

日本大学理工学部 ※学生員 梅沢一浩
日本大学理工学部 正員 長尾義三
日本大学理工学部 正員 藤井敬宏

1. はじめに

混成式防波堤の基本設計¹⁾²⁾における、マウンド高の設定、およびケーソン形状の設定は、安定、並びに工費に寄与する重要な問題であり、現在、混成式防波堤の断面形状を合理的に決定する方法が望まれている。そこで、本研究は、ある設計条件を与えた時に工費の変動による混成式防波堤のマウンド高と堤体面積の関係を解析し、経済的かつ技術的な最適断面形状を速やかに決定する方法について検討したものである。

2. 混成式防波堤の断面形状

混成式防波堤の一般的断面形状は、非常に多くの断面諸元より構成されており、計算機の容量、計算時間の問題等から全ての断面諸元を組み込むことはできない。そこで、本研究では、標準断面設計が可能のように主要諸元を設定し、図-1に示す混成式防波堤の断面形状を用いて検討することとした。

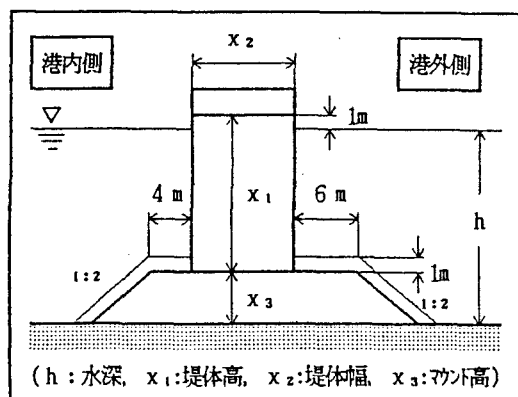


図-1 混成式防波堤の断面形状

3. 設計計算・解析方法

表-1に本研究で用いた設計変数、各種設定条件、目的関数、制約条件を示す。目的関数は、最適設計での経済性の評価を、防波堤建設の工費を対象とし、防波堤直立部とマウンドに関する工費の和を最小に

する堤体高、堤体幅、マウンド高の決定である。

制約条件の中で用いた安定計算は、滑動、転倒、端し圧、現地盤上の支持力の検討である。なお、波圧には合田式を用いて計算した。

各種設定条件として、波高、水深、周期、海底勾配、コスト・インデックス（ケーソン製作単価に対する捨石単価の比）、地盤の内部摩擦角を与え、制約条件式と目的関数式により最適断面（工費最小）を決定する。次に各種設定条件の値を逐次変更して、堤体高、堤体幅、マウンド高の変化を試算する。

表-1 混成式防波堤設計計算表

設計変数		
x_1 : 堤体高 (m)	x_2 : 堤体幅 (m)	x_3 : マウンド高 (m)
各種設定条件		
$H_{1/2}$: 波高 (有義波高) (m)	θ : 海底勾配	
h : 水深 (m)	C_1/C_2 : コスト・インデックス	
T : 周期 (秒)	ϕ : 内部摩擦角 (度)	
目的関数		
$CT' = \frac{1}{C_2} \sum_{i=1}^n C_i \cdot X_i \rightarrow \min$ $CT = C_2 \times CT'$		
CT' : 工費 (円) C_1 : ケソン製作単価 (円/㎡) C_2 : 中詰め砂単価 (円/㎡) C_3 : 蓋工ケーソン単価 (円/㎡) C_4 : 上部コンクリート単価 (円/㎡) C_5 : 捨石単価 (円/㎡) C_6 : 被覆石単価 (円/㎡) C_7 : 捨石荒均し単価 (円/㎡) C_8 : 捨石本均し単価 (円/㎡) C_9 : 被覆石均し単価 (円/㎡)		CT : 総工費 (円) X_1 : ケソン本体体積 (㎡/m) X_2 : 中詰め砂体積 (㎡/m) X_3 : 蓋工ケーソン体積 (㎡/m) X_4 : 上部コンクリート体積 (㎡/m) X_5 : 捨石体積 (㎡/m) X_6 : 被覆石体積 (㎡/m) X_7 : 捨石荒均し面積 (㎡/m) X_8 : 捨石本均し面積 (㎡/m) X_9 : 被覆石均し面積 (㎡/m)
制約条件		
① 滑動に対する安定 $W/P \geq F$		
W : 壁体の全鉛直力 (t/m) P : 壁体作用する波圧合力 (t/m) f : 壁体底面と基礎との摩擦係数 F : 安全率 (波圧時 1.2以上)		
② 転倒に対する安定 $(M_r - M_o) / M_o \geq F$		
M_r : 抵抗モーメント (t/m) M_o : 揚圧力によるモーメント (t/m) M_p : 波圧によるモーメント (t/m)		
③ 端し圧に対する安定 $P_1 \leq q_{1a}$		
P_1 : マウンド上側の最大端し圧 (t/㎡) q_{1a} : 許容支持力 (t/㎡)		
④ 支持力に対する安定 $P_2 \leq q_{2a}$		
P_2 : 基礎地盤上の端し圧 (t/㎡) q_{2a} : 許容支持力 (t/㎡)		

4. 解析結果

図-2は、波高と堤体面積とマウンド高の関係を示したものである。コスト・インデックスが低い場合、堤体面積を大きく、マウンド高を低くした場合が最も経済的な断面となる。また、コスト・インデックスが高い場合には、堤体面積を小さく、マウンド高を高くした場合が最も経済的な断面となる。また、コスト・インデックスが10のとき、波高が8～10mの間で、また、コスト・インデックスが15のとき、波高が6～8mの間でそれぞれ変曲点が生じる。これは波高が増大すると波圧の合力が増大し、滑動に対する安全率が減少するので堤体重量が増大し、堤体面積も増大するが、コスト・インデックスが10や15ではケーソン製作単価が高いため、堤体面積を増大するより、マウンド高を高くした方が経済的となり、このような変曲点が生じたものと考えられる。

図-3は、海底勾配と堤体面積とマウンド高の関係を示したものである。海底勾配が小さくなると堤体面積は小さくなるが、マウンド高は海底勾配にあまり影響を受けず、水深によってほぼ決定される。また、海底勾配が小さくなると、防波堤の壁面から5H_{1/3}沖側の地点の水深が減少し、滑動に対する安全率が增大するため、堤体重量が減少し、堤体面積も減少するものといえる。

図-4は、内部摩擦角と堤体面積とマウンド高の関係を示したものである。内部摩擦角が増大するとマウンド高は減少する。これは、内部摩擦角が大きい地盤では、地盤支持力が増大し、マウンドによる荷重分散の必要が小さくなるからと思われる。

5. まとめ

本研究では、堤体高、堤体幅、マウンド高の3設計変数を用い、6種の設定条件を任意に設定し、工費最小となる混成式防波堤の断面形状の主要諸元を求めることができた。これより、設計に関して重要な情報が得られたが主な点は次のとおりである。

- ① 断面形に大きな影響を与えるのは、水深、設計波高および単価である。
- ② 波高が増大しコスト・インデックスが高い場合堤体面積、マウンド高に変曲点が生じる。
- ③ 海底勾配はマウンド高にあまり影響せず、堤体面積は海底勾配の減少と共に減少傾向を示す。

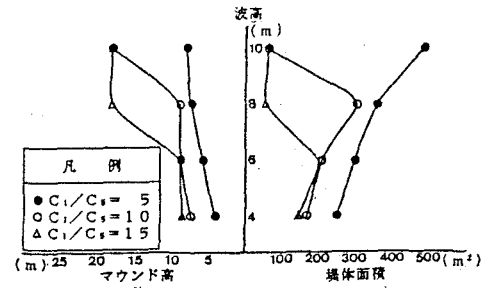


図-2 波高と堤体面積とマウンド高

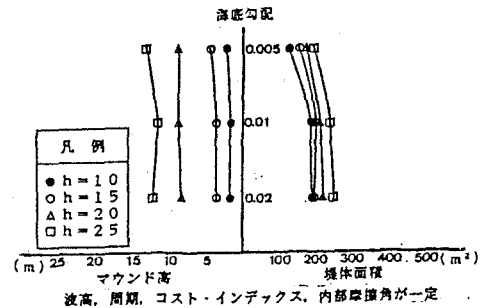


図-3 海底勾配と堤体面積とマウンド高

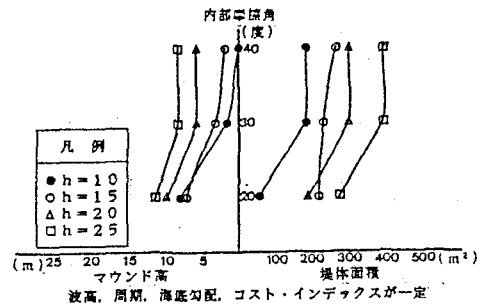


図-4 内部摩擦角と堤体面積とマウンド高

- ③ 内部摩擦角が30度以上では、堤体面積、マウンド高、ともにほぼ一定となる。

今後の課題は、各種設定条件の設定間隔の細分化が望まれる。これより、断面設計を行う際の信頼性の向上を図ることが可能となろう。また、新たな設計変数への組み込みも検討する必要がある。

- 1) 山本修司, 塩沢俊彦: 混成式防波堤の最適設計, 港湾技研資料, No.301, 1978.9.
- 2) 山本修司, 塩沢俊彦: 混成式防波堤の最適設計 (その2), 港湾技研資料, No.347, 1980.6.