

熊本港における技術開発・・・軟着底式防波堤

運輸省第四港湾建設局熊本港湾空港工事事務所 金子和寿
渡川 清

1. 熊本港計画の経緯

熊本港建設は明治13年に熊本県が現在の熊本港付近に港湾の建設を計画し、内務省に派遣されたオランダ技師ムルドルが沿岸の調査を行ったことにその端を発する。しかし、調査の結果、現在の熊本港付近の自然条件は、4.5mにも達する大潮位差、広大な干潟、さらに40mにも及ぶ軟弱地盤のため、当時の土木技術では大型船の出入りできる港を建設することは不相当と判断し、やむなく約40km離れた天然の良港である三角（現在の三角西港）に大型港湾を建設することになった。しかし、その後の我が国の経済発展に伴って、熊本都市圏においても物流の一層の効率化を進める必要から、昭和49年に新港建設の計画が策定された。

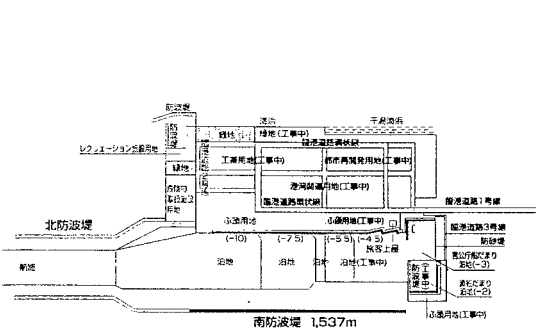
熊本港の建設ではこれまでの港湾建設技術の蓄積と様々な技術開発により、厳しい自然条件の中ではあるものの熊本港の建設が実現することとなった。具体的には埋没対策としての航路潜堤の開発、余水処理などの付帯工事が不要であり埋立地を小さくすることが可能な浚渫土の高濃度空気圧送工法の開発があり、軟弱地盤対策として開発されたのが今回とりあげる軟弱地盤着底式防波堤である。

2. 軟着堤開発の経緯

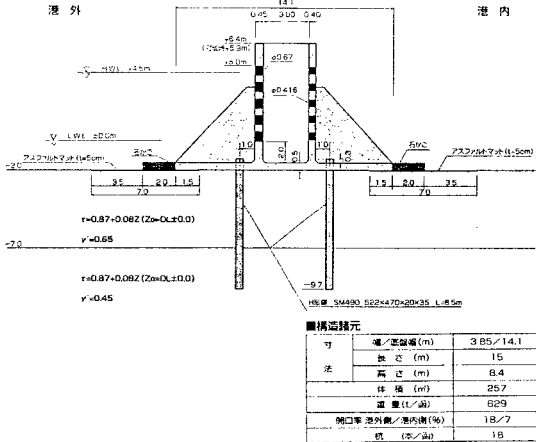
軟弱な地盤に従来形式である重力式防波堤を建設するためには事前に本格的な地盤改良を必要とする。サンドコンパクション工法のような地盤改良を実施したとしても、建設工費は膨大なものとなり、建設工期の長期化も避けられない。さらに周辺への環境をも配慮すると、地盤改良を必要としない経済的構造の防波堤開発は熊本港整備において必要不可欠であったため、軟弱地盤に堤体を直接設置する軟弱地盤着底式防波堤（以下「軟着堤」という）が開発されることとなった。

1) 軟着堤の原理

軟着堤の基本原理は、防波堤に働く水平波力に対し、堤体底版と粘性土層との付着力及び杭の横抵抗により安定性を確保するものであり、従来の重力式構造物のように底面の摩擦力で波力に抵抗するタイプとは本質的に異なる。この構造の採用により堤体の重量を大幅に軽減することができ、軟弱地盤を改良することなく堤体を直接設置できることとなった。



図一 熊本港平面図



図二 軟着堤断面図

2) 軟着堤の構造

軟着堤の基本構造は「平形」と「くし形」に大別される。「平形」は現地盤と堤体底面の付着力のみで滑動、転倒に抵抗するものである。「くし形」は波浪の作用により底版と現地盤間の付着力の低減が考えられるため、杭を打設し杭の抵抗力で抵抗するものである。また、上部構造についても基本的な「逆T型」、消波・海水交換機能を持たせた「逆π型」「ケーソン型」などのタイプがある。

軟着堤の実用化にあたっては、堤体底版に作用する揚圧力などの水理特性の検討、正確な軟弱地盤強度を推定する土質性状の検討、水平抵抗力や基礎の支持力を推定する堤体の安定性の検討、地盤強度の経時的変化を推定する地盤の長期的な安定性に関する検討、さらに洗掘・埋没の検討などを実施し、また現地実証試験及び水理模型実験を合わせ行うことにより、基本的設計法を確立させた。

現在熊本港では、周辺漁業への配慮、施工性、経済性などを勘案して「くし形・逆π型」を採用している。

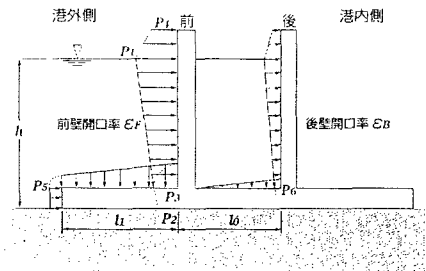
3) 設計の考え方

現在の設計（11工区）の考え方は以下のとおりである。

(1) 設計波力

$$\begin{aligned} \text{前 壁} &: \text{合田波圧} \times (1 - \varepsilon_F) \\ \text{後 壁} &: \text{合田波圧} \times \alpha_0 \times (1 - \varepsilon_B) \\ \text{前側底版} &: \text{台形分布を仮定} \\ \text{中央底版} &: \text{三角形分布を仮定} \\ P_1 \sim P_4 &: \text{合田式で算定} \\ P_5 &= P_3 \times \cos\left(\frac{2\pi l_0}{L}\right) \quad L: \text{波長(底版上水深における)} \\ P_6 &= \alpha_0 \times P_3 \end{aligned}$$

ただし、 α_0 は実験結果より決まる定数であり、0.15を採用した。
揚圧力は、この工区は数砂なしのため、考慮しない。



(2) 堤体の安定性の検討項目

項 目	決定内容	備 考
地盤強度の評価	ベーンせん断試験	●繰り返し荷重による強度の低下については、くし型の場合、杭で抵抗するため地盤強度の低下が小さいと考えられることから、考慮しない。 ●圧密による強度増加については、せん断力による強度評価より小さい値となるため、考慮しない。
地盤支持力の算定	Vaughanの式	●強度増加地盤における偏心傾斜荷重の支持力式。
杭の水平抵抗力	Bromsの式	●杭は剛体と仮定 ●1列分(9本)の杭で抵抗するものとした。
底 面 付 着 力	考慮しない	

3. 軟着堤の現状

軟着堤は昭和63年度より現地に据付を開始し、現在まで102函、延長1500m余りの据付が完了している。堤体据付後の状況として、軟弱地盤上に直接堤体を設置するという構造形式に由来する堤体の沈下や周辺地盤の洗掘といった挙動が生じている。これらに対し、堤体の挙動観測を実施し、施工実績を踏まえながら改良を重ね現在に至っているが、今後も継続して調査・検討することにより、問題点に対応していく予定である。

4. 熊本港の現状

平成5年3月に熊本～島原間のフェリーが就航し、天草本渡等との間に高速艇も就航している。現在熊本港では物流施設の整備が進められてきており、岸壁(-5.5m)が平成10年4月に、岸壁(-7.5m)は平成11年4月に供用の予定である。また、関連施設として熊本地域輸入促進計画に基づく施設の整備も進められており、流通拠点港としてこれからの発展が期待される。