

港湾技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

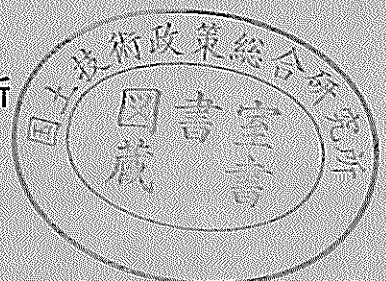
No.347

June 1980

混成式防波堤の最適設計(その2)

山 本 修 司
内 田 豊 彦

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	1
1. ま え が き	1
2. 最適設計への定式化	2
2.1 設計変数	2
2.2 制約条件	3
2.3 目的関数	5
3. 最適化計算	6
3.1 最適化計算	6
3.2 計算手順	6
4. 最適断面形状に及ぼす設計条件の影響	7
4.1 初期仮定断面と最適解の関係	7
4.2 マウンド許容端し圧と工費の関係	9
4.3 上部工形状と工費の関係	9
4.4 設計波高と堤体形状の関係	10
5. プログラムの利用法	11
5.1 入 力	11
5.2 出 力	13
5.3 利用上の留意点およびエラーメッセージ	13
5.4 利用例	14
6. あ と が き	20
参 考 文 献	20

Optimum Design of Composite Breakwater (Part-2)

Shuji YAMAMOTO*
Toyohiko UCHIDA**

Synopsis

An optimum design method for simplified model of composite breakwater was presented in the previous report (Tech. Note. of PHRI, No.301).

In this paper, the computer program which was developed previously is improved for the sake of actual design. The following results with regard to the optimum cross-section of composite breakwater and the relations between construction cost and design conditions are obtained by several numerical calculations.

1. The allowable bearing capacity of rubble mound has greater effects upon the construction cost as the water depth increases.
2. In case the cross-section of upright portion is determined by the stability against sliding at shallow water, the optimum height of rubble mound agrees with the prerequisite minimum height.
3. In case the cross-section of upright portion is determined by allowable capacity of rubble mound at deep water, it seems that there exists an optimum height of rubble mound which does not depend on design wave height but design water depth. It becomes the height to make the water depth above rubble mound to be 18m assuming the allowable bearing capacity being 50 tf/m².

Further, the crown with a parapet is advantageous for optimum design of composite breakwater.

* Member of Automatic Design Laboratory, Design Standard Division
** Chief of Automatic Design Laboratory, Design Standard Division

混成式防波堤の最適設計(その2)

山本 修司*

内田 豊彦**

要 旨

前報(港研資料No.301)では、経済的に最適な混成式防波堤の断面を決定する手段として非線形計画法の一つであるSUMT(Sequential Unconstrained Minimization Technique)を応用した最適設計手法を開発し、それを簡単なモデル防波堤に適用して手法の有効性・問題点等について検討した。

今回は、先に作成した計算プログラムを実際の設計に適用できるよう拡張するとともに、二、三の数値計算を行い設計条件と工費の関係について検討した。限られた計算ケースではあるが次のような知見が得られた。

1. 捨石マウンドの許容端し圧は工費に大きな影響を及ぼすが、特に水深が大きくなるとその影響の度合いが大きくなる。仮に許容端し圧を 100 tf/m^2 程度とした場合には許容端し圧が 50 tf/m^2 の場合より30%程度工費を安くすることができる。
2. 水深が小さく堤体断面が滑動に対する安定条件より決定される場合には、最適マウンド厚は最小マウンド厚(通常1.5m)となる。水深-20m程度以上になると設計波高の大小にはあまり関係せず設置水深ごとに最適なマウンド厚というものが存在するようである。例えば許容端し圧が 50 tf/m^2 では、マウンド天端が-1.8m程度になるようなマウンド厚が最適と思われる。
3. 滑動に対する安定条件で断面が決定する場合にはバラベツなしの上部工が有利であるが、許容端し圧で断面が決まる場合は、一般的にバラベツ形式の上部工が有利である。

1. まえがき

構造物の設計を合理化しようとする場合、それはさまざまな観点からなされているが大別すると次のようになる。

- ① 設計思想の合理化
- ② 計算手法の合理化
- ③ 安全性の保証の合理化
- ④ 設計作業の省力化
- ⑤ 経済的に最適な構造物の追求

①については設計法を統一化し、示方書、技術基準等を整備することにより、②については計算手法のより厳密化により合理化が行われてきている。③については安全率の合理的な設定法または信頼性設計という形で関心が持たれている。以上①～③は当然なされなければならない設計の合理化であるが、筆者らはこれまで主として④、⑤の立場から設計の合理化というものを考えてきた。すなわち④の設計作業の省力化については電算機を利用した設計計算プログラムを整備する方式により対処してき

た。⑤の経済的に最適な構造物の追求について、ここでいう「経済的に最適」という意味は、どこの港にどの程度の規模の構造物を作るのが波及効果が著しいかというような経済効果的な意味ではない(それらの問題は港湾計画の分野において適切に決定されるものとする)。ここでは構造物に要求される機能をいかに安く実現させるかということに重点をおくものとする。したがって、同じ機能を有するならばより費用の安い構造様式を選定し、同じ構造様式ならばより安い断面形状を決定することを目標とする。そのような断面形状を求める場合、従来は設計者の経験とカンによるか、または設計断面を種々変化させてそれらの工費を比較することにより最終断面を決定してきた。しかし、それらの作業は電算機を利用したとしても煩雑なものとなるし、得られた結果が最も経済的な断面であるという保証はない。特に防波堤については大水深、設計波高の増大等の問題により1mあたりの工費が一千万円を越える防波堤も現れており、設計において経済性の検討が重要な位置を占めるようにな

* 設計基準部 自動設計研究室

** 設計基準部 自動設計研究室長

ってきている。

そこで筆者らは経済的に最適な構造物を設計する手法の一つとして数理計画法を港湾構造物の設計に適用しその計算プログラムを開発してきた。^{1,2)} 混成式防波堤の最適設計については前報¹⁾において、簡単なモデル防波堤の設計に非線形計画法を適用して、その手法の有効性及び問題点について検討した。今回は先に作成したプログラムを実際の設計に利用できるよう拡張するとともに、本プログラムで得られる最適断面をもとに工費に影響を与える各種設計条件と工費の関係について考察を行った。

2. 最適設計への定式化

2.1 設計変数

混成式防波堤の一般的な形状は図-1に示すとおり、非常に多くの断面諸元より構成されている。しかもそれらのすべてが工費に関係してくる。経済的に最適な断面を決定するにはそれらのすべてを考慮して断面を決定しなくてはならないが、考慮すべき断面諸元が多くなると、たとえ数理計画法を用いたとしても計算機の容量、計算時間の問題、関数をつくりだす曲面の複雑性等の問題より計算が困難になる恐れがあるので、設計変数を必要最小限のものとする。すなわち防波堤天端高は港内静穏度との関係から、ケーソンの部材厚は細部設計との関連からそれぞれ適切な値が定まるであろうし、港外側マウンドのり肩幅や被覆ブロックの設置個数等については定量的に定めることは困難であり、現在のところ建設局の内規等で決まっている場合が多い。また、上部工の形状については、設計条件に応じて最も工費の安い形状というものが存在すると思われるが、その形状が多少変化したとしてもそれらの工費の変動が全体の工費に与える影響は小さいと考えられる。以上の理由により、本混成式防

波堤の最適設計では工費に与える影響が大きいと思われる捨石マウンド厚 x_1 、ケーソンの法線直角方向長 x_2 、港内側マウンドのり肩幅 x_3 、フーチング長 x_4 、ケーソンの法線平行方向長 x_5 を設計変数とし、他の諸元は定数とし

設計変数	x_1	捨石マウンド厚	(m)
	x_2	ケーソンの法線直角方向長	(m)
	x_3	港内側マウンドのり肩幅	(m)
	x_4	フーチング長	(m)
	x_5	ケーソンの法線平行方向長	(m)
定数	U_1	防波堤天端高	(m)
	U_2	ケーソン天端高	(m)
	S_1	ケーソン側壁厚	(m)
	S_2	ケーソン隔壁厚	(m)
	b	ケーソン底盤厚	(m)
	f	フーチング厚	(m)
	e	ふたコンクリート厚	(m)
	A_1, A_2, A_3, A_4, A_5	上部工形状寸法	(m)
数	t_1	根固方塊の厚さ	(m)
	t_2	被覆石の厚さ	(m)
	l_1	港外側マウンドのり肩幅	(m)
	α	マウンドのりこう配	
設計条件	H'_0	換算沖波波高	(m)
	T	周期	(s)
	β	波向	(度)
	H.W.L., L.W.L	水位	(m)
	K	設計水深	(m)
	C	海底勾配	
	ϕ_1, ϕ_2	マウンドと現地盤の内部摩擦角	(度)
	γ_1, γ_2	マウンドと現地盤の単位体積重量	(tf/m ³)

表-1 設計変数および定数

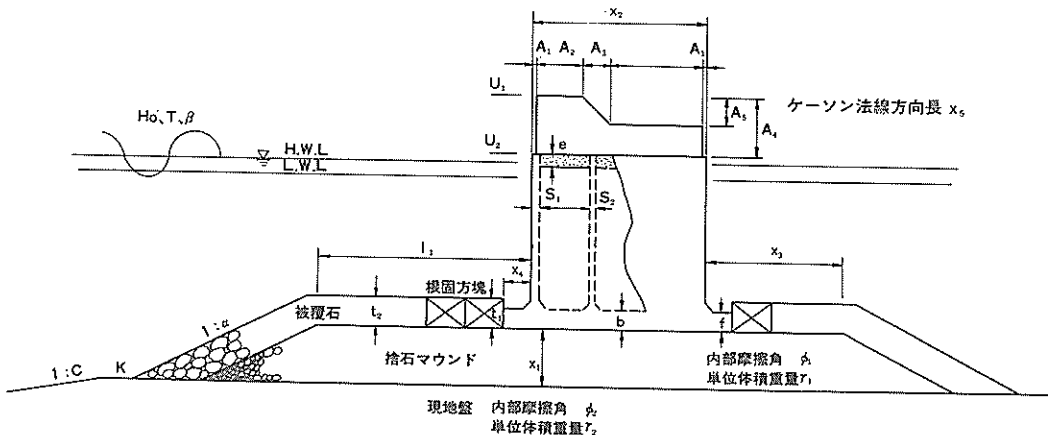


図-1 混成式防波堤の断面諸元

て取扱うことにする(表-1参照)。ただし、変数とした諸元についても場合によっては定数として扱う必要もあらうと思われるのでプログラム上はそれを考慮することにする。

2.2 制約条件

最小工費の断面形状を決定するには、前項で定義した設計変数を変化させて工費が最小となるそれらを決定するわけであるが、設計変数の取り得る値の範囲にはおのずから制限がある。それは構造物としての安定条件から決まる制限の場合もあれば施工条件から決まる制限の場合もある。プログラム作成において考慮した制約条件を以下に列挙する。

(1) 直立部の安定に対する検討

防波堤に作用する波力に対して、直立部は滑動に対しても転倒に対しても安定でなければならぬので次の制約条件を満足する必要がある。

$$F_s \geq 1.2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$F_l \geq 1.2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに F_s , F_l はそれぞれ滑動, 転倒に対する安全率である。

なお、波圧については、入力された換算沖波波高、周期等に対して簡略式による碎波変形³⁾を計算したのち合田式⁴⁾によって波圧を算定することにする。

(2) 基礎の支持力に対する検討

本プログラムでは砂質地盤上に捨石マウンドを構築した混成式防波堤を対象としている。マウンド上および現地盤上においては、次の制約条件を満足する必要がある。

$$p_1 \leq q_{1a} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$p_2 \leq q_{2a} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 p_1 , p_2 はマウンド上面および下面における最大端し圧, q_{1a} はマウンド上面の許容端し圧, q_{2a} は現地盤上における許容支持力である。 p_2 の算定には荷重分散法を, q_{2a} の算定にはテルツァギの支持力公式を用いている。

(3) 直線すべりに対する検討

混成堤では、捨石マウンドの全体的または部分的なすべりに対して安定でなくてはならないので次式を満足する必要がある。

$$F_{l \min} \geq 1.2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで $F_{l \min}$ は直線すべりの安全率を算定する式(6)において、ケーソン前しを始点とし、すべり角 α を 0° から 5° きざみで変化させて得られる最小の安全率である。ただし α の最大値はケーソン前しと港内側マウンドのり尻を結ぶ線が水平となす角である。

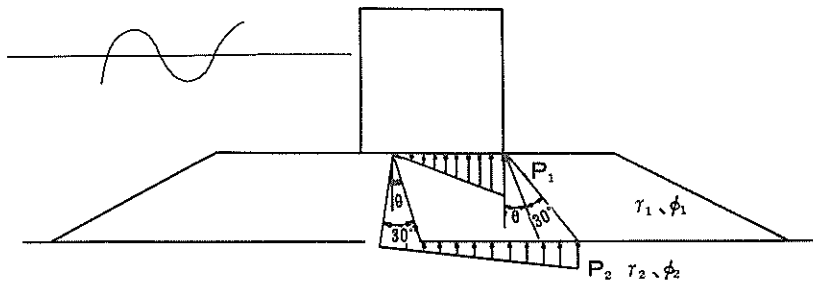


図-2 支持力の検討

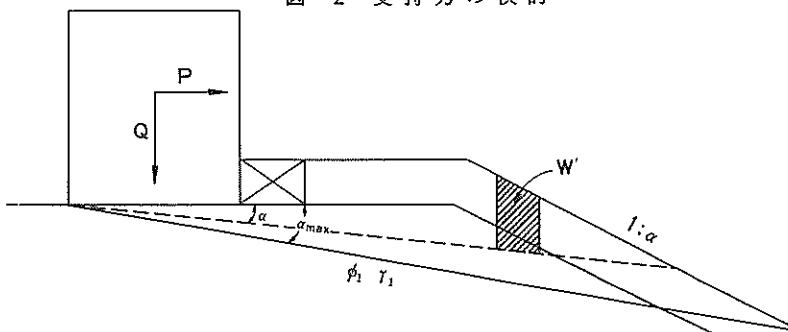


図-3 直線すべりの検討

$$F_1 = \frac{\{(Q + \Sigma W') \cos \alpha - P \sin \alpha\} \tan \phi_1}{(Q + \Sigma W') \sin \alpha + P \cos \alpha} \dots\dots\dots (6)$$

Q : 鉛直力 (tf/m), P : 波力 (tf/m),
W' : マウンド分割片の水中重量 (tf/m),
 ϕ_1 : 捨石マウンドの内部摩擦角 (度)

(4) 偏心傾斜荷重に対する検討

混成式防波堤の偏心傾斜荷重に対する検討を行う場合、基礎地盤は捨石マウンドと現地盤からなる二層系地盤となるため片山・内田法⁵⁾または三建法⁶⁾等を用いて検討しなければならない。しかし、両方法ともその計算自体がかなりの計算量を必要とし、それらの計算を本最適設計に組み込んだ場合、非常に多くの計算時間が必要となる。したがって、偏心傾斜荷重に対する検討は比較的計算の簡単な立石の方法⁷⁾を用いて行うことにする。安全率の算定では通常の土圧計算に用いられる内部摩擦角より5°大きい値を使用し、許容安全率(F_s)を1.0としている。したがって制約条件式は次のようになる。

$$F_s \geq 1.0 \dots\dots\dots (7)$$

ただし、立石の方法による安全率 F_s は地表面が水平で地層が一層の場合を対象としたものであるので、安全率 F_s は一般に片山・内田法または三建法による安全率より大きい。したがって最適計算によって得られた防波堤の偏心傾斜荷重に対する安全率が1.0に近い場合は、別途、前述の方法等によってチェックすることが望まれる。

(5) ケーソン空中重量に対する検討

ケーソン製作における施工方法の違いやケーソンヤードの関係等でケーソン自体の大きさに制限の生ずる場合があるのでケーソンの空中重量に関する制約条件を設けるものとする。

$$W_c \leq W_{cmax} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 W_c はケーソン本体の空中重量、 W_{cmax} は施工可能なケーソン本体の完成時最大重量である。

(6) 浮遊時の安定条件

自力で浮遊するケーソンについては転覆あるいは傾斜しないよう浮遊時の安定を確保しなければならない。このための安定条件は次のとおりである。

$$\overline{GM} \geq 0.05 D \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 \overline{GM} はケーソンの重心と浮心の距離、 D は喫水である。ただし、最適化計算の過程で式(9)の制約条件を満足できない場合は、制約条件式群から式(9)を取り除き、浮遊時の安定条件を満足するまで注水を行なうものとする。

る。

(7) ケーソンすえ付け時の検討

防波堤設置地点のマウンド上にケーソンをすえ付ける場合、当然、マウンド上の水深はケーソンの喫水よりも大きくなくてはならない。よって、ケーソンすえ付け時の条件として式(10)を満足しなくてはならない。

$$x_1 \leq h - D - Y \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 D は喫水、 Y は余裕水深、 h は防波堤の前面水深である。ここでは検討水位としてL.W.Lを採用している。

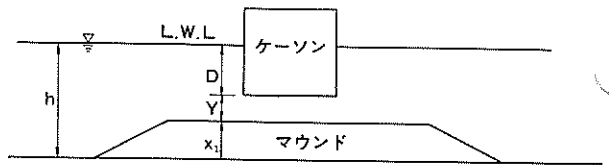


図-4 ケーソン据付時の検討

(8) 各設計変数に関する制約条件

前項で定義した設計変数には変数それ自体の取り得る値の範囲が存在する。たとえばマウンド厚 x_1 については、その必要最小厚が決まっているし⁸⁾、その最大厚は衝撃碎波圧の生じない程度の大きさに制限されるであろう。またケーソンの幅 x_2 、長さ x_3 はケーソンヤードやドックの関係からその最大値がおさえられる。したがって各変数について式(11)の制約条件を設けるものとする。

$$x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax} \quad (i=1 \sim 5) \dots\dots (11)$$

ここに、 x_{imin} 、 x_{imax} は変数 x_i の最小値および最大値である。

(9) ケーソン隔室の区間割

ケーソンの平面形状を決定する設計変数は x_2 と x_3 であるが、 x_2 および x_3 が一定であっても隔室の区間割によって工費が変化する。通常、大きさのケーソンでは、中詰の単価の方がコンクリートの単価より安いので隔室長が大きい方が経済的である。本プログラムでは隔室の最大長を4.5mとし各隔室長が4.5mを越えない範囲なるべく大きくなるように決定した。また細部設計、施工を考慮して各隔室はケーソンの中心線に対して対称かつスパンの長さがなるべく均等になるように考慮した。

以上設定した制約条件式は水位が一定で波力および揚圧力が一種類の場合に対するものである。普通、設計計算においてはL.W.LからH.W.Lまで水位を変化させて、構造物の安定上最も危険となる状態に対して安定計算を

行っている。この水位の変動を考慮して後述の最適化計算を行うには、設計変数および制約条件式を各検討水位に対して作成しそれらを同時に一つの制約条件として解けばよいわけであるが、個々の制約条件式のつくる曲面が複雑であるうえにその数が増えると、数値計算が非常に困難になることが予想される。そこで、滑動に対する安全率が一般に最も小さいH.W.Lに水位を固定し最適化計算を行い工費最小の断面を求める。その後、求めた断面について、水位を変動させて全ての制約条件を満足しているかどうかチェックを行う。各検討水位において全ての制約条件式を満足していればその解は最適解となる。一つでも制約条件式を満足していなければその解は最適解とならない。本プログラムでは波圧式として合田式を用いているので、断面が滑動に対する安定で決まっている場合は、一般に他の水位における滑動の安全率がH.W.Lのそれより下がることは少ないようである。また端し圧に対して断面が決定している場合も一般に同様な傾向があるが、設計条件によってはまれに他の水位での端し圧がH.W.Lでの端し圧より大きい場合がある。しかしその端し圧の変化は一般に小さいのでそれが許容できる程度であれば制約条件式を満足しているものとする。ここではその許容範囲を許容端し圧の5%増としている。

2.3 目的関数

前述のとおり本最適設計での経済性の評価は防波堤建設の工費を対象としている。混成式防波堤建設の工費は防波堤直立部と捨石マウンドに関係する工費の和としてあらわされる。ここで考慮している工費は防波堤1mあたりの概算工費であり、次に示す単価と材料のボリュームによって式(12)のように表わされる。

$$\begin{aligned} \text{COST} = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = & C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 \\ & + C_4 X_4 + C_5 X_5 + C_6 X_6 + C_7 X_7 + C_8 X_8 + \\ & C_9 X_9 + C_{10} X_{10} + C_{11} X_{11} + n C_{12} \quad (\text{千円/m}) \\ & \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

- C_1 : ケーソン製作単価 (千円/m³)
- C_2 : 中詰砂単価 (")
- C_3 : ふたコンクリート単価 (")
- C_4 : 上部コンクリート単価 (")
- C_5 : 捨石単価 (")
- C_6 : 被覆石単価 (")
- C_7 : 捨石荒均し単価 (千円/m²)
- C_8 : 捨石本均し単価 (")

- C_9 : 被覆石均し単価 (千円/m²)
- C_{10} : 進水、えい航、据付等のケーソン一函あたりにかかる費用 (千円/函)
- C_{11} : 根固め方塊製作単価 (千円/m³)
- C_{12} : 根固め方塊据付費 (千円/個)
- X_1 : ケーソン本体の体積 (m³/m)
- X_2 : 中詰砂の体積 (")
- X_3 : ふたコンクリート体積 (")
- X_4 : 上部コンクリート体積 (")
- X_5 : 捨石体積 (")
- $X_5 = (l_1 + x_2 + x_3 + a x_1) x_1$
 l_1 は港外側マウンドのり肩幅 (m)
 a はマウンドこう配
- X_6 : 被覆石体積 (")
- $X_6 = 2 t_2 \sqrt{1 + \alpha^2} (t_2 + x_1) + t_2 (l_1 + x_3 - 2 x_4 - l_2 - t_2 \alpha)$
 t_2 は被覆石の厚さ (m)
 l_2 は根固め方塊の全設置幅 (m)
- X_7 : 捨石の荒均し面積 (m²/m)
- $X_7 = 2 x_1 \sqrt{1 + \alpha^2} + l_1 + x_3 - 2 x_4 - l_2 - 2 s$
 s は本均しの余裕幅 (m)
- X_8 : 捨石の本均し面積 (m²/m)
- $X_8 = x_2 + 2 x_4 + l_2 + 2 s$
- X_9 : 被覆石均し面積 (m²/m)
- $X_9 = 2 (t_2 + x_1) \sqrt{1 + \alpha^2} + 2 t_2 \sqrt{1 + \alpha^2} + (l_1 + x_3 - 2 x_4) - 2 t_2 \alpha - l_2$
- X_{10} : ケーソンの法線平行方向長
- $X_{10} = x_5$ (m)
- X_{11} : 根固め方塊全体積 (m³/m)
- $X_{11} = t_1 l_2$
 t_1 は根固め方塊の高さ (m)
- n : 根固め方塊の防波堤1mあたりの概算設置個数 (個/m)

本来上記の単価は水深の大小、ケーソンの大小等によって変化するものであるが、それらの関係を求めた適当な資料も見あたらないのでここでは定数として扱うことにする。

以上の定式化によって、経済的に最適な混成式防波堤の断面形状は制約条件式(1)～(11)を満足しかつ式(12)で示される目的関数が最小となる各設計変数($x_1 \sim x_5$)によって与えられる。

3. 最適化計算

3.1 最適化計算

式(1)～(11)で示される制約条件式をまとめて $g_j(X)$, 式(12)で示される目的関数を $f(X)$ とすると本最適設計の問題は次のように表現される。

$$g_j(X) \leq 0 \quad (j=1, m) \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$f(X) \rightarrow \min$$

ここに $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$

$g_j(X)$, $f(X)$ は X に関して非線形であるため、本問題は典型的な非線形計画法の問題である。この種の問題を解く最適手法としては反復線形計画法 SLP (Sequence of Linear Method), 直接微分傾斜法 (Projected Gradient Method), 可能方向法 (Feasible Direction Method), SUMT (Sequential Unconstrained Minimization Technique), モンテカルロ法等があるが、それぞれ長所短所を有しており、現在のところ問題に応じて使い分けられている。ここでは、全体的最適解を見つけ出す可能性が大きく、かつ構造・造船関係で実績のある SUMT を採用した。SUMT は式(14)に示すような新しい関数 (Interior Penalty Function) を用いて、「制約条件つき最適化問題」を「制約条件のない最適化問題」に変換して解く手法である。

$$P(X, r_k) = f(X) - r_k \sum_{j=1}^m \frac{1}{g_j(X)} \quad \dots\dots\dots (14)$$

本手法は実行可能領域に最小値を有する Penalty Function をつくりペナルティ係数 r_k を減少させて $P(X, r_k)$ の最小値を $f(X)$ の最小値に近づけることにより $f(X)$ の最小値を求める手法である。式(14)の第2項 (Penalty項) は実行可能領域では負であり、設計変数が変化して制約条件式を犯しそうになると急激に大きくなって、設計変数が制約条件を犯すことをさまたげようとする性質を有する。

なお、 r_k の初期値としては、一般に目的関数とペナルティ項が同程度の値となるように r_k を定めるのがよいと言われているが、本問題の場合ペナルティ項と目的関数の比が 0.1～1 程度が良好であった。また、 r_k の減少率としては 1 回の Iteration で (1/10～1/100) 程度を用いている。

式(14)の最小値を求める具体的な方法としては Powell の Direct Search⁹⁾法と Davidon-Fletcher-Powell¹⁰⁾法を用いている。

3.2 計算手順

2.2 制約条件および前項で述べた計算法の計算手順は次のとおりである。

- ① 設計条件, 単価等の入力。
- ② 検討水位を H.W.L とする。
- ③ 入力された初期仮定断面が全ての制約条件を満足しているか否かをチェックする。一つでも満足していなければ計算を中止する。
- ④ 最適断面を求める。
- ⑤ 求めた断面は他の水位で全ての安定条件を満足するか否かをチェックする。全ての安定条件を満足していれば最適断面の候補とする。一つでも満足しなければ最適断面の候補とならない。
- ⑥ 他の水位での最適断面を求める場合は検討水位を移して④に行く。
- ⑦ 得られた最適断面の候補の中から工費が最小となる断面を決定する。

最適化計算の詳細については前報¹⁾を参照されたい。

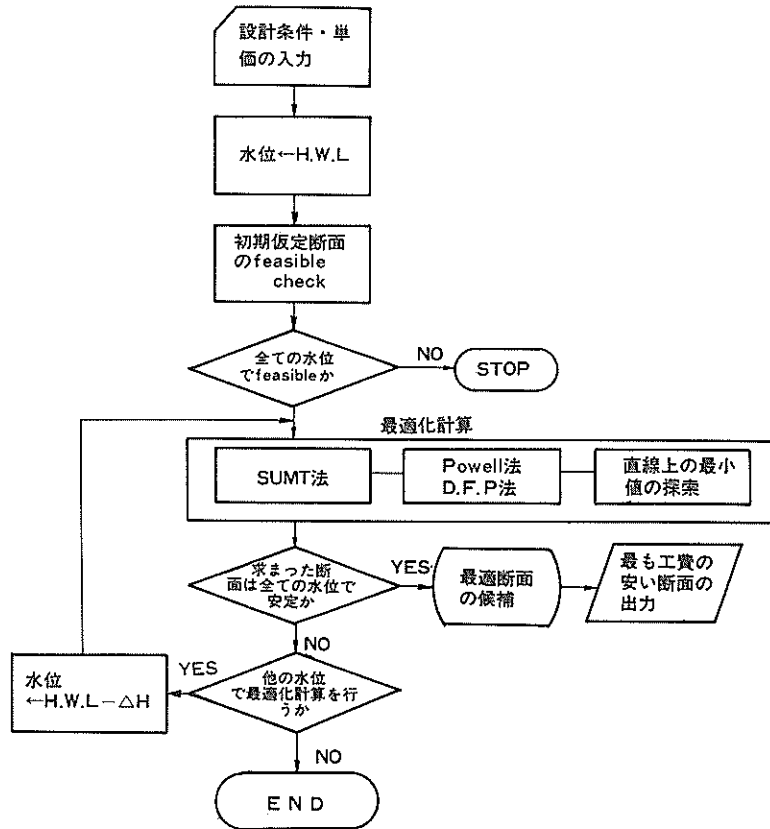


図-5 計算手順

4. 最適断面形状に及ぼす設計条件の影響

工費に与える影響の大きな設計条件と工費の関係について、三数値計算を行い、混成式防波堤の最適断面形状に及ぼす設計条件の影響について考察する。ここで用いた単価はある特定の港を想定したものであるが、値そのものはそれほど特殊なものではないと考えられる（表-2参照）。なお、ケーソン一函あたりに係る費用（進水、えい航、据付）は施工条件によって大きく異なるので、ここでは考慮していない。

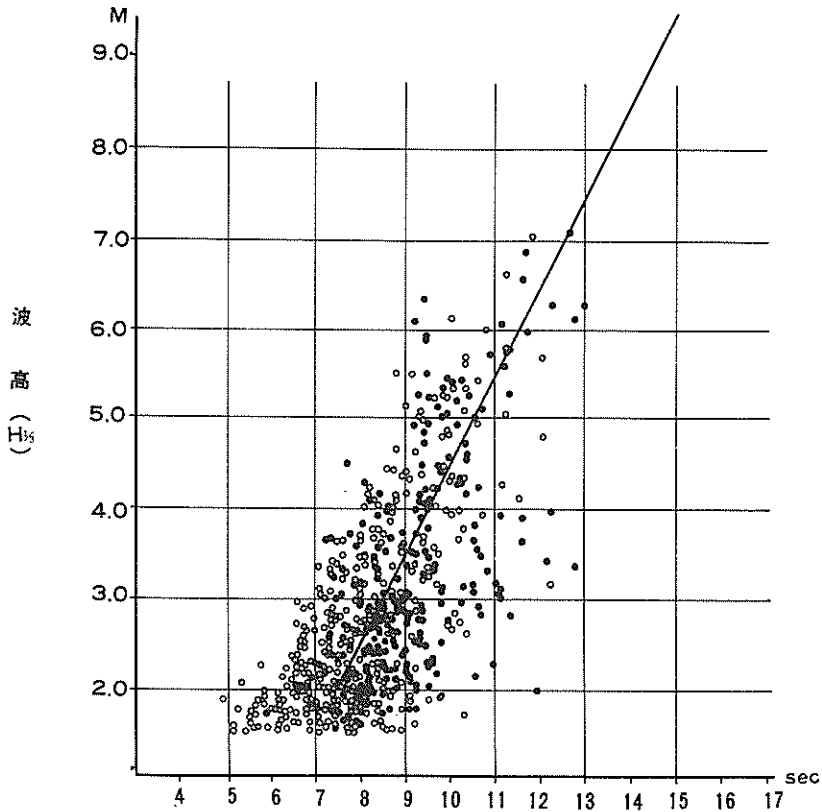
波高と周期については福井港で観測されたものを利用した（図-6参照）。

4.1 初期仮定断面と最適解の関係

非線形計画法の一般的性質として制約条件式の作り出す曲面が凸でない場合は局所的な最小解が全体的な最小解になるという保証はできない。この理論的な難点は現在のところどのような手法を用いても遭遇する問題であるが、凸極性の条件が満足しなくても局所的な最適解を求めるためにはSUMTを用いることができるので、実用的には出発点を種々変化させて得られる局所的な最小解を比較す

C ₁	ケーソン製作単価	50,000 (円/m ³)
C ₂	中詰砂単価	1,500 (/)
C ₃	ふたコンクリート単価	25,000 (/)
C ₄	上部コンクリート単価	30,000 (/)
C ₅	捨石単価	5,200 (/)
C ₆	被覆石単価	5,400 (/)
C ₇	捨石荒均し単価	7,300 (円/m ³)
C ₈	捨石本均し単価	8,200 (/)
C ₉	被覆石均し単価	5,400 (/)
C ₁₀	ケーソン一函あたりの費用	0 (円/函)
C ₁₁	根固方塊製作単価	10,000 (円/m ³)
C ₁₂	根固方塊据付単価	15,000 (円/個)

表-2 数値計算に用いた単価



図一六 波高と周期の関係の一例(福井港)

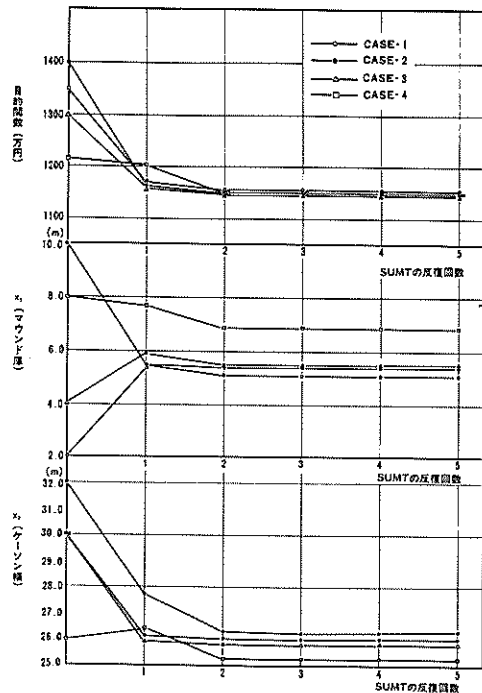
ることにより全体的最小解を決定できることが少なくない。

いま水深-20m, 換算沖波波高8.0m, 周期13.5秒, 許容端し圧 50 tf/m^2 の設計条件の地点での工費最小の混成式防波堤を求めてみる。初期条件としてマウンド厚 α_1 と堤体幅 α_2 がそれぞれ異なる4組の出発点(表一三参照)を与えた場合の最適解とその収束状況を図一七に

ケース名	α_1	α_2	備考
CASE-1	2.0	32.0	その他の設計変数は定数とした。
CASE-2	10.0	30.0	
CASE-3	4.0	30.0	
CASE-4	8.0	26.0	

表一三 解の収束状況の検討に用いた初期値

示す。本例題の場合SUMTの反復回数が2回程度で解が収束している。また最適解はいずれも端し圧に対する制約条件で断面が決定しているがその断面形状は、マウンド厚が小さく堤体幅が大きい解(CASE-1~CASE-3)とマウンド厚が大きく堤体幅が小さい解(CASE-



図一七 解の収束状況

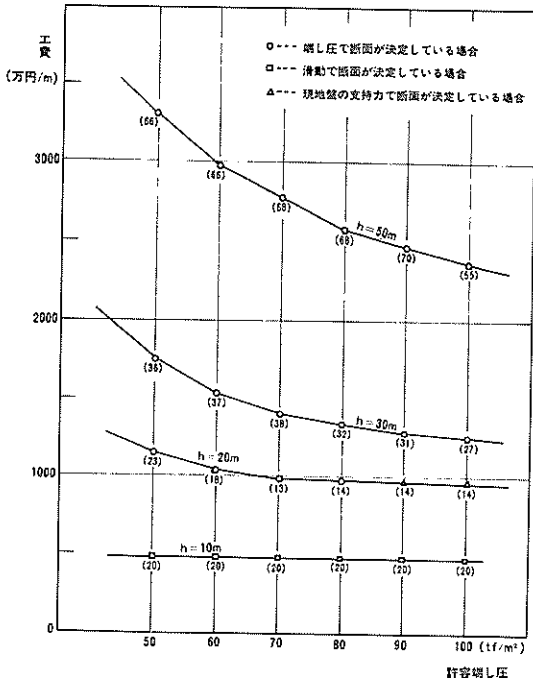
4)の2種類が存在するようである。実用的には初期値を二、三変化させて、得られる解を比較すれば十分に全体的最小解が得られると思われる。なお、この例題の場合は工費の差が1%前後と非常に小さいので、実際には経済性以外の条件、例えば施工性等を加味して採用断面を決定することになる。

4.2 マウンド許容端し圧と工費の関係

捨石マウンドの許容端し圧は現在のところ40~50 tf/m²程度が採用されているようであるが、水深が深くなるとケーソンの堤体幅はほとんど端し圧で決定される。許容端し圧が工費に大きく影響することは定性的にはわかっているが、定量的にどの程度であるかについてはあまり把握されていない。ここでは、許容端し圧の工費に与える影響を調べるために以下の条件のもとで試算を行った。

設計水深 -10~-50m
 換算沖波波高 8.0m
 周期 13.5秒
 許容端し圧 50~100 tf/m²
 マウンド内部摩擦角 40°
 現地盤内部摩擦角 30°
 防波堤天端高 $0.6H_{1/3}$ ($H_{1/3}$ は防波堤前面での有義波高)

ケーソン空中重量 5000 tf 以下



図一八 許容端し圧と工費の関係

計算結果は図一八に示すとおりである。本例の場合、水深が-10m程度までは滑動に対する安定条件で断面が決定するので工費は許容端し圧に関係しないが、それ以上の水深では水深が深くなるほど許容端し圧の影響が大きくなる。ちなみに許容端し圧として100 tf/m²を採用した場合、水深が-20m程度では工費は現行(許容端し圧50 tf/m²と仮定)の85%程度であるが、それ以上の水深では70%程度になる。大水深の場合、1mあたりの工費の絶対額が大きいののでその差は非常に大きなものとなる。現在使用されている許容端し圧は経験上用いられている値であるが、大水深の場合は工費に与える影響が大きいのので慎重に検討する必要がある。

なお、各水深および許容端し圧に対して求めた最適断面形状については、一般的に次のような傾向がある。

- (1) 水深が深く直立部の堤体幅が端し圧に対する制限条件より決まる場合は、許容端し圧が大きくなればなるほどマウンド厚は小さくなりかつ直立部の堤体幅も小さくなる。また、許容端し圧が大きくなると、捨石マウンドに関する工費の全工費に占める割合(図一八の中の()内の数値)も小さくなる傾向にある。
- (2) 水深が浅くて直立部の堤体幅が滑動に対する安定条件より決まる場合は、マウンド厚は最小マウンド厚(通常1.5m)となる。これは従来の経験とも一対する。

4.3 上部工形状と工費の関係

本最適設計では上部工形状を表わす諸元を設計変数とせずに定数としているが本来は工費に影響してくるものである。その影響の度合を次の条件のもとで試算した。

換算沖波波高 8.0m
 周期 13.5秒
 水深 CASE-1 -20m
 CASE-2 -10m
 許容端し圧 60 tf/m²
 上部工形状 CASE-1 $A_1 = 0.1m, A_3 = A_5 = 2.4m, A_4 = 4.4m$
 CASE-2 $A_1 = 0.1m, A_3 = A_5 = 2.8m, A_4 = 3.8m$

ここに、 $A_1 \sim A_5$ は上部工形状を示すデータである。(図一八参照) 上部工のパラペット部天端幅(A_2)を変化させた場合の最適解の工費の変化を図一九に示す。水深-10mの場合(CASE-2)では、上部工の形状は工費にそれほど大きな影響を与えないが、 A_2 が大きいほど工費が安くなる傾向にある。CASE-2では滑動に対する安定条件に対して堤体断面が決定しているので、浮

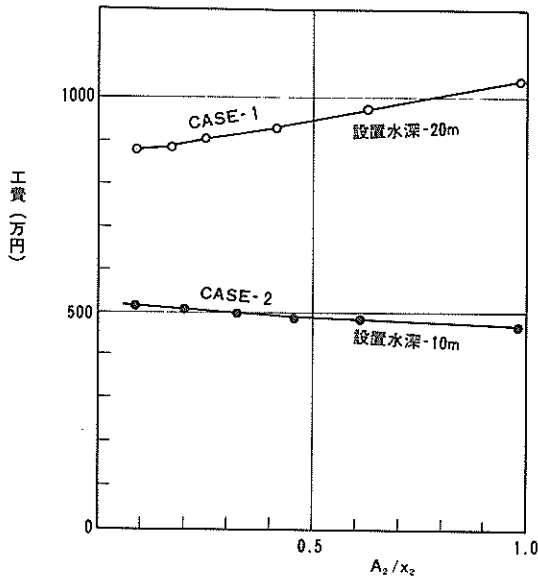


図-9 上部工形状と工費の関係

力の作用しない上部工を大きくして、浮力の作用するケーソン部を小さくした方が有利であることを示している。また逆に許容端し圧に対して堤体断面が決定しているCASE-1のような場合は A_2 が小さい方が工費が安くなっている。CASE-1の場合の工費の増加量のほとんどは上部工のボリュームの増加によるものである。このことは、滑動に対して余裕が有り端し圧で断面が決定する場合は、上部工をパラベット形状にした方が工費的に有利であることを示しているものと考えられる。

4.4 設計波高と堤体形状の関係

設計波高とケーソン幅は密接な関係にあり、最適断面形状も設計波高によって変化してくる。ここでは水深が比較的深い場合の最適断面を試算し、それらの関係について考察する。計算条件は次のとおりである。

設計波高及び周期

図-6より次のように設定した。

換算沖波波高 6.0, 8.0, 10.0, 12.0 m
 (周期) (11.5), (13.5), (15.5), (17.5) 秒

水深 -15, -20, -25, -30 m

海底こう配 1:100

防波堤天端高 $0.6H_{1/3}$ m

許容端し圧 50 tf/m²

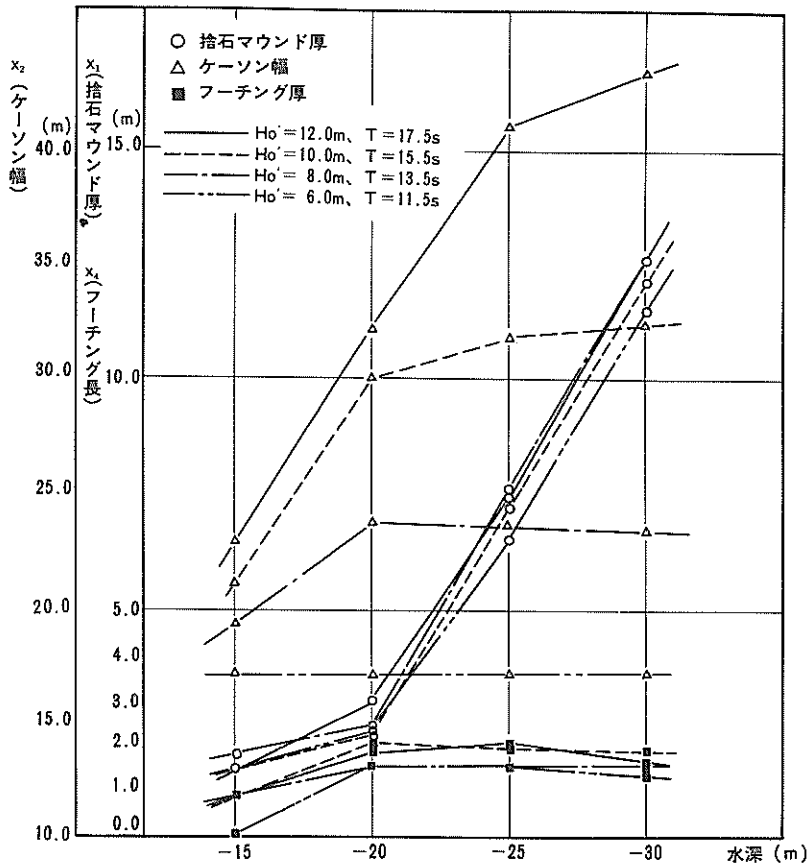
フーチング厚 1.5 m

フーチング長の範囲 0~2 m

単価 表-2のとおりとする

計算結果は図-10に示すとおりである。最適解はすべて許容端し圧に関する制約条件から決定されている。また、水深が-20 m以上では設計波高の大小にはあまり関係せずに各水深ごとに最適なマウンド厚というものが存在するようである。本計算例の範囲ではマウンド上水深が16~17 mになるようなマウンド厚が最適解となっているが、この値は許容端し圧が50 tf/m²の場合のマウンド上水深の限界値と思われる。また、波高にくらべて水深が大きい領域では砕波変形の影響が小さいので H_{max} が同程度となりかつ前述のとおりマウンド上水深がほぼ一定であるため波圧の合力が等しくなるとケーソン幅が同程度となる領域が存在する。 H_{max} の変化の著しい領域ではその波高に応じて滑動に対する安定条件および許容端し圧を満足する断面が決定される。

フーチングについては、水深が-15 m程度では必要ないかまたは設けるとしても1 m程度が経済的なようである。水深が-20 mを越える場合はフーチング長が大きい方が有利でありいずれの水深においても1.5 m程度以上のフーチングを持つ断面が得られている。また波高の大きい場合の方がフーチング長が大きくなる傾向にある。(なお、本計算例ではフーチングの最大長を2.0 mに制限してあるためそれ以上のフーチング長は得られない)。



図一 10 設計波高と最適断面形状

5. プログラムの利用法

5.1 入力

本プログラムはバッチ処理のみを対象としているので入力はカードリーダーで行う。入力様式は図一11に示すとおりである。入力データはすべて、で区切り前詰めで記入する。各データの内容は以下のとおりである。

ITITLE…文字型。表題(40文字以内)。

N ……整数型。変数の個数。

NVAL ……整数型。変数 $x_1 \sim x_5$ のうち変数として扱うものは1, 定数として扱うものを0とする。

H_0 ……実数型。換算沖波波高(m)。

T ……実数型。周期(秒)。

β ……実数型。波向(度)。±15°の補正はプログラム内で行っていない。

W_0 ……実数型。海水の単位体積重量(tf/m³)。

O ……実数型。海底こう配(例:1:100のときは100.0を入力する)。

K ……実数型。現地盤水深(m)。負の符号をつける。

t_1 ……実数型。根固めブロックの厚さ(m)。

U_2 ……実数型。ケーソン天端高(m)。

FUT ……実数型。フーチング厚(m)。

S1 ……実数型。側壁厚(m)。

S2 ……実数型。隔壁厚(m)。

b ……実数型。底版厚(m)。

e ……実数型。フタコン厚(m)。

HANCH ……実数型。ハンチの長さ(m)。ハンチはすべて共通である。

FUTN ……実数型。台形フーチングの場合の付け根の高さ(m)。く(矩)形フーチングの場合は0.0とする(図一12を参照)。

X1MIN ……実数型。マウンド厚の最小値(m)。

X2MIN ……実数型。ケーソン幅の最小値(m)。

X3MIN ……実数型。港内側のり肩幅の最小値(m)。

X4MIN ……実数型。フーチング長の最小値(m)。フーチングを考えない場合は0.0とする。

X5MIN ……実数型。ケーソンの法線方向長の最小値(m)。

TITLE											
N	NVAL										
Ho'	T	β	W ₀								
C	K	t ₁									
U ₂	FUT	S1	S2	b	e	HANCH	FUTN				
X1MIN	X2MIN	X3MIN	X4MIN	X5MIN	X1MAX	X2MAX	X3MAX	X4MAX	X5MAX	WCMAx	
A1	A2	A3	A4	A5	U1						
γ_1	γ_2	γ_e	γ_c	γ_r							
H.W.L	L.W.L	DELTH	Y								
F	Q1A	ϕ_1	ϕ_2	f							
L1	L2	α	t ₂	S	NKOSU						
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
NAMEOUT		ITER MAX	ϵ SUMT	ϵ OPT	ϵ LINE						
X1INTL	X2INTL	X3INTL	X4INTL	X5INTL	rINTL						

図-11 入力様式

X1MAX……実数型。マウンド厚の最大値(m)。衝撃砕波領域を考慮して設定する。

X2MAX……実数型。ケーソン幅の最大値(m)。

X3MAX……実数型。港内側のり肩幅の最大値(m)。

X4MAX……実数型。フーチング長の最大値(m)。

X5MAX……実数型。ケーソン法線方向長の最大値(m)。ケーソンヤード等を考慮して設定する。

WCMAx……実数型。ケーソン本体の完成時最大重量(tf)。

A1 ……………実数型。

A2 ……………実数型。

A3 ……………実数型。

A4 ……………実数型。

A5 ……………実数型。

U1 ……………実数型。防波堤天端高(m)。

γ_1 ……………実数型。マウンド材の水中単位体積重量(tf/m³)。

γ_2 ……………実数型。現地盤の水中単位体積重量(tf/m³)。

γ_e ……………実数型。浮力を引かない中詰砂の単位体積重量(tf/m³)。

γ_c ……………実数型。コンクリートの単位体積重量(tf/m³)。

γ_r ……………実数型。鉄筋コンクリートの単位体積重量(tf/m³)。

H.W.L ……実数型。さく望平均満潮面(m)。

L.W.L ……実数型。さく望平均干潮面(m)。

DELTH ……実数型。H.W.L～L.W.L間で水位を変化させて安定計算を行う場合のピッチ(m)。DELTHを小さくとると計算時間が長くなる(図-14参照)。

Y ……………実数型。ケーソン据付時の余裕水深(m)。

F ……………実数型。現地盤上での許容支持力を求める場合の安全率。

Q1A ……………実数型。マウンド上での許容端し圧(tf/m²)。

ϕ_1 ……………実数型。マウンドの内部マサツ角(度)。偏心傾斜荷重に対する検討では入力された値より5°大きい値を用いる。

ϕ_2 ……………実数型。現地盤の内部マサツ角(度)。

f ……………実数型。ケーソンの滑動における摩擦角。

L1 ……実数型。港外侧マウンドのり肩幅(m)。
 L2 ……実数型。根固めブロックの全設置幅(m)。
 α ……実数型。マウンド勾配 (例; 1:2の場合, 2.0を入力する)。
 t_2 ……実数型。被覆石の厚さ(m)。
 S ……実数型。本ならしの余裕幅(m)。
 NKOSU ……整数型。防波堤1mあたりの根固めブロックの換算設置個数。
 C1 ……実数型。ケーソン製作単価 (千円/m³)。
 C2 ……実数型。中詰砂単価 (/)。
 C3 ……実数型。ふたコンクリート単価 (/)。
 C4 ……実数型。上部コンクリート単価 (/)。
 C5 ……実数型。捨石単価 (/)。
 C6 ……実数型。被覆石単価 (/)。
 C7 ……実数型。捨石荒ならし単価 (千円/m³)。
 C8 ……実数型。捨石本ならし単価 (/)。
 C9 ……実数型。被覆石ならし単価 (/)。
 C10 ……実数型。ケーソン一函あたりにかかる費用 (進水, 仮置, 据付等) (千円/函)。
 C11 ……実数型。根固め方塊製作単価 (千円/m³)。
 C12 ……実数型。根固め方塊据付単価 (千円/個)。
 NAMEOUT ……文字型。DFRMと記入する。
 ITERMAX ……整数型。SUMTの最大反復回数。5程度とする。
 ϵ SUMT ……実数型。0.1を入力する。
 ϵ OPT ……実数型。0.1を入力する。収束判定定数
 ϵ LINE ……実数型。0.1を入力する。
 X1 INIT ……実数型。変数 x_1 の初期値。
 X2 INIT ……実数型。変数 x_2 の初期値。
 X3 INIT ……実数型。変数 x_3 の初期値。
 X4 INIT ……実数型。変数 x_4 の初期値。
 X5 INIT ……実数型。変数 x_5 の初期値。
 r INIT ……実数型。ペナルティ係数の初期値100.0程度がよい。

5.2 出力

出力項目は次のとおりである。

- (1) 入力データ
- (2) 初期仮定断面の feasible check 結果(入力データで仮定した断面が全ての制約条件を満足しているか否かをチェックする。一つでも制約条件を満たしていない場合は計算を中止する)。
- (3) 最適化計算の中間結果。
- (4) 最適断面形状と安定計算結果および工費。(出力結果の説明は5.4 利用例を参照)。

5.3 利用上の留意点およびエラーメッセージ

本プログラムを利用する場合の留意点を以下に列挙する。

- (1) 初期仮定断面は必ず全ての制約条件を満足しなくてはならない。
- (2) 計算時間, 解の求め易さ等の理由により, 設計変数の中で定数としてよいものはなるべく定数とするほうが望ましい。例えばケーソンの法線方向長 x_5 は施工条件等であらかじめ決まっている場合が多いと思われる。
- (3) フーチング長 x_4 については配筋可能な範囲となるように, その最大値, 最小値, フーチング厚を適切に決定する。
- (4) 非線形計画法の性質上, 求まった解が常に全体的な最小値であるとは限らないので初期仮定断面を二, 三変更して解を比較する必要がある。
- (5) 本プログラムでは, ある水位での最適断面の候補が決定すれば, その断面について他の水位での安定条件をチェックする。その際, マウンド上の許容端し圧については入力された値の5%増の値を用いている。これは, ある水位での最適断面が許容端し圧に関する制限で決定されている場合に, 他の水位での端し圧が少し許容端し圧をオーバーしているだけでその断面を最適解の候補から除くのは不経済であることを考慮したものである。上記の操作を避けたい場合は許容端し圧を1.05で割った値を入力すればよい。
- (6) 変数が5, 検討水位が5程度の場合, 計算時間は約8分程度である。

また計算の実行上, エラーの生じた場合には表-4に示されるエラーメッセージが出力される。

番号	エラーの内容	処 理
1	入力データの数がたりない。	データをチェックする。
2	現地盤水深が+で入力されている。	負にする。
10	初期仮定断面が制約条件を満足していない。	****印のついている制約条件式を満足するように初期データを修正する。
11	最適解を求められない。	① 初期仮定断面を変更して再計算してみる。 ② 収束判定定数をεSUMTまたはεOPTを大きくしてみる。
13	注水を行ってもケーソンの浮遊時の安定を保てない。	初期仮定断面を変更する。
15 16 17	最適解を求められない。	収束判定定数εLINEを大きくしてみる。
100 / 750	その他の 実行上のエラー	計算センターに連絡

表-4 エラーメッセージ

5.4 利用例

以下に示す設計・施工条件のもとで本プログラムを利用する場合の入力データの作成例を図-15に、計算結果を図-16(a)~(e)に示す。

設計条件

換算沖波波高	7.5 m
周 期	11.0 sec
波 向	28.0度
海底こう配	1:5.0
現地盤水深	-13.0 m
H.W.L	+ 2.0 m
L.W.L	± 0. m
防波堤天端高	+ 6.5 m

施工条件

ケーソン空中重量	3,000 tf
ケーソン最大長さおよび幅	20m×30m
据え付け時の余裕水深	1.0 m
港内側最小マウンド幅	4.0 m
港外側マウンド幅	15.0 m

ケーソン細部諸元

ケーソン天端高	+3.0 m
側壁厚	0.45 m
隔壁厚	0.30 m
底版厚	0.60 m
ハンチの長さ	0.30 m
ふたコンクリート厚	1.0 m

単 価

C1 ケーソン製作単価	40,000 (円/m ³)
C2 中詰砂単価	4,000 (円/m ³)
C3 ふたコンクリート単価	8,000 (円/m ³)
C4 上部コンクリート単価	15,000 (円/m ³)
C5 捨石単価	4,000 (円/m ³)
C6 被覆石単価	4,000 (円/m ³)
C7 捨石荒ならし単価	4,000 (円/m ³)
C8 捨石本ならし単価	9,000 (円/m ³)
C9 被覆石ならし単価	5,000 (円/m ³)
C10 ケーソン一函あたりの費用	800,000 (円)
C11 根固め方塊製作単価	10,000 (円/m ³)
C12 根固め方塊据付単価	7,000 (円/個)

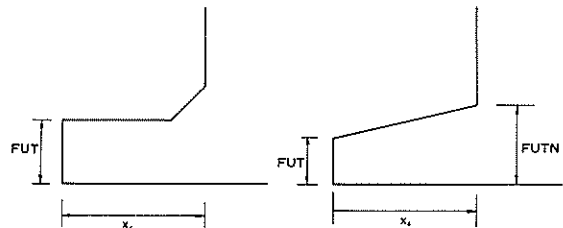


図-12 フーチングの形状

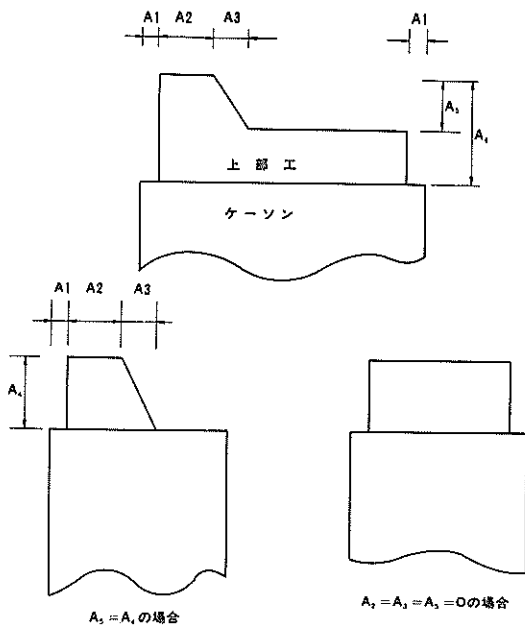


図-13 上部工の形状

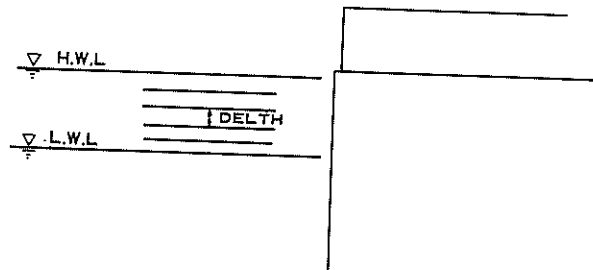


図-14 検討水位

CASE-10

4.1 1.1 1.0 1.0

7.5 11.0 28.0 1.03

50.0 13.0 1.5

3.0 0.0 0.45 0.3 0.6 1.0 0.3 0.0

1.5 10.0 4.0 0.0 10.0 7.0 30.0 10.0 1.0 20.0 3000.0

0.1 10.6 2.5 3.5 2.5 6.5

1.0 1.0 2.0 2.3 2.45

2.0 0.0 0.7 1.0

1.5 60.0 40.0 35.0 0.6

15.0 6.0 2.0 2.0 1.5 3

40.0 4.0 8.0 15.0 4.0 4.0 4.0 5.0 800.0 10.0 7.0

DFRM 10.0 1.0 1.0

3.0 23.0 10.0 0.0 15.0 1.0

図-15 入力データの作成例

***** TITLE CARD *****

CASE-10

***** SYSTEM PARAMETERS *****
 N.O.VAR = 4 X CHANG = 1 1 1 0 1
 変数として扱うものは1, 定数とするのは0を入力する。
 ***** SUB-SYSTEM PARAMETERS *****
 P-FLAG = (T T F T T T T T T)
 C.CARD = 5 C.PRINT = 6 PAGE C. = 1 LINE MAX = 60 LINE C. = 14

***** END OF SYSTEM PARAMETERS *****

***** INPUT PARAMETER OF DESIGN *****

PARAMETER CARD 1 :
 HO = 7.50000 Y = 11.00000 BEATA = 28.00000 OMEGAD = 1.03000
 換算沖波高 周期 海水の単位体積重量
 PARAMETER CARD 2 :
 C = 50.00000 RK = -13.00000 T1 = 1.50000
 海底勾配 現地盤水深 根固めブロックの厚さ
 PARAMETER CARD 3 :
 U2 = ケーソン天端 3.00000 FUTING = フーチング厚 0. S1 = 埋設厚 0.45000 S2 = 埋設厚 0.30000 SB = 底版厚 0.60000
 SE = フラコン厚 1.00000 HANCH = ハンチ長 0.30000 FUTN = 0.
 台形フーチングの場合の付け根の高さ。
 PARAMETER CARD 4 : 各変数の取りえる値の範囲 (α₁ min ~ α₂ max)
 X1(MIN) = 1.50000 X2(MIN) = 10.00000 X3(MIN) = 4.00000 X4(MIN) = 0. X5(MIN) = 10.00000
 X1(MAX) = 7.00000 X2(MAX) = 30.00000 X3(MAX) = 10.00000 X4(MAX) = 1.00000 X5(MAX) = 20.00000
 WC(MAX) = 3000.00000 ケーソン最大重量(空中)
 PARAMETER CARD 5 :
 A1 = 6.01000 A2 = 10.00000 A3 = 2.50000 A4 = 3.50000 A5 = 2.50000
 U1 = 防波堤天端 6.50000
 A1~A5は上部工の形状
 PARAMETER CARD 6 :
 GAMMA1 = 1.00000 GAMMA2 = 1.00000 GAMMA-E = 2.00000 GAMMA-C = 2.30000 GAMMA-R = 2.45000
 捨石マウンドの水中単位体積重量 現地盤の水中単位体積重量 中置単位体積重量 コンクリート単位体積重量 鉄筋コンクリート単位体積重量
 PARAMETER CARD 7 :
 HNL = 2.00000 LWL = 0. DELTA = 0.20000 Y = 1.00000
 H.W.L. 検討水位のヤビシ幅 振付時の余裕水深
 PARAMETER CARD 8 :
 RF = 1.50000 Q1A = 60.00000 PHA11 = 40.00000 PHA12 = 35.00000 SF = 0.60000
 現地盤上の許容支持力の安全率 マウンド許容端圧 マウンド内部マサング角 現地盤内部マサング角 滑動に対するマサング係数
 PARAMETER CARD 9 :
 L1 = 15.00000 L2 = 6.00000 ALPHA = 2.00000 T2 = 2.00000 S = 1.50000
 N = 3 根固めブロック全数置幅 マウンド勾配 被覆石の厚さ 本ならし余裕幅
 PARAMETER CARD 10 :
 C1 = 40.00000 C2 = 4.00000 C3 = 8.00000 C4 = 15.00000 C5 = 4.00000
 C6 = 4.00000 C7 = 4.00000 C8 = 9.00000 C9 = 5.00000 C10 = 800.00000
 C11 = 10.00000 C12 = 7.00000
 C1~C12は単価(千円) マウンド勾配 根固めブロック設置個数 被覆石の厚さ 本ならし余裕幅
 ***** INPUT PARAMETERS OF OPTIMIZATION *****
 OPT = 最適化手法 OFKA ITR-MAX. = SUMPT最大反復回数 10 EPSSMT = 0.10000E 00 EPSLNS = 0.10000E 00
 X(1) = X(H1) = 5.00000 23.00000 10.00000 0. 15.00000
 R = ベナルティ係数 1.00000 変数 α₁ ~ α₅ の初期値 収束判定定数

***** RESULT OF CONSTRAINTS *****

VARIABLES .. X(I) , I=1 , 5
 3.00000 躯体重量 25.00000
 CALCULATED RESULT 10.00000 U.
 MU = 751.03024 浮力による転倒モーメント
 MU = 1402.05024 波圧による転倒モーメント
 MP = 29.02279 P2B = 0 = 吃水
 P2 = 5.43150 現地盤上の最小地盤反力
 G = ケーソン重心 現地盤の許容支持力
 0 = 吃水
 C = 浮心
 Q2A = 3.55230 ケーソン体積
 Q2A = 272.69452
 MV = 5209.22000
 V = 284.28000 浮力による転倒モーメント
 P = 108.72615 波圧の合力
 P1 = 32.02594 マウンド上の最大端し圧
 RV = 1030.45301
 M = 6.19144
 MR = 9013.30017 抵抗モーメント
 P1B = 0.66214 マウンド上の最小端し圧
 WC = 2524.62210 ケーソン重量

CALCULATED INEQUALITY		式(1)の制約条件式	
1	1.55677	1.20000	式(2) "
2	5.09778	25.00000	式(3)の制約条件式
3	12.70000	272.69452	式(4) "
4	52.02594	1.20000	式(5) "
5	29.02279	1.00000	式(6) "
6	1.05626	3.00000	式(7) "
7	12.71695	3.00000	式(8) "
8	2524.62210	7.00000	
9	1.50000	25.00000	
10	5.00000	30.00000	
11	10.00000	10.00000	
12	25.00000	10.00000	
13	4.00000	10.00000	
14	10.00000	10.00000	
15	U.	U.	
16	U.	1.00000	
17	10.00000	15.00000	
18	15.00000	20.00000	
19	0.76014	0.35223	
20	15.00000	11.10461	

図一16(b) 出力結果(初期仮定断面の feasible check)

***** RESULT OF CONSTRAINTS *****

VARIABLES .. X(1) , I=1 , 5
 1.50000 18.30000 4.00000 0. 15.00000 最適断面の候補の設計変数

CALCULATED RESULT
 W = 669.10429 U = 68.29629 V = 228.07290 P = 161.08850 MR = 6340.88324
 MU = 833.21473 MP = 1429.33600 MV = 2086.86703 P1 = 46.50895 P1D = 0.
 P2 = 42.41366 P20 = 1.50000 Q2A = 172.26578 RV = 922.50000 WC = 2260.12500
 G = 6.19286 D = 8.52553 C = 3.99690 M = 6.34247

S.W.L = 0.60000 ← 検討水位

CALCULATED INEQUALITY

1	1.38831	.GE.	1.20000
2	2.39328	.GE.	1.20000
3	12.70600	.LE.	18.30000
4	46.50895	.LE.	63.00000
5	42.41366	.LE.	172.26578
6	1.83803	.GE.	1.20000
7	6.30719	.GE.	1.00000
8	2260.12500	.LE.	3000.00000
9	1.50000	.LE.	1.50000
10	1.50000	.LE.	7.00000
11	10.00000	.LE.	18.30000
12	18.30000	.LE.	30.00000
13	4.00000	.LE.	4.00000
14	4.00000	.LE.	10.00000
15	0.	.LE.	0.
16	0.	.LE.	1.00000
17	10.00000	.LE.	15.00000
18	15.00000	.LE.	20.00000
20	10.00000	.GE.	11.02553

図-16(c) 出力結果 (各検討水位での最適断面候補の形状および安定計算結果)

* X(1) -- X(N1)

X1 = 1.5 X2 = 18.3 X3 = 4.0 X4 = 0. X5 = 15.0 --- 最適解 (x1 ~ x5)

* CAISSON - SIZE

LENGTH = 15.0 M 法線平行方向長
 WIDTH = 18.3 M 法線直角方向長
 SOKUHEKI = 0.450 M 傾壁厚 KAKUHEKI = 0.300 M 傾壁厚 HEIHT = 14.5 M ケーソン高
 CHAMBER-X = 3 CHAMBER-Y = 4 (法線平行方向および直角方向の隔壁数) TEIBAN = 0.600 M 底版厚 HANCH = 0.300 M ハンチ長
 CHAMBER-X-WIDTH = 4.50 CHAMBER-Y-WIDTH = 4.10 4.10 4.15 } 各隔壁のうちの0

FOOTING-KEY = 1 フーチング形状

FOOTING-X = 0. M FOOTING-Y = 0. M

フーチング厚 フーチング長さ

CAISSON - WEIGHT = 2260.125 TON ケーソン一箇の重量

CAISSON - VOLUME = 922.500 M**3 } ケーソン体積

CAISSON - VOLUME = 61.500 M**3/M } ケーソン体積

CENTER OF GRAVITY-Y = 6.193 M ケーソン重心位置

* FUYUUI ANTEI

KEISHIN = 6.301 M JYUSHIN = 5.867 M FUSHIN = 4.263 M KANGEN = 5.974 M KITSUSUI = 8.526 M TSUSUI = 0.700 M
 傾心 重心 浮心 乾げ心 乾水 注水高

HUTA - CON. = 1.000 M フタコンクリート厚さ

HUTA - CON. VOLUME = 220.590 M**3 } フタコンクリートの体積

14.706 M**3/M } フタコンクリートの体積

JYO - BU KO A1 = 0.100 M A2 = 10.000 M

JYO - BU KO VOLUME = 693.375 M**3 } 上部工の体積

46.225 M**3/M } 上部工の体積

A4 = 3.500 M

A5 = 2.500 M → 上部工の守法

NAKAZUME - VOLUME = 2837.160 M**3 } 中絶の体積

189.144 M**3/M } 中絶の体積

TEITAI - WEIGHT = 10036.564 TON } 堤体全体の重量

669.104 TON/M } 堤体全体の重量

CENTER OF GRAVITY-X = 9.477 堤体重量の重心位置

CENTER OF GRAVITY-Y = 8.635

* HAATSU - JI

WATER LEVEL = 2.000 M BUOYANCE = 254.462 TON X - POINT OF APPLICATION = 9.150 M

換算水位 = H.W.L 浮力

* SETSUKEI - HA

H1/3 = 6.900 HD = 12.071 L = 142.218

有義波高 最大波高 波長

安定計算結果

図一16(d) 出力結果(最適断面形状その他)

* KATSUDO
FS = 1.207 滑動安全率

* TENTO
FT = 2.018 転倒安全率

* HARYOKU
P = 171.031 U = 70.613 波圧合力および揚圧力の合力
MP = 1561.269 MV = 2328.323 MU = 861.483 MR = 6340.883
波圧による転倒モーメント 揚圧力によるモーメント 抵抗モーメント

* SHIJIRYOKU
P1 = 49.631 P1' = 0. L1 = 13.863 マウンド上での埋圧および分布圧
P2 = 43.927 P2' = 1.500 L1' = 16.217 現地盤 " " "

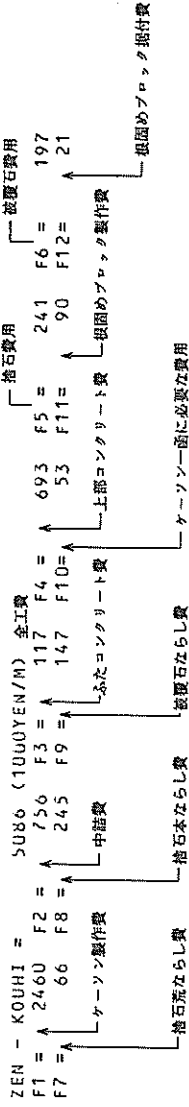
* CHOKUSEN SUBERI

FE = 1.627 直線すべりの安全率

* HENSHIN KEISYA 偏心傾斜荷重に対する検討

FE = 3.905 HMIN = 8.023 R = 2.694 THEATA = 0.823
安全率 Nmin τ (半徑) θ (角度)

* KOUHI



図一 16(e) 出力結果 (最適断面の安定計算結果および工費)

6. あとがき

本研究では非線形計画法の一つであるSUMTを混成式防波堤の断面決定に適用し、その計算プログラムを作成した。また二、三の数値計算により工費に影響を与える種々の設計条件と最適断面形状および工費の関係について考察を行った。今後、設計条件、立地条件等の過酷化および省資源等の要請により、さらに経済的な防波堤の設計を要求されてくると思われるがそのような場合に本最適設計プログラムが役立つものと信ずる。

本研究を行うにあたっては計算室に多大の便宜を計っていただいた。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 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, Sept, 1978
- 2) 山本修司, 塩沢俊彦: 地盤改良断面の最適設計, 港湾技研資料, No. 328, Dec, 1979
- 3) 合田良実: 浅海域における波浪の砕波変形, 港研報告, Vol. 14, No. 3, 1975
- 4) 合田良実: 防波堤の設計波圧に関する研究, 港研報告, Vol. 12, No. 3, 1973, pp 31~69
- 5) 片山猛雄, 内田豊彦: 偏心傾斜荷重を受ける二層系地盤上の帯状基礎の支持力, 港研資料, No. 140, 1972
- 6) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 昭和54年3月, pp 5-8~5-9
- 7) 立石哲郎, 福家龍男, 須田熙, 光本司: 傾斜偏心荷重を受ける帯状基礎の支持力に関する研究, 運研報告, 12巻1号, 昭和37年
- 8) 文献6)のpp 7-9~7-10
- 9) M, J. D. Powell: An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives, Computer Journal Vol 7, 1964 p. 55
- 10) R. Fletcher and M. J. D. Powell: A rapidly convergent descent method for minimization, Computer Journal Vol. 6, 1963, pp. 163~158
- 11) G. W. STEWART III: A modification of Davidon's Minimization Method to Accept Difference Approximations of Derivatives, Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 14, No. 1, January, 1967, pp. 72~83
- 12) J. コワリック, M. R. オスポーン: 非線形最適化問題, 培風館, 1970(山本, 小山訳)
- 13) 長尚: 構造物の最適設計, 朝倉書店, 昭和46.9

港湾技研資料 No. 347

1980・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横浜府市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント