

コ ル ゲ ー ト セ ル 工 法

Corrugated Pipe Cellular Cofferdam Engineering Method

小 松 雅 彦* 嶋 文 雄**

Masahiko Komatsu Fumio Shima

間 瀬 倫 一*** 加 藤 親 男****

Rinichi Mase Chikao Kato

Synopsis:

This report describes the cellular cofferdam engineering method using corrugated pipe, with emphasis on design and execution. It explains the design principle currently applied for cellular cofferdam structures in general, touching upon its problems and counter-measures, and outlining the experiments conducted on those structures using corrugated pipe, thereby proposing a design of the cellular cofferdam structures using corrugated pipe.

The report also describes an embankment work which, as one of 25 examples, was executed using corrugated pipe at Mizushima Works of Kawasaki Steel Corporation.

In consideration of potential applications of the cellular cofferdam engineering method for the construction of semi-permanent seashore structures, the report briefs current study being made in order particularly to increase durability and stability of the cellular cofferdam structures using corrugated pipe.

1. 概 要

セル式構造物は、鋼矢板や鋼板などにより形成されたセル殻の内部に土砂を詰めて、重力式構造物を造り、外力に抵抗させるものである。このため、構造主体は中詰土砂であってきわめて安価である。また、セル殻も一般には円形のものが多くセル殻に発生する力はフープテンションのみであり、きわめて少量の鋼材にてセル内土砂の安定を保つことができる。

このような考え方にもとづいて開発されたセル式構造物は、初めは矢板セルとして利用されてい

たがその後わが国においては鋼板セルに発展し、やがてコルゲートシートを利用したコルゲートセルの開発を見るに至った。

1963年当社水島製鉄所の建設にあたり、延長約4 kmにおよぶ耐波性護岸を含む480万 m^2 の海面埋立てを早急に実施する必要にせまられた。

このため各種護岸が検討され、工事の施工速度・経済性、耐久性の面から、コルゲートシートを利用したコルゲートセル工法が採用されることとなった。これがコルゲートセル工法の始めである。

その後は本工法の利点、すなわち

- (1) 構造主体が土砂であり、使用鋼材量がきわめて少ないため経済的である。

* 水島製鉄所土建部部長 工学博士

** 本社建材開発部副部長

*** 本社東京建材部課長

**** 本社東京建材部掛長

(2) 施工は、重機械を必要とせず簡単であり、施工速度は他のいかなる工法より速い。

(3) 構造的にみて安定度がよく、仮設的にも半永久的にも使用できる。

などが次第に認識され、現在では全国各地において利用されている。

2. 設 計 法

2・1 セル式構造物の歴史と設計法の現況

2・1・1 セル式構造物の歴史

セル式構造物の歴史は比較的長く、1908年から1909年にかけてニューヨークの Black Rock Harbor において初めて構築された。また1910年にはキューバの Havana 港において座礁した Maine 号を、修理して浮上させるための仮締切として使用され、種々の問題点はあったが、セル式構造物が広く一般に認識されるに至った。その後アメリカにおいては、各地で実施され、順次設計法、施工法が確立されるに至った¹⁾。

一方、わが国においては、1953年初めて塩釜港において鋼矢板セル岸壁が建設され、その後は全



写真1 暴風時における水島製鉄所のコルゲートセル護岸

国各港においてセル岸壁が盛んに築造されてきた。しかし、これらのセル岸壁の施工上の問題点としては、直線鋼矢板を打込んでセル殻を形成し中詰めを完了するまでに約1ヶ月近くもかかることと、この間の安定性がきわめて悪いこと、打込みのためのガイドリングの設置などのむずかしさなどが指摘されてきた。

そこで、中詰完了までの不安定の期間をなるべく短縮し、短期間に安全に施工するための方法として、従来の直線鋼矢板を1本1本打込んでセル

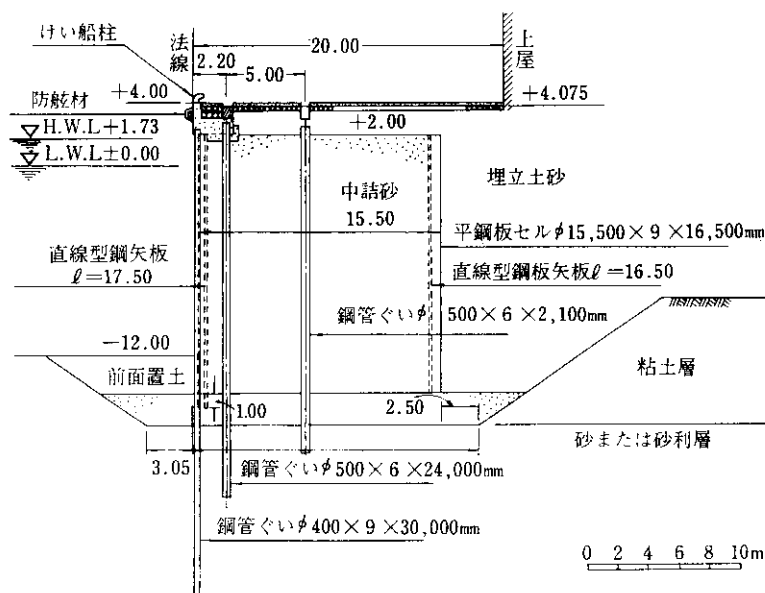


図1 鋼板セル岸壁の標準断面図

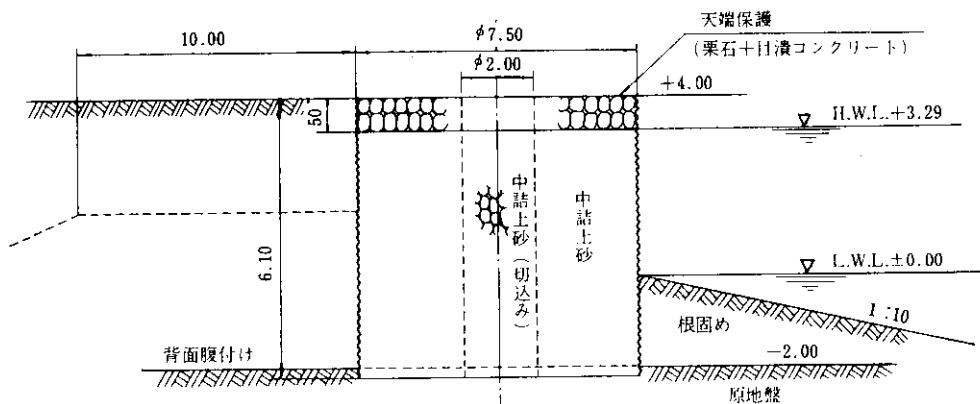


図2 コルゲートセル護岸標準断面図

殻を形成するのにかえて、陸上において平鋼板でセル殻を形成し、これを直接海中に据付け、据付け後直ちに中詰めを実施する方法が考案された。これが平鋼板セル工法であり、神戸港摩耶ふ頭の建設にあたり大規模に使用された。図1はこの標準断面図を示すものである。

その後、1963年に当社では水島製鉄所の建設にあたり、平鋼板セル工法を一步前進させ、使用現場において簡単にボルトにて組立てて施工できるコルゲート鋼板を用いたセル工法を開発し、用地造成用の護岸として使用し、きわめて大きな成果を得ることができた。図2はこの標準断面図を示すもので、現在に至るまで、全国各地において数多く使用されている。

このコルゲートセル工法は、直線矢板によるセル構造とか、平鋼板セルなどに比し一般に小型のもので仮設的なものに使用される例が多い。これは製作されるコルゲートシート自体が、最大7mmの板厚でおさえられていることに起因するものである。

2.1.2 設計法の現況

セル式構造物の設計法については、Karl Terzaghiの考え方が一般に広く用いられてきた。これは、直線矢板を打込んで構築されるセル式構造物を対象としたものである。基本的な考え方は、セル殻内に詰められた土砂および矢板継手部の剪断抵抗で外力に対抗するもので、中詰土砂の剪断

抵抗は構造物の中立軸を通る鉛直面に発生すると考えている¹⁾(図3参照)。

しかし、その後 E. M. Cummings や G. Schneebli などは、セル内土砂の剪断抵抗面は、Terzaghiの提案するような鉛直面でなく、ある傾きを持った傾斜面または曲面であるという考え方を打出している。運輸省の北島博士も、多数の模型実験^{2) 3)}からセル式構造物の外力に抵抗する機構は、図4に示すようにその中詰土砂の性質によって決まるある曲面での剪断抵抗であり、セル殻は、ほとんどせん断抵抗には無関係であるとの考え方を提案している。そして現在わが国においては、セル式構造物の設計はほとんど北島博士の提案にしたがって実施されている⁴⁾。

2.2 セル式構造物の現設計法と問題点

現在、一般の設計に使用している北島博士の設計法は、基本的には鋼矢板セル、鋼板セルおよびコルゲートセルも同一であるのでその考え方について述べる。

2.2.1 設計法の考え方

(1) フープテンション

セル式構造物は重力式構造物であり、主体はあくまでセル殻内の土砂である。セル殻それ自身は中詰土砂を重力式構造物としての機能を発揮させるための補助的なものであり、セル殻の強度を増せば、それに比例してセル式構造物の強度が増加

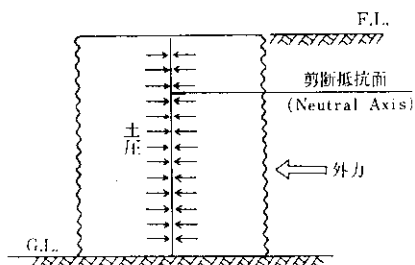


図3 テルツアギーによる剪断抵抗面の図

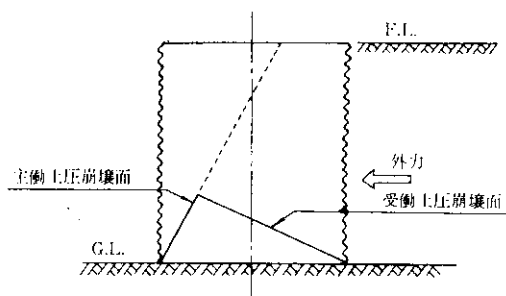


図4 北島博士による剪断抵抗面の図

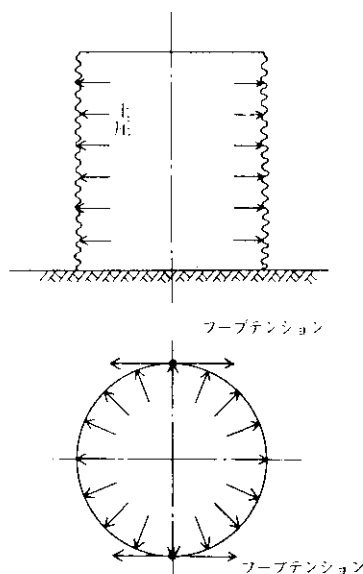


図5 フープテンションの図

するというものではない。

このセル設の役目は図5に示すようにセル中詰土砂を一定の形状に拘束するためのものであり、拘束することによりセル殻は、中詰土砂より土圧を受けることになる。この土圧により鋼材に発生する力がフープテンションとして現れ、セル殻は一般にはこのフープテンションに対して十分安全なる断面であれば良いことになる。

しかし、フープテンションにより必要とされる板厚はきわめて薄いものであるため、実際の板厚決定にあたっては施工上の問題、腐食の問題などを考慮して採用板厚を決めなければならない。また、コルゲートセルの場合には、セル殻はコルゲートシートがボルトにより組立てられたものであるため、ボルト継手部の強度より所要板厚を算定している。

(2) 滑動抵抗

セル殻によって、中詰土砂を拘束されたセル構

造の滑り出しについての安定を考えると、構造物全体がすべり出さないこと、円弧すべりに対して安全であることなどが要求される。

しかし、円弧すべりの問題は、セル式構造物本体の安全性とは直接関係なく、むしろこのような構造物を構築しようとする場所の地盤条件によって決まる問題である。

そこで滑動に対して考えてみると、一般の重力式構造物の場合と同じで、セル本体の重量により生ずる底面の摩擦力によって、滑動力に抵抗することになる。この場合底面の摩擦係数としては、中詰砂か、基礎地盤かどちらかの弱い方の地盤の強さにより決定されることになる。

(3) 転倒抵抗

転倒に対する安全性については、抵抗する構造物がセル殻で囲まれた土砂であるため、鉄筋コンクリートの重力式構造物（たとえばケーソン）のような考え方はできない。そこで、セル式構造物

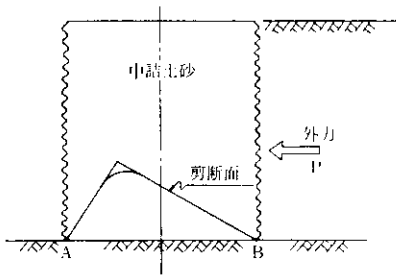


図6 変形抵抗モーメント説明図

を転倒させるように作用する外力に対して、中詰土砂がどのように抵抗するかを考えることが必要となる。

作用転倒力とセルの変位、変形を実験的に調査したところ、ある大きさの転倒力作用範囲では、セルはほとんど変位、変形を起こさないが、この大きさを越えた転倒力が作用すると、セルは急激に変形していきやがて転倒することが明らかとなった。この変位、変形がほとんど進行しない範囲の最大転倒力につり合うセル内に発生する抵抗モーメントを変形抵抗モーメントと呼び、最終的な転倒時に発揮される抵抗モーメントを転倒抵抗モーメントと呼ぶことにした。そして変形抵抗モーメントは図6に示すようにセルに転倒力 P が作用すると、底部のB点からは次第に受働土圧崩壊面が進行し、A点からは主働土圧崩壊面が進行する。そして、ある荷重強度 P に至ると、両崩壊面は交わることになる。この交わる時点での抵抗モーメントが、セルの変形抵抗モーメントである。

さらに作用外力が増大していくと、セルは急激に前傾することになり、図7に示すようにA点を中心として回転を生ずることになる。このため、セルの前壁、後壁に中詰土砂がぶら下がったのと同じ効果が発揮され、この土砂重量が転倒に対して抵抗するようになる。中詰内に発生するすべり面は、変形抵抗モーメント時のすべり面より小さい値となってくるが、全体の抵抗はぶら下がりの影響のために大きくなる。

(4) 前趾の押込み力

図7に示したA点には、転倒力によりセル殻より伝えられる相当大きな押込み力が作用すること

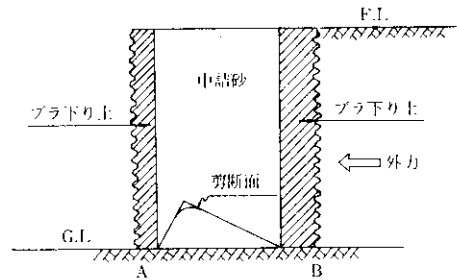


図7 転倒抵抗モーメント説明図

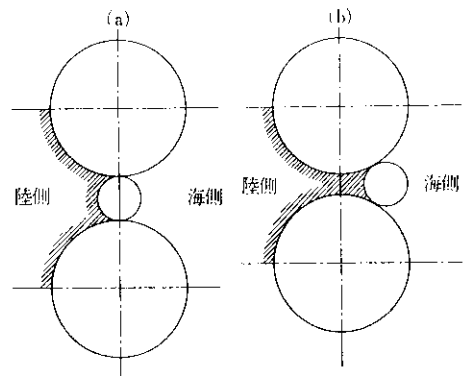


図8 セル護岸の一般平面図

になる。これに対して、十分安全な構造とする必要があるので、この対策としては、セル殻下端部にシュープレートを設定したり、セル殻下端部が計画海底面下になるように、あらかじめ掘削してセルを据付け、その後埋戻すなどの方法が考えられる。

(5) 波に対する安定性

セルに作用する波の問題に関しては、その据付け位置が比較的波浪の高い所である場合には、一般的に図8(a)のような形式にすると、その継手部に波が集中し跳波を生じ、セル天端の保護コンクリートや背面の構造物に悪影響を与えることもあるし、前面が洗掘されることも考えられる。そこでこのような場合には(b)タイプを採用することにより波の継手部への集中を排除して構造物の安全性を高めることができる。しかし、セル前面の洗掘に対しては、来襲波高より考えて、必要と思われる洗掘防止工を実施する必要がある。これを怠るとセル前面が掘削され、ひいては中詰土の流失

ということも考えられ、セルの転倒に結びつくので重要な問題である。

2・2・2 設計法の提案³⁾

以上の設計法の基本的な考え方を計算式で示すと式(1)～(5)のようになる。

(1) セルのすべり出し

$$F = W \tan \phi / P \quad \dots\dots\dots(1)$$

P : セルに作用する外力 (t/m)

W : 単位長さ当りのセルの重量 (t/m)

ϕ : 中詰または基礎の内部摩擦角の小さい方の値 (°)

F : 安全率

常時 2.0

地震時 1.0以上

(2) 抵抗モーメント

i) 変形抵抗モーメント

$$\left. \begin{aligned} M_{rd} &= \gamma H^3 \cdot R_d / 6 \\ R_d &= \nu^2 (3 - \nu \cos \phi) \sin \phi \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

M_{rd} : 変形抵抗モーメント (t・m)

γ : 中詰の単位体積重量 (t/m³)

H : 海底面から天端までの高さ (m)

R_d : 変形抵抗係数

ν : セル壁高幅比 $\nu = B/H$

B : セルの有効幅 $B = \sqrt{3} R$

R : セルの半径 (m)

ϕ : 中詰の内部摩擦角 (°)

ii) 転倒抵抗モーメント

$$\left. \begin{aligned} M_{ri} &= \gamma H_i^3 \cdot R_i / 6 \\ R_i &= \nu_i'^2 (3 - \nu_i' \cos \phi) \sin \phi \\ &\quad + 3(\alpha^2 - \beta^2) + 6 \nu_i \cdot \beta \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

M_{ri} : 転倒抵抗モーメント (t・m)

γ : 中詰の単位体積重量 (t/m³)

H_i : セル下端より天端までの高さ (m)

R_i : 転倒抵抗係数

ν_i : セルの壁高幅比 $\nu_i = B/H_i$

B : セルの有効幅 (m)

ν_i' : 中詰中央部の壁高幅比

$\nu_i' = \nu_i - (\alpha + \beta)$

α : $K_a \tan \delta$

β : $K_a \tan \delta + \frac{1}{2} \cdot \nu_i' (4 - \nu_i' \cos \phi) \cdot \tan \phi \tan \delta$

K_a : クーロンの主動土圧係数

δ : 壁面摩擦角 (°)

ϕ : 中詰土の内部摩擦角 (°)

となる。ただし安全率は、式(2)は1.0、式(3)は1.1以上とする。

(3) セル殻の最大応力

$$T = \gamma H R \cdot \tan \phi \quad \dots\dots\dots(4)$$

T : セル殻高さ1m当りの最大張力 (t/m)

γ : 中詰の単位体積重量 (t/m³)

H : 海底面からセル天端までの高さ (m)

R : セルの半径 (m)

ϕ : 中詰土の内部摩擦角 (°)

この T によりセル殻に発生する応力は、コルゲートシートのボルト継手部の許容力以下でなければならない。また、海底上 $H/2$ までの高さは、計算上の最大板厚を使用することが望ましい。

(4) セル前趾に作用する押込み力

$$V_i = 0.5 \gamma H_i^2 \cdot \tan^2 \phi \quad \dots\dots\dots(5)$$

V_i : セル前趾1m当りの押込み力 (t)

γ : 中詰の単位体積重量 (t/m³)

H_i : セル下端より天端までの高さ (m)

ϕ : 中詰土の内部摩擦角 (°)

この V_i の値は、転倒抵抗モーメントが発揮される時の押込み力であり、この V_i に対して、据付け地盤は安全なる地盤強度を持っていることが要求される。

2・2・3 設計法の問題点と対策

以上、設計の基本的な考え方とその原式の説明を記したが、現在コルゲートセルにおいてその設計上の問題点となっていることは、まずセル前趾に発生する押込み力をどのように処理するかということ、すなわち、押込み力は一般に大きな値となるので、セルに根入れを取ってやるか、シェープレートを取付けて押込み力を分散するかなどの方法を考える必要がある。しかし、セルの据付け地盤そのものが軟弱であるならば、このような方法でも解決し得ない場合が多く、そのときには、据付け地盤そのものを改良することが必要となってくる。これは、セルそのものが中詰土砂によっ

て形成される重力式構造物であるので、押込み力だけの問題ではなく、軟弱地盤に使用するときには、構造物全体の安全性から考えても構造物に適した地盤に改良することはぜひとも必要である。

次の問題点として考えられることは、セル殻として使用するコルゲートシートの腐食の問題である。コルゲートセルそのものは、一般に設計上必要となる板厚はきわめて薄いので、腐食代としてある程度の板厚を考え、設計上必要とする板厚にこの腐食代を加えて使用板厚を決定している。しかし、スブラッシュゾーンなどは腐食速度がきわめてはげしいので、耐用年数の長い構造物（たとえば20年以上）の場合には、腐食のためにのみ相当厚い板厚を使用することが必要となってくる。そこで、現在耐海水性鋼材マリナーや耐候性鋼リバーテンの利用を考え、長い耐用年数を必要とする構造物や大型の構造物（たとえば直径10m以上、高さ10m以上）にもコルゲートセルを使用できるようにしている。

そのほかセル前面のスクアー、セル内土砂の波による吸い出しなどが設計上の問題点として考えられる。スクアーに対しては、捨て石やサンドマットなどの使用を考え、吸い出しに対しては、コルゲートシートのボルト継手部に、パッキン材（KCパッキンやコンプリバンドなど）を使用することにより対処している。

2.3 コルゲートセルの設計法に関する実験

コルゲートセルの設計法を確立するにあたり、まずセル式構造物一般に対する設計法について各種の検討を行なうために、運輸省港湾技術研究所、同省第三港湾建設局および当社との協同研究により、当社の水島製鉄所において各種の模型実験を実施した³⁾。その後四日市港開発事業団においてコルゲートセルの実験が計画され、本工事の施工業者である大成建設と当社が協同して現在実験を進行中である。

このほか波の実験に関しては、大阪市立大学工学部に依頼して、主として波圧、スクアーの問題などに関し実験を行なった。³⁾

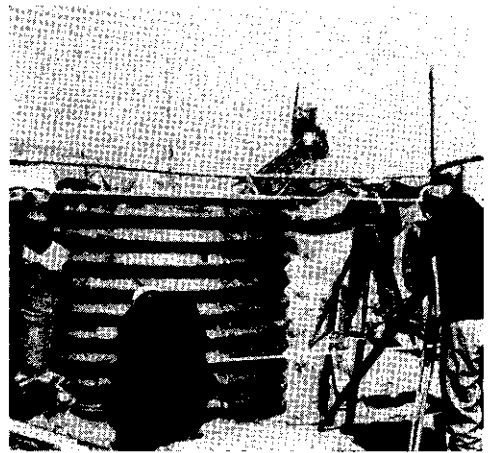


写真2 水島製鉄所におけるコルゲートセルの模型実験

2.3.1 水島製鉄所における実験³⁾

この実験は、鋼板セル構造物の設計法の確立を最終目的とした実験であった。しかし実験時点においては、この構造物の破壊機構についてなにもわかっておらず、どのような測定方法を実施するのが妥当であるかもわからなかった。そこで、まず実験を第1シリーズと第2シリーズとに分け、第1シリーズにおいては、なるべく破壊しやすい模型を造り、その変位、変形と荷重の関係、破壊機構などを調査することとし、模型としては、直径2m×高さ2mの極薄亜鉛引鉄板（板厚0.2mm）のセル殻を使用した。

第2シリーズは第1シリーズの実験結果を考察し、セル殻の応力、底面土圧などの測定を加えた。そして、これらの測定に適するようなセル殻として、直径約2m×高さ約2mのものを選り、平鋼板セルにおいては板厚1.5mmのものを使用し、コルゲートセルにおいては板厚2.7mmのものを使用した。そして模型の数は、第1シリーズでは5基、第2シリーズでは8基（内コルゲート2基）について実験を実施し、各種のデータを得ることができた。（写真2参照）

実験結果の主たるものは、変形抵抗モーメントと転倒抵抗モーメントを分離して考えたこと、セル内土圧の土圧係数を導き、この利用方法を決めたこと、セル前趾に作用する押込み力の考えを導き出したことなどが主としてあげられる。

2・3・2 四日市港における実験

この実験は、四日市港霞ヶ浦地区における埋立工事の護岸に使用したコルゲートセルについて実物実験を実施したものであり、実験の目的は、コルゲートセル護岸の安全性の検討にある。

実験に使用したコルゲートセルは写真3に示すように直径5.0m、高さ4.9m、板厚3.2mmで、測定項目としては、フープテンション、前趾の押込み力、背面主働土圧、前面受働土圧、セルの傾斜天端の変位などである。

実験は現在ほとんど完了しており、実験データの解析中であるが、設計法上特に不合理であると思われる点はいまのところ見当らず、コルゲートセルの安全性も十分であることが確かめられた。

2・3・3 大阪市立大学における波の研究⁵⁾

実験の目的は、コルゲートセル護岸に作用する波圧、跳波現象、洗掘などに関し、これを実験的に求め、その対策をあわせ考えることであった。

実験時において考慮した波は、周期 $T_p=4\sim7$ sec、波高 $H_p=1.3\sim3.4$ m、波長 $L_p=24.4\sim60.2$ m であり、コルゲートセルの直径は $D_p=6.0\sim7.5$ m、継手部の直径は $d_p=1.5\sim2.0$ mである。また前面水深としては、 $h_p=3.8\sim8.0$ m、海底勾配は、水平な場合と $1/4$ 勾配の場合について実施した。実験水槽の様子は写真4に示す。

実験の結果は、波圧に関しては、コルゲートセルの継手を前面に置く(図8(b)参照)ことによ

り、直立壁に作用する波圧と大差ないものと考えられることが明らかとなった。跳波に関しては、 $DH/L^2=0.01$ (D =セルの直径、 H =波高、 L =周期)以下なら跳波はほとんど発生しないことがわかった。また、洗掘の問題については、コルゲートセル凹部においてその発生がみられるので、この部分については十分保護する必要があることも認められた。

3. 施工法⁶⁾

施工法に関しては、当社水島製鉄所におけるコルゲートセル護岸の実施例表1にしたがって、その施工順序、注意事項、工事費などについて述べる。

3・1 組立て

最初に最上段を組み、これをゴライアスなどでつり上げ、順次下へ組みたしてゆく方法をとった。この方法によれば、作業員が常に地上で組立作業をやるので安全である上、同時に数枚のシートを取付けて組めるので、能率が上がるし、ボルト締付けの検査も容易であり、また洩砂を防ぐために縦継目にパッキン(コンプリバンドなど)をそう入する作業も容易で確実である。

参考までに、水島における組立の使用機械を表2に、歩掛りの一例を表3に示す。

3・2 据付け

組立ての終わったセルは、起重機船でつりおろし



写真3 四日市港におけるコルゲートセル護岸の実物実験

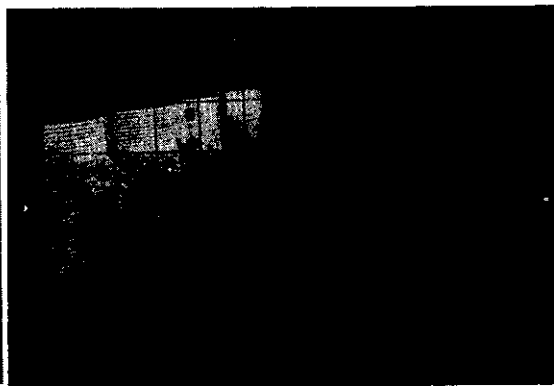


写真4 大阪市立大学におけるコルゲートセルに作用する波の実験

表1 水島製鉄所におけるコルゲートセル護岸一覧表

工 事 名	径 (m)	高 (m)	管 数 (個)	延 長 (m)	工 費 (円/m)	備 考
37/A地区埋立用コルゲート護岸工事	5.09	7.75	106	580	143,500	中詰、根固腹付含む
38/ 埋立地コルゲート護岸工事	5.09	7.75	45	230	143,500	"
"	7.72	7.75	122	1,080	154,800	中央継手付き "
"	7.72	7.75	50	390	157,200	"
39/ コルゲート護岸工事	7.72	7.75	60	470	156,800	前面継手付き "
"	7.50	7.90	52	410	155,500	" "
"	7.50	6.10	79	770	108,700	中央継手付き "
41/ 防波護岸工事	7.40	8.50	217	1,650	149,000	(リバーテン使用) " (仮防波堤)
41/ 南地区コルゲート護岸工事	7.50	5.35	71	680	102,200	中央継手付き "
"	7.40	7.30	85	655	172,200	前面継手付き "
42/ 南地区導流堤工事	7.40	8.50	13	100	144,600	(マリナー使用) "
42/ 防波護岸工事	7.40	8.50	76	570	157,500	"

表2 使用機械一覧表

工 種	機 械 名	数 量
組 立	ゴライアス 10t吊	1 基
	レッカー 5t吊	1 台
	コンプレッサー 15HP	2 台
	インパクトレンチ	4 台
	小型トラック 3t積	1 台
仮置 運搬	起重機船 150t吊	1 隻
	運搬台船 鋼船50t積(9×17m)	1~2 隻
	" 鋼船30t積(6×15m)	1 隻
	ひき船 木製 80HP	"
	" 45HP	"
中根 詰固 天端保護	通船 " 10HP	"
	小型電動ポンプ船 750HP	1 隻
	吹込み船 鋼製(6×15m)	"
	台 船 木製30t積	"
	" 鋼製30t積	"

表3 組立歩掛例

名 称	形状寸法	単 位	数 量	備 考
嵩 工		人	6	
土 工		"	8	コルゲートシート
溶 接 工		"	1	小運搬他
松 丸 太	12φ×400	本	4	
ラ ッ ク	3t積	台	0.5	
レ ッ カ ー	5t吊	"	0.5	運転工1 助手1
コンプレッサー	20HP	"	1	
ゴライアス	10t吊	"	1	
パ ッ キ ン		m	90	
雑 品		式	1	

(φ7.4m×H7.3m×t3.2mmセル1基/日)

付近の風波を受けない浅い海面に仮置きした。仮置場から起重機船で台船に積み、現場にえい航して起重機船で据付けを行なった。表2のような船舶を使用して、据付けの速さは約60~70基/月であった。当所では、据付けたセルは24時間以内に波を受けても安全な状態まで中詰めを完了することを鉄則としたので、中詰め能力からも据付け速度が制限を受けた。また現場には最大1.6ノットの東西方向潮流があり、護岸延長が長くなるにつれ両端部で流れがさらに急になり、据付け可能な時間(すなわち潮のたるみ)は短くなった。

据付けに先立ち、据付け地盤の不陸をならし、軟弱層が存在するときは除去して、砂、捨石と置換えるなどの基礎ごしらえが必要なことは一般の重力式構造物と同様であるが、ケーソンやブロックを据える場合ほどの精度を要しないので、当所ではすべて小型ポンプ船で施工し、潜水夫を使用しなかった。多少の不陸があっても、セルをいったん据えて傾きを調べ、引上げて台船上で低い方のセル下端に松丸太をくくりつけて据付けけるという野趣横溢した方法で解決できた。据付け地盤が軟泥やゆるい砂の場合、セル底の2~3カ所に松丸太のいわゆるゲタをはかせたり、セル下端周囲にシュープレートを取付けて、セルの安定をはかったこともあり、またシュープレートのないセル

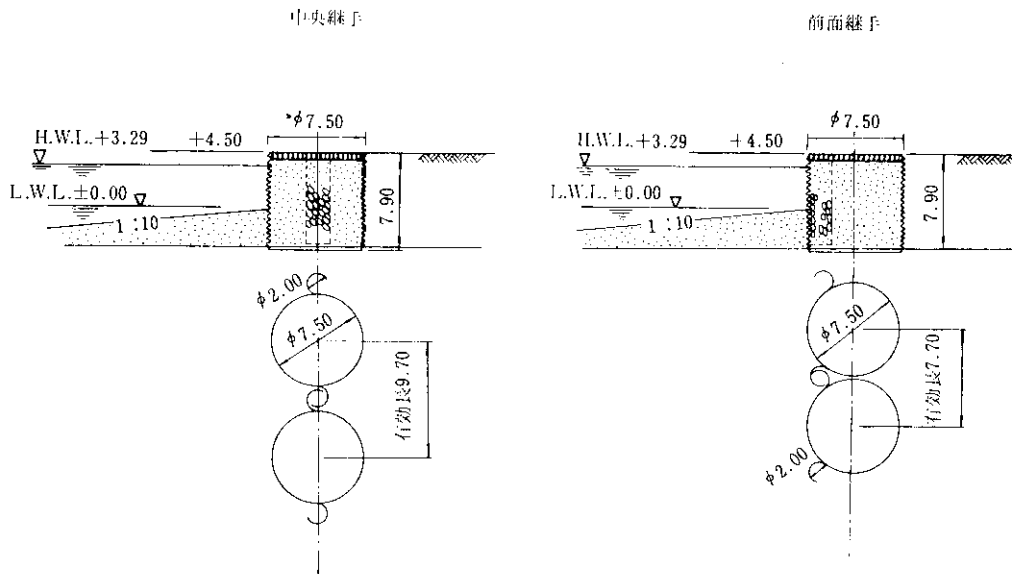


図9 コルゲートセル継手

を据えて、上端の1個所を間けつ的につり上げて振動を与え、ゆすり込んでうまく収めることもあった。

継手には種々の形状のものを試用したが、最も施工が容易で確実にゆくのが、径の小さいコルゲートの半円形ないし $\frac{3}{4}$ 円形を取付け、据付ける時これをオーバーラップ部が密着するように握手させて、中に石を詰める方法である(図9参照)。当所で使用した形状では、上から差し込まなくても、横から差し込んで叩いてかみ合わせる ことができ、後から据えるセルを、据付け地盤より 10cm 位の所までおろして止め、継手どうしを鉄線で結び締付けながらセルをおろせば、オーバーラップ部がよく密着することにより、砂の流失がほとんど起らない。

3・3 中詰め、根固め(使用機械は表2)

セル据付け完了後なるべく速く中詰めをして、工事中の災害を受けないようにするのが、コルゲートセル施工上の最も肝要なことであろう。コルゲートセルは波付けによって補強されているので、空で弱い波を受けても矢板セルのような“く

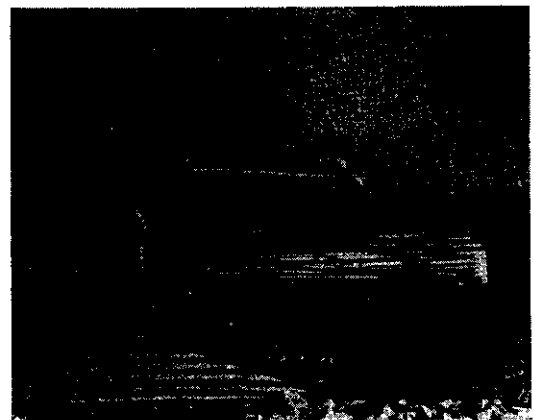


写真5 水島製鉄所におけるコルゲートセル護岸の中詰風景

らげモーション”はやらないが、強い波を受けると滑動、傾斜、変形、破壊を生じる。当所では、風速5~6 m/sec までは空でも異常がなかったし、厚さ2 m程度の中詰めがあれば、季節風や台風のような強風以外ならセルの傾斜、転倒は起らないようである。それで中詰めと根固めを次のように行なっている。

- | | |
|-----|---|
| 中詰め | 第1段階：設計断面に対し60%程度（据付け後天候の変らないうちになるべく速く） |
| | 第2段階：残量，最干潮時には施工しない。 |
| 根固め | 第1段階：所要量の $\frac{1}{2}$ 位，中詰第1段階と同時に施工 |
| | 第2段階：所要量の $\frac{1}{2}$ 位，中詰第2段階と同時に施工 |
| | 第3段階：所要量の $\frac{1}{2}$ 位，いつでもよい |

中詰砂が潮流によって次に据付ける場所に流れていって堆積しないようによく注意する必要がある。据付け地盤上に軟泥やゆるい砂があり，セルを据えた時堅い地盤まで達していない場合は，不同沈下や中詰砂の流失による傾斜が起こりやすいから，先に根固めを約1m以上施工してから中詰を始める。中詰め，根固めには，セルの前後と内部に同時に砂を落せるような吹込み船を使用した。小型ポンプ船からの排砂管がこれに接続している。吹込み船が使用できない場所では，据えたセル上に排砂管をはわせ，“もらし吹き”で前後に根固めを施工したこともある。水中ポンプで中詰砂を容易に撤去できるから，中詰めの最中セルが傾いてどうにも姿勢を正すことができず，据直さねばならなくなった場合にそなえて水中ポンプを準備しておくとうい。

また，干潮時に中詰めを急速に行なうと根入長の小さいコルゲートセルは，内外水位差が大きくなってセルのすぐ外側に“ボイリング現象”を起こし，中詰砂が急速に流失してセルが傾くことがある。また余水が天端から溢流落下して外側地盤を洗掘し，セルが傾くこともある。それでセル背面の据付け方向からなるべく離れた位置の小潮干潮位よりやや高め（水島の例：+1.5m）のシート1枚を，木片をはさんで長いボルトで仮締めして，ここから中詰の余水が溢流できるようにしておき，その高さまで中詰土砂が上がってきたとき木片をとりボルトを本締めして閉じ，さらに上部の中詰めを行なう方法により上記の心配がなくなった。

継手の中詰めには，上部厚さ1m位は20kg以上，それから下には5kg内外の目つぶし用細粒

を含んだくず石を使用したのが最も好結果であった。

3・4 天端保護（使用機械は表2）

セルの中詰め完了後，天端の砂をすき取り，30～50kgの割栗石を小端立て，目つぶし石と砂で入念に目つぶしをした上に，10cm程度のコンクリートを打つという方法をとっている。はじめは割栗石に目つぶしコンクリートを施したが，波にたたかれると剝離したり，割れたりするので上記の方法に改めた。天端保護工施工後中詰め砂が圧密沈下などして中詰砂との間に隙間ができると，強い波力を受けた時壊れやすい。割栗石層をおいてしばらく置き，中詰砂が落ち着いてから上部のコンクリートを打つのが好ましい。

3・5 工事費

水島製鉄所で実施したコルゲートセル護岸延長は，表1のごとくすでに総延長約7,500mに達した。これらは護岸法線に沿い砂層（高梁川河口州）が広く分布し，天然の海底にいきなりセルを据えられる所も多く，基礎ごしらえの工事費が非常に安くなったとはいえ，平均水深-4～-5mの所に季節風，台風にも耐え得る護岸が表1に示すような1m当り工事費でできることに，ご注目いただきたい。施工も簡単容易で，施工速度も速く，耐久性は二の次としても，先行投資を極力少なくしたいという企業の建設の目的とするところには十分そい得たと思っている。

万能工法というものはあり得ないが，このように簡単な構造と工法であるから，それぞれの現場条件に適合するようにさらに改良工夫を加えればより広い分野が開けるものと期待している。

4. 施工実績とその応用

4・1 コルゲートセル施工実績と施工内容

現在までのコルゲートセル施工実績は，表4に示すとおりである。

このうち用途別にみると，実施例25件のうち護岸（本護岸，仮護岸）が17件，岸壁物揚場が6件，

防波堤とかその他の用途が2件で、大半は護岸、または岸壁として使用されている。

護岸をさらに分けてみると、埋立地における護岸のような、いわゆる5～10年程度の耐用年数を必要とする仮護岸が、量的にはもっとも多い。

しかし、岸壁関係には、ある程度長い耐用年数を要求される半永久的なものが多くなりつつある。

また、特殊な使用例としては、網代地区において道路用の防波護岸として使用したもののようにコルゲートセルを、図10のような形状となし、このセル内部はすべて、コンクリートを打設する方法により海中作業をなくし、短期間に永久護岸を構築することに成功した例などがある

(写真6参照)。

また、一般にコルゲートセルは、良質地盤に使用されるものが多いが、四日市港の場合には、軟弱地盤を地盤改良したのち、コルゲートセルを設置している(写真7参照)。

そのほか、マリナースチールを使用した半永久的な岸壁などは、最近のコルゲートセルの使用方向を示すものとして興味深いものがある。

4・2 コルゲートセルの応用面の開発

今後、コルゲートセルの改良面としては種々のものが考えられるが、その基本となる問題は、いかにしてコルゲートセルの耐用年数や構造物としての安定性を増加するかということである。この問題



写真6 熱海道路の網代地区で使用されたコルゲートセル防波護岸

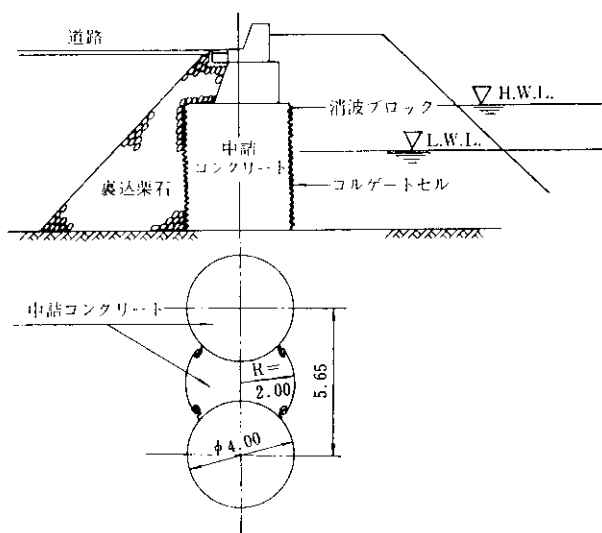


図10 熱海道路のコルゲートセル防波護岸



写真7 四日市港において使用されたコルゲートセル護岸

表4 コルゲートセル使用実績例

発注者	施工場所	使用目的	主 な 仕 様
ブルドーザー工事 (株)	淡路島	岸壁	寸法 $\phi 7,670 \times h 8,200 \times t 4.0 \sim 4.5 \text{mm}$ (亜鉛メッキ付) 水深 4.0m 天端 +5.0m 延長 約 320 m
北九州港管理組合	門司地区	護岸	寸法 $\phi 5,000 \times h 4,600 \times t 2.7 \text{mm}$ (黒皮) 下部砂マウンド実施 延長 約 600 m
"	日明地区	"	寸法 $\phi 6,000 \times h 5,500 \times t 2.7 \text{mm}$ (黒皮) 延長 約 100 m + 150 m = 250 m
鳥取県企業局	境港	"	寸法 $\phi 6,000 \times h 5,500 \times t 3.2 \text{mm}$ (亜鉛メッキの上コールドタルエポキシ塗装) $\phi 6,000 \times h 3,250 \times t 3.2 \text{mm}$ 延長 約 2,000 m
秋田県 "	船川港	"	寸法 $\phi 6,000 \times h 3,700 \times t 3.2 \text{mm}$ (亜鉛メッキ付) 上部にバラベット付 延長 約 350 m
東京都港湾局	13号埋立地	"	寸法 $\phi 4,000 \times h 3,700 \times t 2.7 \text{mm}$ (黒皮の上コールドタル塗装) 延長 約 100 m
"	大井埋立地	"	寸法 $\phi 5,500 \times h 4,900 \times t 2.7 \text{mm}$ (黒皮の上コールドタル塗装) 延長 約 2,500 m
長崎県 北開港振興局	川棚港	防波堤	寸法 (外) $\phi 5,000 \times h 4,450 \times t 2.7 \text{mm}$ (黒皮) (内) $\phi 4,000 \times h 4,450 \times t 2.7 \text{mm}$ 型枠材として使用
愛知県三河港務所	三河港	物揚場	寸法 $\phi 6,000 \times h 5,200 \times t 3.2 \text{mm}$ (亜鉛メッキ付) 延長 約 100 m
"	"	護岸	寸法 $\phi 5,000 \times h 4,000 \times t 3.2 \text{mm}$ (黒皮) 延長 約 190 m
函館市	函館港	"	寸法 $\phi 8,500 \times h 7,000 \times t 3.2 \text{mm}$ (黒皮) $\phi 8,500 \times h 8,500 \times t 3.2 \text{mm}$ 延長 約 190 m
当社千葉製鉄所	生浜地区	"	寸法 $\phi 7,500 \times h 9,000 \times t 3.2 \text{mm}$ (コールドタルエポキシ塗装) 延長 約 1,000 m
" 水島製鉄所	水島	"	寸法 (1例) $\phi 7,500 \times h 7,900 \times t 3.2 \text{mm}$ (黒皮) 延長 約 8,000 m (1部リバーテンおよびマリナー使用)
静岡県 熱海道路事務所	網代	"	寸法 $\phi 3,500 \times h 4,900 \times t 2.7 \text{mm}$ (黒皮) 延長 約 400 m 型枠材として
秋田県企業局 第2期工事	船川港	"	寸法 $\phi 3,000 \times h 2,700 \times t 2.7 \text{mm}$ (亜鉛メッキ付) 延長 約 240 m
愛知県企業局	衣浦港	"	寸法 $\phi 6,000 \times h 6,100 \times t 3.2 \text{mm}$ (L. W. L 以上はエポキシ) 延長 約 2,600 m
四日市港 開発事業団	霞ヶ浦地区	"	寸法 $\phi 5,000 \times h 4,900 \times t 3.2 \text{mm}$ (黒皮) $\phi 6,000 \times h 5,500 \times t 3.2 \text{mm}$ (1部メッキ付) 延長 約 2,900 m
日向・延岡新産 都市建設局	宮崎県日向市 細島	"	寸法 $\phi 6,000 \times h 6,100 \times t 3.2 \sim 2.7 \text{mm}$ (黒皮) 延長 約 340 m
鹿児島県 開発事業団	谷山港	護岸	寸法 $\phi 5,000 \times h 4,900 \times t 2.7 \text{mm}$ (黒皮) 延長 約 220 m
神戸市港湾局	神戸港第4 突堤地先	捨石止	寸法 $\phi 15,000 \times h 13,300 \times t 3.2 \text{mm}$
神戸市港湾局	"	ケーソン 据付用 築島護岸	寸法 $\phi 7,500 \times h 8,500 \sim 7,300 \times t 3.2 \text{mm}$ (黒皮) 延長 約 200 m
山口県土木建築部	宇部港	岸壁	寸法 $\phi 5,000 \times h 6,700 \sim 6,100 \times t 3.2 \text{mm}$ (黒皮) 延長 約 35 m
中国電力(株)	原子力発電所 (島根県)	"	寸法 $\phi 6,500 \times h 6,100 \sim 3,100 \times t 7.0 \text{mm}$ (黒皮) 延長 約 150 m
尾道造船(株)	尾道市	ドック 岸壁	寸法 $\phi 9,500 \times h 7,900 \times t 3.2 \sim 5.3 \text{mm}$ (黒皮) (マリナー使用) 延長 約 40 m
岸本造船(株)	広島県大崎島	岸壁	寸法 $\phi 10,500 \times h 6,700 \times t 4.0 \sim 5.3 \text{mm}$ (黒皮) (マリナー使用) 延長 約 175 m

が解決されるにつれて、順次その応用面も広がってゆくものと考えられる。

このうち耐用年数を増加する問題については、コルゲートセルの材質面の改良と構造型式の改良の両面より開発を進めている。すなわち、材質面においては、耐海水性鋼マリナーや耐候性鋼リバーテンの使用により設計上必要とされる純板厚を薄くおさえると同時に、海水に対し腐食しにくい鋼板で耐用年数を大幅に引上げようとするものである。また構造面での改良としては、コルゲートセルの壁体をダブルウォール（2重セルとする）とし、壁体を形成する部分はプレキャストコンクリートにて鉄骨コンクリート壁体を形成するようにして、永久構造物として使用し得るような方法を

考えている。

セルの構造物としての安定性の増加については、現在種々の実験研究を進めているが、その一例として軟弱地盤のような場合には、ある程度コルゲートセルを現地盤内に沈設して安定性を増加させることも実験中である。

このほか、単純な応用面としては、干拓堤防のコアーとしてコルゲートセルを使用することも考えられている。これは、作業基地としてのコアーを短期日のうちに構築し、あとの作業に便利にようにすることや締切り時期を早められるなどの利点がある。また、使用例はまだ少ないが、ケーソン工事などの築島用や海中連絡道路などにも使用されようとしている。

参 考 文 献

- 1) Karl Terzaghi: Stability and Stiffness of Cellular Cofferdams A. S. C. E. Transaction, 110 (1945)
- 2) 北島昭一: セル岸壁の安定性に関する研究, 運輸技術研究報告, 12 (1962. 5),
- 3) 運輸省港湾技術研究所, 第三港湾建設局, 川崎製鉄(株): 鋼板セル試験報告書, (1966. 10),
- 4) 日本港湾協会: 港湾構造物設計基準
- 5) 大阪市立大学工学部, 川崎製鉄(株): コルゲートセルに関する波の研究報告書, (1967. 7),
- 6) 小松雅彦: コルゲート鋼板を利用した護岸築造工事, 第12回全国港湾工事報告会, (1966. 12),