

海岸護岸脚部の波圧変動による地盤の動的応答特性

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 中嶋昭人

高知大学農学部 正員 玉井佐一

1. はじめに:

海岸護岸・堤防が砕波後の波を直接受けるようになると、構造物脚部の洗掘、裏込め土砂の吸い出しが生じ毎年数多くの被災例が報告されている。筆者らは、衝撃的な変動水圧の作用下にある地盤の安定性を評価するために、Biotの波動伝播方程式を'dynamic compatible'の条件のもとでLaplace変換により得た解析解を用いて、対称3角形パルスの変動水圧による地盤内の間隙水圧及び有効応力について検討した。しかし、現実には生じている護岸脚部の波圧変動は、3角形パルスのような単純なものではない。そこで、本研究は、実験により得られた護岸脚部の波圧変動による地盤の動的応答特性について考察したものである。

2. 理論解析の概要:

高飽和地盤における地盤の変形と間隙水の挙動との相互作用を考慮したBiotの波動伝播式は、第1種の疎密波の伝播において固体と流体との間に相対的な運動がないとする'dynamic compatible'の条件のもとでLaplace変換を用いて解くと下式のようになる。鉛直下向きにy軸をとると、

$$\left. \begin{aligned} w &= \frac{1-\beta}{Q(\alpha-\beta-1)\sqrt{a}} \int_0^t p_s(t-\tau) e^{-\beta\tau/2} \left[\frac{b\sqrt{\tau^2-y^2a}}{2a} \right] I_0\left(\frac{b\sqrt{\tau^2-y^2a}}{2a}\right) 1(\tau-y\sqrt{a}) d\tau \\ u &= \frac{-1}{\rho} \int_0^t p_s(t-\tau) 1\left(\tau-\sqrt{\frac{\rho}{Q}} y\right) d\tau - \beta w \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、u:地盤骨格の変位ベクトル、w:地盤骨格に対する流体の変位ベクトル、 λ, μ :ラメ定数、Q, α :流体及び土粒子の圧縮性を示す定数、n:間隙率、 ρ_f :間隙流体の密度、 ρ_s :土粒子の密度、 ρ :地盤の密度($\rho_s(1-n)+\rho_f n$)、g:重力加速度、K:透水係数(速度の次元を持つ透水係数kとの間には $K=k/\rho_w g$ の関係がある。 ρ_w :水の密度)、 $\beta = \frac{\rho_f}{\rho}$, $\gamma = \frac{\beta}{n}$, $\alpha = \frac{Q}{\lambda+2\mu+\lambda^2 Q}$, $a = \frac{\rho X(\gamma-\beta^2)}{Q(X-\beta^2)}$, $b = \frac{X}{KQ(X-\beta^2)}$, $p_s(t)$:波圧変動、 $1(t)$:単位ステップ関数、 $I_0(z)$:0次の修正Bessel関数である。

地盤内の間隙水圧p, 全応力 σ 及び有効応力 σ' は、下式より求められる。

$$\left. \begin{aligned} p(y, t) &= \alpha Q u_y + Q w_y \\ \sigma(y, t) &= (\lambda + 2\mu + \alpha^2 Q) u_y + \alpha Q w_y \\ \sigma'(y, t) &= \sigma(y, t) - p(y, t) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

地盤の自重 σ'_0 は、 $(1-n)(\rho_s-\rho_f)gy$ のように示され、下式のようになると地盤が液状化しとことになる。

$$\sigma'_* = \sigma'_0 + \sigma' \leq 0 \quad (3)$$

3. 解析モデル:

図-1は、護岸脚部における鉛直1次元地盤モデルを示している。地盤表面では、 $p_s(t)$ で示される砕波波圧が作用し、有効応力は無いものとしている。また、地盤深さは無限にあり、地盤底面からの反射波は無いものとしている。

護岸脚部における波圧変動の測定は、長さ30m、幅0.7m、高さ1.5mの2次元波浪水槽の一端に1/10勾配の海浜(固定床)と護岸を作製し、護岸脚部に小型圧力センサーを設置して行った。波特性は、沖波波高 $H_0=10.0$ cm, 周期 $T=1.27$ secであり、護岸設置水深は $h=5.0$ cmである。 $(H_0/L_0=0.04, h/L_0=0.02)$

また、表-1は解析に使用した地盤の物性定数を示している。

4. 結果及び考察:

図-2は、砕波波圧による護岸脚部地盤の動的応答特性を示している。(a)は地盤内部への間隙水圧の伝播

特性を示し、(b)は有効応力の変動特性を示している。(a)及び(b)は、それぞれ縦軸に $(p/\rho_w g H_0)$ 、 (σ^*/σ_0') をとり、横軸はともに経過時間と波の周期の比 (t/T) をとっている。

(a)によると、護岸脚部に作用した波圧変動は、地盤内に入るにしたがい間隙水圧を減衰し、位相差を増加しながら進行し、間隙水圧の減衰率は地盤表面に近いほど大きいようである。(b)によると、波圧変動と同じような形で地盤内の有効応力は変動するが、地盤内部になるにしたがい変動量は減少している。また、 y/H_0 が0.15より浅い領域で σ^*/σ_0' が負の値となり液状化していることがわかる。

5. むすび:

砕波波圧による護岸脚部地盤の安定性についてBiotの波動伝播理論を用いて検討した結果、波圧変動により地盤が液状化することが認められ、護岸脚部の洗掘及び裏込め土砂の吸い出しに対して重要な因子となっていることがわかった。現在、波特性および護岸前面水深等による液状化発生領域の変化について検討中である。

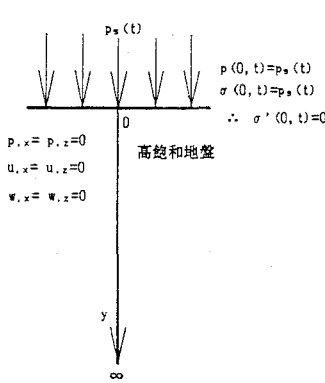


図-1. 衝撃変動水圧が作用する
高飽和地盤の鉛直1次元モデル

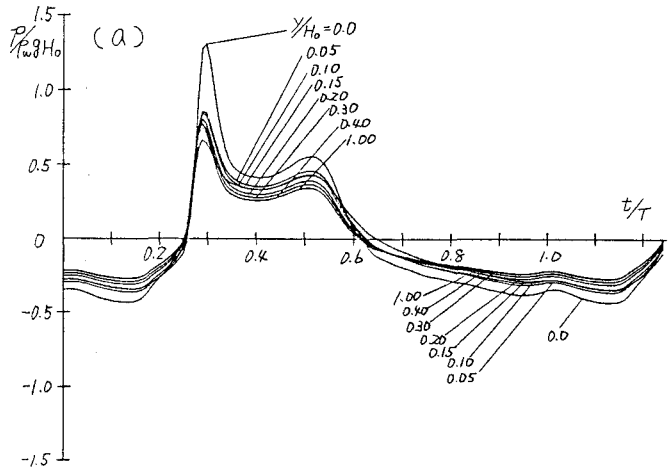


表-1. 地盤の物性値

地盤の弾性係数(E)	$5.0 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
地盤のポアソン比(ν)	0.4
間隙率(n)	0.4
土粒子の密度(ρ_s)	$2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
間隙流体の密度(ρ_f)	$1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
地盤の密度(ρ)	$1.99 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
土粒子の弾性係数(E_s)	$3.7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
間隙流体の弾性係数(E_f)	$5.13 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
α	0.78
κ	0.64
β	0.50
Q	$1.14 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
k	0.0001m/sec

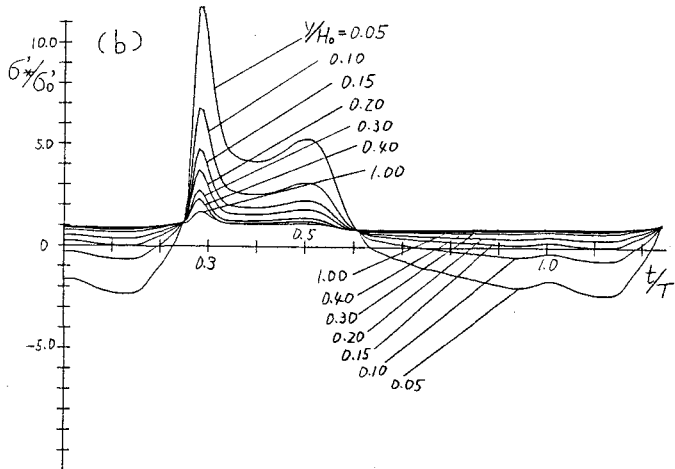


図-2 砕波波圧による護岸脚部地盤の動的応答特性