧の時間的な変動特性の前・後傾化は図-1の波形モデルを、上下非対称性は図-2のモデルをfourier級数に展開したものを用いた。これらのモデルでは前・後傾化度、上下非対称度を定数 α_1 、 α_2 で表すことができる。 $0 < \alpha_1 < 0.5$ では前傾、 $\alpha_1 = 0.5$ で対称、 $0.5 < \alpha_1 < 1.0$ では後傾となる。また、 $0 < \alpha_2 < 0.5$ では波の峰で尖り、 $\alpha_2 = 0.5$ で対称、 $0.5 < \alpha_2 < 1.0$ では谷で尖る。

波圧変動の前・後傾化及び上下非対称性による海底地盤の動的応答特性の影響は、波浪特性として、波圧振幅、周期、また、地盤特性として、空気・水の含有率、地盤骨格の圧縮率、透水係数、地盤厚さ等を種々に変化させ、間隙水圧の伝播及び液状化深さについて考察した。表-1は、解析をする際に基準とした波浪、地盤特性の条件を示している。

3. 結果及び考察: 図-3は、波圧変動の前・後傾化による海底地盤の変動特性を示し、i)は前傾($\alpha_1 = 0.1$)、ii)は後傾($\alpha_1 = 0.9$)の場合である。また、図-4は、上下非対称性による海底地盤の変動特性を示し、i)は波の峰($\alpha_2 = 0.3$)、ii)は谷($\alpha_2 = 0.7$)で尖る場合である。(a)、(b)は間隙水圧、有効応力の変動を示し、(a)は縦軸に p_m/p_{b0} (p_{b0} は海底面波圧変動 p_b の絶対値)、(b)は $(\sigma'_v + p_b - p_m)/\sigma'_v$ をとり、横軸は共に経過時間と波の周期の比 t/T をとっている。これらの図から、それぞれの波圧変動の特性に応じて、間隙水圧、有効応力の変動は地盤内部に入るに従い変動量は減衰し、位相差を増加しながら伝播していることがわかる。

図-5、図-6は、前後傾化及び上下非対称性による液状化深さの変化を示したものである。(a)は空気含有率、(b)は水の含有率、(c)は地盤骨格の圧縮率、(d)は透水係数による液状化深さの変化を示している。それぞれの図の縦軸は液状化深さと波圧変動の振幅の比 D_1/a_0 を示し、横軸は α_1 、 α_2 を示している。図-5によると、いずれも液状化深さは波圧変動が前・後傾化するほど大きくなるが、この傾向は空気含有率が小さく、地盤の圧縮率、透水係数が大きいほど顕著になる。また、図-6によると、 α_2 が増加し谷で尖るほど液状化深さは増加しているが、この傾向は空気の含有率が小さく、水の含有率が大きく、地盤骨格の圧縮率、透水係数が大きいほど著しくなっている。

4. おわりに: 以上得られた研究成果をもとに、今後、合田の不規則波発生シミュレーションを用いて種々波浪スペクトルによる海底地盤の応答特性、wave groupingが海底地盤の安定性に与える影響等について検討したいと考えている。

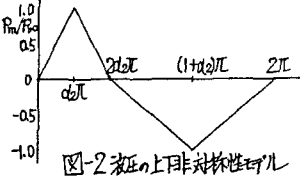
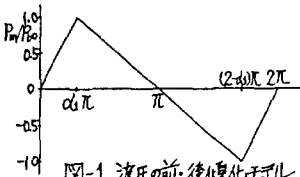


表-1. 解析の基礎とした波高及び地盤の特性値

波高 (H)	5.0m
周期 (T)	8.0sec
水深 (h)	10.0m
土粒子の密度 (ρ_s)	$2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
水の密度 (ρ_w)	$1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
空気の密度 (ρ_a)	0.005
水の含気率 (n_v)	0.40
地盤の圧縮率 (χ_v)	$1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$
水の圧縮率 (χ_w)	$4.2 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}$
透水係数 (k)	0.001m/sec
地盤の厚さ (D)	5.0m

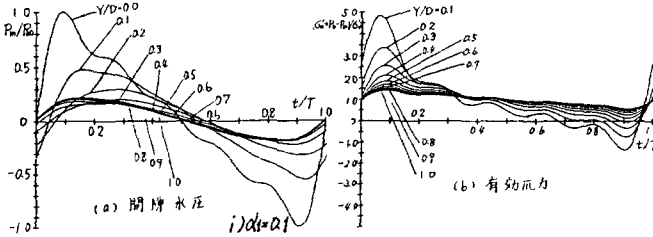
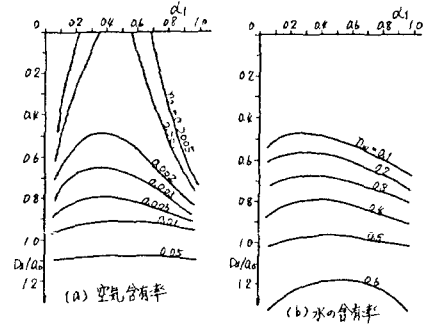


図-5 波圧変動の前・後傾化による海底地盤の動的応答特性

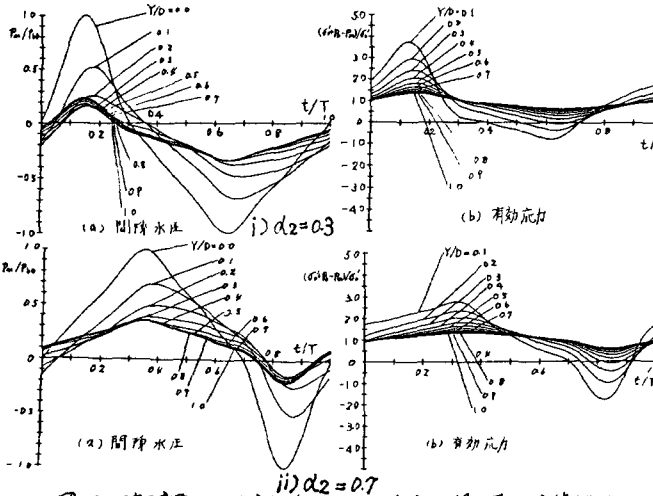


図-7 波圧変動の上下非対称性による海底地盤の動的応答特性

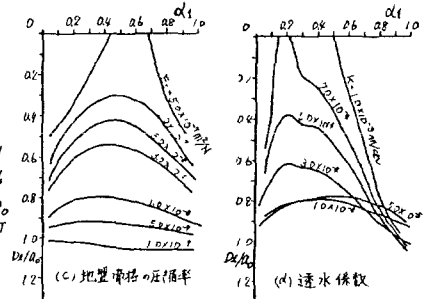


図-9 前・後傾化による浸化深さの変化

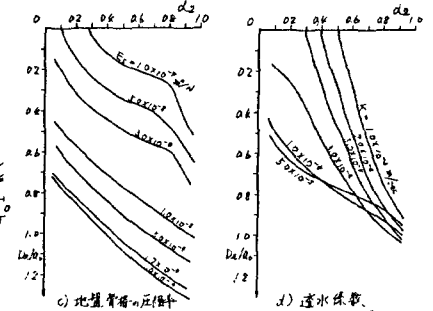
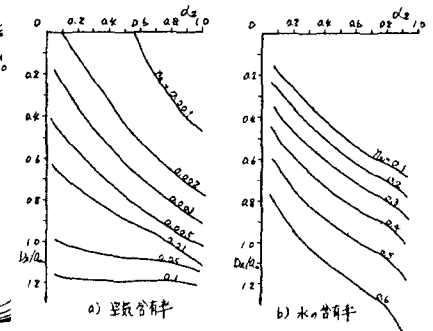


図-12 上下非対称性による浸化深さの変化