

III-108

波浪荷重を受ける軟弱地盤上防波堤の変形・安定解析

茨城大学 工学部 (正)○佐藤研一 安原一哉
神奈川県 齊藤 諭

1. はじめに 防波堤のような沿岸構造物は波浪により繰返し荷重を受ける。この繰返し応力の影響により地盤は変形が生じ、防波堤は沈下したり、不安定になり、場合によっては破壊至る。この時の地盤の変形は、土の非排水繰返しせん断と繰返しせん断により蓄積した過剰間隙水圧の消散との2つの現象の重ね合わせにより生じると思われる。そこで、海成粘土地盤上に建設された防波堤の挙動を把握するために、著者らが提案した手法^{1) 2) 3)}を用いて、繰返し応力下におけるひずみと過剰間隙水圧の予測法と防波堤に作用する波圧による発生する地盤内応力の弾性解析を組み合わせることにより防波堤の沈下解析を行った。本解析では、波の作用方向違いが非排水せん断および、発生間隙水圧の消散による沈下に及ぼす影響について数値実験を行った。

2. 解析手法の概要 今回解析対象とした防波堤は、軟弱地盤着底式防波堤(軟着堤)と呼ばれ堤体下の地盤改良をしない軟弱地盤上に重量の軽い堤体を直接設置する方式の防波堤である⁴⁾。図-1に解析の対称とした防波堤と地盤の解析モデルを示す。防波堤は、層厚20m粘土地盤(有明粘土: $G_s=2.65$, $w_L=82\%$, $I_p=41$, $e_o=2.77$)上に建設されていると考え、防波堤は幅16m, 高さ6.8mの大きさの防波堤とした。また波の特性は、熊本港の有義波のデータ(周期:5.44(s), 波長:39(m))を用い、波高については周期と波長は同じとして、0.5~5.0mまで0.5mおきに変化させた。波数は、それぞれの波高の波浪が6, 12, 24, 48時間続くと考え、各時間に相当する波数を計算して用いた。今回の解析では、波の振幅の特性を解析に取り込むことを考え、波が防波堤壁面に作用する波圧の計算に時において、図-2に示すように壁面に波の峰があたる場合(押し波)と谷(引き波)があたる場合に分けて行い、

それぞれの波が連続的に防波堤にあたると仮定して沈下量の計算を行った。これらの防波堤に生じる波圧分布は、合田の式⁵⁾により求めた。解析は、有限要素法による地盤解析用プログラム⁶⁾を用いて、非排水状態及び平面ひずみ状態の弾性解析を行った。弾性解析のための入力定数は、表-1に解析に使用した構造物(防

表-1 地盤および構造物の材料定数

	地 盤	構造物(軟着堤)
水平弾性係数 E_s	357 kPa	2.8×10^7 kPa
鉛直弾性係数 E_v	357 kPa	2.8×10^7 kPa
水平ポアソン比 ν_{hs}	0.25	0.2
鉛直ポアソン比 ν_{vs}	0.25	0.2
$G=E/(2(1+\nu))$	143 kPa	1.17×10^7 kPa

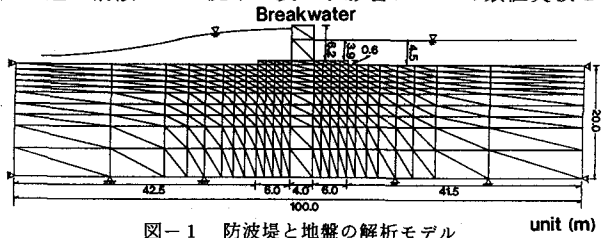


図-1 防波堤と地盤の解析モデル

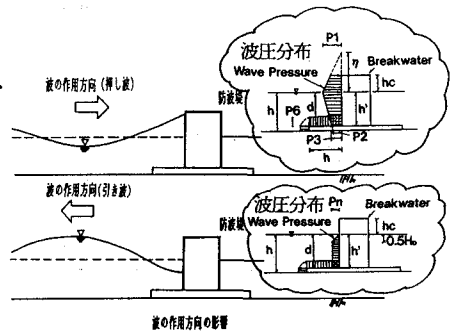


図-2 防波堤に作用する波の方向と波圧分布

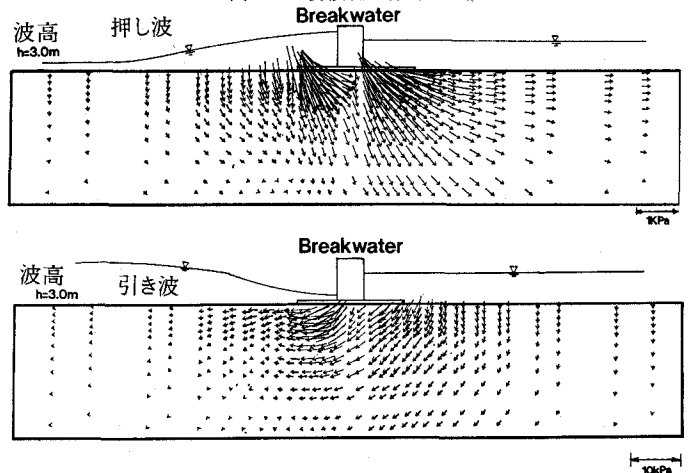


図-3 地盤内に発生する最大主応力の大きさとその作用方向

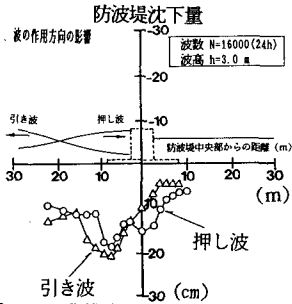


図-4 非排水繰返しによる沈下量

波堤)と地盤(粘土)の弾性係数、ポアソン比を示す。この弾性解析から地盤内応力(最大主応力)とその作用方向を求め、不攪乱粘土試料に対する繰返し三軸試験の結果を用いた予測式の適用により、防波堤の沈下解析を行った。

3. 解析結果及び考察 図-3に防波堤に押し波と引き波が作用した場合の地盤内に発生する最大主応力の大きさとその作用方向を示す。この図より、最大主応力は防波堤の前端部と後端部に集中していることがわかる。また、押し波と引き波では、最大主応力の大きさが異なり、その方向も反転していることわかる。図-4に、防波堤に作用する波の方向が非排水繰返しせん断によって生じる沈下量に及ぼす影響を示す。この図では、波の作用方向の影響はさほど見られない。一方、押し波時と引き波時の波の繰返し回数によって防波堤が沈下していく様子を模式的に示した図-5によれば、押し波時では、波の繰返し回数の増加に伴って防波堤前端部が倒れ込み、防波堤全体が沈むように沈下しており、引き波時では、繰返し回数の増加とともに防波堤後端部を中心として、防波堤前端部がかなり大きく沈下しており、両者は異なった沈下形態を示すことがわかる。これは、地盤内に発生する最大主応力の方向と大きさが波の作用方向によって異なることによる影響と考えられる。図-6に地盤内に発生した過剰間隙水圧の分布を示す。押し波が作用した場合は、防波堤の前端部及び後端部最大の過剰間隙水圧の発生がみられ、徐々に地盤全体に広がって行く様子がうかがえる。引き波作用時における間隙水圧の発生の傾向は、防波堤前端部にその発生量が大きくなっている。図-7に波の作用方向が過剰間隙水圧の消散にともなう沈下量に及ぼす影響を示している。波の作用方向の影響が沈下量に顕著に現れており引き波では、沈下量に場所による差がほとんどみられないが、押し波では大きな間隙水圧を示した防波堤前・後端部に大きな沈下が生じていることがわかる。しかし、過剰間隙水圧の発生量が小さいために、間隙水圧の消散に伴う沈下量がかなり小さくなっている。

4. まとめ 防波堤に働く波圧は押し波と引き波とでは異なり、地盤内に発生する繰返し応力の大きさと方向にも影響を及ぼすため、2つの波の引き起こす地盤の変形は異なることが分かった。しかし、実際の地盤内では主応力の方向と大きさが連続的にかつ複雑に交番するので、防波堤の沈下と安定性を考える際には、主応力が連続的に回転する影響を考慮する必要がある。

参考文献(1)Yasuhara, K., et al.(1991),Proc.10th ECSMFE,Vol.1, pp.887-890.(2)安原ら(1991),土木学会第46回概要集,Vol.3, pp240-241.(2)Yasuhara, K., et al.(1991),Proc.GEO-COAST'91,Vol.1, pp.667-672.(3)門司ら,海洋開発論文集,Vol.5, pp103-107.(4)合田(1973),港湾技術研究所報告,Vol.12, No.3, pp31-38.(5) Britto,A.M and M.J.Gunn(1987):Critical state Soil Mechanics via Finite Elements,Ellis Howood LTD.

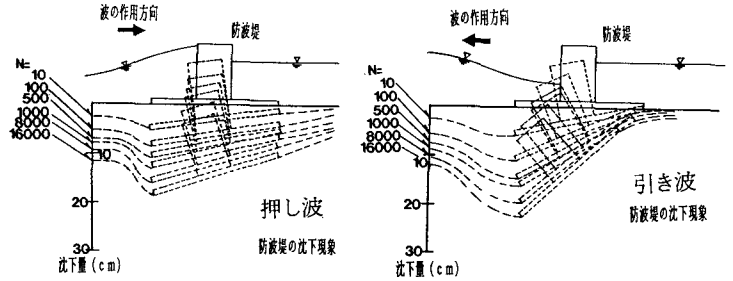


図-5 波の作用方向による防波堤の沈下形態の相違

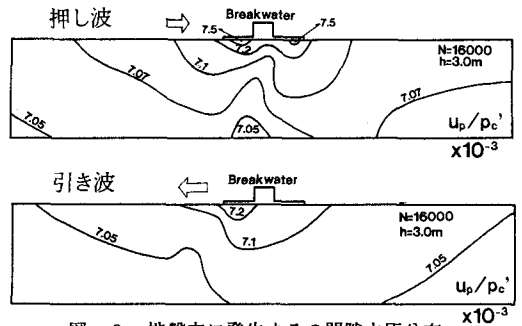


図-6 地盤内に発生するの過剰間隙水圧分布

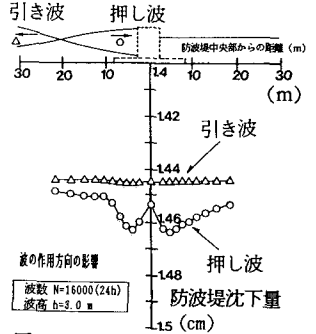


図-7 間隙水圧の消散に伴う沈下量