

波浪時のケーソン基礎周辺部における海底地盤の液状化解析

九州大学大学院 学 ○高松 賢一 正 善 功企
正 陳 光斉 正 笠間 清伸

1.はじめに

国内外への物資の輸送の多くを海路に頼る我が国にとって、港湾施設は常に安全に供用されなければならない。港湾施設を安全に維持するにあたり、波浪による海底地盤の液状化は基礎周辺部の砂粒子移動の原因となり、基礎の支持力の低下を引き起こしかねないため、急な対策を要する重大な問題である。これまでの研究から、水深 50m 程度の沖域において、波浪により海底地盤は液状化し、砂粒子が浮遊することを確認した。しかし、水深の浅い沿岸域での、特に基礎周辺部での波浪による海底地盤液状化後の砂粒子の移動現象やそのメカニズムについては不明な点も多い。

本文では、海底地盤内を伝達する水圧を二次元の圧密方程式でモデル化し、ケーソン基礎周辺部の海底地盤内で発生する過剰間隙水圧について解析を行った。そして、水深の異なる沖域(水深 50m)と沿岸域(水深 12m)との間で、海底地盤内で発生する水圧にどの程度の差が存在するかについて比較した。また、ケーソン基礎の根入れ深さがケーソン基礎周辺部の過剰間隙水圧や基礎直下部の変動間隙水圧の発生機構に与える影響についてパラメータ解析を行うことによって調べた。

2.解析方法

解析で用いた海底地盤の概念図を図-1 に示した。過剰間隙水圧分布を求めるために、波浪により海底面が受ける水圧分布 P_b を微小振幅波理論より式-(1)で与え、海底地盤内を伝達する水圧 P_m を圧密方程式型の微分方程式(式-(2))でモデル化した。式-(2)を二次元差分法を用いて、表-1 にあるように、ケーソン基礎の根入れ深さを変化させて解き、基礎の根入れ深さが基礎周辺部での過剰間隙水圧の発生機構に与える影響について考察した。その結果を用いて、過剰間隙水圧が有効土被り圧を上回る液状化領域を求め、今までの研究より導かれる沖域での同じ波浪、地盤条件下で液状化する領域と比較した。さらに、基礎外部と基礎直下部の水圧変動に着目し、両者の水圧変動メカニズムの違いについて考察した。

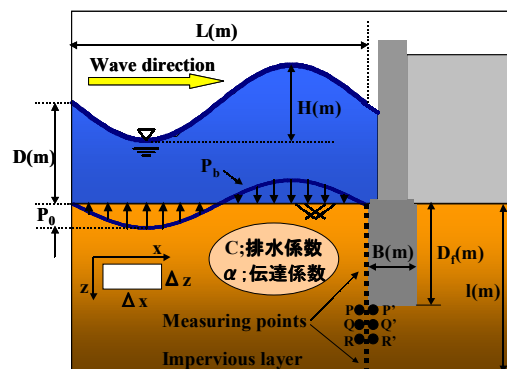


図-1 解析断面概念図

表-1 解析条件

波浪条件	水深	D(m)	12
	波高	H(m)	10
	波長	L(m)	150
	周期	T(s)	9.81
海水の単位体積重量		γ_w (kN/m ³)	10.1
土の飽和単位体積重量		γ_{sat} (kN/m ³)	15.0
土の水中単位体積重量		γ' (kN/m ³)	4.90
透水層長		l(m)	20
地盤条件	排水係数	C	0.01
	伝達係数	α	2.0
鉛直方向の差分間隔		Δz (m)	0.4
水平方向の差分間隔		Δx (m)	L/16
基礎幅		B(m)	18.75
基礎根入れ深さ		Df(m) (3ケース)	4.0
			10.0
			16.0

$$P_b = \frac{\gamma_w \cdot H}{2 \cosh(\lambda \cdot D)} \cdot \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T} \right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$C_v \left(\frac{\partial^2 P_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_m}{\partial z^2} \right) = \alpha \cdot \frac{\partial P_m}{\partial t} - \frac{\partial P_b}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$C = \frac{C_v \cdot T}{l^2} \quad ; \text{排水係数}$$

$$\alpha = 1 + n \cdot \frac{m_w}{m_v} = \frac{\partial P_b / \partial t}{\partial P_m / \partial t} \quad ; \text{伝達係数}$$

また、 $\lambda = 2\pi/L$:波数、 C_v :圧密係数、 H :波高、 D :水深、 n :間隙率
 γ_w :海水の単位体積重量、 m_v , m_w :土および間隙水の圧縮率

波浪、海底地盤、液状化、吸出し、ケーソン基礎

九州大学大学院工学府建設システム工学専攻防災地盤工学研究室

(福岡市東区箱崎 6-10-1 共同研究棟 2F・TEL:092-641-3131(内線:8745)・FAX:092-642-4399)

3.解析結果および考察

図-2 に、基礎の根入れ深さの違いによる基礎周辺の水圧変動を評価するために、基礎側面で発生する変動間隙水圧の振幅を深度に対して示した。比較のために水深 50m で基礎がない場合の解析結果も同時に示した。解析結果がほぼ一致していることから、基礎側面の変動水圧はおおよそ根入れ深さに拠らないことが分かる。さらに、水圧変動の減衰傾向は基礎の有無によらず一致していることも分かる。また、図中には示していないが、基礎直下部での変動間隙水圧も根入れ深さに拠らなかった。これは、約 $z/l=0.1$ 付近までに変動間隙水圧の減衰が完了してしまうためと考えられる。

図-3 に、基礎の根入れ深さが 4.0m の時の基礎側面における過剰間隙水圧と有効土被り圧の深度分布を示した。基礎の根入れ深さ D_f/l が 0.1 以上ある場合、過剰間隙水圧分布は図-3 と同様の結果となると考えられる。図より、波の谷がケーソンに差ししかかった時、基礎側面は約 $z/l=0.24$ ($z=4.8\text{m}$) まで液状化すると考えられる。これは一般的な基礎の根入れ深さに相当するほどの大きな値と考えられる。

図-4 に、同様の波浪と地盤条件下で、 $D=50\text{m}$ と $D=12\text{m}$ において図のような波が存在するときの海底地盤内の有効応力分布を示した。両者間で液状化領域の規模が大きく異なることが分かる。また、 $D=12\text{m}$ では基礎付近に、基礎とほぼ同等の規模の液状化領域が存在し、液状化深度は基礎の根入れ深さの 4.0m を上回る。

これより、この時、基礎周辺の地盤は不安定となり、基礎底面から砂粒子が吸出されたり、局所洗掘が起こることが予想される。

図-5 に、図-1 の基礎周辺部にある六つの測定点 P,P',Q,Q',R,R' における変動間隙水圧変化を示した。測定点 P, Q, R での変動間隙水圧変化は一致しているが、基礎直下部の測定点 P', Q', R' での変動は、大きな減衰と位相差をとらない、変動間隙水圧の反応が海底面での水圧の作用から大きくずれる結果となった。これより、基礎直下部では鉛直上向き方向（基礎を持ち上げる方向）に作用する浸透流が発生する時があると考えられる。

4.結論

- (1) 基礎の根入れ深さが変動間隙水圧の減衰が完了する深度以上あれば、基礎付近での過剰間隙水圧の発生機構は根入れ深さに拠らない。
- (2) 沖域と沿岸域では、地盤内の変動水圧も過剰間隙水圧も大きく異なる。今回、沿岸域の基礎周辺では大きな液状化領域を確認した。
- (3) 基礎直下部では、上向きの浸透力が作用することが考えられる。

<参考文献>

- 1) 高松 賢一ら：「波浪による海底地盤液状化に関する二次元差分解析」
：第 37 回地盤工学研究発表会,2002.7（投稿中）

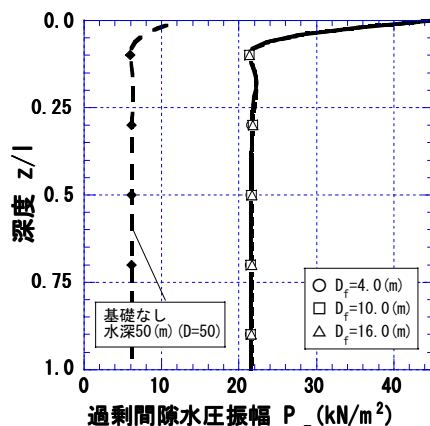


図-2 変動間隙水圧振幅の深度分布

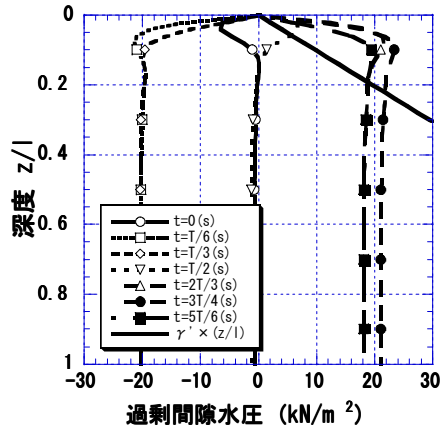


図-3 基礎側面における過剰間隙水圧と有効土被り圧の深度分布

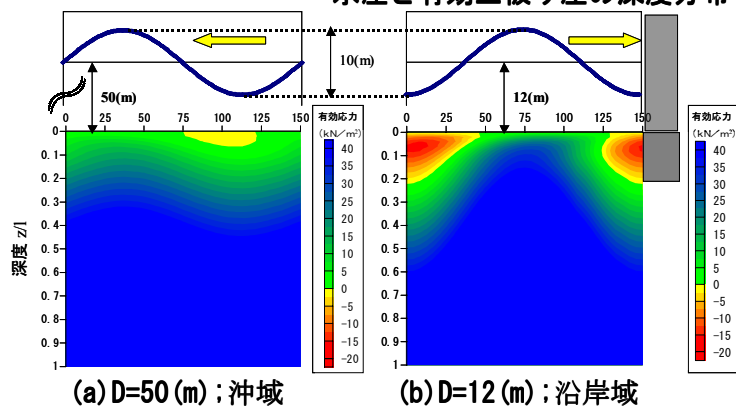


図-4 沖域と沿岸域での有効応力分布

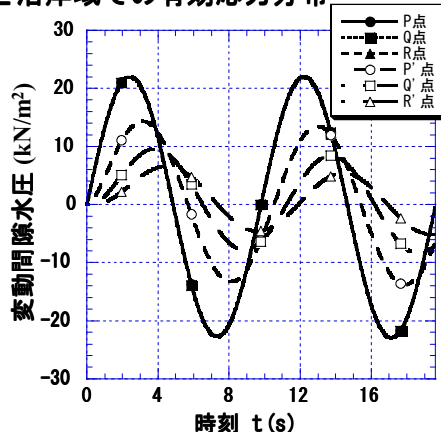


図-5 基礎外部と直下部における変動間隙水圧変化