下部構造形式に着目した軟弱地盤着底式防波堤の変形解析

山口大学大学院　　学生員○吉本憲正
山口大学工学部　　正　員　兵動正幸　　中田幸男
中電技術コンサルタント株式会社　　正　員　小笠原弘典　池上慎司　平尾隆行

1. まえがき

現在、軟弱地盤上に防波堤や護岸といった構造物を構築する場合、主に自重により波力に耐えうるケーソンを用いた重力式混成堤が適用されている。しかしながら、重力式混成堤は、地盤の支持力不足から地盤改良を施して適用されており、この地盤改良費や、水質汚濁防止の費用等が莫大になるため構造物は高価なものとなっている。また、サンドコンパクションによる地盤改良に必要となる砂の不足が懸念されていることもあり、地盤改良を必要としない構造形式の導入が必要となっている。

軟弱地盤着底式防波堤（軟着堤）は、上記に示したようなニーズの中から開発された構造形式で、軟弱地盤上に重量の軽い堤体を直接設置し、堤体底面と粘性土表層との粘着力により水平外力に抵抗しようというものである。この防波堤の特徴は、地盤改良の必要がなく、経済性に優れ、工期の短縮にもなる点であり、今後、需要の高まる構造形式の一つであると予想される。しかし、この防波堤の適用には、施工実績が少ないことから、波高、水深、地盤の強度に対してある程度制限が設けられているため、軟着底の構造形式の開発も含め、適用範囲の検討を行う必要があると思われる。その中で、軟着堤に作用する水平力の大半を杭が受け持つ[1)]という報告がなされていることから、適切な下部構造形式の導入により、軟着堤は経済的かつ合理的な防波堤となり得ると考えられる。以上のことを踏まえ、本研究は、従来軟着堤に適用されてきた構造形式に加え、新たに考案する構造形式を対象としてFEM弾塑性解析を行い、構造形式の違いが周辺地盤の変形挙動に与える影響を比較・検討する。

2. 解析方法

解析は、波高が比較的小さく軟弱なシルト地盤の分布する広島港出島地区（瀬戸内海沿岸）を対象に行った。解析断面（横100m 深さ20.5m）を図-1に示している。解析断面は、地盤、堤体とその下部構造から成り、地盤は、物性値の異なる５つの粘土層により形成されている。地盤、堤体及びその下部構造は、それぞれ、修正カム・クレイモデルを用いた２相系の弾塑性体、弾性体及び梁要素でモデル化した。図-2は、構造物付近を拡大したものであり、(a)は、矢板の配置（2m 間隔で 11 本）、(b)は、杭の配置（両端からそれぞれ4m 内側に２本）を示している。本研究では、表-1に示すように、杭、矢板それぞれの長さを変化させることによって変形の違いを考察している。地盤の初期条件は、簡単のため、K_0=0.5の正規圧密状態とした。外力は合田式[2)]により算出した波圧分布を、図に示すように水平方向の分布荷重として与えた。

表-1 解析に用いた下部構造形式の一覧

case	部材	長さ(m)	本数
Ⅰ	矢板	9.0	11
Ⅱ	矢板	5.5	11
Ⅲ	矢板	3.5	11
Ⅳ	矢板	1.5	11
Ⅴ	杭	9.0	2
Ⅵ	杭	5.5	2
Ⅶ	杭	3.5	2
Ⅷ	なし	-	-

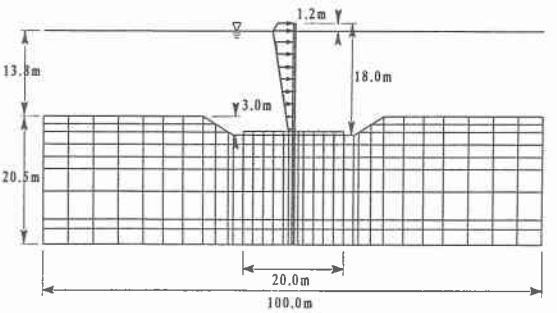

図-1　地盤断面図

3.　解析結果

図-3は、所定の波圧を水平に作用させた時の変形図である。(a)は、9.0m の矢板を 11 本入れた case Ⅰの結果であり、土と矢板がほぼ一体となって変形していることや堤体直下の要素がほぼ同じ変形モードを示していることが伺える。(b)は、9.0m の杭を２本入れた case Ⅴの結果であり、土が場所によって異なったモードを示していること

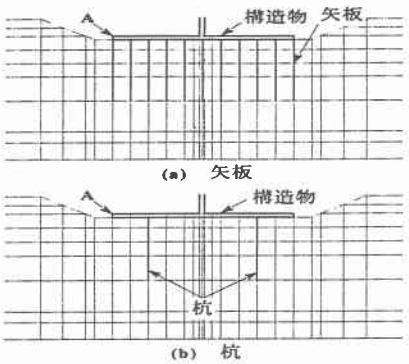

図-2 拡大図

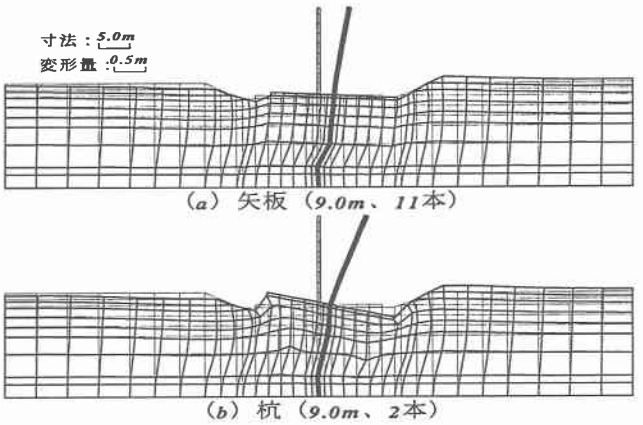

図-3 変形図

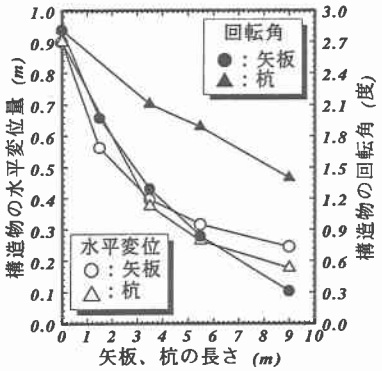

図-4 矢板、杭の長さと構造物の水平変位量・回転角との関係

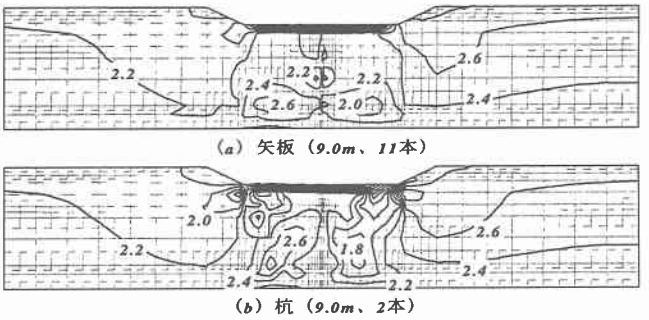

図-5 安全率分布図

が分かる。(a)、(b)を比較した場合、(b)の方が堤体の変形がより大きく生じていることが明らかである。このことより、11 本の矢板の方が、杭 2 本の場合よりも堤体とその直下にある地盤とが一体となって外力に抵抗し、変形が抑制できるといえる。図-4 は、図-3 の変形図をもとに図-2 の A 点における水平変位量・回転角（変形により堤体底面と水平地盤との間）と矢板、杭の長さとの関係を示したものである。この図より、水平変位量は、杭より矢板の方が若干発生しているが、それほど大きな差とはなっていないことが分かる。回転角は、矢板より杭の方が大きく、それらの長さの増加とともにその差が顕著となることが認められる。また、長さ 9.0m の杭の回転角と等価となる矢板の長さは、およそ 3.5m であり、このことは、施工上の面から見て矢板を用いる方が好ましいことを示唆している。なお鉛直変位量は、堤体底部の中心位置で調べたところ、いずれの解析においても、それほどの大きなものではなかった。図-5 は、図-3 の結果に対して、波圧載荷終了後の安全率の分布を示したものである。ここで、安全率は、限界応力比Mに対する地盤内の応力比で定義される。波圧載荷前の安全率は、(a)、(b)ともに 2.3～2.4 であった。矢板の場合、地盤内においてほぼ均一の安全率分布となっているのに対し、杭の場合、安全率が杭周辺で激しく変化しており、両者で地盤内の安全率の違いが見られる。また、安全率の最小値は、杭付近で、1.8 と小さい値を示しており、杭を用いた結果の方が危険な応力状態となっている。このことは、矢板を 11 本入れた場合は、杭を 2 本入れた場合に比べ荷重を分散し、かつ均一に地盤に伝達することが可能となることを示唆している。

4. まとめ

①杭 2 本の従来の形式では、回転が顕著となり転倒する変形モードを示し、提案する矢板 11 本の形式では転倒が抑制される。②安全率の比較から、矢板の方が全体的に安全率が高いため安定性が高い。

【参考文献】
1) 菊池・髙橋・中村:着底式くし形構造物模型の静的載荷実験,技研資料（運輸省港湾技術研究所）,No.679,pp1-26 June 1990
2) 門司・村山・元野・高田:軟弱地盤着底式防波堤の開発,土と基礎,Vol.37,No.11,pp25-30 1989