

Ⅲ - A82

氷荷重を受ける氷海構造物基礎粘土地盤の安定性の評価

山口大学工学部

山口大学大学院

NKK エンジニアリング研究所

正 員 兵動正幸

学生員○原本利徳

亀崎一彦 佃 洋孝

1. まえがき

本研究は、氷海域における重力式プラットフォーム基礎地盤の安定性評価のための基礎研究として行ったものである。氷海構造物基礎の海底地盤には、構造物の重量による静的荷重と氷盤の衝突・破壊時に生じる繰返し荷重が作用するものと考えられる。このような繰返し荷重は、構造物を介して地盤に繰返し水平・鉛直・モーメント荷重を与え、過剰間隙水圧を発生させ、軟化させていく。これまでに地盤の動的挙動については、地震時の砂地盤の液状化の問題が多く取り上げられ、すでに多くの実験データなどが蓄積されているが、氷荷重による繰返し外力は地震とは異なり片振りであることや数時間にも及ぶ振動であることから、今後これに関するデータの蓄積が必要と考えられる。そこで本研究では、構造物の支持地盤としては静的に最も不安定な粘土地盤を対象とし、氷荷重による繰返し荷重作用下の基礎地盤の動的挙動を把握するために、実験および解析による評価を行った。

2. 地盤の動的変形および強度の評価のための繰返し三軸試験

これまで氷荷重は、一般に準静的なものとして考えられてきた。しかしながら、1986年に Beaufort Sea において MOLIKPAQ が大きな振動による被害を受けたことが報告されて以来、その周期的、動的応答が設計の基準と考えられるようになった。そこで本研究では、周期的な準静的あるいは定常振動を想定して非排水繰返しせん断試験を行った。図-1 に氷荷重によるせん断波形の概念図を示す。ピーク時の応力を q_p とし、初期せん断応力 q_s と繰返し応力 q_{cyc} の組み合わせを変化させ、様々な大きさの氷荷重による波形をシミュレートした。用いた試料は、高塑性の五日市粘土 ($G_s=2.532, I_p=72.8$) を攪拌後、予圧密圧力 50kPa を段階的に載荷して作成した正規圧密再構成試料である。図-2 は、各サイクルにおけるピーク軸ひずみ ε_p と繰返し応力ピーク時の有効応力比 η_p の関係を示したものである。図から、両者の間にはピーク時の応力比 q_p/p_c や初期せん断応力比 q_s/p_c と繰返し応力比 q_{cyc}/p_c の組み合わせによらない一義的な関係が存在していることが認められる。図-3 は、ピーク軸ひずみ $\varepsilon_p=5\%$ に至るに必要なピーク時の応力比 q_p/p_c と繰返し回数 N の関係を示したものである。図から、ピーク時の応力比の違いによらず、一本の曲線で強度評価が可能であることが見てとれる。

3. 繰返しせん断を受ける地盤の安定および変形評価のためのモデル化

図-4 は、繰返しせん断強度 R_f と繰返し回数 N の関係を両対数上に表したものである。図から、両者の間には、良好な直線関係が存在していることが認められる。よって、繰返しせん断強度 R_f は、次式で表される。

keywords: ice-load, offshore structure, undrained cyclic shear test, FEM analysis, clay ground, stability
〒755 山口県宇部市常盤台 2557 TEL(0836)35-9111 FAX(0836)35-9429

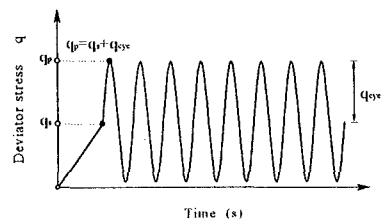


図-1 氷荷重によるせん断波形の概念

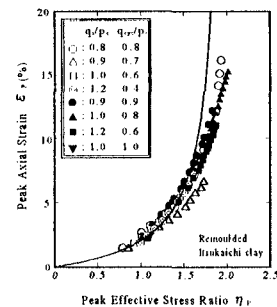
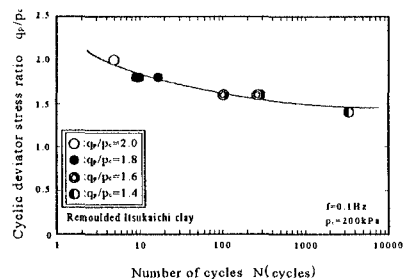
図-2 $\varepsilon_p \sim \eta_p$ 関係

図-3 繰返し強度線

$$R_f = (q_{cyc} + q_c) / p_c = \kappa \cdot N^{\mu} = 2.145 \cdot N^{-0.055} \quad (1)$$

次に、先程示した図-2 における一義的な関係を次式のように双曲線で近似し、せん断ひずみの定量化を行った。

$$\varepsilon_p = \eta_p / (1 - \eta_p / 2) \quad (2)$$

4. 氷荷重を受ける構造物基礎地盤の安定および変形評価のための解析

本研究では、氷海構造物基礎地盤が正規圧密粘土地盤である場合を想定し、有限要素解析により氷荷重による地盤内応力の算定と、その地盤内応力が繰返し作用することによる基礎地盤の安定性および変形の評価を行った。

変形予測には、上述の提案モデルを用いた。図-5 に解析対象断面の有限要素図を示す。地盤上面に構造物基礎としての剛棒要素を導入し、その中央に氷荷重・構造物系の解析により得られた水平力とモーメントを入力した。ここの解析は静的解析とし、慣性力と減衰の影響を無視した。解析により得られた各土要素の最大せん断応力が、繰返し作用する状態を想定し、以下の解析を行った。氷荷重による繰返し応力の繰返し回数は、一事象の継続時間により異なるが、本研究では、一例として繰返し回数 1000 回の場合における検討を行った。解析結果の各土要素の繰返しせん断応力比 R_f と図-4 の実験による動的強度 R_f の比 R_f/R が各土要素の動的安全率 F_d として評価でき、図-6 に安全率の分布を描いた。図中 $F_d < 1$ の部分は土要素が局所的に破壊を起こしたところである。図のように構造物基礎前・後端に破壊した部分が見られる。また、その周辺には、破壊には至らずとも比較的安全率の低い部分が認められる。図-7 に、上述の提案モデルを用いて予測したせん断ひずみの分布を描いた。図のように構造物近傍で 5% 以上のひずみが生じている。この得られた最大せん断ひずみを沈下量に換算すると、構造物基礎前・後端部付近で約 30cm の沈下が生じることが予測される。この変形は、構造物の不等沈下を招くもので、さらに繰返し回数が増すことによる破壊域の増加とともに増大していくことが懸念される。

図-5 解析対象断面の有限要素モデル

要素数: 337
節点数: 387
縮尺: 1/1280
幅: 320m
深さ: 50m

水 → 構造物
M=110800kN・m/m
H=3878kN/m

粘土層

図-6 動的安全率分布

図-7 最大せん断ひずみ分布

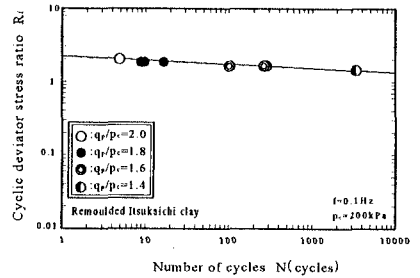


図-4 繰返し破壊強度 R_f の定量化

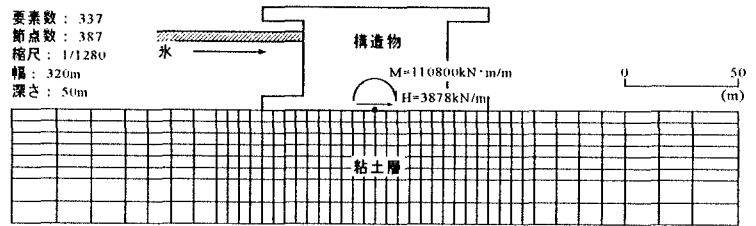


図-5 解析対象断面の有限要素モデル

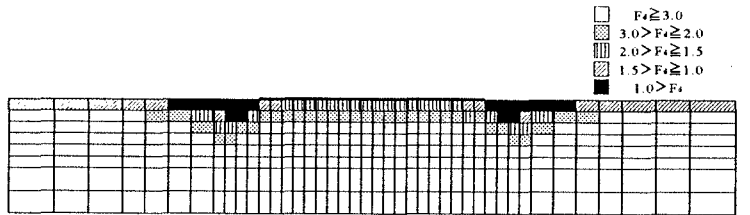


図-6 動的安全率分布

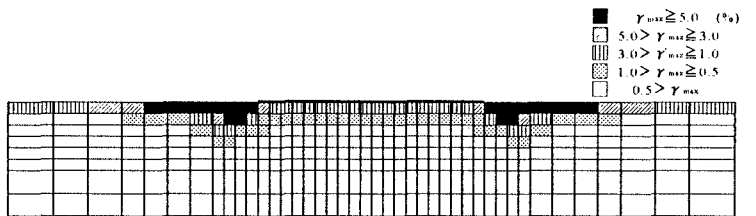


図-7 最大せん断ひずみ分布

謝辞 本報は、(社)日本海洋開発産業協会(JOIA)、「海洋構造物に及ぼす氷荷重に関する研究委員会」(委員長:北海道大学佐伯浩教授)における研究成果の一部をとりまとめたものである。関係各位に感謝の意を表する次第である。

【参考文献】 1) Jefferies, M.G. and Wright, W.H.(1988): Dynamic response of MOLIKPAQ to ice-structure interaction, OMAE, 1988.