

III-117

変動水圧に対する海底地盤の間隙水圧応答

京都大学防災研究所 正会員 関口秀雄
 不動建設 正会員 福島信吾
 日本道路公団 前川利聡

1. はじめに

高波や潮位の異常変動によって海底地盤が不安定化したという事例報告は少なくない。しかし、その具体的なメカニズムについては未だよくわかっていない。本研究では、海底面における水圧変動に対する海底砂質地盤内の間隙水圧応答に着目し、その支配因子の定量的な評価法について理論と室内実験の両面から考察する。

2. 問題の設定と理論的準備

2.1 問題の設定 本研究で対象とした問題を図-1に示す。すなわち、海底面における水圧 $p_{ws}(t)$ がある時点以降に調和振動的な変動を示すものとし、これに対する、厚さ d の海底砂質地盤内の間隙水圧応答を考える。ここで、同海底地盤における飽和度は100%に近いものの、その具体的な値は当初は不明であるとする。すなわち、その同定手順が本研究の一つの眼目となる。

設定した境界条件は次のようである。すなわち、海底面 ($z = d$) は自由排水境界で、海底地盤の底部 ($z = 0$) は不透水かつ剛な基盤に支持されているものとする。なお、問題を簡単にするため、海底地盤内の側方ひずみはゼロと仮定している。

2.2 理論的準備 海底砂質地盤の間隙率を n 、構造骨格の圧縮率を m_v とし、間隙内の気泡の圧縮性も含めたマクロな意味の間隙水の圧縮率を β と定義する。さて、海底面における調和振動的な水圧変動（円振動数 ω ）に対する地盤内間隙水圧 $p_w(z, t)$ の定常応答解を、文献1)を参考にして求めると、次のようになる。

$$p_w(z, t) = p_{ws} \cdot e^{i\omega t} \cdot \Phi(z/d; \zeta d, B) \quad (1)$$

ここに $\Phi(z/d; \zeta d, B)$ はシステム応答関数で、その具体的な表現は次のようである。

$$\Phi(z/d; \zeta d, B) = B + (1 - B) \cdot \frac{\cosh \zeta z(1 + i)}{\cosh \zeta d(1 + i)} \quad (2)$$

$$B = \frac{1}{1 + n\beta/m_v} \quad (3)$$

$$\zeta = [\omega/(2c_v^*)]^{1/2} \quad (4)$$

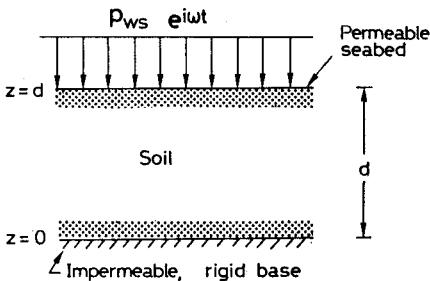


図-1 水圧変動を受ける海底地盤

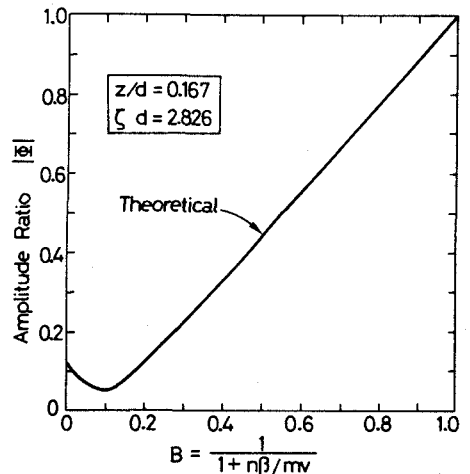


図-2 水圧振幅比とB値の関係

ここに B は Skempton の間隙水压係数、 ω は波数、 c_v^* は式 (5) に定義される圧密係数である。

$$c_v^* = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} \cdot B \quad (5)$$

図-2 と図-3 に、後出の室内実験条件 ($z=3\text{cm}$; $d=18\text{cm}$; $\omega=12.56\text{ rad/s}$; $c_v^*=254\text{cm}^2/\text{s}$) に対応する理論曲線を示しておく。

ところで式 (2) によると、圧密係数 c_v^* は波数 ω を介して、やや複雑な形で $p_w(z, t)$ に影響を与えている。換言すると、式 (2) を逆に解いて c_v^* を同定することは必ずしも容易ではない。そこで本研究では、 $p_{ws}(t)=p_{ws} H(t)$ の形に準ずる水压変動に対する間隙水压応答に着目し、直接的に c_v^* の値を決定することとしている(後出の図-4 参照)。ここに、 $H(t)$ は Heaviside の単位階段関数である。

3. 室内水压変動実験

モデル海底地盤として密詰め珪砂 No. 8 ($e=0.705$; $k=1.07 \times 10^{-3}\text{ cm/s}$; $d=18\text{ cm}$) を用い、水压変動実験を行った。

図-4 は圧密係数 c_v^* の値を同定するために行った急速水压変動試験の結果である。時間 $t=0.5\text{ s}$ 以降の応答より、 $c_v^*=254\text{cm}^2/\text{s}$ と求めることができる。

図-5 は周波数 2 Hz の水压変動(最初の10波)に対する実験結果である。水压振幅比 $|\Phi|$ が、水压変動サイクルの増加とともに定常状態に落ち着いていく様子を図-6 に示す。地点 $z=3\text{ cm}$ における定常応答に着目し、図-2 の理論曲線から B 値を同定すると、 $B=0.90$ となる。これに対応する飽和度の値を試算すると、99.8% となる。

参考文献 1) Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C. (1959). Conduction of Heat in Solids. Oxford University Press.

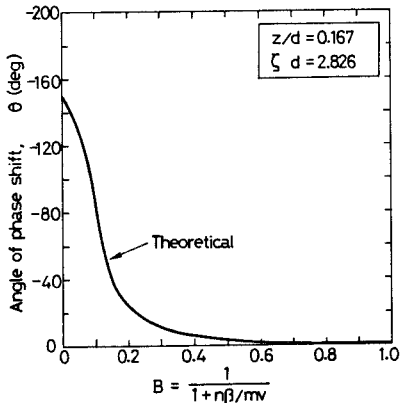


図-3 位相のずれと B 値の関係

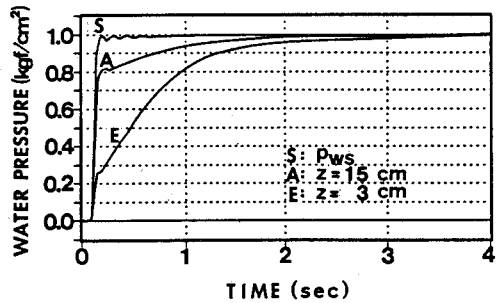


図-4 急速水压変動試験の結果

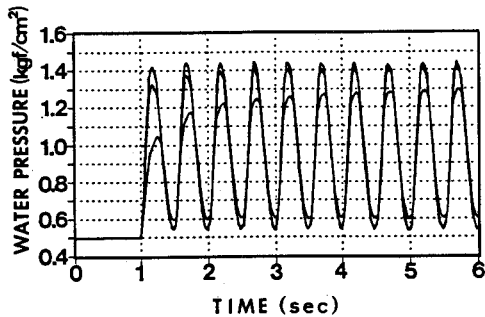


図-5 調和水圧変動試験の結果

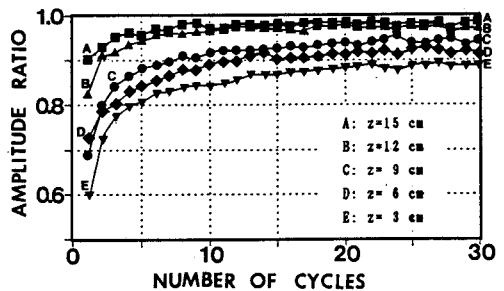


図-6 水压振幅比の推移