

波浪による液状化に対する防波堤マウンドの効果について

岐阜大学工学部 正会員 岡 二三生 岐阜大学工学部 正会員 ○ 八嶋 厚
 北海道大学工学部 正会員 三浦均也 岐阜大学院学生 古川浩司
 水産庁水産工学研 正会員 大槇正紀

1. はじめに

波浪によって、海底砂地盤が液状化することが知られている(例えば、善[1])。もし防波堤基礎周辺の砂地盤が液状化すれば、転倒・過大な沈下等が発生し、防波堤としての機能が失われることも考えられる。八嶋ら[2]は、海底地盤の液状化対策工法に関する基本的な考え方をまとめ、対策工法を選定するにあたっては、地震時の液状化対策に用いられている原理だけではなく、波浪による海底地盤の液状化に特有な力学的性質も考慮しなければならないと結論づけている。本研究においては、従来荷重分散効果を目的として用いられてきた混成堤のマウンドが、波浪による海底地盤の液状化抑止に非常に効果であることを検証する。三浦ら[3]は、問題を弾性問題として有限要素解析し、マウンドの液状化抑止効果を検討しているが、ここでは、海底地盤の塑性的性質を考慮する目的で、弾塑性解析を実施している。

2. 問題設定と解析結果

波浪による液状化発生のメカニズムとして、次の2つが考えられている。1つは、波の変動によって生じる海底地盤中の間隙水圧の伝播に位相差が生じ、みかけ上の過剰間隙水圧が発生するものである。もう1つは、飽和砂の地震時液状化現象とよく似たメカニズムのものであり、波圧が海底地盤表面に繰り返し作用することによって、地盤中の土要素に過剰間隙水圧が蓄積され、液状化が発生するものである。

ところで、防波堤直下のマウンドは海底砂地盤にくらべてかなり大きな透水係数を有する。そこで、地盤の透水係数の違いが波浪による液状化現象にどのように影響を与えるのかを簡単な例題を用いて検討した[2]。問題を簡単とするために、1次元問題を考えた。水深40mの海底砂地盤について周期 $T=13.0\text{sec}$ 、波高 $H=18.6\text{m}$ 、波長 $L=320\text{m}$ の入力を与えた。先に述べた2つのメカニズムの液状化に対する透水性の影響を把握するために、弾性解析と弾塑性解析を実施した。弾性解析および弾塑性解析において用いた砂の力学定数は、北海道室蘭沖のゆるい砂試料を用いた室内実験結果[4]から設定した。

海底面に接する最上部地盤要素の間隙水圧比の時刻歴を、弾性解析および弾塑性解析について図-1、2に示す。図-1より、透水係数がかなり大きくなれば、有効応力の変動は小さくなることがわかる。しかし、図に示した透水係数からわかるように、変動する過剰間隙水圧を地盤内よりすみやかに消散させるためには、極めて大きな透水係数が必要になることがわかる。一方、弾塑性解析(図-2)においては、蓄積していきこうとする過剰間隙水圧が、わずかの透水係数の向上によって消散していく

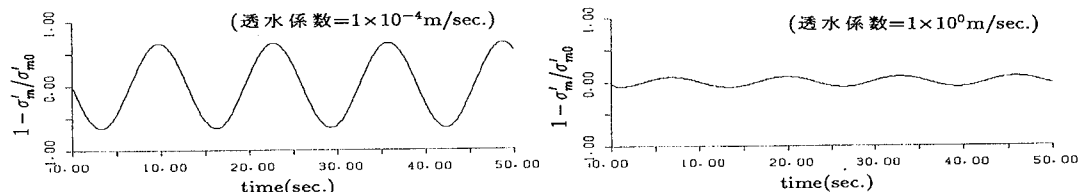


図-1 透水係数の違いが間隙水圧比の時刻歴に及ぼす影響(弾性解析)

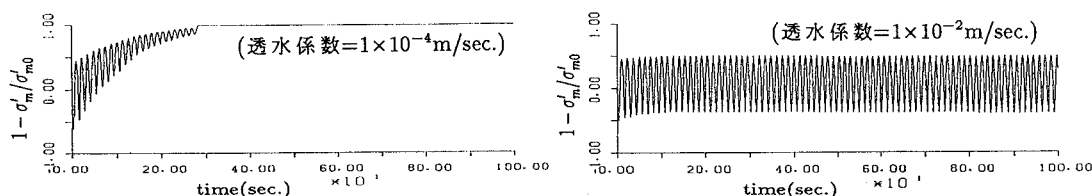


図-2 透水係数の違いが間隙水圧比の時刻歴に及ぼす影響(弾塑性解析)

様子がわかる。このように、過剰間隙水圧の発生するメカニズムの違いによって、その消散のしやすさにも大きな違いがあることがわかった。

次に、実際の防波堤を含む2次元問題について、波圧と防波堤自体のロッキングによって発生した過剰間隙水圧が、マウンドの存在によってどのように消散していくのかを検討する。図-3に防波堤を含む解析断面を示す。この図では、防波堤がすでに海底砂地盤中に沈下している。図-3に与えた断面では、防波堤直下にマウンドを想定した礫材料が存在しているが、このマウンド効果を検討するために、その部分を海底砂地盤とした解析も別途実施している。弾塑性解析に用いた砂のパラメータは上述の1次元解析で用いたものとはほぼ同じである。ここでは、港外側の水深を3.5mとし、周期 $T=5\text{sec}$ 、波高 $H=2\text{m}$ 、波長 $L=35\text{m}$ の重複波を入力として与えた。この波を5回与え、その間に発生した最大の過剰間隙水圧比の分布を解析結果として示した（図-4）。

解析結果からわかるように、防波堤直下にマウンドが無い場合には、防波堤港外側、特に消波ブロック下部で過剰間隙水圧比が1となっており、かなり広い範囲で液状化が発生していることがわかる。一方、防波堤直下にマウンド（ここでは礫材としてモデル化）が存在する場合には、非常に大きな波の入力にもかかわらず、大きな透水係数をもつマウンドの効果によって、蓄積していくとする過剰間隙水圧がすみやかに消散していったことがわかる。別途、同じ波圧の条件で1次元解析を行ったが、その結果によれば最上部の砂地盤が液状化に至るためには、15波が必要であった。このことから、今回実施した2次元解析においては、1次元的な波圧の影響だけではなく、波力による防波堤のロッキングも過剰間隙水圧上昇に寄与していたことがわかる。しかしながら、防波堤直下に設置されたマウンドは蓄積していく過剰間隙水圧を消散させ、液状化抑止に効果的であったことがわかる。

このように、従来防波堤等の上部構造物の荷重分散効果を目的として設置されていたマウンドは、その効果のみならず、波浪による海底地盤の液状化抑止にも有効であることがわかった。

参考文献 [1] 善, 海洋開発における波と海底地盤の動的問題, 昭和59年度運輸省港湾技術研究所講演会, 1984. [2] 八嶋ら, 波浪による海底地盤の破壊について, ウォーターフロント開発に関する土質工学上の諸問題セミナー, 1992. [3] 三浦ら, マウンドを有する防波堤の動的有限要素法解析, 第29回土質工学研究発表会, 1994. [4] 北海道開発局室蘭開発建設部, 一般国道37号室蘭市白鳥大橋地質調査その2, 液状化検討報告書, 1985.

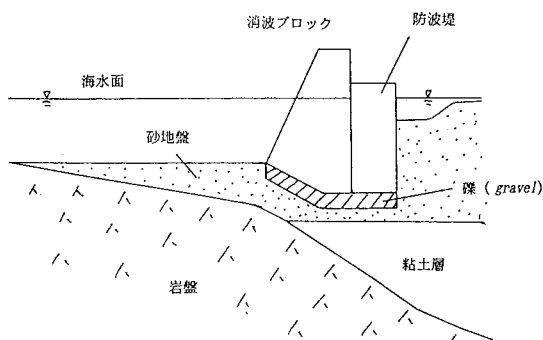


図-3 解析断面

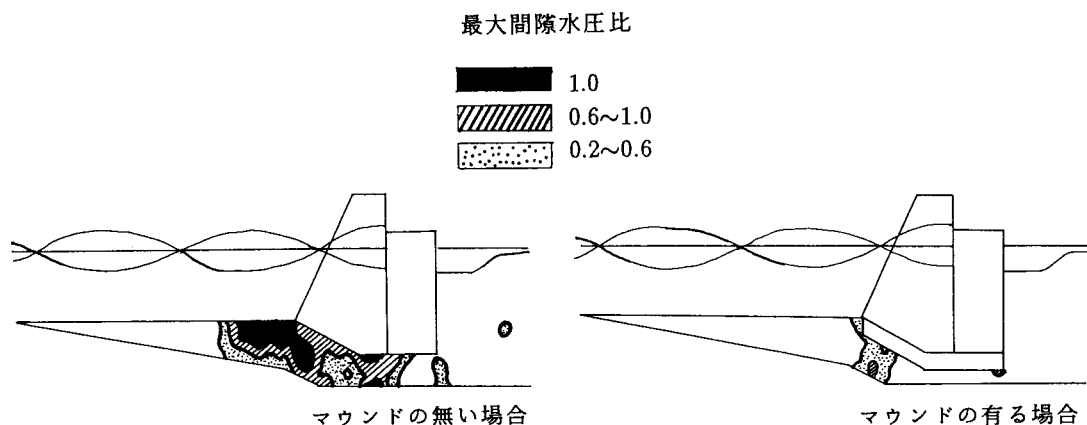


図-4 波高2mの重複波が5回作用したときに発生する最大間隙水圧比の分布（マウンド効果の比較）