

港 湾 技 研 資 料

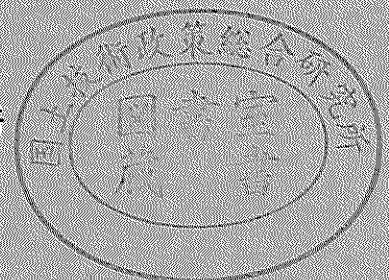
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 737 June. 1992

根入れ鋼板セル式構造物の基本設計の自動化
と二、三の考察

森 田 博 史
中 道 正 人
口 田 登

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. ま え が き	4
2. 自動設計システムの概要	4
2.1 システムの機能	4
2.2 システムの特徴	4
2.3 システムの処理手順	5
2.4 設計対象及び前提条件	10
2.5 入力設計条件	10
2.6 出力項目	11
3. システムの評価	11
3.1 水深、震度、土層条件による断面決定要因の分析	11
3.2 設計水深及び設計震度別のセル直径の変化特性	16
3.3 土層条件だけが変化した場合のセル径の変化特性	18
4. ま と め	21
5. あ と が き	22
参 考 文 献	22
参 考 資 料	23

Automatic Design System for Embedded Steel Plate Cellular Cofferdam Structure and a few Studies

Hirohumi MORITA*
Masato NAKAMICHI**
Noboru KUCHIDA***

Synopsis

This report presents the system and the design method of the automatic design system for embedded steel plate cellular cofferdam.

Using this system, we can design embedded steel plate cellular cofferdam type quaywalls on the sand and clayey soil.

This system has two functions as follows:

- (1) Examine a stability of structure for a given wall specifications.
- (2) When given embedment length of the cellular, this system calculates cellular specifications that satisfy safety factor.

Key Words : Embedded Steel Plate Cellular Cofferdam, Revetment, Basic Design

* Member of Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division

** Member of Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division

*** Chief of Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division

根入れ鋼板セル式構造物の基本設計の自動化 と二、三の考察

森田 博史*
中道 正人**
口田 登***

要 旨

港湾構造物の設計の自動化の一環として、根入れ鋼板セル式構造物の基本設計プログラムの開発を行ったので、ここに報告する。

根入れ鋼板セルとは、従来からある置き鋼板セルを改良したものであり、予め大径の円筒体に加工した鋼板セルを、パイプロハンマー等を用いて現地盤に一気に打ち込み根入れをし、中詰めを行った後、同様の構造物を隣接して設け、それぞれの間を鋼材などで連結することにより埋立護岸、岸壁等を造る工法である。

本自動設計システムは、①日本語対話式データ作成プログラム、②基本設計プログラム、③ファイル変換プログラム、④図化プログラムの4つの独立したプログラムにより構成した。これらのプログラムが入力データや計算結果を受け渡すことにより全システムとして機能する。

本自動設計システムの特長としては、次の通りである。

イ.入力データを日本語会話方式により作成できる。また、支持力の検討、全体円形すべりの検討結果をグラフィック・ディスプレイ上に描画できる。

ロ.セル断面の諸元（根入れ長、直径、ピッチなど）を与えて安定計算を行い、安全率を算出できる。

ハ.ある特定の根入れ長と初期のセルの配置形状を与えた時に、セルの直径を変化させながら、所定の安全率を満足するセル径を根入れ長ごとに算出することができる。

ニ.求めたセル断面に対して単位長さあたりの概算鋼重量が算出できる。

本システムを用いて、根入れ鋼板セルの設計条件について検討した結果、次のことがわかった。

イ.根入れ鋼板セルの断面決定要因は、根入れ長が長くなるにつれて、滑動→変位→せん断変形へと変化する。この決定要因変化の過程は、設計水深、設計震度による影響は見られないが、現地盤の内部摩擦角を増やすと根入れ長の比較的短い場合において、決定要因に若干の変化がみられる。

ロ.設計震度の変化がセル径に与える影響は、各根入れ長で一定ではなく、根入れ長が短い程大きく、ある長さになると全く影響を与えなくなり、設計震度の違いによるセル径の違いが見られなくなる。

ハ.セル径や概算鋼重量を減らす土層条件としては、現地盤の内部摩擦角を増すほかに裏込めの内部摩擦角を増すのもそれなりの効果のある事が確認できた。

キーワード：根入れ鋼板セル，護岸，基本設計

*計画設計基準部 設計技術研究室

**前計画設計基準部 設計技術研究室（現 横浜調査設計事務所 技術開発課長）

***前計画設計基準部 設計技術研究室長（現 関西国際空港株式会社 工務一部企画課長）

1. まえがき

本資料は、港湾構造物の設計の自動化の一環として開発した「根入れ鋼板セルの基本設計システム」について報告したものである。

当研究室においては、昭和45年度より設計の合理化、省力化を目的として港湾構造物の設計の自動化が進められてきており、これまでに数多くの自動設計プログラムが開発され、港湾建設局等の設計実務において活用されている。

今回は、昭和63年10月に改訂された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾(運輸省港湾局)に沿った根入れ鋼板セル式構造物の新設計法に従って、同構造物の基本設計を取り上げた。

根入れ鋼板セル式構造物とは、図-1に示すような地盤中に打ち込まれた鋼板セルの根入れ効果等によって構造物の安定を図っている構造物である。予め製作しておいた円筒体を建設現場に運搬し、海底地盤にバイプロハンマー等を使って一気に打ち込んで根入れし中詰めを行い、さらに、この構造物を隣接して設け、それぞれの間を鋼材等で連結することによって、埋立護岸、岸壁などの急速施工法として利用できる。

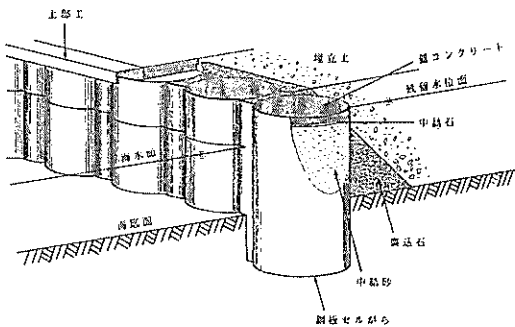


図-1 根入れ鋼板セル概略図

本プログラムの設計計算は、原則として「港湾の施設の技術上の基準・同解説」によるが、同基準に記述のない事項については、「根入れ式鋼板セル設計指針」(昭和60年、(社)沿岸開発技術研究センター)²⁾に基づいている。

2. システムの概要

2.1 システムの機能

本自動設計システムは、次の四つのプログラムにより成立しており、それぞれのプログラムが入力データあるいは、計算結果を受け渡すことによって、独立して機能する。

① 日本語対話式データ作成プログラム

根入れ鋼板セル基本設計プログラムの入力データを円滑かつ効率的に作成できるようにパーソナルコンピュータN5200シリーズを用いて日本語対話方式でデータを作成する機能を持っている。作成あるいは修正したデータは、磁気ディスク上に一度保存して、大型計算機のファイル転送を用いて、大型計算機上にデータを移して利用する。

② 基本設計プログラム

日本語対話式データ作成プログラムあるいは直接スクリーンエディタ等を用いて、作成された入力データを使用して根入れ鋼板セルの基本設計を行う機能を持っている。出力結果は、従来とは異なり日本語による出力となっている。又、選択式により、支持力の検討、全体円形すべりの結果図化用ファイルの出力を行うことができる。

③ ファイル変換プログラム

基本設計プログラムにおいて求められた支持力の検討、全体円形すべりの結果ファイルをグラフィックディスプレイで表示できる形態のファイルに変換できる機能を持っている。

④ 図化プログラム

グラフィックディスプレイ上に基本設計プログラムにおいて求められた支持力の検討、全体円形すべりの結果をメニュー方式により図化する。

以上、四つのプログラムを用いることによって根入れ鋼板セルの基本設計システムを構成する。

2.2 システムの特徴

本自動設計システムを構成するプログラムの特徴を述べれば、次の通りである。

(日本語対話式データ作成プログラム)

(1) 従来の自動設計プログラムは、スクリーンエディタ等によってカードイメージでのデータの作成を行っていたが、このプログラムを用いることにより、図-

2に示すような日本語対話式でデータを作成することができるようになる。このため、従来の方式のように予め入力データをコーディングシート等に作成する必要がなくなる。

(2) 入力データを管面上において作成中に、万一誤ったデータを入力した場合においても表-1に示すようなエラーメッセージを表示してデータの再入力を促し、誤った入力データが作成されるのを防ぐことができる。

(3) 作成したデータを磁気デスク上に保存することが出来るので、データの一部を変更して複数の検討ケースのデータを作成することや、過去において作成したデータを参照してデータを作成することもできる。

(基本設計プログラム)

(4) 断面諸元(セルの根入れ長, 直径, ピッチ等)を入力することにより, 安定計算を行うことができる。

……(断面入力設計)

(5) ある特定の根入れ長, セルの配置ピッチを入力した時に, 所定の安全率, 許容変位を満足するセル径を求めることができる。また, 当該根入れ長を段階的に変化させて, 各根入れ長ごとの所定の安全率, 許容変位を満足するセル径を求めることもできる。

……(断面自動設計)

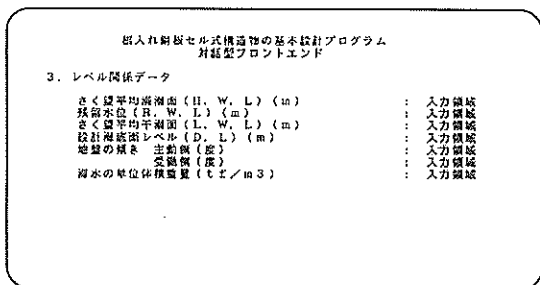


図-2 日本語対話方式データ作成プログラム表示例

(6) 偏心傾斜荷重に対する基礎の支持力の検討及び, 全体円形すべりの検討が同時に行える。また検討結果は, ファイル変換プログラム及び図化プログラムを用いてグラフィックディスプレイ上に図化できる。

(7) 検討条件としては, 完成時(荷重条件としては常時および地震時の組合せ)の他に施工時(荷重条件としては波圧時および地震時の組合せ)を行うことができる。

(8) 出力結果は従来の設計プログラムと違い日本語出力で見やすくなっている。

(ファイル変換プログラム)

(9) 基本設計プログラムにおいて, 断面自動設計で根入れ長を変化させながら検討を行った場合においても, 検討したすべての根入れ長の支持力の検討結果が図化できる。但し, 全体円形すべりの検討は, 単位長あたりの鋼重量が最小のものしか検討しないシステム設計になっているので, 結果は一つの断面についてしか図化できない。

(図化プログラム)

(10) 対話方式で支持力の検討結果が図化できる。

2.3 システムの処理手順

先にも述べたように本システムは, 4つのプログラムより成立しており, ここでは, 4つのプログラム間の流れを表す全体のフローと, 基本設計のフローについて, 分けて述べる。

(1) 全体の流れ

図-3に「日本語対話式データ作成プログラム」を用いた場合の作業全体のフローを示す。

最初に, オフライン状態のパーソナルコンピュータ(N5200シリーズ)を用いて日本語データ作成プログラムを起動し, 根入れ鋼板セルの基本設計プログラムの入力データを作成する。ここでの作業は, 図-3のN5200シリーズのデータ作成処理

表-1 日本語データ作成プログラム中に出力されるエラーメッセージの例

エラーのチェック法	表示メッセージ
入力領域に入力された内容は、実数データとして正しいか？	エラー130 データ書式(実数型)が不適。再入力。 項目番号: n ←1~7
$H, W, L \geq R, W, L \geq L, W, L \geq D, L$ の関係を満足しているか？	エラー131 HWL, RWL, LWL, DLの関係が不適当再入力
単位体積重量の値は適正値か？	エラー132 海水の単位体積重量が不適当。再入力 入力値: n ←入力された値

N5200シリーズ

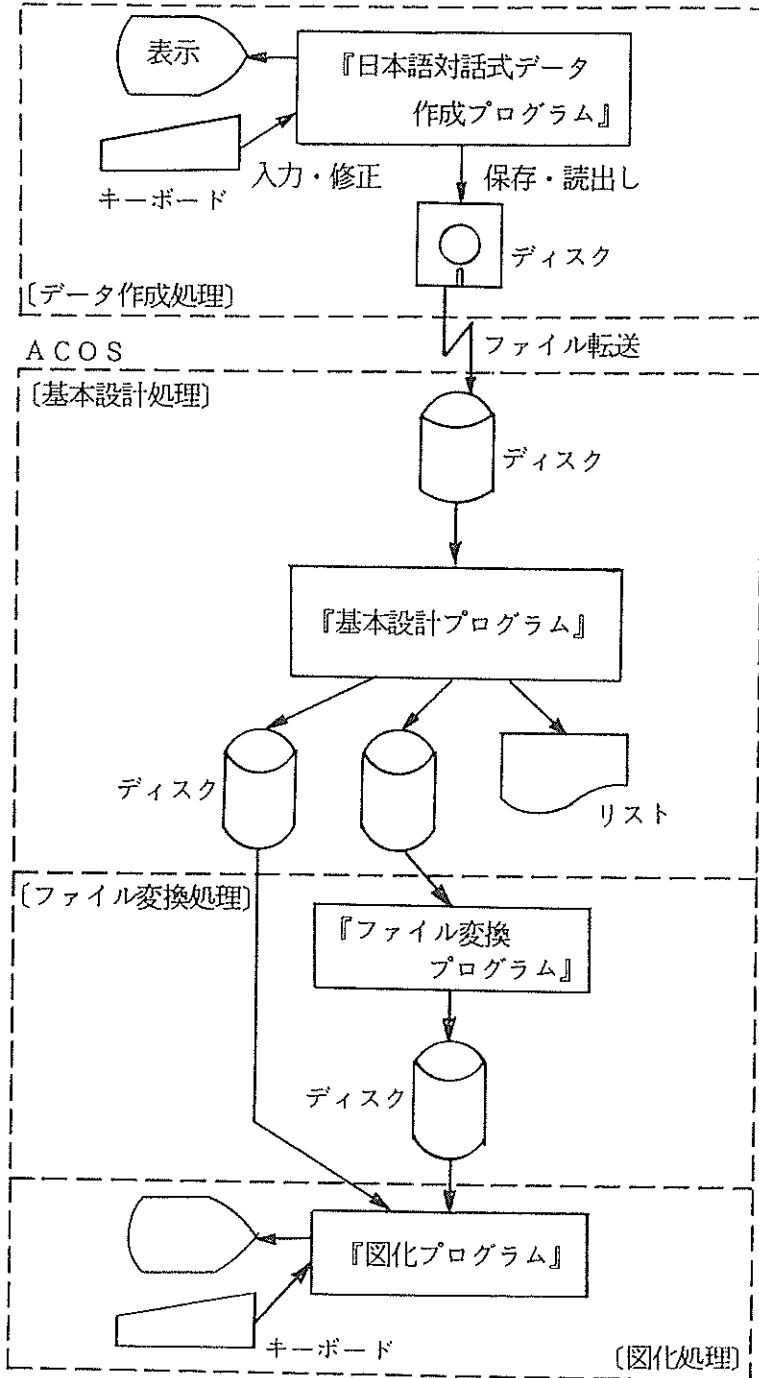


図-3 「日本語対話式データ作成プログラム」を用いた
場合の作業全体の概略処理フロー

の作業にあたり、利用者は図-2に示したような管面に表示される項目を見ながら、入力データをキーボードより入力する。データ作成プログラムは入力されたそのデータの妥当性（タイプミスあるいは条件外）を判断し、入力ミスであれば管面上に警告を出して入力データの修正を促す。このようにして入力データを作成したら一担、N5200の磁気ディスクなどに保存して、データの作成作業を終える。

また、過去に作成した既存のデータを利用してデータを修正あるいは作成する場合については、磁気ディスク上より一度データを読み込んで作業を行うことになる。

次に、N5200シリーズをオンラインの状態にして基本設計処理、ファイル変換処理を行う。ここでこの作業は図-3において基本設計処理の作業にあたる。まず、ファイル転送サブシステム（FTRN等）を用いて、先程作成しておいた入力データを大型計算機の磁気ディスク上にコピーする。そして、コピーしたデータを実行させる。計算結果はプリンタ上に出力される。また、支持力の検討結果が大型計算機の磁気ディスク上に作成される。

支持力の検討結果、全体円形すべりの検討結果をグラフィックディスプレイ上に図化させたい場合は、先程の基本設計で得られた図化用のデータをファイル変換プログラムにかけなければならない。ファイル変換プログラムによって変換されたデータは図化プログラムによって図化される。

以上が根入れ鋼板セルの全体システムの流れである。

(2) 基本設計の手順

本システムは、断面諸元を入力することによって安全率を算出する断面入力設計、および、ある根入れ長を与えたときに所定の安全率のセル諸元を算出する断面自動設計が行える。

a) 断面入力設計

図-4は、予め断面の諸元が与えられる場合（断面入力設計）の処理フローを示したものである。処理手順としては、最初に、検討方法が、完成時の検討であるか、施工時の検討であるかを入力データから読みとる。

（作用外力の計算）

完成時の検討の場合は常時、並びに地震時の荷重強度を計算する。完成時に作用する外力としては次のものを考慮している。

① 完成時に作用する外力

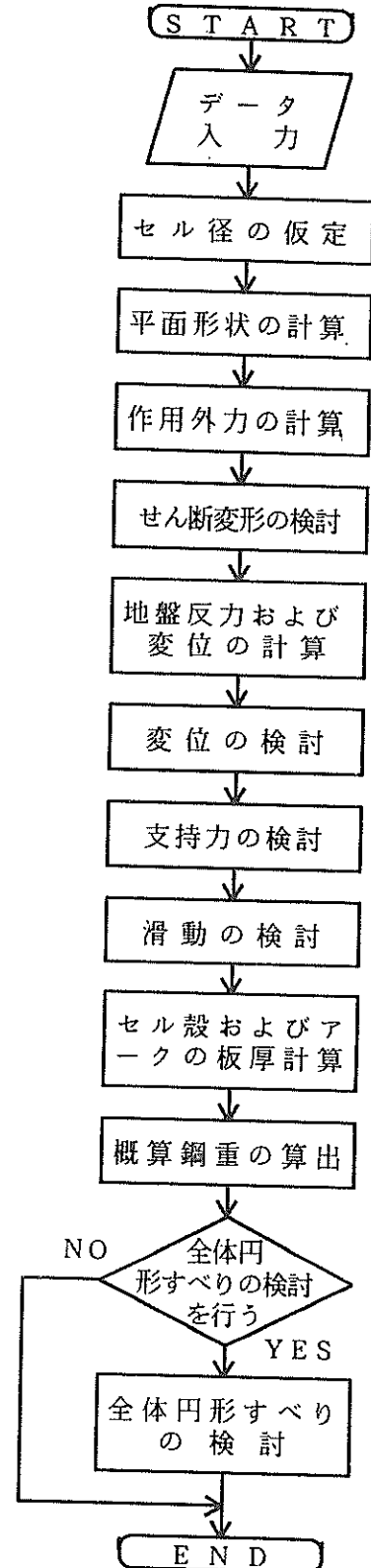


図-4 断面入力設計時の概略処理フロー

- イ. 壁体背後に作用する土圧
- ロ. 残留水圧（裏埋土内の水位と壁体前面の水位との間に水位差が生じる場合。）
- ハ. 壁体の重量
- ニ. 壁体に作用する地震力
- ホ. 載荷重
- ヘ. 載荷重に作用する地震力
- ト. 揚圧力
- チ. 船舶による牽引力

また、施工時については以下のものを考慮している。

② 施工時

- イ. 波力
- ロ. 壁体前面に作用する土圧
- ハ. 壁体の重量
- ニ. 壁体に作用する地震力
- ホ. 載荷重
- ヘ. 載荷重に作用する地震力
- ト. 揚圧力
- チ. 船舶による接岸力

（完成時断面図の場合）

完成時の検討の時に地震時土圧の算定方法として、残留水位以上においては、空気中における震度を用いて地震時の震度を求めればよいが、残留水位以下においては、各土層の境界面において見かけの震度を用いて土圧強度を算定する必要がある。そこで、見かけの震度の求め方は、これまで開発した設計システムの実績より、技術基準の方法及び二建の式の両方を組み込み、選択式により使い分けが出来るようにした。

また、残留水圧強度を求める水位差についても、一般に、前面潮差の2/3がとられるが、残留水位の標高を入力値とする事で、システムに自由度を持たせた。

さらに、本システムでは、根入れ鋼板セル構造物の特徴である確実な止水性を考慮して、セル内の残留水位は、裏込め又は裏埋土内の残留水位と同じとしている。

（施工時断面の場合）

施工時の検討の場合は、波の諸元のデータを読み込んだ後、波圧時、並びに地震時の荷重強度を計算するが、波圧の計算式としては、合田式と森平式を用意している。

波の入射角は、プログラム中で補正を行っていないので、必ず±15°の範囲で最も危険となる角度を

力する必要がある。

また、揚圧力の考え方としては、壁体全体に対して浮力が働くものとしてその中に揚圧力も含まれるものとして考えている。ただし、この考え方では、天端高が $1.0H_{1/3}$ より高い場合においては、揚圧力を過大に評価することになるので注意を要する。

以上のように各検討時の荷重強度を求めた後に、平面形状の計算を行い、先に述べた作用外力を算出し、せん断変形の検討を行う。

（せん断変形の検討）

せん断変形の検討は、常時において、地盤面より上に作用する荷重に対して、壁体のせん断変形を検討するものである。その後、地盤反力の計算、壁体変位の検討を行う。

（地盤反力及び変位の計算）

地盤反力及び壁体の変位は、壁体を地盤に弾性支持される剛体とみなして計算している。つまり、壁体に作用する荷重に対して、水平地盤反力、壁体底面の鉛直地盤反力及びせん断反力、前壁と後壁の鉛直摩擦抵抗により、壁体が支持されているものとしている。この時の地盤反力係数は、水平方向地盤反力係数、セル底面の鉛直方向地盤反力係数、及び水平方向せん断ばね定数である。本プログラムでは、各層の地盤反力係数を入力値としている。また、地盤が性質の異なる地層からなる場合、鉛直方向地盤反力係数は、セル底面位置の地層から求められる値を採用している。

（支持力の検討）

支持力の検討は、セル底面の位置における偏心傾斜荷重をビショップ法による円形すべりの解析で行っている。この方法による安全率は、通常の円形すべりの計算と同様に、せん断抵抗力によるモーメントと、外力及び土の重量によるすべりモーメントの比によって表される。技術基準によれば、偏心傾斜荷重（荷重傾斜率が0.1以上のもの）に対してのみ、ビショップ法を用いて検討するようになっているが、荷重傾斜率が0.1以下の場合においては、本システムでは、チェボタリオフ法による円形すべりの検討を行っている。また、荷重条件としては、図-4に示すように、セル底面より上の層については、層としてではなく、その層の土被り圧を上載荷重としてセル底面レベルに作用させている。

（滑動の検討）

滑動の検討は、壁体底面におけるせん断力が許容せん断反力を越えていないかの確認によって行って

いる。

(セル殻及びアークの板厚計算)

以上の検討の終わった後にセル殻およびアークの板厚の計算を行い概算鋼重量を求める。セル殻およびアークの板厚の決定は、セル殻およびアークに発生する最大水平方向引張応力度が、許容応力度を超えないように設計しているが、本システムにおいては、設計板厚は、必要板厚に腐食代(入力値)を加えたものの端数を切り上げて、1mm単位として出力している。また、技術基準によれば、過去に打設実績のあるセル殻の最小板厚は8mmであり、8mm程度を板厚の最小値とする事が望ましいとされているので、本システムでは必要板厚と腐食代の合計が8mm以下になった場合においても、決定板厚を8mmとしている。ただし、実際の板厚は、製作性、施工性を考慮して、設計計算で求められた板厚よりも厚くする場合もある。

最後に、全体の円形すべりの計算を行って、計算結果がラインプリンター上に出力される。

b) 断面自動設計

断面自動設計の場合は、図-5に示すとおりである。設計自体の流れとしては、断面入力設計と違いはないのでここでは簡単にふれる。

まず、初期値として入力された根入れ長に対して荷重強度を算出する。この場合の荷重強度の算出方法は、前述の断面入力時の方法と同様である。次に、初期値として入力されたセル諸元からセル径を仮定して平面形状の計算を行い、作用外力を算出し、せん断変形の検討を行う。その後、地盤反力の計算を行い、変位の検討、支持力の検討、滑動の検討を順次行う。

(セル断面の仮定)

ここで、各検討項目において所定の安全率を満足しない場合は、セルの半径を25cm増やして、再度、平面形状の計算からやり直し、所定の安全率を満足するまで繰り返し計算を行う。この時、セル中心間隔とセルの直径との比は、初期値として与えた断面のものを固定値としている。また、繰り返し計算の結果、セルの半径が50mを超えた場合は、計算不能として計算を打ち切る。所定の安全率を満足する断面が求められた場合は、続けてセル殻およびアークの板厚の計算を行い概算鋼重量を求める。(検討根入れ長の変化)

根入れ長を変化させて断面を求める場合は、検討中の根入れ長に根入れ長の刻み幅を加え、各根入れ

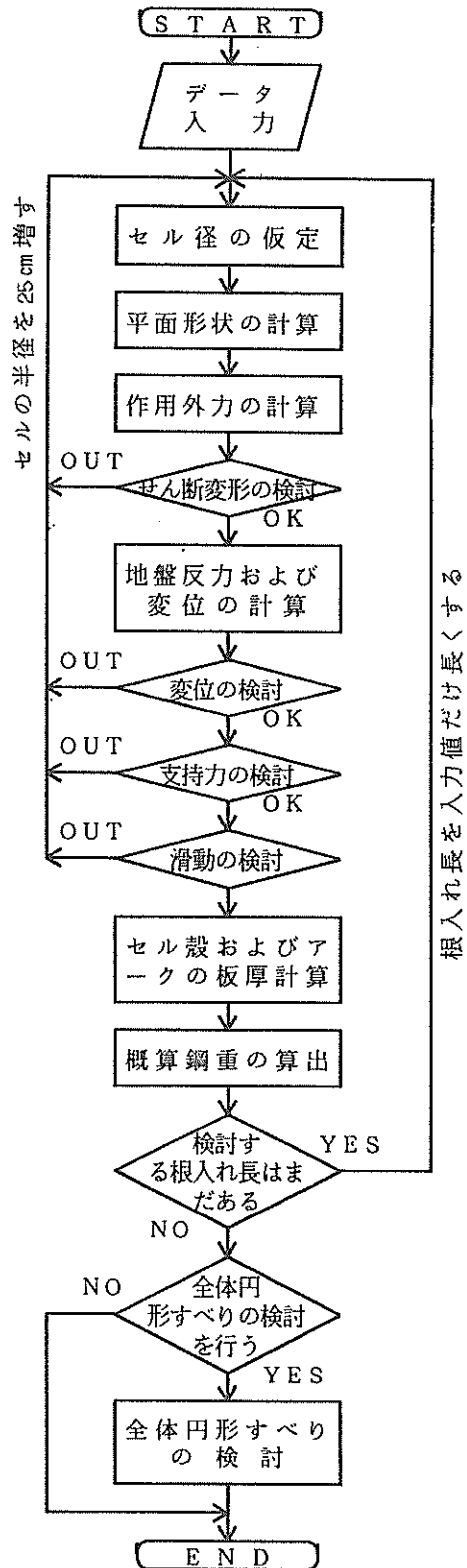


図-5 断面自動設計時の概略処理フロー

長ごとに断面を求める。すべての根入れ長で断面が求められたら、最後に、全体の円形すべりの計算を行って、計算結果をプリンター上に出力させる。ここで注意すべき点は、全体の円形すべりの計算を行うのは、概算鋼重量が最少の断面だけであることである。

2.4 設計対象及び前提条件

本システムでは、図-6に示すような砂質地盤に築造された根入れ鋼板セル式構造物を設計対象としている。

本基本設計プログラムが対象としている設計外力の範囲、設計計算の前提条件を次に示す。

(1) 設計外力の範囲

設計外力は、構造物の検討状態によって異なる。本システムにおいては、主な設計外力として、完成時の場合は、土圧及び船舶による牽引力、施工時の場合は、波力及び船舶による牽引力を考慮している。

(2) 設計計算の前提条件

- ① 入力できる地層数は、主働側、受働側、セル中詰め・セル内・セル直下それぞれ20層以内とし、主働地盤およびセル内地盤は、地下水位および海底面で土層区分されていること。
- ② セルの根入れ長が10mを越える条件で計算を行う場合、セル内地盤は、海底面下-10mにおいて、一度、土層区分されていること。
- ③ 支持力の検討に関するポイントのデータ数は、受働側およびセル内・セル直下地盤については20点以下、各地層線を構成するポイント数については、13点以下、受働側海底面ラインを構成するポイ

ント数については、20点以下となっていること。

- ④ 全体円形すべりの検討に関するポイントのデータ数は、堤体ラインを構成するポイント数については、20点以下、現地盤の層数については、20点以下、各地層線を構成するポイント数については、13点以下、水位線を構成するポイント数については、13点以下、震度の種類については、20以下となっていること。

2.5 入力設計条件

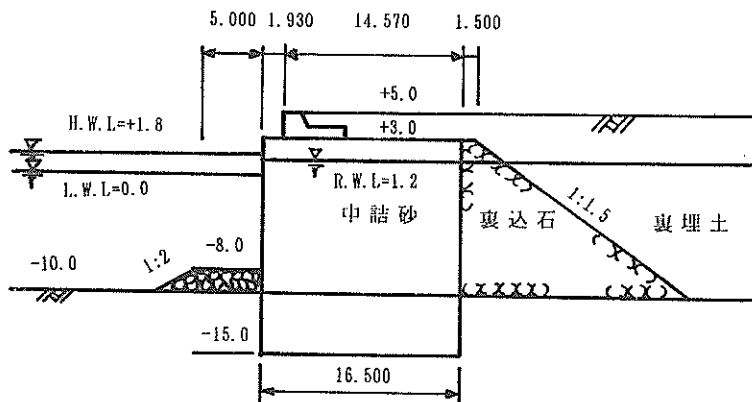
入力設計条件は、検討条件が完成時か、あるいは施工時かによって若干異なってくる。

(1) 完成時の場合

- ① 潮位 (H.W.L, R.W.L, L.W.L)
- ② 地形 (前面水深, 海底勾配, 地表面勾配)
- ③ 土質 (土の内部摩擦角, 壁面摩擦角, 単位体積重量, 横方向地盤反力係数, N値, 地盤改良率, 応力分担率)
- ④ 上部工天端高
- ⑤ 上載荷重 (主働側上載荷重, 受働側上載荷重)
- ⑥ 集中力
- ⑦ 設計震度
- ⑧ 腐食代
- ⑨ 許容応力度, 許容変位量, 支持力安全率

(2) 施工時の場合

- ① 潮位 (H.W.L, L.W.L)
- ② 地形 (前面水深, 海底勾配)
- ③ 波 (設計波高, 周期, 入射角)
- ④ 土質 (土の内部摩擦角, 壁面摩擦角, 単位体積重量, 横方向地盤反力係数, N値, 地盤改良率)



砂質地盤

図-6 砂質地盤上に築造された例

良率、応力分担率)

- ⑤ 上部工天端高
- ⑥ 腐食代
- ⑦ 許容応力度, 許容変位量, 支持力の安全率

ここで言う施工時とは、セルの中詰めが完了した状態で、背後の裏埋めの無い状態（防波堤の状態）をさす。

2.6 出力項目

本システム中の基本設計プログラムが出力する項目を以下にあげて説明する。

イ. 表紙

リストの先頭に根入れ鋼板セル式構造物の基本設計プログラムが起動したことを表示する。

ロ. 入力データ（前半部）のエコーリスト及びエラーチェック結果

入力データの内、断面の検討に必要な部分のデータのエコーリストを表示し、あわせて入力データのエラーチェックの結果も表示する。

ハ. 断面検討開始の表示

「断面検討」の開始を表示。検討する根入れ長に相当する「セル下端レベル」を表示する。

ニ. 地盤改良条件

SCP地盤改良を行った場合に表示する。

ホ. 地盤条件

主動側, 受動側, 中詰め各地盤条件を表示する。

ヘ. 土圧強度

各土圧強度を表示する。

ト. 残留水圧強度

L, W, Lセル下端レベルでの残留水圧強度を表示する。

チ. 波圧強度

施行時の検討を行う場合、波圧強度の計算過程を表示する。

リ. セルの配置

セルの構造寸法, 所要板厚等を表示する。

ヌ. 作用外力一覧表

作用外力の集計表を各荷重毎に表示する。(各分布荷重の合力, モーメントの計算過程を表示)

ル. 全作用外力

全作用外力（水平力, 鉛直力, モーメント）の集計を表示する。

ヲ. 地盤反力分布

地盤反力分布の計算過程を表示する。

ワ. 地盤反力

地盤反力分布の集計表を表示する。

カ. 地盤反力の照査

「地盤反力」と「作用外力」のチェック表を表示する。

ヨ. 天端はらみ出しの検討

天端はらみ出しに対する検討過程を表示する。

タ. せん断変形の検討

せん断変形に対する検討過程を表示する。

レ. 支持力の検討

支持力に関する検討過程を表示する。

ソ. 滑動の検討結果

滑動による検討過程を表示する。

ツ. 安全率一覧表

上記の検討結果の安全率を一覧表として表示する。

ネ. 断面検討の結果一覧表

各検討断面（根入れ長）ごとに繰り返された上記の検討結果を一覧表として、とりまとめて表示する。

ナ. 全体円形すべりの検討開始

「全体円形すべりの検討」の開始を表示する。

ヲ. 入力データ（後半部）のエコーリストおよびエラーチェック結果

入力データのエコーリストの内、「全体円形すべり検討」に関するデータのエコーリストを表示し、あわせて入力データのエラーチェックの結果も表示する。

ム. 全体円形すべりの検討結果

全体円形すべりの検討結果を表示する。

3. システムの評価

3.1 水深、震度、土層条件による断面決定要因の分析

本自動設計システムを用いてセル径を算出した時の断面の決定要因がせん断変形、変位（常時、地震時）、支持力（常時、地震時）、滑動（常時、地震時）のいずれになるのかを設計水深、設計震度、土層条件別に分析してみた。

(1) 検討方法

本自動設計システムには、初期のセル径を与えて満足させるべき安全率を与えると、自動的に所定の安全率を満足する断面を算出し、その時の安全率及び概算の使用鋼材重量等を算出する「断面自動設計」機能がある。そこで、その機能を利用して、根入れ長

を変化させながら各根入れ長ごとに求めた各安全率を整理して、どの条件によって断面が決定されるかを求める。

ここで、断面の決定の判断材料となるのは、せん断変形、変位（常時、地震時）、支持力（常時、地震時）、滑動（常時、地震時）であるが、この時、せん断変形、支持力、滑動の検討結果が安全率（(2)設計条件参照）で表されるのに対し、変位は許容値（%）（(2)設計条件参照）で表される。これらを同一に比較して断面の決定要因となる検討項目を見いだすために、安全率で表されるものについては、求められた安全率を許容安全率（常時1.2、地震時1.0）で割戻した値（安全率比）に直し、許容値で表されるものについては、許容値を求められた値で割ったものを安全率として比較の対象としている。これらの値（安全率比、安全率）を比較して、1.0に一番近い値を出している検討条件によって断面の決定が行われていると考えた。

これを基本として、a)設計水深別に見た場合（設計水深のみを変化させた時の断面決定要因の変化）、b)設計深度別に見た場合（設計深度のみを変化させた時の断面決定要因の変化）、c)土層条件別に見た場合（土層条件を変化させた時の断面決定要因の変化）の3種類の場合について断面決定要因の変化を確認する。

(2) 設計条件の設定

各検討条件に共通な設計条件は以下のとおりである。

- イ. 護岸天端高……+5.0m
- ロ. 潮位……H.W.L+1.8m, L.W.L±0.0m, R.W.L+1.2m
- ハ. 上 載 荷 重……常時1.0tf/m², 地震時1.0tf/m²
- ニ. セル半径の初期値, セル中心間隔とセル直径の比
初期値としてあまり大きな値を与えるとその時点で計算が終わってしまう恐れがあるので3mを与えた。また、セル中心間隔とセル直径の比は1.2とした。
- ホ. 検討したセルの根入れ長……1~30m迄1mきざみ。
- ヘ. 土の単位体積重量……残留水位面上1.8tf/m³, 残留水位下1.0tf/m³
- ト. 断面算出時に満足させる安全率及び許容応力度
せん断変形に対する安全率1.2

常時、地震時のセル天端の許容はらみ出し量1.5%

常時の滑動に対する安全率1.2

地震時の滑動に対する安全率1.0

常時の支持力に対する安全率1.2

地震時の支持力に対する安全率1.0

チ. セル殻の許容引張応力度1,900kg/cm²

リ. アークの許容引張応力度1,400kg/cm²

また、各検討条件における個別の設計条件としては次のものを用いた。

a) 設計水深別に見た場合の条件

表-2に示す3ケースについて行う。

b) 設計震度別に見た場合の条件

表-3に示す2ケースについて行う。

c) 土層条件別に見た場合の条件

表-4に示す4ケースについて行う。

(3) 検討結果

表-2 設計水深別に見た場合の条件

検討ケース	設計水深	各土層の内部摩擦角φ			設計震度	
		現地盤	中 詰	裏 埋	水平	垂直
設計水深 -10m時	-10m	25°	30°	35°	0.10	0.00
設計水深 -20m時	-20m	25°	30°	35°	0.10	0.00
設計水深 -30m時	-30m	25°	30°	35°	0.10	0.00

表-3 設計震度別に見た場合の条件

検討ケース	設計水深	各土層の内部摩擦角φ			設計震度	
		現地盤	中 詰	裏 埋	水平	垂直
設計震度 0.10時	-10m	25°	30°	35°	0.10	0.00
設計震度 0.15時	-10m	25°	30°	35°	0.15	0.00

表-4 土層条件別に見た場合の土層の組み合わせ

検討ケース	設計水深	各土層の内部摩擦角φ			設計震度	
		現地盤	中 詰	裏 埋	水平	垂直
標準条件	-10m	25°	30°	35°	0.10	0.00
現地盤のφを増加	-10m	30°	30°	35°	0.10	0.00
中詰のφを増加	-10m	25°	35°	35°	0.10	0.00
裏埋めのφを増加	-10m	25°	30°	40°	0.10	0.00

a) 設計水深別に見た場合の結果

図-7~9に各設計水深別に断面の決定される要因を示す。ここでは横軸は各条件下における根入れ長を表す。また、技術基準上に示されている本設計法の適用範囲である(換算壁体幅/壁高)を同じ図中に示している。(技術基準によれば「(換算壁体幅/壁高)が0.5~2.0程度の根入れ鋼板セルについて本設計法を適用する」とされている。本プログラムがこの適用範囲中の断面を設計断面として算出しているかの確認とした。)

検討結果を見てみると次のようなことが分かった。

① 断面の決定要因の変化の傾向と、設計水深の変化にはほとんど関係はなく、ほぼ、同様な断面決定の傾向があることが分かった。すなわち、根入れ長が比較的浅い状態においては、断面は地震時の滑

動によって決定され、根入れ長が深くなるにつれて、それが地震時の変位によって決定される様になってくる。また、さらに根入れ長を深くしていくと、断面はせん断変形で決定されてくる。ただし、設計水深が深くなると断面の決定要因の変化する根入れ長も深くなる傾向を示した。(設計水深-10m時の断面の決定要因の変化点は、設計水深が-20mになると、根入れ長6mから1.5倍長い根入れ長で変化している。)

② 各設計水深別に比較すると、各検討項目の安全率比のグラフの変化の傾向としては、設計水深に関係なくほぼ同様な変化を見せ、断面の決定要因となる時の滑動、せん断変形の変化がさほど大きくないのに比べ、地震時の変位により断面の決定される場合においては、グラフが上下方向に大きく変化している。この変化過程は次のように推察される。

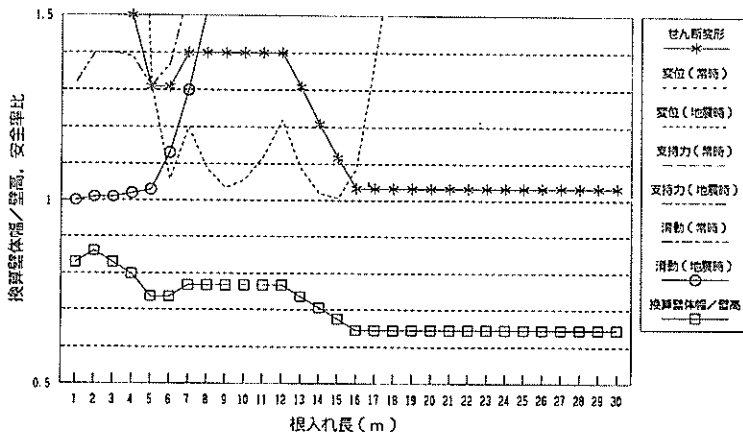


図-7 設計水深別に見た断面の決定要因
設計水深=-10m

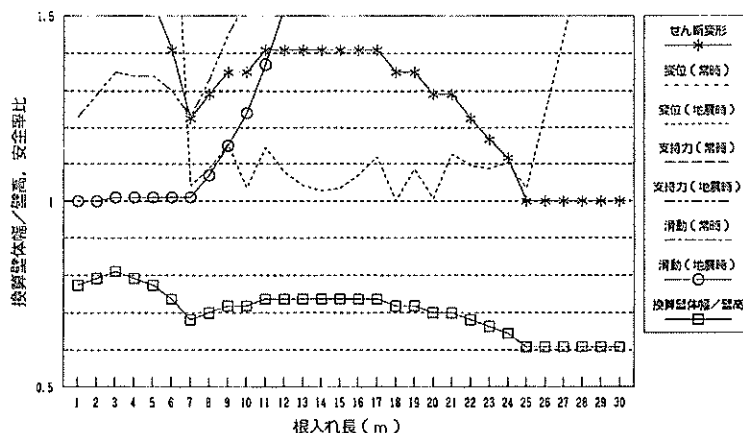


図-8 設計水深別に見た断面の決定要因
設計水深=-20m

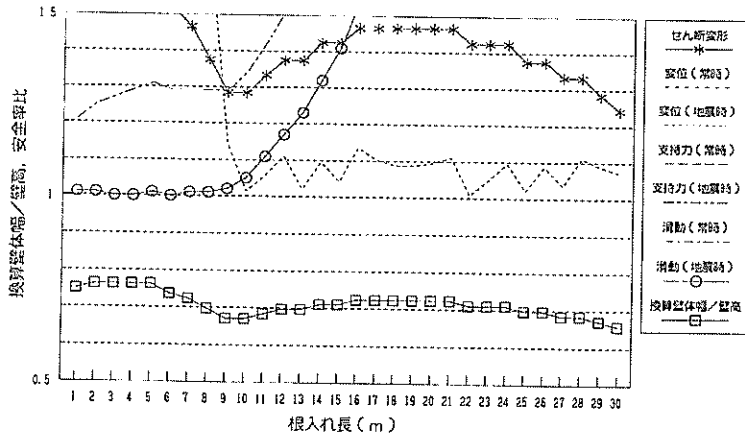


図-9 設計水深別に見た断面の決定要因
設計水深 = -30m

(短い根入れ長時における断面決定方向)

根入れ長の比較的短い状態においては、構造物の全壁高が低いのでセル径を大きくすることで重量を増している。このときセルの全壁高があまり高くないので、変位の検討条件はクリアし、セル断面自体も大きいので、単位面積あたりの荷重も少なくなり支持力の検討条件もクリアする。同様に、せん断変形の検討もセル径が大きいためにクリアする。この結果、短い根入れ長でのセル断面は滑動により決定されるものと考えられる。

(やや長い根入れ長時における断面決定方向)

根入れ長が長くなる(全壁高が高くなる)とき、さほどセル径を増やさなくても重量が増加することになり、重心の高い断面が仮定されることとなり、変位の条件で断面が決定される。

(長い根入れ長時における断面決定方向)

さらに根入れ長が長くなり、根入れ鋼板セル構造物は抗構造物に近くなると、セルのせん断変形により断面が決定されるようになる。この状態時では根入れ長をいくら長くしてもセル径が変化しないことが図より分かる。これは、せん断変形検討式中(参考資料(5))に根入れ長の影響する項がないことから理解できる。

b) 設計震度別に見た場合の結果

図-10~11は、設計震度別に断面決定の要因を見たものである。設計震度を0.05増した図-11のケースは、設計震度を増す前の図-10のケースと比較して断面決定要因に違いはみられなかったが、先の設計水深別に検討した時と同様に、設計震度が増すと断面決定要因の変化ポイントが若干深くなる傾向が

あった。具体的には、断面決定要因が滑動から変位に変わる根入れ長が図-11のケースは、図-10のケースに比べて約1.5倍の9mの根入れ長で変化していた。同様に、断面決定要因が変位からせん断変形に変わる根入れ長も約1.38倍となっていた。

c) 土層条件別に見た場合の結果

表-4に示した検討ケースを行い、図-12~15の結果を得た。

図-12は、この検討において標準土層としたもので現地盤 $\phi=25^\circ$ 、中詰め $\phi=30^\circ$ 、裏埋め $\phi=35^\circ$ の条件のものである。図-13は、良好な現地盤を設定したもので現地盤 $\phi=30^\circ$ 、中詰め $\phi=30^\circ$ 、裏埋め $\phi=35^\circ$ の条件を与えている。

図-12、13のグラフを比較すると明確な違いがみられる。まず、根入れ長の短い範囲においては、図-12のケースが地震時の滑動で断面が決定されていたのに対して、良好な地盤の図-13のケースでは、常時の滑動で決定される。さらに、図-13のケースでは、せん断変形の安全率が全体的に小さくなり、場合によっては、短い根入れ長でもせん断変形によって断面の決定される場合がある。また、図-13のケースでは図-12のケースに比べて、根入れ長の短い範囲においては安全率のばらつきがあまり大きくないので、無駄の無い経済的な断面と考えられる。

次に、セルの中詰の ϕ のみを変化させた例を図-14に示す。セル中詰の ϕ を $+5^\circ$ 増した図-14のケースは、図-12のケースに比べてセル径の変化パターンは、ほとんど変化がみられなかったが、セル断面が滑動、変位によって決定されてくるような根入れ長においては、かなりせん断変形に対する安全率を

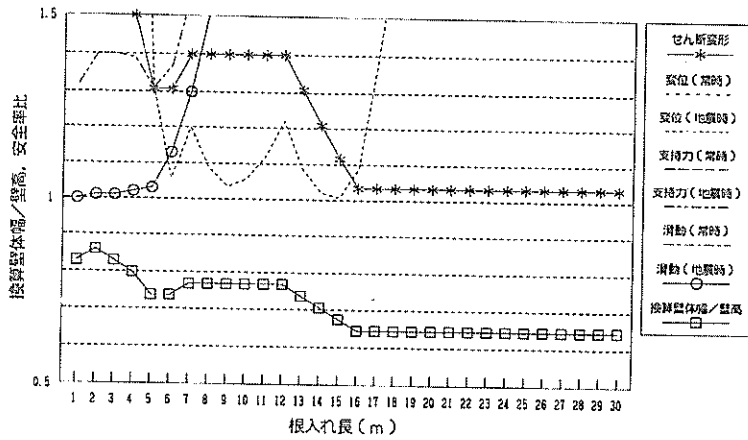


図-10 設計震度別に見た断面の決定要因
設計震度=0.10

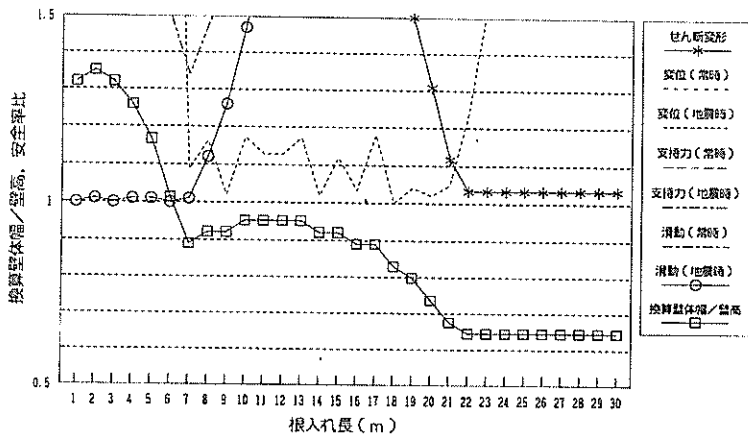


図-11 設計震度別に見た断面の決定要因
設計震度=0.15

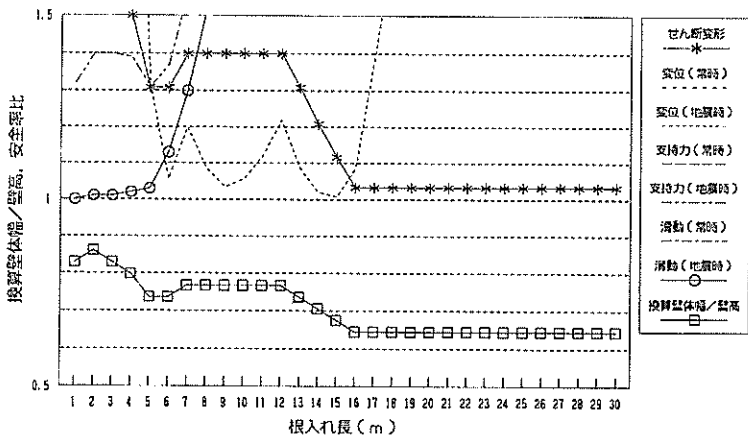


図-12 土層条件別に見た断面の決定要因
標準条件

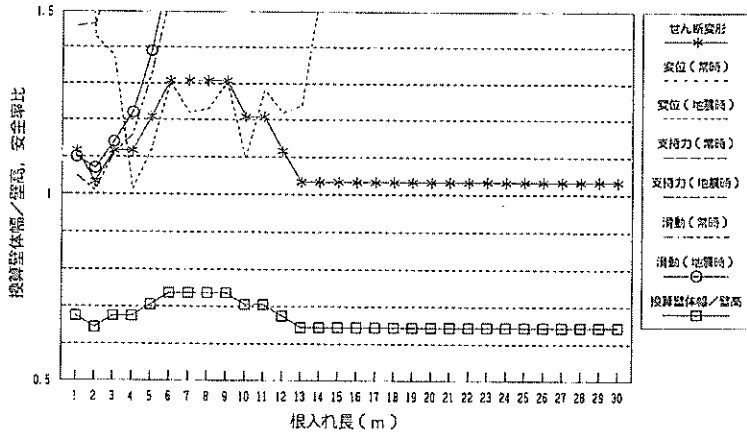


図-13 土層条件別に見た断面の決定要因
現地盤のφを増加

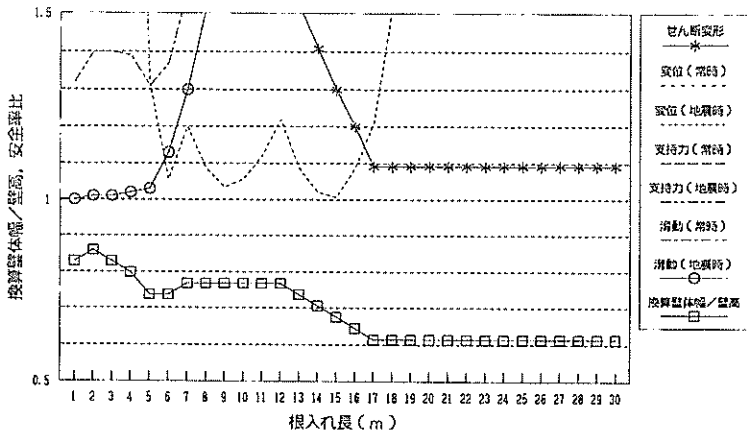


図-14 土層条件別に見た断面の決定要因
中詰のφを増加

上げることが出来る結果となっている。

最後に、セルの裏込めのφのみを変化させたものを図-15に示す。セルの裏込めのφを+5°増した図-15のケースは、断面決定要因の変化する根入れ長は変化せずに、断面が変位によって決定されるような根入れ長においては、変位の安全率の変化が多少、多くなった程度であった。

3.2 設計水深及び設計震度別のセル直径の変化特性

本システムの断面自動設計を用いて自動算出させた断面のセル直径の変化特性を設計水深別、設計震度別に分析してみる。

(1) 検討方法

検討の方法としては、前述の3-1と同様の方法で行った。設計水深としては-10m, -20m, -30mの

3通りとし、設計水深の違いによるセル直径の変化の違いや変化特性を検討してみる。また、同一の設計水深においても、設計震度が変化することによってセル直径の変化特性に違いが見られるかを確認する。

(2) 設計条件の設定

設計条件としては、前述の3-1の条件と同じとする。また、この時の土層条件としては現地盤のφが2°、中詰のφを30°、裏込めのφを35°とし、検討する設計水深に-10m, -20m, -30mを与え、それぞれ設計震度0.10と0.15を検討することとした。

(3) 検討結果

図-16に各設計水深ごとに設計震度を変えてセルの直径を求めた結果を示す。

まず、グラフから言える点は、設計水深には関係なくグラフ変化のパターンが同じであり、セル直径

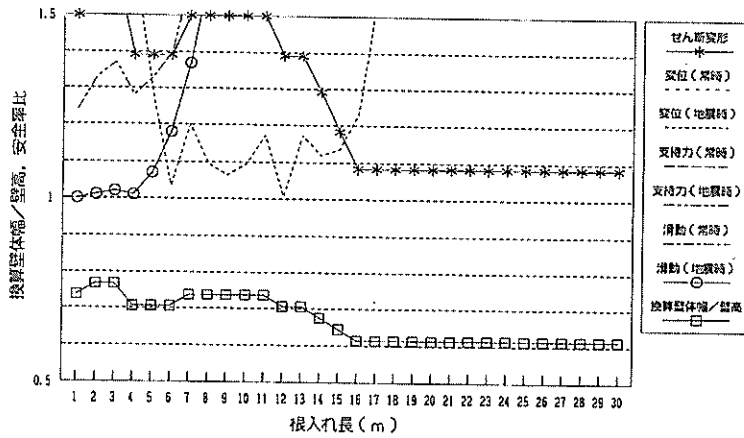


図-15 土層条件別に見た断面の決定要因
裏埋めの ϕ を増加

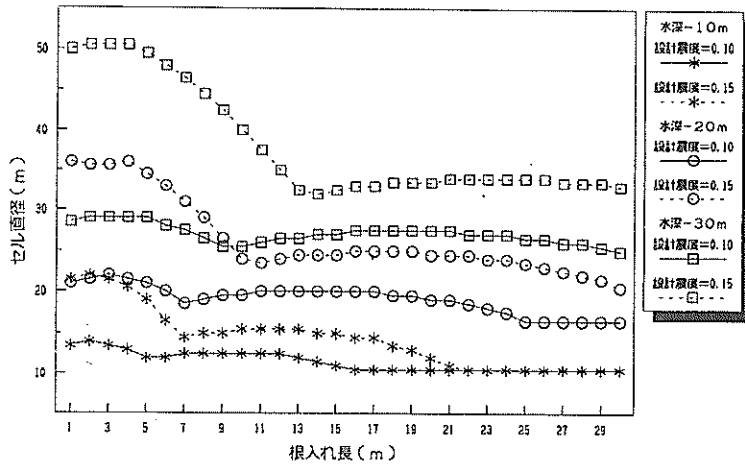


図-16 設計水深及び設計震度別のセル直径の変化

の変化度合いの変わる点が2ヶ所において見られることである。この2点の変化点は、図-10、11などから断面の決定要因の変化する根入れ長と同じ根入れ長のポイントであった。これは、先に述べたように断面の決定される検討条件によるところが大きいと考えられ、次のように考えられる。

第1変化点までの断面では、滑動により断面が決定されている。滑動抵抗を増やすためにはセル壁体の重量を増やすのがよく、比較的短い初期の根入れ長では、セル直径を大きくするのが効果的である。また、根入れ長が長くなるにつれて、セル直径をさほど大きくしなくても滑動に耐えられる重量を得ることができる。このことから、第1変化点までのセル直径が、根入れ長が長くなるにつれて減っていく。

第1変化点から第2変化点までの断面では、ある程度根入れ長が長くなり、壁体が細長くなってく

と、セルが変位に対し対抗し得なくなってくる。そこで、今度は壁体の高さに見合ったセル直径が必要となってくる。このため、断面が変位により決定される根入れ長範囲におけるセル径はあまり変化しないものと考えられる。

第2変化点以降の断面では、十分な根入れ効果のために、断面がせん断変形によって決まる。せん断変形の検討は、根入れ長には影響されないもので、根入れ効果の得られる根入れ長になると、どこまで根入れ長をのばしてもセル径は変化しない。

次に、設計震度がセル直径に与える影響について検討してみる。設計水深が10mの時に設計震度の違いがセル直径に与えた影響は断面が滑動で決定される根入れ長では設計震度が0.10時のセル直径を1.0とした時、設計震度0.15の時は、同じ根入れ長でも約1.7倍のセル直径が必要という結果が得られた。同様

にして、設計水深が-20mや-30mの時に断面が滑動で決定される根入れ長の範囲におけるセル直径の変化量は約1.7倍程度であった。また、断面が変位によって決定される様な根入れ長の範囲においては設計水深による差はほとんど見られず、設計震度の影響によるセル直径の差が約1.2倍程度であった。最後に、断面がせん断変形の検討で決定されるような根入れ長の範囲では、このグラフ上においては設計水深-10mでしか確認できないが、設計震度に影響されないで各水深毎に一定であると考えられる。

以上の結果から見て、セルの直径の変化は設計水深に比例して大きくなりかつ、同じ設計水深においても設計震度が大きいほど大きなセル直径が必要となることが分かる。ただし、設計震度によるセル直径の違いも根入れ長が浅いほど大きく、深くなるにつれて設計震度による影響が少なくなることが分かった。

3.3 土層条件だけが変化した場合のセル径の変化特性

本基本設計システムでは、土層条件を現地盤、セル中詰、裏込めに分けて入力することが可能である。そこで、セル直径を小さくして鋼重量を減らす様な、効率的な断面を各土層の条件（内部摩擦角 ϕ ）を変更することによって得られないか検討してみた。

(1) 検討方法

最初に、どの程度のセル径の変化が見られるかを比較するために基準となるモデルを作成する。これに現地盤、中詰め、裏込めの各土層のうち、1つの内部摩擦角をそれぞれ $+5^\circ$ したものを作成し、セル径

の減少効果がありなおかつ概算鋼重量も減らせたかを比較してみる。また、同土層条件においても震度や水深の大小による変化があるか、設計水深や設計震度を変化させて検討してみる。

(2) 検討条件

各検討ケースの土層条件を次に示す。

また、具体的な断面形状は、3-1と同じなのでここでは省略する。

- ・標準断面……現地盤の $\phi = 25^\circ$ 、中詰めの $\phi = 30^\circ$ 、裏込めの $\phi = 35^\circ$
- ・現地盤の ϕ を増加させた断面
……現地盤の $\phi = 30^\circ$ 、中詰めの $\phi = 30^\circ$ 、裏込めの $\phi = 35^\circ$
- ・中詰めの ϕ を増加させた断面
……現地盤の $\phi = 25^\circ$ 、中詰めの $\phi = 35^\circ$ 、裏込めの $\phi = 35^\circ$
- ・裏込めの ϕ を増加させた断面
……現地盤の $\phi = 25^\circ$ 、中詰めの $\phi = 30^\circ$ 、裏込めの $\phi = 40^\circ$

以上の土層条件を用いて、設計水深を-10m、-20m、-30mに変化させた時と設計震度を0.10と0.15に変化させた時の組み合わせで検討を行う。

(3) 検討結果

図-17は、設計水深が-10m時において、設計震度を0.10、0.15と与えた時のセル径の変化を各土層の ϕ を変えて比較したものである。

現地盤の ϕ だけを増加させた断面は、比較の対象となる標準土層条件の断面に比べて、比較的短い根入れ長の範囲においては、セル径の減少効果が著しく表れるが、比較的長い根入れ長の範囲においては、

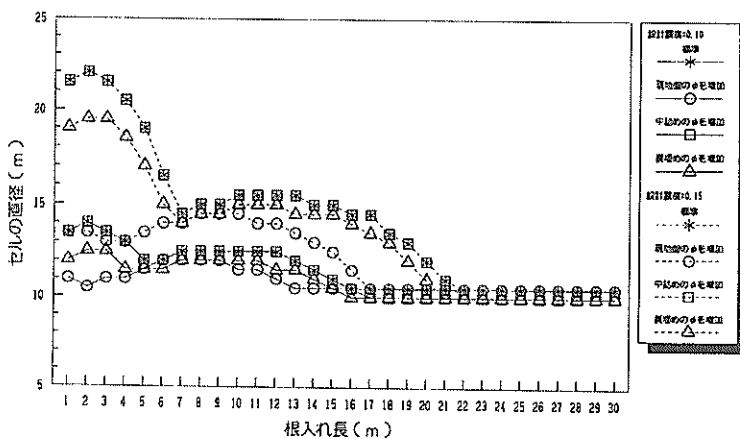


図-17 土層条件の変化によるセル径の変化
設計水深=-10m

セル径の減少効果は表れなかった。また、土層条件の変化によるセル径の変化量は、設計震度が大きいほど大きい傾向があり、短い根入れ長の部分は、特にその傾向が著しかった。

中詰めのみだけを增加させた断面は、短い根入れ長の部分においては、標準土層条件の断面と同じセル径を示したが、断面がせん断変形によって決定される長い根入れ長においては、標準土層条件の断面よりもやや小さなセル径を示した。

裏埋めのみだけを增加させた断面は、全根入れ長にわたり標準土層条件の断面よりも小さいセル径の断面であった。

同様にして、設計水深が-20m、-30m時の結果(図-18, 19)を見てみると、-10m時と同様に現地盤のφだけを増すほかに、裏埋めのφを増して

も、セル径の通減にある程度の効果がみられる結果が出ている。また、設計水深が深くなるにつれて、現地盤のφだけを増加したものと、裏埋めのφだけを増加したものは比較的根入れ長の短い場合において、セル直径の差がみられなくなり、根入れ長によっては完全に逆転しているところもあった。また、設計震度の変化による影響も設計水深-10m時とはほぼ同様の結果がみられた。

以上の結果からみて、土層条件を少し変化させるだけでセル直径を容易に変化させることができることは分かった。この時、単位長さあたりの概算鋼重量を減らすことができたかどうかを確認したのが図-20~22である。

設計震度が0.10の場合で、設計水深が-10mの時は、かなり長い根入れ長において裏込めのφを増す事に

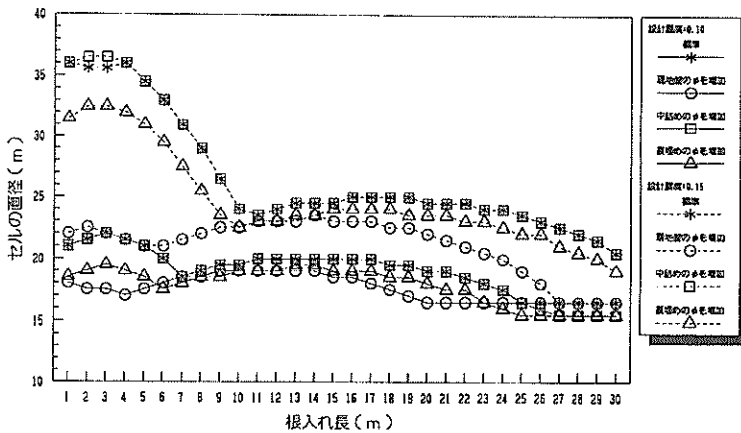


図-18 土層条件の変化によるセル径の変化
設計水深=-20m

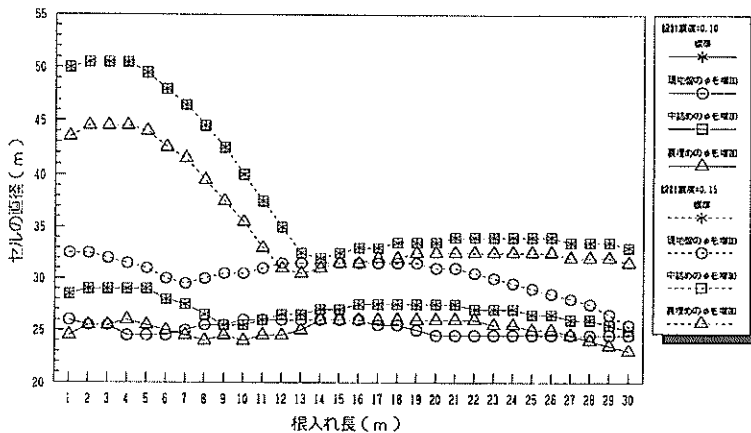


図-19 土層条件の変化によるセル径の変化
設計水深=-30m

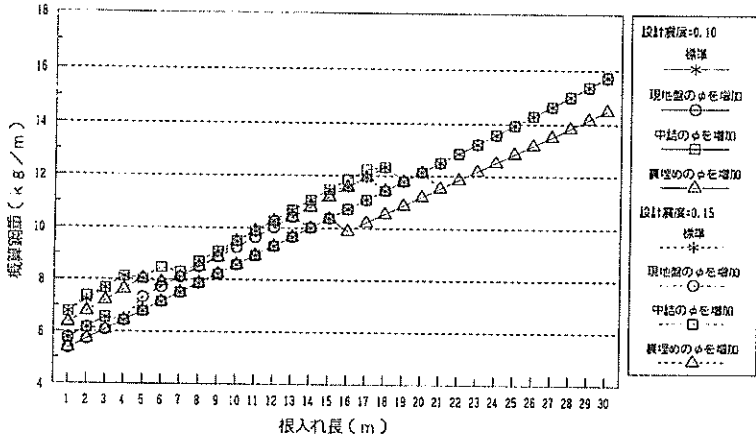


図-20 土層条件の変化による概算鋼重の変化
設計水深 = -10m

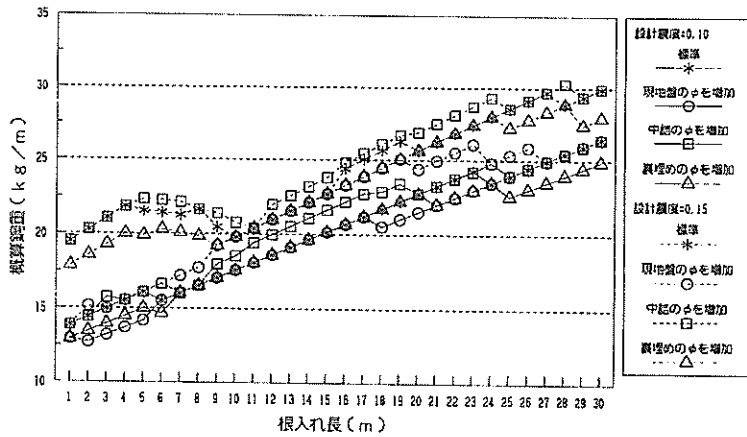


図-21 土層条件の変化による概算鋼重の変化
設計水深 = -20m

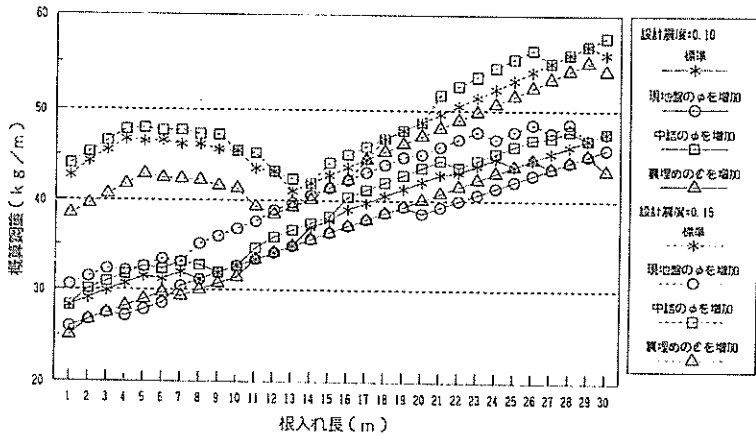


図-22 土層条件の変化による概算鋼重の変化
設計水深 = -30m

よって概算鋼重量を減らすことができたが、それ以外の根入れ長においては土層条件を変化させても概算鋼重量減少の効果はあらわれなかった。しかし、同じ設計水深でも設計震度が0.15の場合は、ある根入れ長の範囲においては現地盤の ϕ や裏込めの ϕ を増すことにより概算鋼重量を減らすことができる結果が出ている。

次に、設計水深が-20m時においては、比較的に近い根入れ長においては、現地盤や裏込めの ϕ を増やしたものが概算鋼重の減少効果が見られ、特に設計震度が0.15の時には現地盤の ϕ を増加させると、概算鋼重をかなり減少させる効果のあることが分かった。また、中詰めめの ϕ を増したものは、検討した根入れ長の全体にわたって ϕ を増す前と同じか、やや多めの概算鋼重を示して、全く概算鋼重の減少効果がみられなかった。これは、設計震度を変化させた時についても同様であったが、標準土層条件と中詰めめの ϕ を増したものの概算鋼重の差は設計震度0.15の時のほうが設計震度0.10に比べて小さかったことがあらわれている。

最後に、設計水深が-30m時であるが、これも-20m時とほぼ同様の結果を示した。ただ、若干の相違点としては、-20mと-30mでは、同じ根入れ長でも概算鋼重量の小さくなる土質条件が異なる。設計震度の変化による影響も前述の-20m時と同様であったが、設計震度が大きいと設計水深が深くなるにつれて、土層条件を変化させたことによる概算鋼重量の変化が大きくなることが分かった。

4. まとめ

作成した本自動設計システムは、次の特徴をもち初心者にも簡単に根入れ鋼板セルの設計が行えるようになっている。

イ. 入力データを日本語会話方式で作成させたり、支持力の検討、全体円形すべりの検討結果をグラフィックディスプレイ上に描画させるなど、なるべく、視覚的に結果を判断できるようにした。

ロ. 予め断面の諸元を決めて設計を行う断面入力設計、基本的な設計条件と安全率を与えて、断面を求める断面自動設計の2通りの設計方法を用意して、設計の初心者、熟練者ともに使い勝手の良いシステムとした。

ハ. 求めたセル断面に対して法線方向単位長さあた

りの概算鋼重量を算出させ、鋼重量に着目した最適断面が選べるようにした。

以上のような機能を持たせたために、操作が若干、煩雑になったことは否めないが、今後の計算機システムの発展により解決できるものと考えられる。

次に、この自動設計プログラムを使ってシステムの検討を行った。その主な特性は、次のとおりである。

(1) 根入れ鋼板セルの断面決定要因の傾向

根入れ長を延ばしながら断面を自動算出させていった結果、断面決定要因は、設計水深や設計震度、土層条件の違いによらず、根入れ長が長くなるにつれて、滑動→変位→せん断変形へと、ほぼ同様な傾向を示す。また、この時に次のような特徴を示す。

- 設計水深や設計震度が大きくなると、断面の決定要因の変化する根入れ長が長くなる。
- 地盤条件を変えた時に、現地盤の ϕ だけを $+5^\circ$ すると、断面の決定要因の変化する根入れ長が短くなり、同様に中詰めめの ϕ や裏込めの ϕ だけを $+5^\circ$ したものは変化がなかった。

(2) 根入れ鋼板セルのセル径変化の傾向

セルの根入れ長を延ばしながら、各根入れ長時におけるセル径を求めていくと、セル径の変化が次の3つのパターンに分けられる。

a) セル径の変化量の大きい比較的短い根入れ長の範囲

滑動によって決定される比較的根入れ長の短い範囲では、設計震度の違いにより、セル径の変化量が大きく違ってくる。また、設計水深の違いによるセル径の違いの大きいのも、この根入れ長の範囲の特徴である。

b) セル径の変化量のあまり大きくない、中ぐらいの根入れ長の範囲

この根入れ長の範囲における断面は、変位によって決定されるが、前述のa)のパターンとは違い、設計震度の違いによるセル径の変化量は、この根入れ長の範囲内ではあまり大きく変化しない。また、同様に設計水深の違いによるセル径の違いも前述a)程大きくはない。

c) セル径の変化の全くない、かなり長い根入れ長の範囲

せん断変形によって決定される長い根入れの範囲では、設計震度によるセル径やこの根入れ長の範囲内でのセル径の変化量は全くない。

(3) 根入れ鋼板セルのセル径と概算鋼重量を減らす

土層条件

各土層条件を以下のようにする事によって設計条件、根入れ長によっては標準断面よりもセル直径や概算鋼重の減ることを確認できた。

- a) 現地盤の ϕ だけを $+5^\circ$ とした場合では、滑動や変位によって断面の決定される根入れ長の範囲では、かなりのセル径減少効果を示し、特に設計震度が大きく、根入れ長の長いものはその傾向が著しかった。また、設計水深が -20m 、 -30m と深くなるにつれて概算鋼重量の減少効果が表れ、設計震度が大きいものはかなり効果が出る結果となった。
- b) 中詰め ϕ だけを $+5^\circ$ とした場合では、断面がせん断変形によって決定される根入れ長において、ややセル径減少の効果を示した。また、鋼重量減少効果については、検討した根入れ長、設計震度、設計水深すべてに渡って効果がなかった。
- c) 裏込めの ϕ だけを $+5^\circ$ とした場合では、セル径の減少効果は、ほとんどの根入れ長に対して効果がみられた。ただ、現地盤の ϕ だけを $+5^\circ$ したもののほど効果はなかったが全体的に均一に減らすことができた。次に、概算鋼重の減少効果は、ほとんどの根入れ長に対して効果がみられた。

以上の結果から、もっともセル径、概算鋼重量の減少効果のあった土層条件は、現地盤の土層条件を良好にした場合であった。また、設計水深が深くなると裏込めの土層条件を良好にした場合でもかなりの効果のである場合があった。

5. あとがき

今回、技術基準の改訂により追加された根入れ鋼板セル式建造物の設計方法や根入れ式鋼板セル設計指針を基に、自動設計システムを開発した。しかし、現在でも実際の設計例があまり多くなく、他のシステムでみられる、せん断変形を複数の面で検討する等の設計手法の選択幅は取り入れなかったが、今後の実施例などを見ながらより多くの設計手法をシステムの中に組み込んでいくことにより、本システムの適用範囲を広げて行きたい。

また、本資料では、今回作成した自動設計システムを利用して根入れ鋼板セルの断面決定の特徴等を検討したが、とりまとめにあたって、武藤計画設計基準部長にご指導をいただいた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

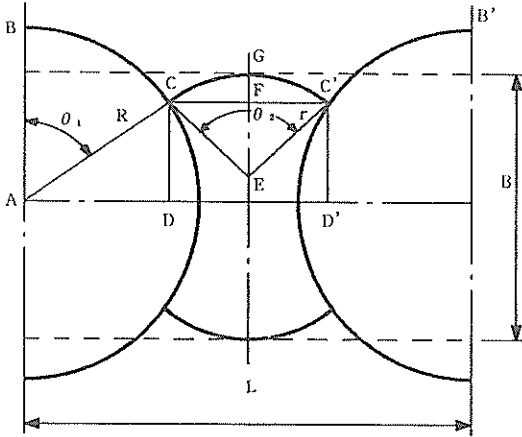
最後に、本資料で検討した結果が断面決定の際の助けとなり、本自動設計システムが設計の省力化に役立つことを期待している。(1992年3月31日受付)

参 考 文 献

- 1) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、1989年2月
- 2) 根入れ式鋼板セル設計指針、沿岸開発技術センター、1985年

(1) セルの平面形状の仮定

根入れ鋼板セルの設計に当たっては、付図-1に示すように、セル及びアークからなる壁体を幅Bを有する、仮定の壁体に置き換えて計算を行っている。この仮想壁体の幅は、セル及びアークによって囲まれる面積が、仮想壁体の面積に等しくなるように定める。



付図-1 セルの面積と換算壁体幅

仮想壁体幅Bは次式によって求められる。

$$B = \frac{S}{L} \quad (1)$$

$$S = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) \times 2 \quad (2)$$

$$S_1 = \nabla ABC \times 2 = \pi R^2 \times \frac{\theta_1}{360} \times 2$$

$$= \frac{\pi}{180} R^2 \theta_1 \quad (3)$$

$$S_2 = \triangle ACD \times 2 = \frac{1}{2} \times \overline{AD} \times \overline{CD} \times 2$$

$$= \frac{R^2}{2} \sin 2\theta_1 \quad (4)$$

$$S_3 = \square CC'D'D = \overline{CD} \times \overline{CC'}$$

$$= 2Rr \cos \theta_1 \sin \frac{\theta_2}{2} \quad (5)$$

$$S_4 = \square CGC' = \nabla ECGC' - \nabla ECC'$$

$$= \pi r^2 \times \frac{\theta_2}{360} - \frac{1}{2} \times \overline{CC'} \times \overline{FE}$$

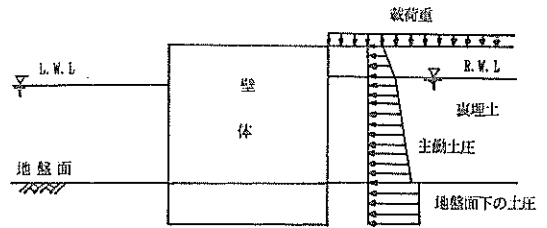
$$= \left(\frac{\pi \theta_2}{360} - \frac{1}{2} \sin \theta_2 \right) r^2 \quad (6)$$

$$\text{ただし } \theta_1 + \frac{\theta_2}{2} = 90^\circ$$

(2) 土圧の算定式

・土圧公式

壁体背後に作用する土圧については、付図-2に示すように地盤面より上には主働土圧が作用するものとし、地盤面より下には、次式による裏埋土の重量などによる土圧が作用するものとする。



付図-2 壁体に作用する土圧

$$p_{ao} = 0.5 (\sum r_i h_i + w) \quad (7)$$

ここに

p_{ao} : 壁体背後の地盤面下に作用する土圧 (tf/m^2)

r_i : 裏埋土各層の単位体積重量 (tf/m^3)

h_i : 裏埋土各層の厚さ (m)

w : 載荷重 (tf/m^2)

次に、各層の土圧を求めるのに用いる土圧公式を以下に示す。

①常時の土圧

主働土圧

$$P_{ai} = K_{ai} \cos \delta \left(\sum r_i h_i + \frac{w}{\cos \beta} \right) \quad (8)$$

$$K_{ai} \cos \delta = \frac{\cos^2 \phi_i}{\left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_i + \delta) \cdot \sin(\phi_i - \beta)}{\cos \delta \cdot \cos \beta}} \right)^2} \quad (9)$$

受働土圧

$$p_{pi} = K_{pi} \cos \delta \left(\sum r_i h_i + \frac{w}{\cos \beta} \right) \quad (10)$$

$$K_{pi} \cos \delta = \frac{\cos^2 \phi_i}{\left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi_i - \delta) \cdot \sin(\phi_i + \beta)}{\cos \delta \cdot \cos \beta}} \right)^2} \quad (11)$$

ここに

p_{pi} : i 層下面の壁体に作用する主働土圧強度 (tf/m²)

δ : 壁面摩擦角 (度)

ϕ_i : i 層の内部摩擦角 (度)

β : 地表面が水平となす角 (度)

r_i : i 層の単位体積重量 (tf/m³)

h_i : i 層の厚さ (m)

w : 地表面における載荷重 (tf/m²)

②地震時の土圧

1) 見かけの震度の算定方法

技術基準の方法

$$k' = \frac{r_{sat}}{r_{sat} - I} k \quad (12)$$

二建の方法

$$k' = \frac{\sum rh + r_w h_w + w}{\sum rh + w} \quad (13)$$

ここに

k' : 水中における見かけの震度

k : 空気中における震度

r_{sat} : 土の飽和重量 (tf/m³)

r : 土の単位体積重量 (tf/m³)

r_w : 海水の単位体積重量 (tf/m³)

h : 土層の厚さ (m)

h_w : 土層の水に浸かっている厚さ (m)

w : 地表面における載荷重 (tf/m²)

各土層の土圧の算定式は、以下のとおりである。

$$p_{ai} = K_{ai} \cos \delta \left(\sum r_i h_i + \frac{w}{\cos \beta} \right) \quad (14)$$

ここに

p_{ai} : i 層下面の壁体に作用する主働土圧強度 (tf/m²)

K_{ai} : i 層の主働土圧係数

δ : 壁面摩擦角 (度)

ϕ_i : i 層の内部摩擦角 (度)

β : 地表面が水平となす角 (度)

r_i : i 層の単位体積重量 (tf/m³)

h_i : i 層の厚さ (m)

w : 地表面における載荷重 (tf/m²)

c : 粘着力 (tf/m²)

(3) 残留水圧強度

残留水圧 p_w は付図-3 に示すように壁体前後の残留水位差 h_w をもとに式 (16) より求めている。

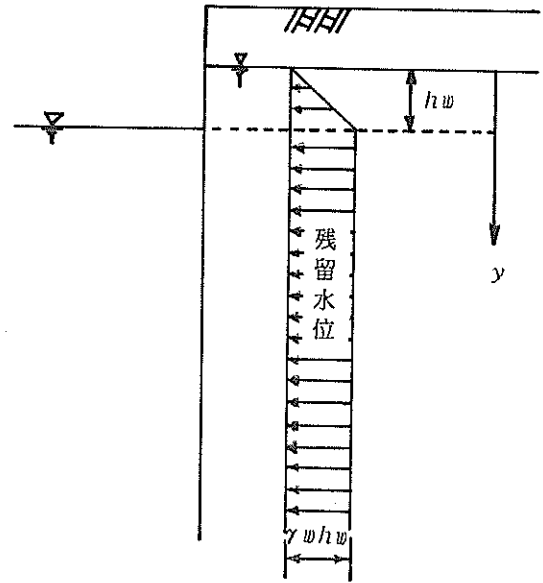
$0 \leq y < h_w$ のとき $p_w = r_w y$

$h_w \leq y$ のとき $p_w = r_w h_w$ (16)

ここに

p_w : 残留水圧 (tf/m²)

h_w : 残留水位差, 裏込めまたは裏埋土内の水位



付図-3 残留水圧

$$K_{ai} \cos \delta = \frac{\cos^2 (\phi_i - \theta) \cos \delta}{\cos \theta \cos (\delta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_i + \delta) \sin(\phi_i - \beta)}{\cos \delta \cos \beta}} \right]^2} \quad (15)$$

よりも高い場合で、そのときの最大水位差 (m)

y : 裏込め又は裏埋土内の水面から残留水圧を求め点までの深さ (m)

r_w : 水の単位体積重量 (tf/m^3)

(4) 地震力

セルの中詰めに作用する地震力の算定式は以下のとおりである。

$$H_w = k_h W \quad (17)$$

ここに

H_w : 地震力 (tf/m)

k_h : 設計水平震度

W : 中詰土と間隙水の重量 (tf/m)

設計水平震度は、地盤面下10mで0となるように直線的に低減し、地盤面下10m以深では0とする。また、選択式により、セル内の根入れ部分の震度も低減出来るようにした。なお、地震力を低減する場合は、次式による。

$$H_w = \xi k_h W \quad (18)$$

ここに

ξ : 震度の低減係数

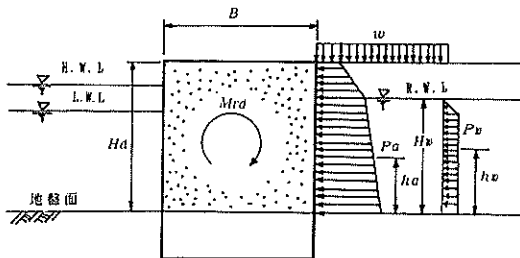
$$\xi = 1.0 - k_h \quad k_h \leq 0.2$$

$$\xi = 0.8 \quad k_h > 0.2$$

(5) せん断変形の検討

常時において、付図-4のように、地盤面より上に作用する荷重に対して、壁体のせん断変形を検討するものである。この場合の安全率 F_{shear} は式 (19) によって求めている。

$$F_{shear} = \frac{M_{rd}}{M_d} \quad (19)$$



付図-4 せん断変形の検討において考慮する荷重及び抵抗力

ここに

F_{shear} : せん断変形に関する安全率

M_{rd} : 変形抵抗モーメント ($\text{tf}\cdot\text{m}/\text{m}$)

M_d : 変形モーメント ($\text{tf}\cdot\text{m}/\text{m}$)

また、変形抵抗モーメント M_{rd} は、式 (20)、(21) により求めている。

$$M_{rd} = \frac{1}{6} r_o H_d'^3 R_d \quad (20)$$

$$R_d = \nu_d^2 (3 - \nu_d \cos \phi) \sin \phi \quad (21)$$

ここに

M_{rd} : 変形抵抗モーメント ($\text{tf}\cdot\text{m}/\text{m}$)

r_o : 中詰めの換算単位体積重量 ($= 1.0 \text{tf}/\text{m}^3$)

H_d' : 換算壁高 (m)

R_d : 変形抵抗係数

ν_d : 換算壁幅高比 B/H_d'

B : 換算壁体幅 (m)

ϕ : 中詰の内部摩擦角 (度)

換算壁高 H_d' は、式 (22) により求めている。

$$H_d' = \frac{r'}{r_o} H_w + \frac{r}{r_o} (H_d - H_w) \quad (22)$$

ここに

H_d' : 換算壁高 (m)

H_d : 地盤面から壁体天端までの高さ (m)

H_w : 地盤面から残留水位面までの高さ (m)

r : 残留水位面から上の中詰の単位体積重量 (tf/m^3)

r' : 飽和された中詰の水中単位体積重量 (tf/m^3)

変形モーメントは、地盤面から上に作用する主働土圧、残留水圧などの荷重の地盤面に関するモーメントとし、式 (23) により算出している。

$$M_d = P_a h_a + P_w h_w \quad (23)$$

ここに

M_d : 変形モーメント ($\text{tf}\cdot\text{m}/\text{m}$)

P_a : 地盤面より上の常時の主働土圧の合力 (tf/m)

P_w : 地盤面より上の残留水圧の合力 (tf/m)

h_a : 地盤面から主働土圧合力作用点までの高さ (m)

h_w : 地盤面から残留水圧合力作用点までの高さ (m)

(6) 地盤反力係数の算定

根入れ鋼板セルの安定の検討にあたっては、根入れ鋼板セルが地盤に弾性支持された剛体とみなして、荷重に対する地盤反力及びセルの変位を求める。ここで使用する地盤反力係数は、水平方向地盤反力係数、セル底面の鉛直方向地盤反力係数及び水平方向せん断ばね定数である。本プログラムでは、各層の地盤反力係数を入力値としている。また、地盤が性質の異なる地層からなる場合、鉛直方向地盤反力係数は、セル底面位置の地層から求められる値を採用している。

(7) 地盤反力及び壁体の変位の計算

地盤反力及び壁体の変位は、壁体を地盤に弾性支持される剛体とみなして計算している。つまり、壁体に作用する荷重に対して、水平地盤反力、壁体底面の鉛直地盤反力及びせん断反力、前壁と後壁の鉛直摩擦抵抗により、壁体が支持されているものとしている。

・地盤反力

a) 水平地盤反力

水平地盤反力は、地盤の降伏を考慮して、技術基準2.14の土圧及び水圧に準じて算定される受働土圧強度を越えないものとする。また、付図-5に地盤反力が部分的に受働土圧強度に達している場合の地盤反力分布の例を示す。

b) 鉛直地盤反力

壁体底面の鉛直地盤反力係数は台形または三角形分布となり、引張力は生じないものとする。

・鉛直摩擦抵抗力

鉛直摩擦力を前壁と後壁に考慮し、鉛直摩擦抵抗

力は水平土圧または地盤反力と $\tan \delta$ (δ : 壁面摩擦角) の積とする。

的な分布例を図-14に示す。

・壁体の変位モード

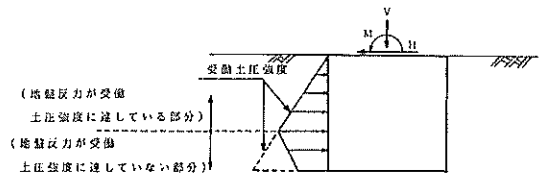
本システムでは、付図-6に示すとおり壁体は、その中心軸からの距離 e 、地盤面からの深さ h の点 O を中心として回転するものとしている。

(8) 地盤の支持力の検討

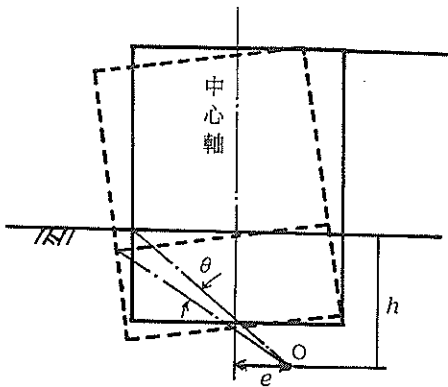
本システムでは、セル底面の位置における支持力の検討として、技術基準5.2.5偏心傾斜荷重に対する支持力により、ビショップ法による円形すべりの解析を行っている。この方法による安全率は、通常の円形すべりの計算と同様に、せん断抵抗力によるモーメントと、外力及び土の重量によるすべりモーメントの比によって表される。

・支持力の検討方法

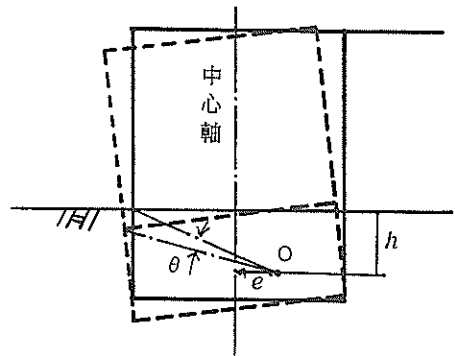
技術基準によれば、偏心傾斜荷重 (荷重傾斜率が0.1以上のもの) に対してのみ、ビショップ法を用いて検討するようになっているが、荷重傾斜率が0.1以下の場合においては、本システムでは、チェボタリオフ法による円形すべりの検討を行っている。また、荷重条件としては、付図-7に示すように、セル底面より上の層については、層としてではなく、その層の土被り圧を上載荷重としてセル底面レベルに作



付図-5 水平地盤反力の例



(a) 回転中心が壁体外にある場合

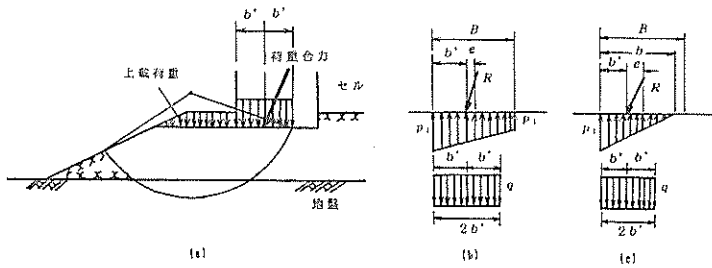


(b) 回転中心が壁体内にある場合

付図-6 壁体の変位モード

均等反力が台形分布の場合 : $q = \frac{1}{4b} \frac{p_1 + p_2}{H}$

均等反力が三角形分布の場合 : $q = \frac{p_1 b}{4b^2}$



付図-7 支持力の検討における荷重条件

用させている。

・支持地盤の強度定数

技術基準では、N値10以下の砂地盤に対しては $\phi = 40^\circ$ 、N値10以上の砂に対しては $\phi = 45^\circ$ を用いるようになっているのでこれに準ずるものとする。

(9) 壁体の滑り出しの検討

壁体底面の滑り出しの検討は、式(24)に示すように、壁体底面におけるせん断力が許容せん断反力を越えていないかの確認によって行う。

$$Q_a = \frac{1}{F} (W + P_v) \tan \phi \quad (24)$$

ここに

- Q_a : 許容せん断抵抗力 (tf/m)
- W : 壁体の重量 (tf/m)
- P_v : 前壁及び後壁に作用する土圧の鉛直分力 (tf/m)
- ϕ : 壁体底面における土の内部摩擦角 (度)
- F : 安全率

(10) セル殻およびアークの板厚の決定

セル殻およびアークの板厚の決定は、以下の式に基づき行っており、セル殻およびアークに発生する最大水平方向引張応力度が、許容応力度を超えないように設計している。

$$\sigma = \frac{100T}{l} \quad (25)$$

ここに

σ : セル殻およびアークに発生する最大水平方

向引張応力度 (kgf/cm²)

l : セル殻およびアークの板厚 (mm)

T : セル殻およびアークに作用する常時の最大水平方向張力 (tf/m)

また、セル殻およびアークに作用する常時の最大水平方向張力 T は、式(26)により求める。

$$T = \{ (r_o H_d' + w) K + r_w h_w \} R \quad (26)$$

ここに

- T : セル殻およびアークに作用する常時の最大水平方向張力 (tf/m)
- R : セル殻およびアークの半径 (m)
- H_d' : 地盤面から上の換算壁高 (m)
- h_w : セル内とセル前面の水位差 (m)
- r_o : 中詰の換算単位体積重量 (=1.0tf/m³)
- r_w : 海水の単位体積重量 (tf/m³)
- w : 載荷重 (tf/m²)
- K : 中詰土圧係数
- セル本体の場合 $K = \tan \phi (\leq 0.6)$
- アーク部の場合 $K = \frac{1}{2} \tan \phi$

本システムにおいては、板厚は式(26)から求められる必要板厚に腐食代(入力値)を加えたものの端数を切り上げて1mm単位としているが、これについては、製作、施工、維持管理の面からも十分検討する必要がある。なお、打設時の応力に対して必要なセル殻の板厚を求める方法として式(27)がある。

$$l \geq 0.322 \sqrt{\frac{RND'}{E}} \quad (27)$$

ここに

l : セル殻の板厚 (cm)

E : 鋼材のヤング率 (kgf/cm²)

R : セル殻の半径 (cm)

\bar{N} : 打設地盤の平均 N 値

D : セルの打設深さ (cm)

また、技術基準によれば、過去に打設実績のあるセル殻の最小板厚は8 mmであり、8 mm程度を板厚の最小値とする事が望ましいとされており、その点を考慮して、本システムでは、必要板厚と腐食代の合計が8 mm以下になった場合においても、決定板厚を8 mmとしている。ただし、実際の板厚は、製作性、施工性を考慮して、設計計算で求められた板厚よりも厚くする場合もある。

港湾技研資料 No.737

1992・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
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 侑つばさ印刷技研

Published by the Port and Harbour Research
Institute, Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1992) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted into a
maching language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複
写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。