

III-69

軟弱地盤着底式防波堤の開発に関する現地試験(水平載荷試験結果及び考察)

運輸省 才田港湾建設局 正員 山口 登
 " " 正員 小蔵 敏一郎
 " 才三港湾建設局 正員 細川 泰廣
 " 港湾局 正員 中野 敏彦

1. まえがき

軟弱地盤上に防波堤の建設を行なう場合、地盤改良に要する費用は多大なものとなり、地盤改良を必要としなにより経済的な新しい構造形式の防波堤の開発が強く求められている。

軟弱地盤着底式防波堤(以下、軟着堤と呼ぶ。)は、軟弱地盤層が厚く波浪が比較的小さな海域において有効であり、地盤改良工法を伴う在来形式の防波堤に比べて、より経済的な整備を可能とするものである。

軟着堤は軟弱粘性土壌上に堤体を直接設置する構造様式であり、水平力に対しては構造物の底面と地表面の間の付着力で抵抗させるため、堤体重量を軽くすることができるものである。

本報告は、軟着堤の実用化をめざして当局が実施している試験堤による現地実証試験のうち、水平載荷試験結果の概要を紹介し考察を加えたものである。

2. 現地試験方法

軟着堤の傾斜荷重下における挙動を明らかにするため、試験堤に水平張力を作用させて、その最大水平抵抗力、移動量、底面土圧分布、地盤変形状況等の計測を行った。現地試験地は熊本県八代市にある日奈久港内^{ひなぐ}で、当該地奥の主要な自然条件を表-1及び図-1に示している。試験に供した堤体は図-2に示す鉄筋コンクリート製であり、底版 $(12 \times 0.75 \times 12.5 \text{ m})$ の中央に直立壁 (6.45 m) を有するとともに、これを保持するためのバットレスが左右対象に 3.8 m 間隔で設けられている。試験堤は全部で4函製作し、底版には左右それぞれ6箇所ずつの鋼杭^{スクリュー}建込み用の穴を施工し、堤体底面での付着力による水平抵抗力に加えて、杭の横抵抗力を活用する構造についても比較検討することとした。本報告では、この鋼杭の設置の有無による構造様式の違いを区別するために、便宜上無い場合を平型、有る場合をくし型と呼ぶこととする。

現地実証試験では、あらかじめ試験地奥の極く表層に堆積している汚泥を除去した後に、堤体を図-3に示す配置で据付け、干潮時間帯を選んで水平張力を作用させた。今回の試験ケースは据付地奥をかえて平型3ケース、くし型1ケースを行った(表-2参照)。ケース1~3は、鉛直載荷重が異なる平型構造での水平載荷試験である。

また、試験堤には底版下面に地盤反力分布の測定のために土圧計を11個設置した他、堤体の水平移動、沈下、傾斜を各測量台から視準した。一方、ケース3では、試験時における表層地盤中のせん断ひずみ破壊深度の概略を把握するために、砂杭を鉛直方向に設置した。ケース4のくし型の鋼杭には、ひずみ

表-1 日奈久港現地試験地奥の自然条件

地盤高	-0.5 m
潮位	H.W.L.+4.3 m, L.W.L.±0.0 m
波浪	十分に静穏
土質	※ 地表面下5m程度までの土質特性 $G_s: 2.65$, $P_c: 1.65 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, $w: 40 \sim 60\%$ 粘土分 砂分 シルト分 粘土分 粘土組成: 10~25% 50~65% 20~35%

※ 土質条件調査では、堤体設置前、載荷試験直後及び堤体撤去後にサンプリングを実施し、併し、原位置コーン試験を行った。

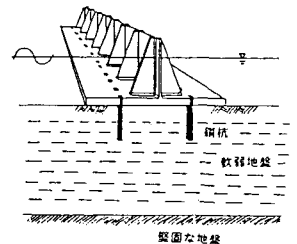


図-2 軟弱地盤着底式防波堤

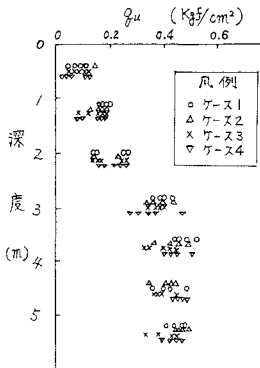


図-1 日奈久港の表層土質強度

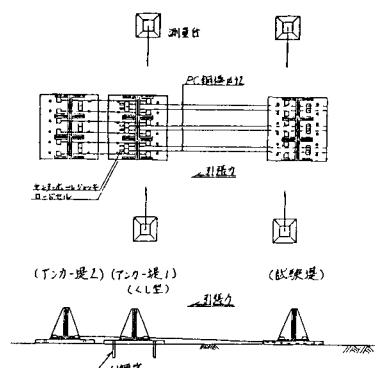


図-3 水平載荷試験の実施方法

ゲージを計24対はり、ひずみ分布を測定した。

3. 現地試験結果及び考察

3.1 平型構造

ケース1～3の水平載荷試験で得られた堤体の水平移動量と引張力の関係の代表例を図-4に示す。図-4はケース2で、概ね6t/回毎の段階載荷を繰り返して、最大水平抵抗力に至っていると判断されるまで載荷重を増加させ、その後一旦除荷した上で再び載荷を行った。

このようにして求めた各ケースの最大水平抵抗力及びその時の水平移動量を表-2に示しているが、載荷時に生じた移動は、各ケースとも沈下、傾斜をほとんど生じずに水平移動し、最大水平抵抗力に達している。また、土圧計の計測結果から地盤反力分布を調べると、各ケースとも底版全体でほぼ一様に接地しており、引張力の増加に対してもその分布に大きな変化はみられなかった。ケース3で実施した砂杭によるせん断ひずみ破壊位置の調査では、地表面に極く近い所（概ね地表面下15～20cm位）でひずみ破壊が認められた。一方、堤体設置前、載荷試験直後及び堤体撤去後の土質調査結果を比較検討した結果、時間経過とともに表層地盤強度が増加していることが明らかとなった。このため、堤体掘付により発生する過剰間隙水圧が、堤体周辺の静水圧域へ水平方向に排水、消散し、表層付近の圧密が進行して強度増加したと考えた場合の載荷時の推定強度と、現地データの内挿によるそれを比較すると良く一致することから、ケース1～3の試験時表層強度をそれぞれ0.76, 0.73, 0.57 t/m²と設定することとした。

試験結果を深さ方向の強度増加と考慮したVaughan, 他が提案した偏心傾斜荷重を受ける基礎の支持力を求める方法で検討してみた。図-5には、今回の試験で得た鉛直(V)、水平(H)荷重強度を、表層強度(S_{00})で無次元化した $V^* \sim H^*$ の関係と、Vaughan, 他の方法に現地条件に近い土質パラメータ(S_{00} , k)を与えた場合の計算値を示したが、ややバラツキはあるものの、概ね両者は一致することが明らかとなった。

3.2 くし型構造

ケース4での堤体の水平移動、沈下、傾斜状況は、張力115t程度までは、平型に類似した挙動が認められるが、それ以降は引張側の堤体沈下が増大し前傾の傾向にあるとともに、水平移動量も増加を続ける。165t以降は、引張側の沈下量が1.5cm程度まで急増し前傾を続け、水平移動量も14cmに達している。堤体底面の地盤反力分布は、荷重の増加に伴い引張側の反力が増加し、逆に背面側は余り変化せず、むしろ浮きあがりの兆候がみられた。鋼杭のひずみ分布をみると、後列杭（背面側）は引張力88.5tでひずみの発生がみられるが、前列杭は117.8tで始めて発生している。また、後列杭は117.8tまでは初期的な小さなひずみ量であるが、169.2t以降に本格的な増大が認められた。本試験で使った鋼杭は長さ4mの短杭であることから、その極限状態での挙動をBromsが提案した方法で検討してみると、載荷重が169t以降において、頭部回転拘束が十分であったと考えられる杭の変形挙動の実測値は計算値と概ね一致していた。又、全ての杭にBroms式と適用した場合の抵抗力は180tであり、試験値はこれを上回った。

4. あとがき

本研究を進めるにあたり、その全般に亘って御指導、御助言をいただいた東京工業大学中瀬教授、筑波大学沢口教授、熊本大学鈴木教授及び運輸省港湾技術研究所土質部、設計基準部の関係各位に厚く感謝申し上げます。

表-2 水平載荷試験の概要

試験ケース	試験機の種別	試 験 機		最大水平抵抗力の試験値 (対応する水平移動量)
		空中風車	有動力車	
ケース1	平型 (鋼製25t)	5121	3801	115.0 t (約4.5 cm)
ケース2	平型	4101	2801	88.7 t (約3.5 cm)
ケース3	平型 (鋼製25t)	5151	5001	71.2 t (約7 cm)
ケース4	くし型 (杭長4m, 本数12)	4101	2801	181.1 t (ジャッキストロークの制限で中断) (約14 cm)

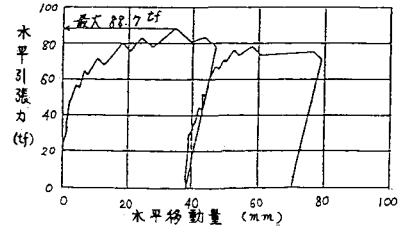


図-4 水平引張力～水平移動量の関係(ケース2)

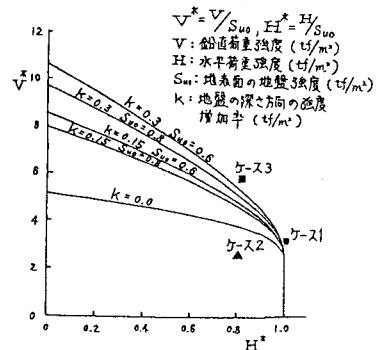


図-5 試験値と計算値の比較