

港湾構造物の設計の自動化

中山 種 清

I 港湾構造物の設計

港湾施設は港湾法に定められた港湾区域（水域）と臨港地域（陸域）に設けられた水域施設（航路、泊地、船溜）外かく施設（防波堤、防砂堤、防潮堤、水門など）けい留施設（岸壁、けい船浮標、けい船くい、物揚場など）臨港交通施設（道路、鉄道、運河など）航行補助施設（航路標識、信号施設、照明施設）荷さばき施設（荷役機械、上屋、荷さばき地）旅客施設（旅客乗降用固定施設、手荷物取扱所など）保管施設（倉庫、貯木場、野積場など）などと移動式荷役機械、港湾役務提供船舶をいうが、現在設計の自動化の対象となっている港湾構造物とはこれらの施設のうち外かく施設とけい留施設を指している。

1. 防波堤

外かく施設は波浪、高潮、津波などの侵入や漂砂の移動によって港湾機能が低下することを防ぐための施設で、このうち防波堤は波浪や漂砂により港湾施設が被害を受けたり、港内が荒れて船舶の航行や碇泊または貨物の荷役が困難になったりすることを防ぐため設けられる施設で、その設置位置は目標とする港湾機能を維持できるところでなければならない。また、その構造は地盤上にあって安定を保つと共に作用する波や流れおよび地震力などに対して耐えるものでなければならない。

防波堤は構造様式上、次のように大別される。

- (1) 捨石堤（傾斜堤）
- (2) 直立堤
- (3) 混成堤

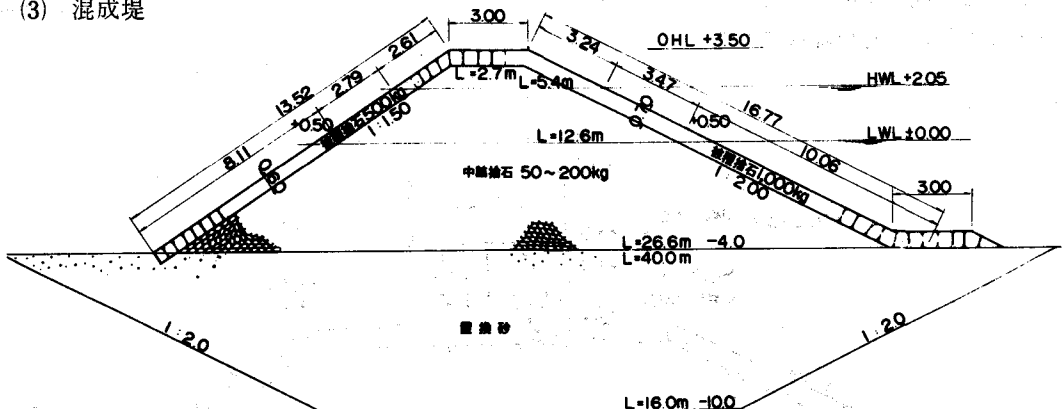


図-1 捨石堤

捨石堤は図-1のように粗石またはコンクリート塊を捨て込み、山形にもりあげて堤体とし、ある程度の天端幅を持ち、両側面が傾斜する堤体である。

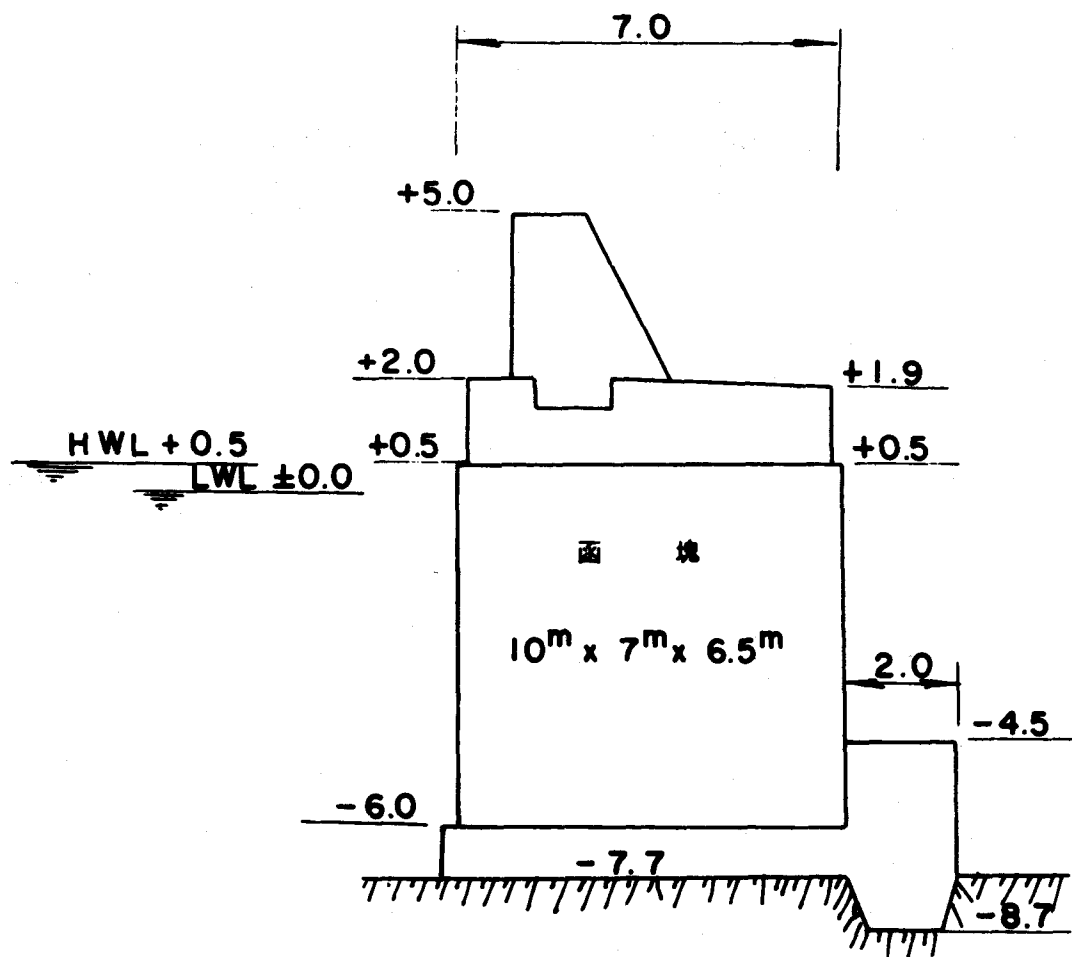


図-2 直立堤

直立堤は図-2のように場所打コンクリート、コンクリート塊、ケーソンなどを用いて両側面がほとんど鉛直に近い堤体である。

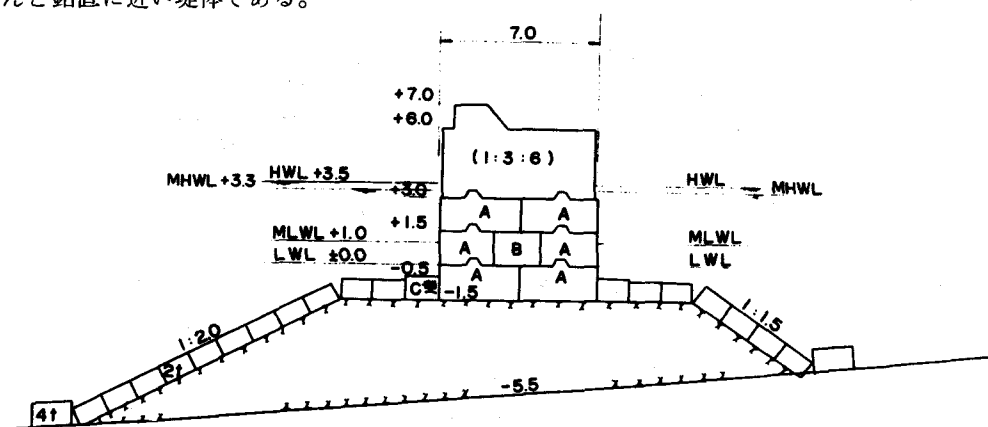


図-3 混成堤 (ブロック式防波堤)

混成堤は図-3のように下部を捨石堤とし、その上を直立堤とするもので、この構造が最も多い。

防波堤の構造様式は波浪、潮差、水深、漂砂、海底地盤の地形地質、港湾の利用形態、施工の際の用材の入手の難易、作業日数、工事規模などの諸条件を考慮して建設費や維持費を比較の上決定する。

混成堤の構造断面の設計では捨石部の安定と直立部の安定、それに全体としての安定を検討するが、直立堤は混成堤の直立部、捨石堤は混成堤の捨石部の設計に準ずるものと考えてよい。したがって、以下では混成堤の構造断面の設計法を紹介する。

(1) 捨石部の検討

捨石部の天端高および天端幅は次のことを検討して決定する。

- (I) 直立部から受ける荷重を捨石部の下の地盤に適当に分散させる。
- (II) 直立部から受ける偏心傾斜荷重に対して安定を保つ。
- (III) 直立部にできるだけ大きな波圧が作用しないようにする。
- (IV) 捨石部の法先が波浪や流れによって洗掘されても直立部や堤体全体の破壊につながらないようにする。
- (V) 波や流れにより出来るだけ捨石部が洗掘を受けないようにする。
- (VI) 基礎地盤上で円形すべりなどをおこさないように堤全体としての安定を保つものとする。

実際のところ (I), (II), (IV)については定量的に推定する方法があるが、(III), (IV), (V)については定量的推定は困難で、施工例や被災例を参考にケース・バイ・ケースで推定している状況である。

捨石部の斜面の法勾配は波あたりや施工の難易を考慮して、被覆材1個の重量とともに決定される。通常、港外側で波あたりの強い上部は1:2~1:3、波あたりの比較的弱い下部は1:1.5前後とし、港内側は1:1~1:1.5程度としている。

捨石部を被覆する被覆石などの1個の大きさは波高や被覆石などの比重などからきめられ、通常次のハドソン式か稲垣一片山が提案している式により求められる。

ハドソン式は次のようなものである。

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{Kd \cdot (Sr - 1)^3 \cdot \cot \alpha}$$

こゝに W ; 捨石またはコンクリートブロックの必要最少重量, γ_r ; 捨石またはコンクリートブロックの空中単位体積重量, Sr ; 捨石またはコンクリートブロックの海水に対する比重, α ; 斜面が水平面となす角, H ; 斜面位置における進行波としての波高, Kd ; 被覆材によって定まる定数。

被覆材の下の捨石およびコンクリートブロックの1個あたりの必要重量は被覆材重量の $\frac{1}{2}$ 以上で、層厚は2層以上とする。また、その下の捨石あるいはコンクリートブロックの重量はさらにその $\frac{1}{2}$ 以上とする。

(2) 直立部の検討

直立部の天端高は港内に侵入する波を防ぐ目的から高くした方が望ましいが、天端高を高くすると堤体が大きくなって建設費があがるので、天端高は港湾機能維持の目標と建設費を総合的に判断して決定される。しかし、通常は設計波高 $H_{\frac{1}{2}}$ とすると設計潮位上 $0.6H_{\frac{1}{2}} \sim 1.0H_{\frac{1}{2}}$ にしているものが多い。

直立部の幅は波力によって直立部が移動しない重さと、捨石部に作用する荷重が捨石部の支持力の範囲内におさまるように決定することが必要である。

直立部の移動に対する検討は次の項目と方法によりおこなう。

(I) 滑動に対する検討

堤体が水平に滑動することに対する検討で、次の式により計算し、安全率は1.2以上とする。

$$F = \frac{\mu \cdot V}{P}$$

こゝに、 F ；安全率、 V ；鉛直合力（一般には浮力および揚圧力を差し引いた堤体の重量） μ ；堤体底面の摩擦係数、 P ；外力の水平合力（一般には堤体に働く波圧合力）

なお、波圧については次のような値をとっている。

直立部の前面水深 h と設計波高 $H_{\frac{1}{2}}$ により次のように使いわけ。

$h \leq 2 \cdot H_{\frac{1}{2}}$ のとき、 $1.5 \cdot W_o \cdot H_{\frac{1}{2}} (t/m^2)$ の波圧が壁面に一様に作用するものとする。

$h > 2 \cdot H_{\frac{1}{2}}$ のとき、重複波圧と考えサンフルーの簡略公式を用いる。

(II) 転倒に対する検討

堤体が後趾を支点として転倒することに対する検討で次の式により計算し、安全率は1.2以上とする。

$$F = \frac{W_o \cdot t}{P \cdot l}$$

ここに、 F ；安全率、 W_o ；鉛直合力（一般には浮力および揚圧力を差し引いた堤体重量）、 P ；外力の水平合力（一般には堤体に働く波圧合力）、 t ；堤体底面後趾から鉛直合力作用線までの距離、 l ；堤体の後趾から外力の水平合力の作用線までの距離。

(III) 捨石部の支持力についての検討

偏心傾斜荷重が直立部底面から捨石部に作用するが、このときの局部的な円形すべりに対して安全を確認める。また、後趾における反力が一定値を越えてないかチェックする。

(3) 堤体全体としての安定の検討

防波堤が軟弱な基礎地盤の上に設けられると防波堤の基礎地盤が円形すべりをおこして破壊されることがある。これに対しては分割法により、円形すべり計算をおこなう。なお、地震力が作用したときや波圧が作用したときの円形すべりに対する安定の検討方法は確立されていない。

以上、防波堤の構造を理解していただくために、非常に簡単に安定計算の検討内容を説明した。

なお、防波堤を理解していただくためにもう一言加える。直立部の構造により防波堤はケーソン式防波堤（図-4）セルラー式防波堤（図-5）ブロック式防波堤（図-3）などと呼ばれる混成

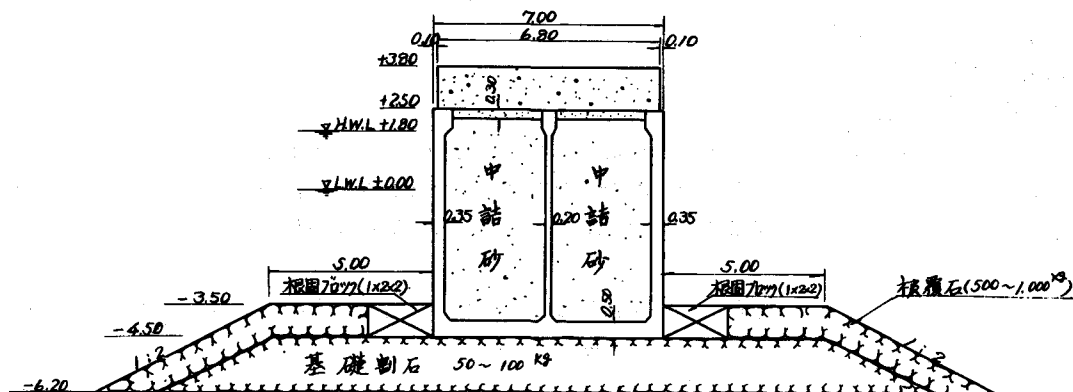


図-4 ケーソン式防波堤

防波堤の他に、件数は少ないが、特殊な防波堤として、鋼管式防波堤（図-6）、カーテン式防波堤（図-7）などがある。

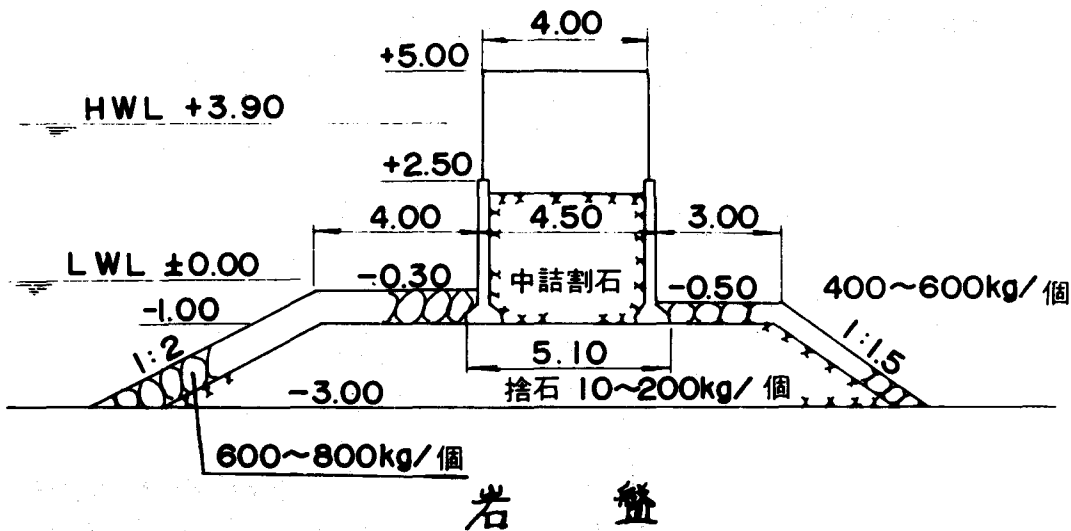


図-5 セルラー式防波堤

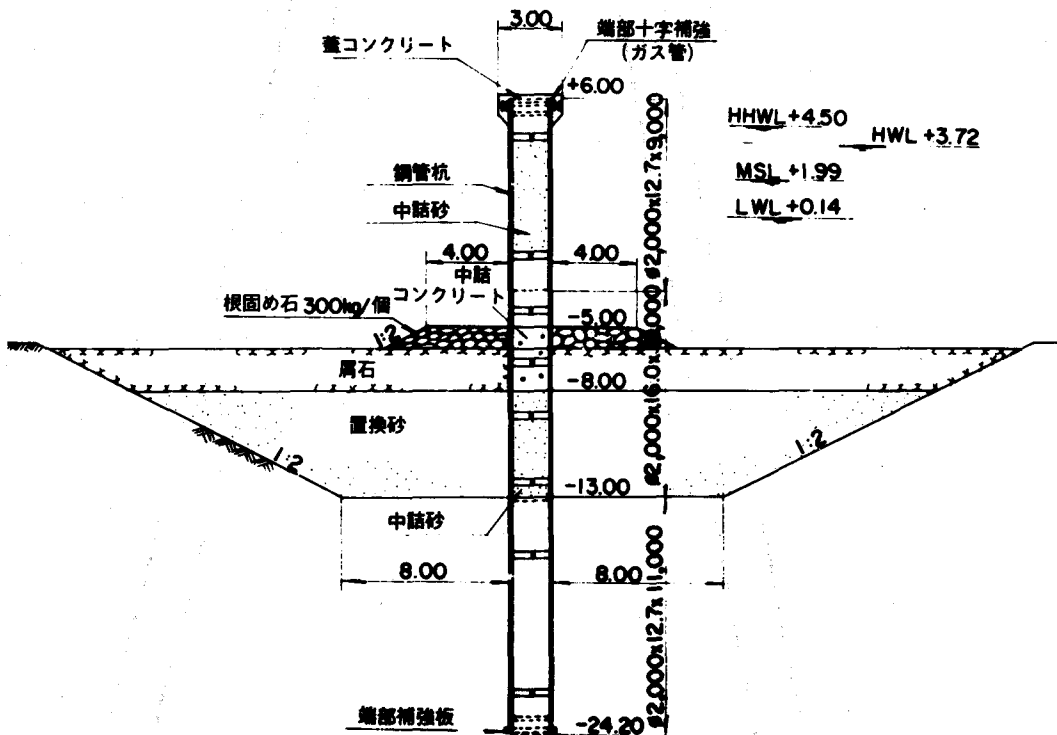


図-6 鋼管式防波堤

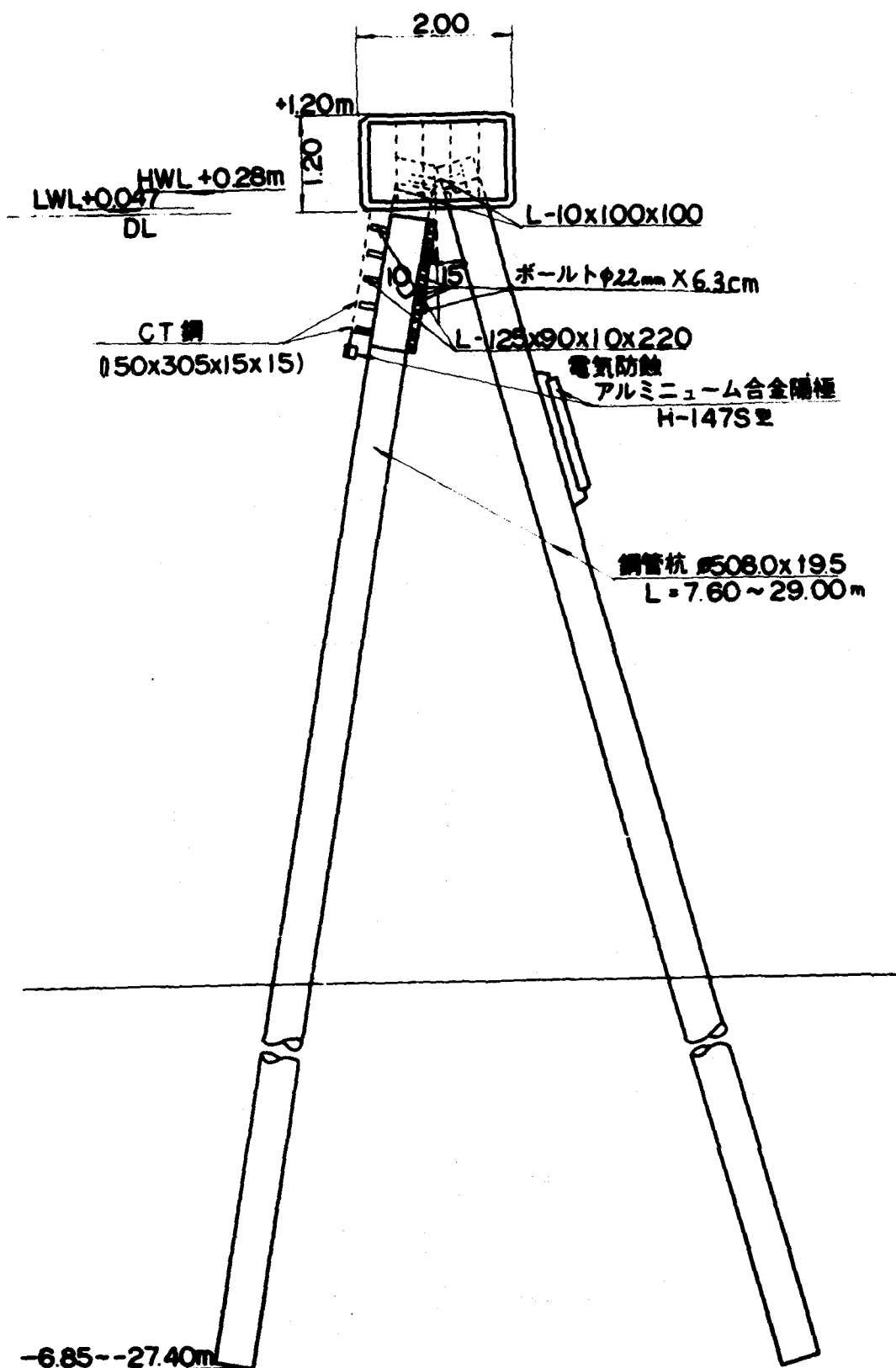


図-7 カーテン式防波堤

以上、外かく施設のうち防波堤について概観したが、外かく施設の他の施設についてはとりあえず設計の自動化の説明には必要ないと思われるので省略することにする。

次にけい留施設のうち岸壁について説明する。

2. 岸壁

岸壁は船荷の積み卸し、船客の乗り降り、船舶の碇泊などの目的で船舶をけい留し、荷役作業も同時におこなわれるところである。したがって、船舶を安全にけい留し、離接岸や荷役も安全にかつ能率的におこなえるものでなければならない。また一方、長年の間に発生する地震や波浪などの自然条件や船荷や荷役機械などの载荷重に対しても十分耐えるものでなければならない。ところで、岸壁は対象とする船舶が離接岸し、けい留するに必要な水深（バース水深）と水際線延長を持っていて、その水際線は天端から海底面まで鉛直壁となっているのが普通である。また、その背後は船荷などを積み卸したり、運搬したり、荷さばきしたりするために必要なエプロンが設けられており、通常この部分はほぼ水平で、コンクリートなどで舗装されている。

岸壁には力学的機構や形状から次の様なものがある。

- (I) 重力式岸壁（ケーソン式、L型ブロック式、セルラブロック式、コンクリートブロック式場所打コンクリート式）
- (II) 矢板式岸壁（通常の矢板式、棚式、自立矢板式、斜め控え杭矢板式、二重矢板式）
- (III) セル式岸壁（鋼矢板セル式、鋼板セル式）
- (IV) さん橋（杭式、円筒または角筒式、橋脚式）

だいたい以上のように分類されるが、ケーソン式岸壁と通常の矢板式岸壁とさん橋について標準断面図をかかげておく。

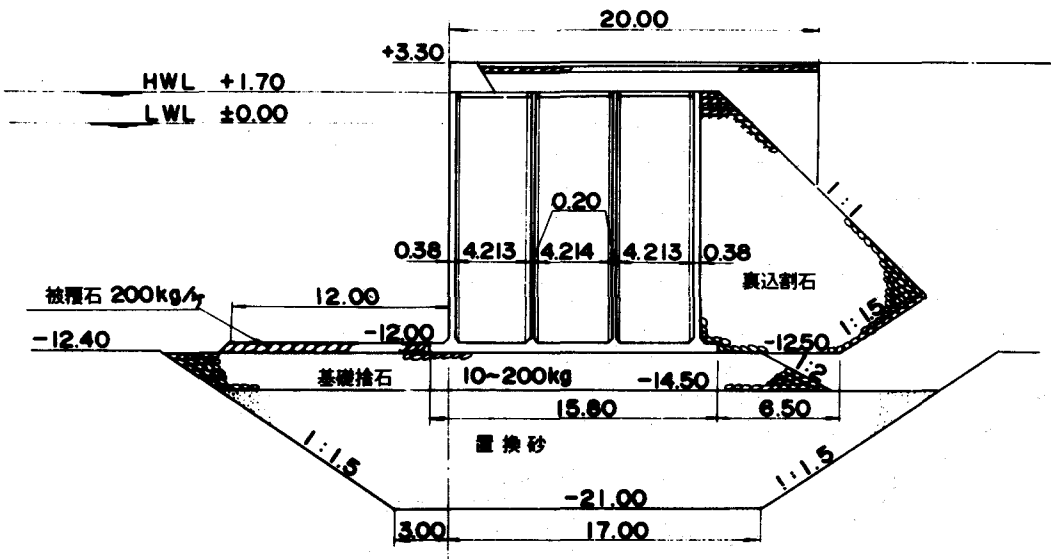


図-8 ケーソン式岸壁

岸壁の構造様式の選定は防波堤と同様に基礎地盤の地形地質、地震震度、波浪などの自然条件、バース水深、取扱い貨物などの利用条件、施工材料などの入手の難易、施工施設の有無、施工期間などの施工条件、岸壁の建設費や維持管理のための費用などを総合的に検討しておく。

岸壁の安定の検討はそれぞれの形式毎の設計方法にしたがって検討する。

重力式岸壁は混成防波堤の直立部の検討と同様におこない水平合力 P を土圧合力とすればよい。なお、土圧合力としてはクーロン土圧を考えている。

矢板式岸壁は次の手順と方法により設計計算する。

(1) タイロッドの取付け位置をきめる。この位置は施工条件によりきまることが多いが、矢板壁の断面を左右する要素である。

(2) 矢板の海底面下の根入長をきめる。タイロッド取付点を中心に裏埋め土の主働土圧と矢板前面の抵抗土圧である受働土圧が次の式を満足する様に考える。

$$M_p = F \cdot M_A$$

ここに、 M_p ; 受働土圧によるタイロッド取付点に関するモーメント、 M_A ; 主働土圧および残留水圧によるタイロッド取付点に関するモーメント、 F ; 安全率で砂質地盤に打ち込まれた矢板壁のときは常時1.5以上、異状時1.2以上、粘性土地盤においては常時および異常時とも1.2以上とする。

(3) 矢板壁に作用する曲げモーメントと断面

タイロッド取付け点と海底面を支点とし、海底面より上の土圧および残留水圧が荷重として作用する単純ばりと仮想して最大曲げモーメントを求め、これを矢板壁の最大曲げモーメントとし、矢板壁の断面をきめる。

(4) タイロッドの張力と断面

タイロッドの張力はⅢにおけるタイロッド取付け点の支点反力に、タイロッド間隔を掛けたものとする。タイロッドの断面は張力が単純に作用するものとしてきめる。

(5) 腹起しの断面

腹起しは矢板壁の剛性を増すため設けられるが、次の式による曲げモーメントが作用するものとして断面係数を求める。

$$M = \frac{T \cdot l}{10}$$

ここに、 M ; 腹起した作用する最大曲げモーメント、 T ; タイロッドの張力、 l ; タイロッドの取付け間隔。

(6) 控え工の設計

控え工には通常、(I)控え版 (II)控え矢板 (III)控え直杭 (IV)控え組杭があるが、これらの構造様式は工費、工期、施工方法などにより選定する。ここでは控え版の設計法について紹介する。

控え版の設置位置は海底面から引いた矢板壁の主働土圧の崩壊面と控え版の下端より引いた控え版の受働土圧崩壊面が地表面下で交わらないように定める。

控え版の安定は控え版前面の受働土圧によってタイロッド張力および控え版背後の主働土圧に抵抗するものとして次の式を満足するようにその高さおよび設置深さを決める。

$$F = \frac{E_p}{A_p + E_A}$$

ここに、 F ; 安全率で常時2.5以上、異状時2.0以上とする。 A_p ; 矢板壁の最大曲げモーメントを求めたときのタイロッド取付け点の反力、 E_A ; 控え版に作用する主働土圧合力、 E_p ; 控え版に作用する受働土圧合力

以上で通常の矢板式岸壁の設計法の非常におおまかな設計計算方法を紹介した。

他の形式の岸壁についてもそれぞれ設計法があるが、ここでは割愛し、岸壁の設計法の一端を紹介した。

II 設計の合理化

最初に、本稿で用いている設計という言葉の定義をしておこう。防波堤や岸壁は建設にとりかかるまでいろいろの手順が踏まれる。

(I) 目的をはたすための最適の規模と位置を定める。

(II) 構造物の安定を検討し断面を定め、施工や積算に必要な図面をつくる。

(III) 工期、工費などの見積りをおこなう。

本稿でいう設計は(II)に相当するもので、(I)は港湾計画(III)は積算などと呼ばれている。

さて、運輸省では港湾の直轄工事を進めるにあたって全国各地に港湾建設局を設け、その出先としていくつかの港湾建設のための工事事務所を設けている。現在はその建設局に工事事務所とは別に調査設計事務所という事務所を設け、ここで建設局管内のすべての設計について集中的に作業をすることになっている。調査設計事務所が出来た以前は各工事事務所で建設に必要な設計がなされていた。その当時は港湾建設に対する国家財政支出も少なく、建設は今から考えれば微々たるもので、例えば一工事事務所の年間の防波堤建設が数十メートル程度のところもめずらしくなかった。したがって、設計数も今ほどではなく、設計に関する知識の交流も少なく、各工事事務所はそれぞれ調査研究を行こなって設計に努力したものである。こういう状況で、当時は設計に用いる計算式や設計条件のとり方にいたるまで工事事務所間で同一ではなく、設計者の知識や考え方により設計法に差違があった。また、工事事務所の技術者は設計ばかりでなく、いろいろの作業を業務としたので、良い面もあるかわりに、設計法の修得にはかなりの日時を要した。ところが、我国は急速な経済成長の波に乗り、港湾の建設事業も大幅に増加するとともに建設条件がこれまでになくきびしくなり、設計の能率化と質的向上が望まれた。このため、上記調査設計事務所が各建設局に置かれ、設計作業の集中化をおこない設計の質的向上と能率化がはかられたのである。しかしながら、港湾建設に対する要請はその後ますます増加するとともに行政に対する需要も多様化し多数の熟練した設計者を確保することが困難な情勢となった。一方、その間、建設事業も増加し数多くの設計をこなすこととなったが、それとともに設計に関する調査や研究も進み成果も積み重ねられ、設計の常識的なものが出来つつあった。そこで、設計に携わっていた技術者は設計の指針となる港湾構造物設計基準を作ることにした。これは港湾の設計を体得していない人々が短時日にある程度の設計技術を体得し業務にある程度こなすようになることと、これまで建設局や設計者の間で差違のあった設計計算法や設計条件のとり方の考え方を再検討し、現在の技術レベルでとりまとめ設計法の統一をはかったものである。もちろん、設計技術そのものは科学技術の進歩とともに変るはずのものであり、上記基準もその後の調査研究により改良を加えられることが期待されているものである。港湾構造物設計基準は設計条件のとり方、設計作業の手順、安定計算の方法、検討事項などを初級技術者が理解できるように記述されており、設計作業もほとんど機械的にできるようになった。Iで説明した設計の内容もその一部である。

また、岸壁などには附属設備として、けい船柱や車止めなどがあるが、これらについては標準設計がつくられ、現場ではさかんに利用されるようになった。これらの附属設備は設計条件が少なく標準化に乗りやすい構造物である。標準設計が作られる以前はそれぞれの現場で設計され、設計計算

や製作の面で不経済なことがおこなわれていたものとする。標準設計はこの他に矢板式岸壁の上部工やけい船浮標などについても考案されている。標準設計があると設計の手間は全く省けてしまうので、省力化にとってこれほど有難いものはないが、標準設計は設計条件の数が少ないものに適しており、すべてのものを標準化することが現実には不可能であるのが残念である。

ところで、港湾技術研究所では昭和38年に電子計算機が導入され、これとともに設計計算の一部を電子計算機により計算する研究が進められ、現在いくつかの計算プログラムが開発されている。電子計算機の活用によりこれまで實際上不可能と考えられていた計算が可能となり、計算精度もそれ以前のものと比較にならないほど向上した上に、手計算のための手間がいなくなり、この労力を他の部分の検討にふりむけることが出来るようになった。例えば軟弱地盤上における円形すべり計算では手なれた設計者が2・3ヶ月、場合によっては半年近くもかけて必要な安定断面を求めたようなものでも2・3日ないし1週間もあれば要望する安定断面が得られるようになった。このことは計算時間を短縮できるようになったことを意味するだけでなく、計算精度がよくなりまた秀れた設計者に単純な計算を繰り返しやらせることによる仕事に対する意欲の減退をさげさせ、この労力と意欲を他の部分の検討にふりむけることが出来るようになったことを意味しており、大きく評価されてよい。

Ⅲ 設計の自動化

電子計算機とその利用技術の発達にともなって設計の自動化の研究はさまざまな分野で進められ、現在実用化されているものもある。港湾構造物の設計については昭和45年に自動化の研究に着手した。設計の自動化は設計計算と設計製図を人間の頭脳と手による作業にかえて電子計算機と自動製図機を用いて機械的におこなおうとするものである。その目的は年々港湾建設に対する社会的要請の高まりつつある状況下において、設計作業量の増加と設計作業のスピード化に対する要請に対処しつつ設計内容の向上に努めることにある。前述したように港湾構造物の設計においては港湾構造物設計基準や標準設計を作成し、設計作業の量の増大やスピードに対する要請に対処しつつ設計内容の向上につとめたが、作業の内容によってはこれらの能力にも限界が感じられ、これらを打開するものとして設計の自動化が要請された。

もとより設計の自動化は電子計算機とその利用技術の発達をまたなければならなかったが、港湾構造物設計基準が出来、設計条件のとり方や設計計算方法について港湾技術者の同意のもとにある程度の標準化がなされ、設計作業が機械的におこなえるようになったことも大きな力となっている。また、年々増加する設計作業に対して設計技術者が不足し、直営では消化しきれなくなって設計を外部に依頼しても外部でも技術者不足のおりから消化が出来なくなってきており、これらが自動化を進めるプッシュ要因ともなっている。

設計の自動化をどの程度のもので進めるかは電子計算機やその利用技術の発達の程度、人間の作業に対する評価、設計作業の内容により異なるが、自動化はこれを効率的におこなうべきであり、これから考えると設計のすべてを電子計算機や自動製図機に委ねることは現状では問題もある。しかし、人力による作業が入ってインプットデータの数が増えるとそれだけミスが増えるおそれもありこの点も十分に考慮しなければならない。したがって自動化にあたっては電子計算機や自動製図機の長所を生かし、できるだけ短所を出さないよう自動化を進め、できるだけ自動化の方向に持っていくべきものと考えられる。

設計を自動化すると次のような利点がある。

- (I) 数多い設計量を飛躍的に消化することができる。
- (II) 設計計算や製図から開放され、この労力を他の部分の検討にふりむけることができる。
- (III) 急ぐ設計に対する要望にこたえられる。
- (IV) 繰り返し計算が短時間で機械的にできるので、比較設計が容易である。
- (V) インプットデーターを間違わなければ途中の作業はほとんど間違わないので、設計内容の個個についてチェックする必要がある。
- (VI) 機械で書くので文字や記号などが統一され、さらに図面が鮮明に書かれるので図面が見やすくなる。

1 設計計算の自動化

電子計算機による設計計算の流れは図-11に示すとおりである。

まず第1のステップは構造物によってあらかじめ定められた設計条件をインプットデーターとして与える。設計条件の代表的なものは、防波堤については、波高、設置水深、天端高、基礎地盤地質などであり、岸壁については天端高、バース水深、地震震度、基礎地盤の地形地質、船舶の衝撃力、岸壁背後の裏込め土の性質などである。これらの設計条件には例えば船舶の衝撃力のように設計条件として与える前の段階で簡単な計算が必

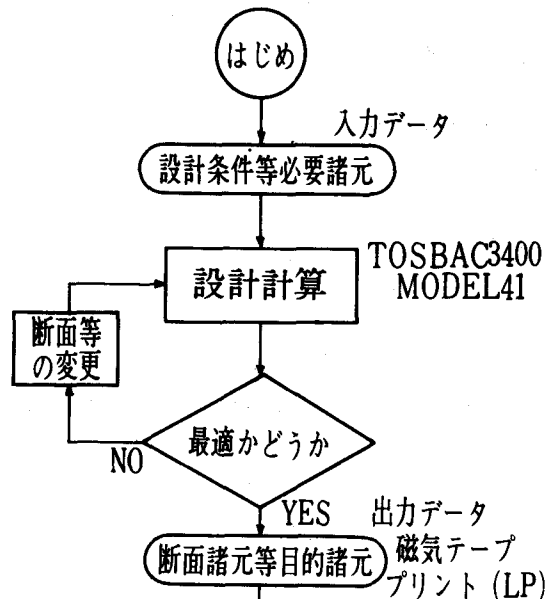


図-11 自動計算の流れ

要とされるものや基礎地盤地質のように現場での調査結果をとりまとめて設計条件としてうるもの、バース水深、岸壁の天端高のように港湾構造物設計基準にしたがって値を選ばばよいものなど種々様々である。設計条件を定めるまでに複雑な計算を必要とするもののうちには例えば波浪推算のように、電子計算機や自動製図機を用いて別途機械的に算出する方法が講じられているものがあるが、まだなお、技術者の判断に委ねられているものが多い。設計条件をインプットデーターとして与える時の間違いは設計条件を求めるにあたって面倒な計算を必要とする場合と与える設計条件が多い時である。前者では計算をできるだけ簡単なものとするか計算を自動化することであり、後者では設計条件を整理して影響の小さな要素は標準化し設計条件の数を少なくすることによって間違いを少なくする方法も考えられる。

また、設計計算では構造断面について繰り返し計算をおこない工費の最も安い断面を選ぶことになっているが、この場合設計条件と同時に与える諸元が繰り返し計算の初期値となるので、最適断面を求めるまでの繰り返し計算を少なくするためには、妥当な諸元を与えなければならない。計算を

を人力で行う場合には初期値による計算の結果をみて次に与える諸元は適当に選び繰り返し計算を極力少なくして最適のものが選ばれるケースが多いが、計算機においてはこの人間がやるのと同じ操作をやることはプログラム上面倒なことになるので実際上やっていないのが現状である。

第2のステップはインプットされた設計条件のもとに設計計算をおこなうことである。設計計算の手順や計算式はすでに港湾構造物設計基準に明記されているものもある。矢板式岸壁の自動計算の流れの例をあげると図-12のとおりである。

設計計算のプログラムを作成するにあたっては設計の知識や経験などを整理しデータ化し、そして電子計算機で計算のできる形に組み直し、効率的なプログラムのあり方を考えなければならない。またこの他、現在では技術的に解明されていないため計算により得られないが構造上経験的に必要と考えられている部分や施工上必要な部分などについては設計計算プログラムを作成するときにこれらの経験などをもとに構造物のある部分については標準化が必要である。例えば防波堤などに用いるケーソンを設計する場合、波圧を直接考慮せず施工途中の静水圧を考慮して設計するということになっている

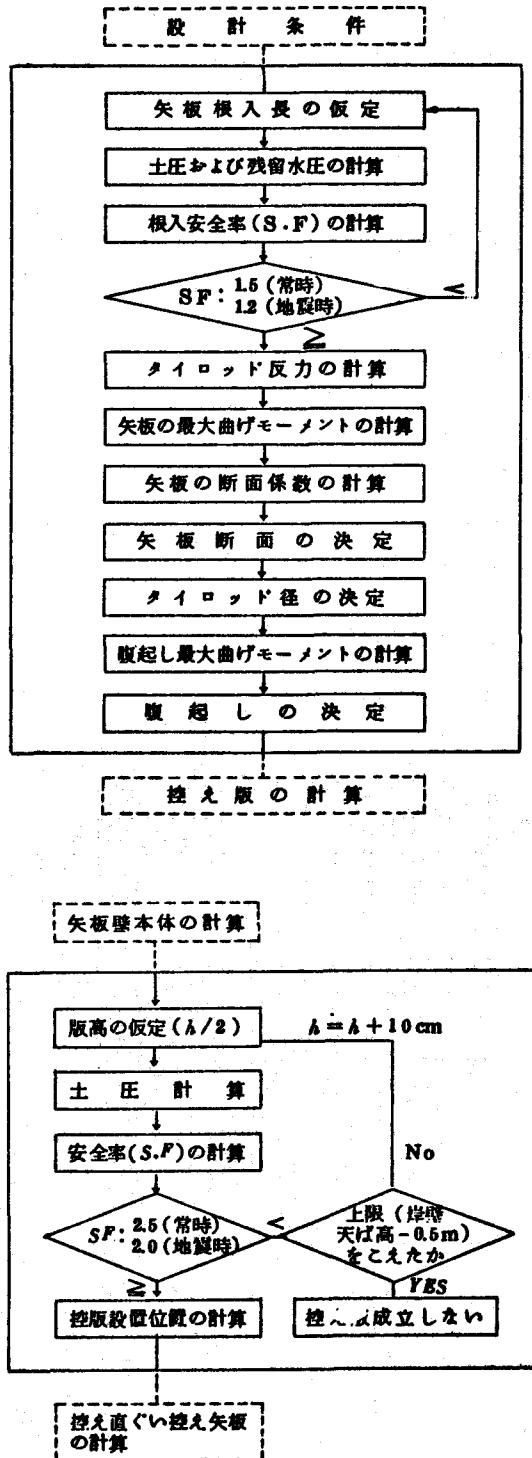


図-12 矢板式岸壁の自動計算の流れ

人力による設計では計算式では表われていなくて、設計者が設計過程において適当に判断し設計が進められている部分がある。したがって電子計算機で設計計算をやる場合にはその点を充分配慮して設計法を整理し、電子計算機に適切な設計法をつくらなければならない。

Structural drawing of a floor slab showing reinforcement details. The drawing includes a grid of reinforcement bars with labels such as 8 @ 40-320, 32 @ 10-320, and 32 @ 10-300. Dimensions are given in feet and inches, and bar sizes are specified as #19, #16, and #13.

B - 5 - 14

電子計算機で能率的に計算しようとするとはある程度の割り切った考えが必要で、これは建設費を最小とすることをある程度あきらめた考えで、ある制限のなかの最適化と考えておいた方がよいようである。

第4のステップは断面諸元等の目的とする諸元のアウトプットである。設計計算で得られる諸元は、応力度や安全率などの設計計算で求められたもので、設計される構造物の諸元のすべてが得られるわけではない。例えばケーソンの設計の場合では主鉄筋の量や配置はアウトプットされるが、ハンチ筋などはこの段階では出てこない。この断面諸元等のアウトプットは次に予想される自動製図とのつながり方によって違ってくる。構造部材の諸元や応力度あるいは安全率などが必要である場合と自動製図のための計算の入力データーとして必要な場合とによって異なってくる。現段階では設計計算の結果は磁気テープにアウトプットすると共にプリントさせ、自動製図に必要なその他の諸元は新たに製図の段階でデーターとして入れる方法を採用している。

2. 設計製図の自動化

電子計算機と自動製図機により設計製図は自動的におこなわれるが、その流れは図-14に示すとおりである。

第1のステップは製図に必要なデーターをインプットする。構造物の各部の諸元や図面の大きさ、各図の配置間隔、寸法数字の大きさなどである。このなかには設計計算の結果出てくる諸元と計算では出てこないで、構造上必要な例えばハンチ筋などと製図のために必要な寸法数字の大きさなどがある。

第2のステップは自動製図に必要なデーターをインプットされた結果、製図に必要な縮尺、その縮尺にもとづく図面上での各部の長さ、図を書き出す始点、などが計算され、それに自動製図機を制御する

ための命令語および座標置が計算される。そして、これが自動製図機の入力テープにアウトプットされる。

ここでは自動製図のために必要な文字、記号、線などを書くためのプログラム（サブルーチン）や自動製図機の制御を効率的に行なわせる合理的な製図プログラムの作成、自動製図のための製図規程などが必要である。製図規程は土木学会にも土木製図基準というものがあるが、港湾構造物に

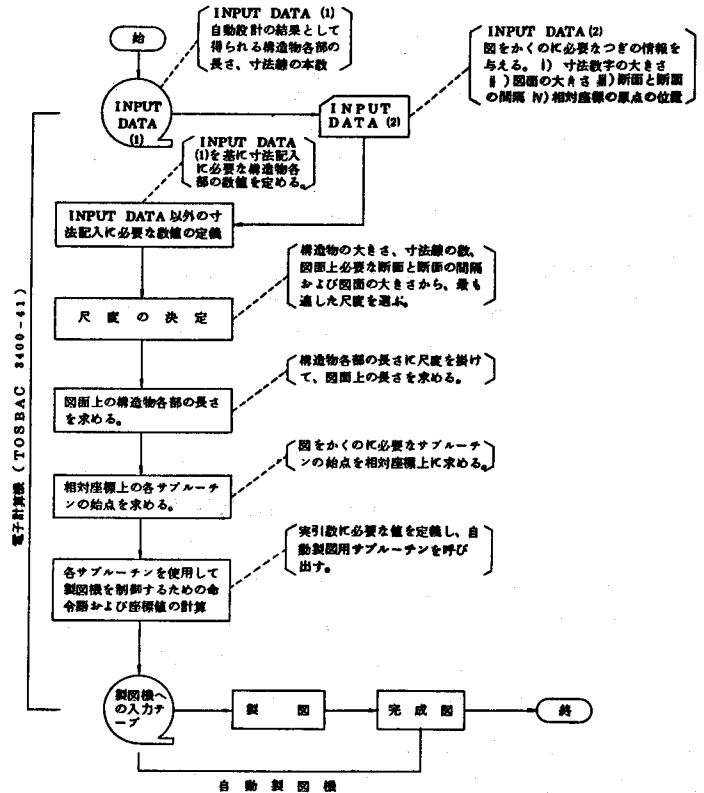


図-14 自動製図の流れ

ついて特別に必要とするものについては現在では港湾構造物製図規程を利用することとしている。自動製図は人力による製図と異なり、それなりの特徴があるので、長所を生かし、欠点をできるだけ出さないように考えなければならない。このためには製図の目的や使用方法などをもう一度洗い直し、製図に必要とされるものはどういうもので、どう表現すれば目的がはたせるかを考え直す必要があり、製図規程を自動製図用につくり直すことも考えなければならない。

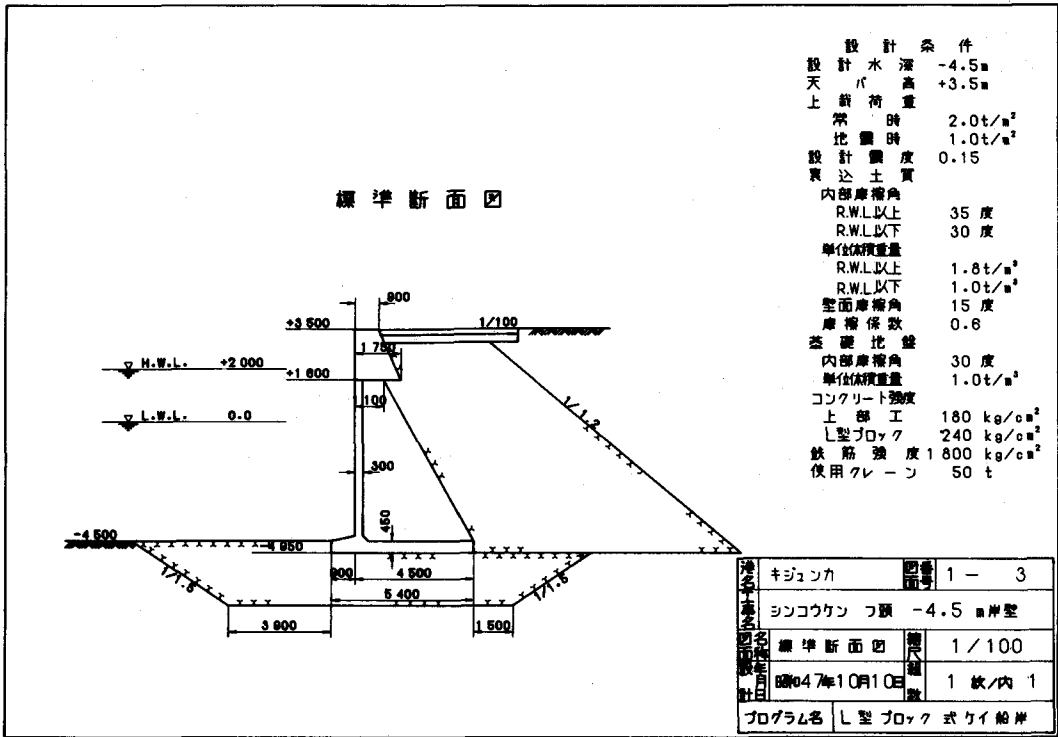


図-15 自動製図の一例

第3のステップは電子計算機により製図のための計算がおわり、このアウトプットを自動製図機にかけると製図機は必要な図面を描くことになる。港湾技術研究所で使用している自動製図機は描かれた図面が設計図面として積算や施工に直接使用されることを考えて、手がき図面と同じような図面の書ける自動製図機を使用することとした。使用している自動製図機は小型電子計算機（HIT AC-10）を数値制御装置に持つストアードプログラム方式である。このストアードプログラム方式は英字や数字などの座標値の計算を小型電子計算機で行なうため、自動製図に用いる大型電子計算機を効率よく使用できる利点を持っている。この自動製図機の概要を表と写真によって示すと次のとおりである。（※ 写真次ページ）

型 東洋電機製造KK
TNC 5000M
フラットベッドタイプ
有効作図範囲 X軸 1200mm
Y軸 900mm

最大作図速度

10000mm/分

精度 0.02mm/パルス

作図ペン

4本ターンレット

ペンヘッド

