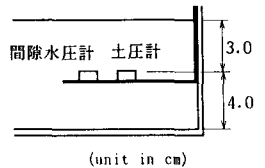


波による底泥内部の圧力変動と流動限界

四電技術コンサルタント 正会員○香川 和久
熊谷組 正会員 井上 洋
徳島大学工学部 正会員 中野 晋

1. はじめに 波による底泥の移動現象には、質量輸送によるもの、再浮上と沈降を伴うものが考えられるがいずれも底泥の流動化と深く関わっている。そこで本研究では、実験により波による底泥内部の圧力変動を実測し、底泥の流動化現象と内部圧力変動との関連について検討したものである。

2. 実験装置および実験方法 実験には全長16.8m、幅0.49m、高さ0.75mの片面ガラス張り二次元造波水槽を用いた。水路中央付近には厚さ7.0cm、長さ3.0mの底泥床を設け、モデル底泥には所定の含水比に調整したカオリナイト(ASP600)を使用した。底泥床中央部には図-1に示すように底泥床表面から3cmの深さに土圧計と間隙水圧計を埋設し、その直上に波高計、超音波測深器を水路直角方向に並べて設置し、内部応力、水位変動、底泥表面変位を同時に測定した。底泥層厚は7.0cmで一定とし、水深は20cm、30cm、40cmの3種類、含水比が140%と180%、周期が1.0秒と1.2秒に変化させて底泥運動の発生の有無を観察した。各実験条件について、発生可能な最小波高から波高を漸増させ、底泥層全域にわたって流動が確認されるまで波高を増加させた。



(unit in cm)

図-1 圧力計の設置状況

なお、各時刻の有効応力 P_e は土圧(p_0)から間隙水圧(p_z)を引いて求めた。

3. 実験結果と考察

(1) 底泥内部応力の鉛直分布

底泥床面での推定波圧振幅 P_b で無次元化した間隙水圧変動振幅 P_z/P_b と有効応力変動振幅 P_e/P_b の鉛直分布をYamamoto et al.¹⁾の底質層厚さ無限大の場合の理論解とあわせて図-2、図-3に示す。Yamamoto et al.¹⁾によると底質深さが無限大で飽和した海底内では P_z/P_b 、 P_e/P_b はそれぞれ

$$P_z/P_b = \exp(-kz) \quad (1)$$

$$P_e/P_b = kz \exp(-kz) \quad (2)$$

で表される。ここで k は波数、 z は深さである。図-2の間隙水圧変動振幅の鉛直分布は理論値にはほぼ近い値となっており、深さ方向へ減少する傾向も確認できる。しかし底泥の運動状態による傾向は明確ではない。図-3の有効応力変動振幅についても理論値に近い値となっているが、底泥が流動していない状態では理論値よりもやや小さく、流動している場合は理論値よりも大きくなる傾向があるようである。

(2) 底泥内部応力の特性

底泥の内部応力変動振幅を次に示すKeulegan parameter K_* との関係から図-4、図-5に示す。Keulegan parameter K_* の定義は式(3)に示すとおりである。

$$K_* = \frac{U_*^3}{(\rho_s/\rho_w - 1)g\nu} \quad (3)$$

ここで、 ρ_s はカオリナイトの見かけの密度、 ρ_w 、 ν はそれぞれ水の密度および動粘性係数、 U_* はJonssonの滑面による摩擦係数 f_w を用いた摩擦速度であり次式で表される。

$$U_* = \sqrt{f_w/2} U_m \quad (U_m: \text{底面における最大水粒子速度}) \quad (4)$$

図-4は間隙水圧変動振幅 P_z/P_b と K_* の関係である。これによると K_* の増加にかかわらず、 $P_z/P_b = 1.0$ 付近ではほぼ一定となっている。一方、図-5の有効応力変動振幅 P_e/P_b は K_* の増加に伴う増加傾向が見られ、特に流動状態においてはその傾向が顕著である。このことから底泥の流動化現象は底泥の内部応力(有効応力)と深く関わる事が推察できる。

(3) 底泥の流動限界

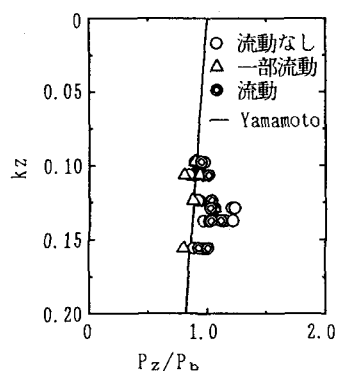
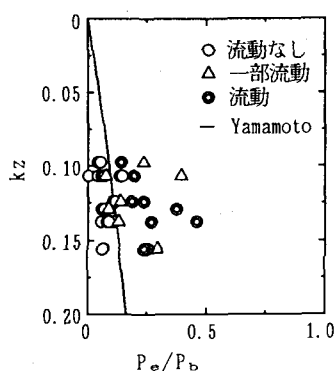
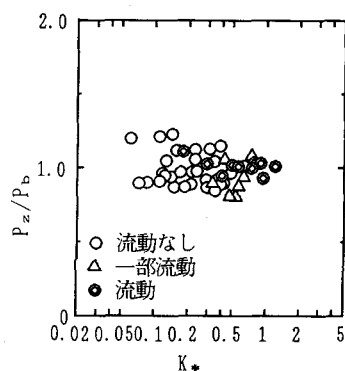
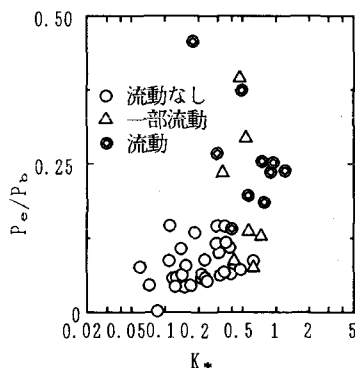
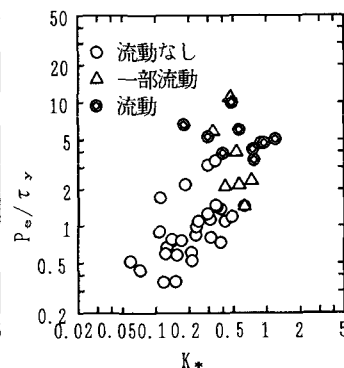
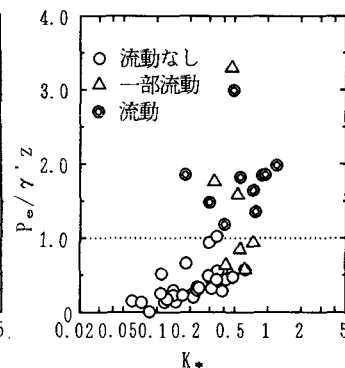
(2)の結果より、底泥の流動化は底泥の内部応力(有効応力)の増加により生じると考えられる。そこで有効応力変動 P_e を底泥の最大せん断応力(降伏値) τ_y で除した無次元量 P_e/τ_y を指標に、底泥の流動限界を検討したものを図-6に示す。 τ_y には、鶴谷ら²⁾の次の実験式を用いている。

$$\tau_y = 1.130 \times 10^7 W^{-2.844} \quad (W=120 \sim 250\%) \quad (5)$$

図-6より $P_e/\tau_y = 2 \sim 3$ 以上になると底泥の流動化が生じていることが確認できる。次に、海底地盤の液状化理論によると底泥の流動化限界は、条件式(5)で表されることがわかっている。

$$P_e/\gamma' z \geq 1 \quad (\gamma' : \text{カオリナイトの水中単位体積重量}) \quad (6)$$

そこで、本実験結果を図-7に示す。 K_* の増加に伴って $P_e/\gamma' z$ は増加し、ほぼ $P_e/\gamma' z \geq 1$ で底泥の流動化が始まっていることがわかる。この結果より、底泥の流動化限界は(6)式で表現できると考えられる。

図-2 P_z/P_b と kz の関係図-3 P_e/P_b と kz の関係図-4 P_z/P_b と K_* の関係図-5 P_e/P_b と K_* の関係図-6 P_e/τ_y と K_* の関係図-7 $P_e/\gamma' z$ と K_* の関係

謝辞 本研究は文部省科学研究費奨励研究A(中野 晋)の補助のもとに実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) T.Yamamoto, H.L.Koning, Hans Sellmeijer: On the response of a poro-elastic bed to water waves, J.Fluid Mech., 87(1), 193-206, 1978
- 2) 鶴谷 広一, 江口 秀二, 鷹濱 潤: ベーン試験とスランプ試験による底泥の流動限界値の検討, 海岸工学講演会論文集, 第36回, 329-333, 1989