港湾構造物の自動設計(1)

加納慎二・森脇昭治

1．緒　言

パソコンブームもそろそろピークを過ぎたかの感がある。パソコンでのゲームやホビー指向で折角の名器もおもちゃにしてしまえばそれまでである。そればかりか、パソコンはそんなものかといった錯覚にとらわれる。今、パソコンは大型計算機に劣らぬメリットを持ち、パソコンは小さな巨人である。適切な使い方をすれば、大きな力を発揮する潜在的な能力を持っている。

2．システム概説

今回は、一般的に普及しているＢＡＳＩＣ言語によって作成した。しかし、ＢＡＳＩＣはＦＯＲＴＲＡＮ程規格統一化されておらず、機種により若干の差があるので、ハードウェアシステムとして会社のＮＥＣ　ＰＣ－９８０１シリーズを採用した。そして、ＯＳとしてはＮ８８ＢＡＳＩＣを採用した。

3．プログラム概説

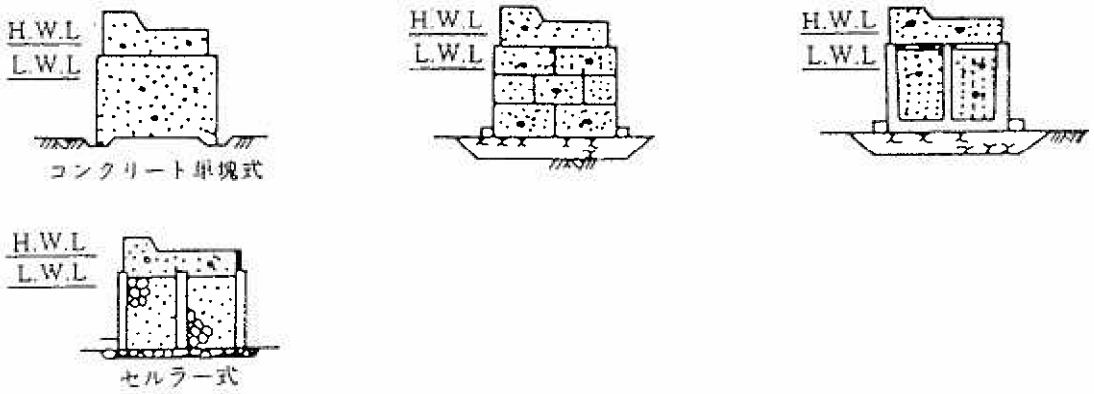
港湾構造物は大きく分けて、防波堤と係船岸とがあり、今回はケーソン式防波堤の設計プログラムを作成した。

表－1　　防波堤の基本的な形式・構造

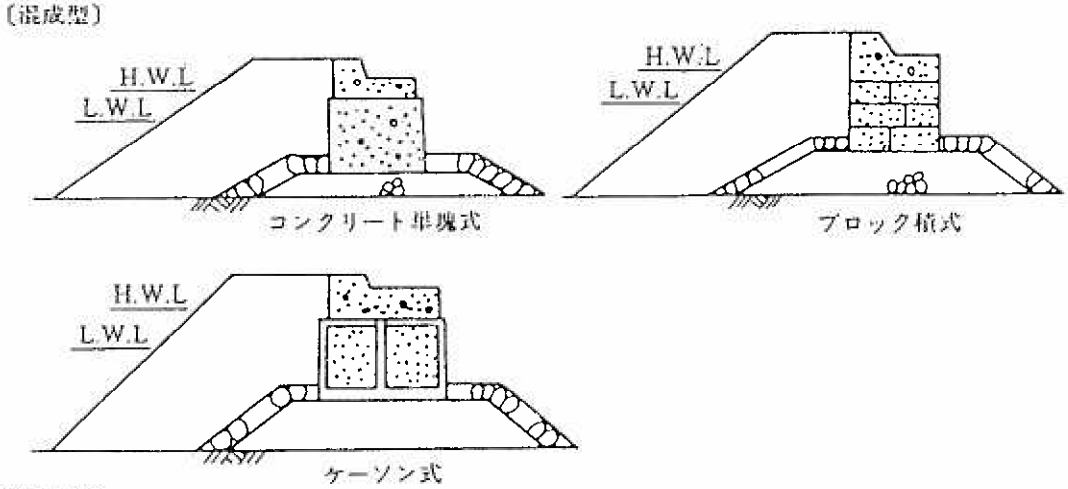
形式			構造
重力型	直立型	消波工つき	コンクリート単塊式
			ブロック積式
			ケーソン式
			セルラー式
		消波工なし	コンクリート単塊式
			ブロック積式
			ケーソン式
			セルラー式
	混成型	消波工つき	コンクリート単塊式
			ブロック積式
			ケーソン式
			セルラー式
		消波工なし	コンクリート単塊式
			ブロック積式
			ケーソン式
			セルラー式
	傾斜型		捨石式
			捨ブロック式
			石張式
矢板・くい型			二重矢板式
			鋼管式
			カーテン式

（注１）　混成型は傾斜型と直立型の機能を有している。

〔直立型〕

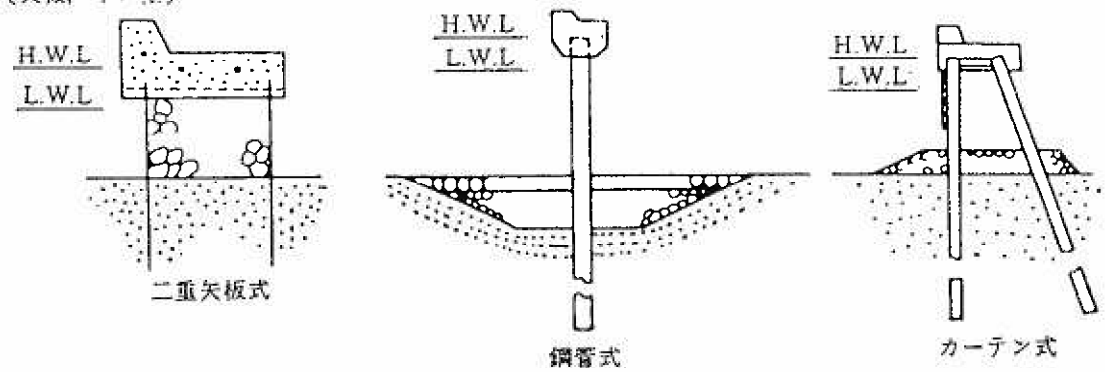


〔混成型〕



〔傾斜型〕

〔矢板，くい型〕



図－1　各種防波堤の模式的断面

4．プログラムの詳細説明

本プログラムは、次に示すフローの基に計算を進めている。まず、構造物に作用させる外力を求める。ここでは、港湾、漁港に使用される波圧公式を網羅できるようにしている。港湾と漁港で使用されている波圧公式は、フローに示すようにその使用条件により様々であるが、その計算により入力条件を変えるようにしている。そして、これらの波圧式から出てきた波圧は、波圧台力と波圧作用位置として、防波堤設計プログラムに引き継ぐように考慮している。

つぎに、ケーソン安定計算プログラムに進む。まず、ケーソン防波堤の諸元を入力する。諸元は、次に示すものとする。

1：タイトル
2：ブロック幅
3：ブロック長
4：底版の厚さ
5：横隔壁の枚数
6：縦隔壁の枚数
7：蓋板＋間詰の厚さ
8：フーチング幅
9：フーチング寸法　H1
10：　　H2
11：　　H3
12：ブロック天端高
13：摩擦係数　μ
14：中詰材の単位重量
15：カウンターの検討　（Y/N）
16：カウンター単位重量
17：係船タイプ
18：天　端　幅
19：法　勾　配
20：利用天端高
21：型　枠　代

ここで、訂正箇所は、番号で指定するようになっている。

諸元入力後、各部材の重量と重心位置を算出し、浮遊時の安定計算を行う。浮遊時の安定計算とは、ケーソン自体で浮揚する場合、傾いたり転覆しないように計算を行うもので、普通の場合、次式を満足すればよい。

$$\frac{I}{V}-\overline{CG}=\overline{GM}>0 \qquad (1.1)$$

ここに

V；排水容積（m³）

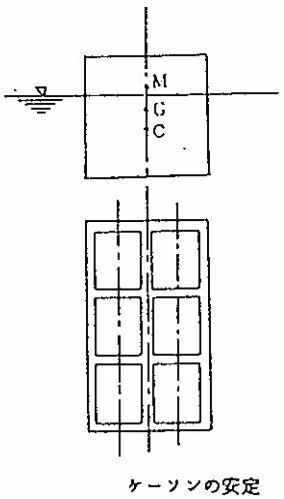
I；吃水面の長軸に対する断面２次モーメント（m⁴）

C；浮心

G；重心

M；傾心

なお，安全のため $\overline{GM}$ は吃水の５％以上にすることがのぞましい。



ケーソンの安定

この場合、カウンターバラストの検討も自動的に行うようになっている。

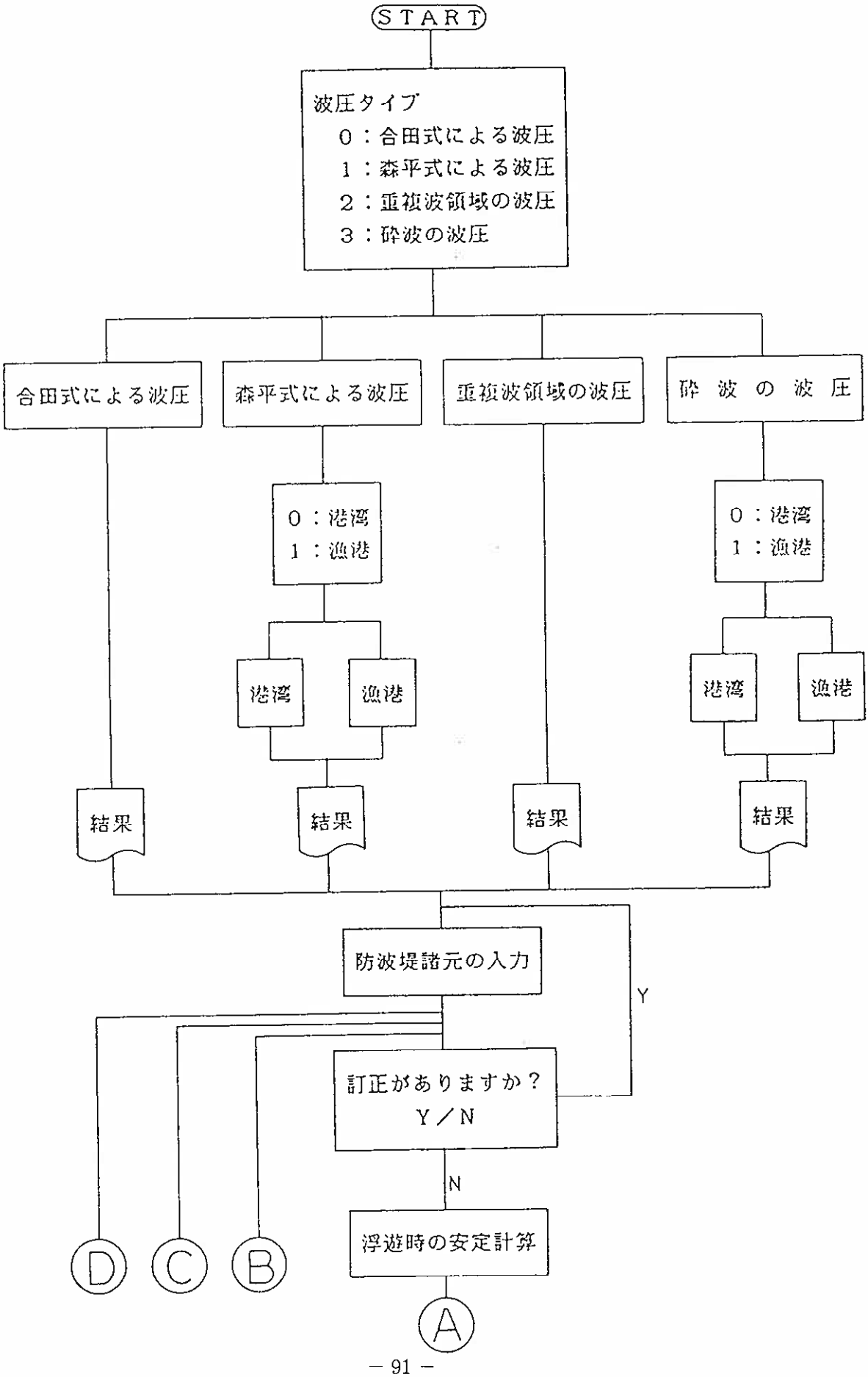
つぎに、浮遊時の安定計算で求めた各部材の重量、重心距離をもとに、直立部の安定計算を行う。直立部の安定計算においては、外力の計算結果を用いて次の安全率を満足するように計算を行っている。

滑動安全率　　Ｆｓ＝１．２
転倒安全率　　Ｆｏ＝１．２
端　支　圧　　４０t/m^2～６０t/m^2

ここで、直立部の安定計算において、上の３条件を満足しない場合は、検討断面の改善を行うようにしている。なお、この結果は、逐次画面で見ることが出来るようになっている。

満足した結果が得られると、Ａ４サイズに計算結果が打ち出されるようになっており、そのまま報告書として使用できるように考慮した。

・フローチャート


START
波圧タイプ
0：合田式による波圧
1：森平式による波圧
2：重複波領域の波圧
3：砕波の波圧
合田式による波圧
森平式による波圧
重複波領域の波圧
砕 波 の 波 圧
0：港湾
1：漁港
0：港湾
1：漁港
港湾
漁港
港湾
漁港
結果
結果
結果
結果
防波堤諸元の入力
Y
訂正がありますか？
Y／N
N
浮遊時の安定計算
D
C
B
A

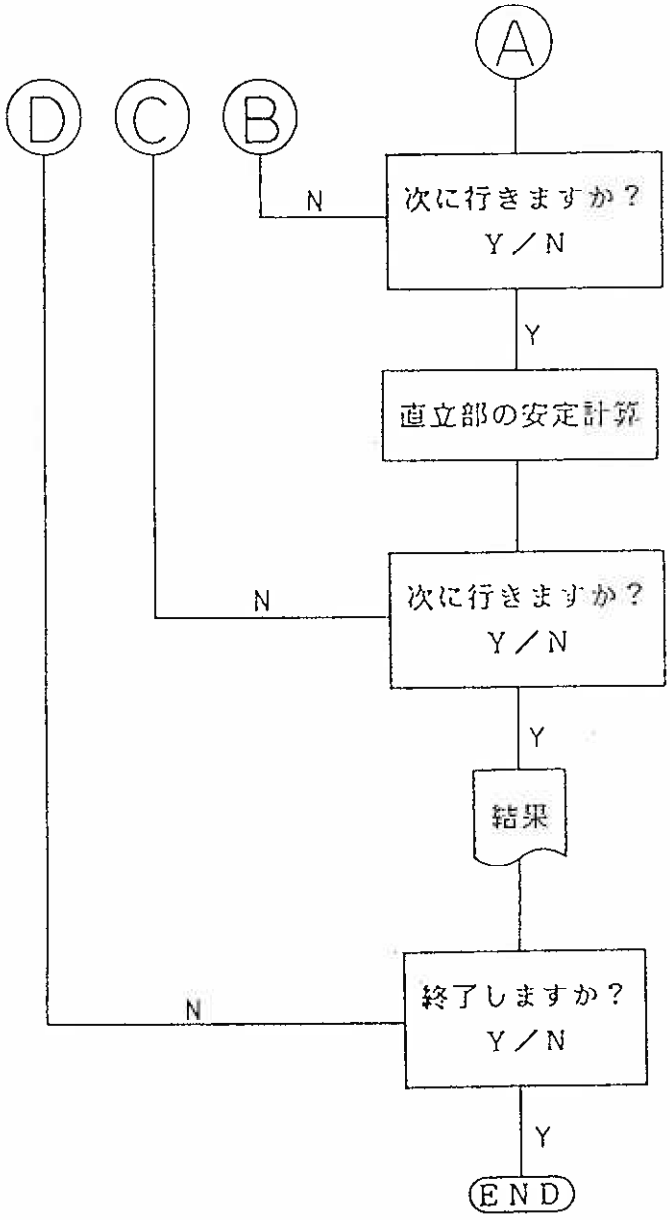


図-3 フローチャート

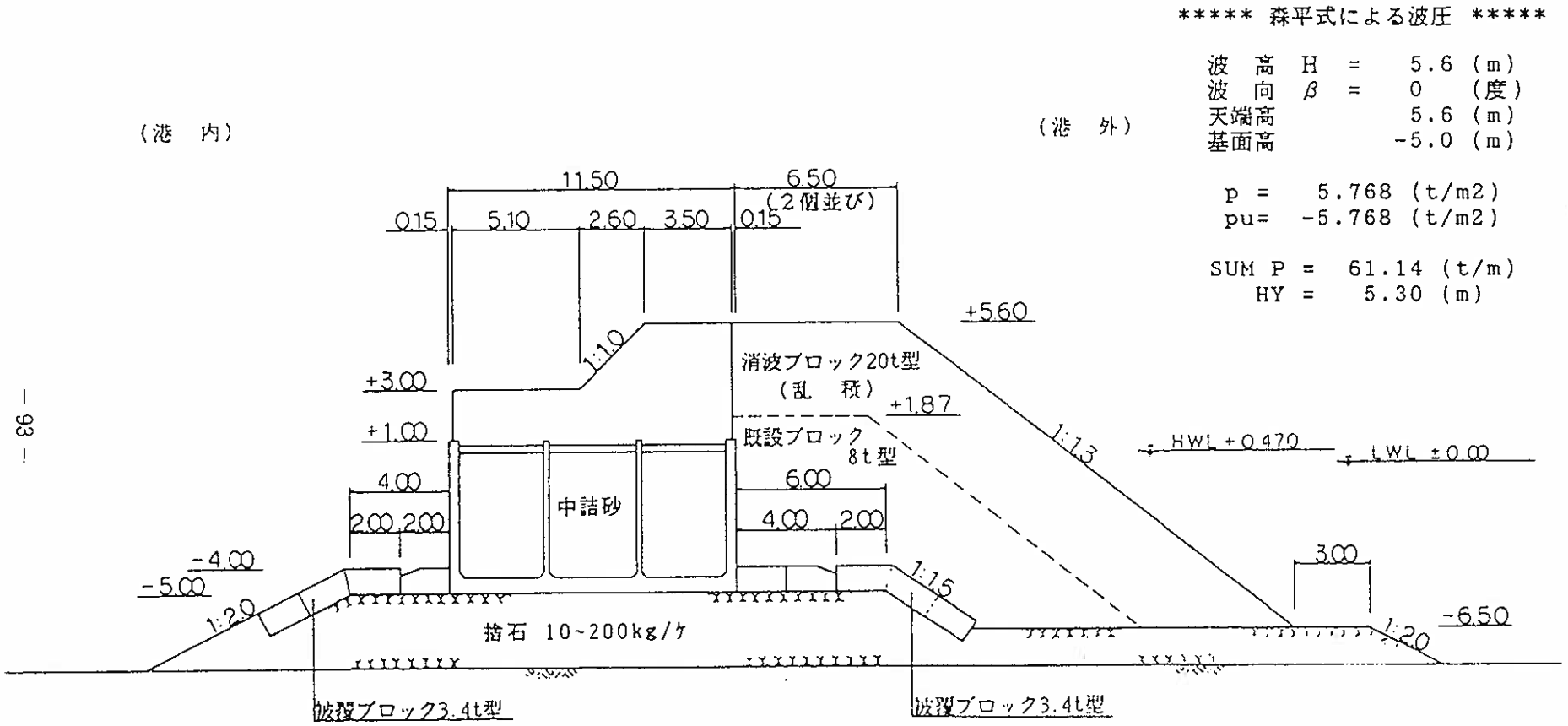

***** 森平式による波圧 *****
波 高 H = 5.6 (m)
波 向 β = 0 (度)
天端高 5.6 (m)
基面高 -5.0 (m)
p = 5.768 (t/m2)
pu= -5.768 (t/m2)
SUM P = 61.14 (t/m)
HY = 5.30 (m)
(港 内)
(港 外)
11.50
6.50
(2個並び)
0.15
5.10
2.60
3.50
0.15
+5.60
1:1.0
+3.00
+1.00
消波ブロック20t型
(乱 積)
+1.87
既設ブロック
8t型
1:1.3
HWL +0.470
LWL ±0.00
4.00
2.00 2.00
中詰砂
6.00
4.00 2.00
-4.00
-5.00
1:2.0
1:1.5
3.00
-6.50
1:2.0
捨石 10~200kg/ヶ
被覆ブロック3.4t型
被覆ブロック3.4t型

図-4 計算例

********** ケーソンブロック 浮遊時の安定計算 **********

タイトル：　消波被覆堤

(1) 部材データ

ブロックの幅	B0=	11.500 (m)	ブロックの高さ	H0=	6.000 (m)
ブロックの長さ	L=	20.000 (m)	横隔壁の枚数	N1=	3.000
縦隔壁の枚数	N2=	2.000	フーチングの幅	B1=	0.000 (m)
フーチングの高さ	H1=	0.000 (m)	フーチングの高さ	H2=	0.000 (m)
フーチングハンチ	H3=	0.000 (m)	ハンチの寸法	H4=	0.200 (m)
底版の厚さ	T1=	0.600 (m)	側壁の厚さ	T2=	0.400 (m)
隔壁の厚さ	T3=	0.200 (m)	蓋版の厚さ	TF=	0.500 (m)
天端高	T0=	5.600 (m)	ブロックの天端高	TB=	1.000 (m)
底面高	TN=	-5.000 (m)	水位高	W1=	0.470 (m)
中詰単位重量		1.900 (t/m3)			

天端幅	3.500 (m)	法勾配	1: 1.000
利用天端高	3.000 (m)		

注)フーチングの高さについては、H1=側面の高さ、H2=壁側の高さを示す。

(2) 重量及び重心位置

部材名	V (m3)	y (m)	Vy (m4)
底版	138.000	0.300	41.400
フーチング	0.000	0.000	0.000
縦側壁	86.400	3.300	285.120
横側壁	46.224	3.300	152.539
縦隔壁	41.472	3.300	136.858
横隔壁	33.372	3.300	110.128
水平ハンチ	3.496	0.667	2.331
鉛直ハンチ	5.184	3.300	17.107
ハンチ接合部	0.128	0.667	0.085
Total	354.276	-	745.568

W=rc*SIGMA V= 867.976 (t/函)　(rc=2.45t/m3)

G=SIGMA Vy/SIGMA V= 2.104 (m)

(3) 吃水

D=(W-Footing.V*1.03)/(B0*L*1.03)= 3.664 (m)

(4) 浮心位置

部材名	V' (m3)	y' (m)	Vy' (m4)
本体	842.695	1.832	1543.770
フーチング	0.000	0.000	0.000
Total	842.695	-	1543.770

C=SIGMA Vy'/SIGMA V'= 1.832 (m)

(5) 傾心位置

I=L*B0^3/12= 2534.790 (m4)

CM=I/V'= 3.008 (m)

GM=CM-CG(=G-C)= 2.735 (m) >0

D*0.05= 0.183 (m) <=GM

********** ケーソンブロック 重量算定 **********

1m 当たりの重量

部材名	V (m3)	p (t/m3)	Vp (t/函)	w (t/m)
ブロック	354.276	2.450	867.976	43.399
蓋 版・間詰	95.310	2.300	219.213	10.961
中詰	930.414	1.900	1767.790	88.389

本体工 = ブロック自重 − 浮力
= 142.749 − 64.792 = 77.957 (t/m)

上部工 = 上部工自重 − 浮力
= 80.224 − 0.000 = 80.224 (t/m)

********** ケーソンブロックの安定計算 **********

	V	H	x	y	Vx	Hy
本体工	77.96	———	5.75	———	448.25	———
上部工	80.22	———	6.87	———	551.46	———
波圧	———	61.14	———	5.30	———	324.05
揚圧力	-33.17	———	7.67	———	-254.27	———
台 計	125.02	61.14	———	———	745.44	324.05

滑動安全率 $Fs = \dfrac{\Sigma V\mu}{\Sigma H} = \dfrac{125.02 * 0.6}{61.14} = 1.227 > 1.2$

転倒安全率 $Fo = \dfrac{\Sigma Vx}{\Sigma Hy} = \dfrac{745.44}{324.05} = 2.300 > 1.2$

端支圧

$a = \dfrac{\Sigma Vx - \Sigma Hy}{\Sigma v} = \dfrac{745.44 - 324.05}{125.02} = 3.371$ (m)

$e = B/2 - a = 11.5 / 2 - 3.371 = 2.379$ (m)

作用幅 $X = 3a = 3 * 3.371 = 10.112$ (m)

地盤反力 $Q1 = 2\Sigma V / x = 2 * 125.02 / 10.11 = 24.73$ (t/m2)

$Q2 = 0.0$ (t/m2)

６．まとめ

今回のプログラム開発についての最大のメリットは、大幅な計算時間の短縮であり、また、計算機の得意とする繰り返し計算により多少の訂正によっても計算を最初からやり直さなくてもよいということである。

このプログラムにより、発注者側の要望にも間髪入れずに対応できるようになってきた。

現在、さらに防波堤として

（１）セルラーブロック

（２）方塊ブロック

（３）水中コンクリート

の３タイプについての自動安定計算システムを拡充している途中である。

なお、現在このプログラムにより計算を行った業務もかなりでてきて好評を得ている。

今後、このような自動設計プログラムの進展により業務の多様化、スピードアップ、確実性を備えた兵器として活躍すると考えている。