

# 敦賀港における鋼製円筒ケーソンを用いた護岸の建設

## Seawall Construction Using Cylindrical Steel Caisson at the Port of Tsuruga

田端竹千穂/Taketiho Tabata・運輸省 第一港湾建設局 新潟調査設計事務所 所長

島田 敬/Takashi Shimada・関西国際空港㈱ 技術部 企画課長 (元運輸省 第一港湾建設局 敦賀港工事事務所 所長)

柳本泰伴/Yasutomo Yagimoto・建設エンジニアリング事業部 土木技術研究室 課長

北村卓也/Takuya Kitamura・建設エンジニアリング事業部 東京土木鉄構開発・設計室 担当課長

### 要 約

鋼製円筒ケーソンは、円筒形の鋼板セルの下端に鉄筋コンクリートの底版を結合したケーソンであり、護岸、岸壁、防波堤等の重力式壁体として用いられる。

鋼製円筒ケーソンは、運輸省と住友金属工業㈱が共同で開発している新しいタイプのケーソンであり、福井県敦賀港のフェリー埠頭における護岸建設工事に初めて採用された。この護岸建設工事は、運輸省の直轄港湾整備事業の一部として進められている(1991年着工、1996年完成予定)。

本論文は、鋼製円筒ケーソンに関し、以下の事項について報告する。

- i) 鋼製円筒ケーソンの基本構造および建設工程の概要、ならびにその特長
- ii) 敦賀港における護岸建設工事の概要
- iii) 模型振動実験結果

### Synopsis

A Cylindrical steel caisson consists of a steel-plate cell and a reinforced-concrete base slab which is combined with the cell bottom, and is used in gravity type walls for seawalls, quaywalls, and breakwaters.

The cylindrical steel caisson is an innovative kind of caisson that is being developed jointly by the Ministry of Transport and Sumitomo Metal Industries, Ltd., and was adopted for the first time in the construction of the seawall for a ferry boat terminal at the Port of Tsuruga, Fukui Prefecture, Japan. The construction of the seawall is being carried out as part of a project aimed at improving port and harbor facilities under the direct supervision of the Ministry of Transport (construction at the Port of Tsuruga began in 1991 and will be completed in 1996).

This paper describes three major subjects concerning the cylindrical steel caisson :

- 1) Outline and summary of the basic design, technology and structure of the cylindrical steel caisson, its easy construction procedure and the advantages of this technology.
- 2) Outline of the application of the cylindrical steel caisson to construction at the Port of Tsuruga, and
- 3) Results of the shaking table test using model structures.

## 1. はじめに

鋼製円筒ケーソンは従来のコンクリートケーソンと同様に、各種港湾・海岸工事に於いて重力式壁体として用いられる。

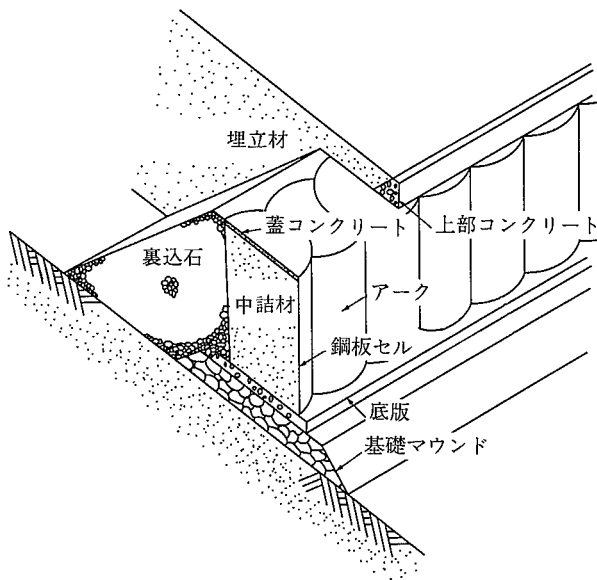
埋立護岸として使用した場合の構造例を第1図に示す。

海底に造られたマウンド上に鋼製円筒ケーソンを間隔を空けて据え付け、隣合うケーソンを一對の円弧状のアーチで連結し、連続壁体を構築する。壁体内には、砂等の中詰

材を充填して重力式構造物とする。

鋼製円筒ケーソンはケーソン側壁が薄肉の鋼板で構成されているため、コンクリートケーソンと比べてケーソン本体の重量が軽量化されている。そのため、ケーソン据付け用の作業船舶が小型化できる、水深の浅い海域でも浮上曳航することができる等の数々の特長を有する。

本論文は、この鋼製円筒ケーソンの概要を報告することを目的とする。



第1図 鋼製円筒ケーソン一般図

## 2. 鋼製円筒ケーソンの概要

### (1) 鋼製円筒ケーソンの構造

鋼板セルとコンクリート底版の構造およびそれらの結合方法を以下に示す。

#### a 鋼板セル

鋼板セルは胴板と呼ばれる薄肉の鋼板製の円筒体に、円周リブ・縦リブ等の補強部材と、アークを連結するための継手を取付けた鋼構造物である。

継手は、胴板に溶接した一對のL形金物から構成されており、一般に、鋼板セルの外面に4箇所取り付けられる。

#### b コンクリート底版

コンクリート底版は、四角形、八角形、円形等の形状をした鉄筋コンクリート製の平板である。

第2図に示す例では、コンクリート底版の上面には、鋼板セルを結合するためのベースプレート（ドーナツ状の鋼板）が埋め込まれている。

#### c 鋼板セルとコンクリート底版の結合

鋼板セルとコンクリート底版の結合方法には様々な方法が考えられるが、その一例を第3図に示す。

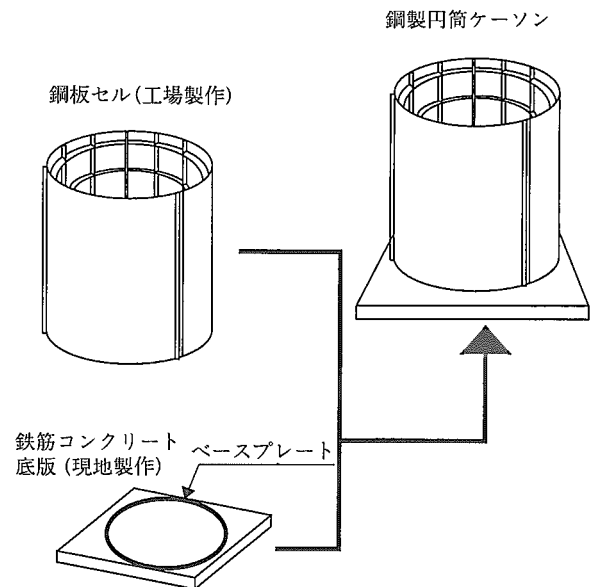
本例においては、鋼板セルとコンクリート底版の結合は、ベースプレートを介して行われている。

ベースプレートはコンクリート底版の上面に表面を出して埋め込まれており、アンカーボルトによって固定されている。また、鋼板セルはベースプレートに溶接されている。

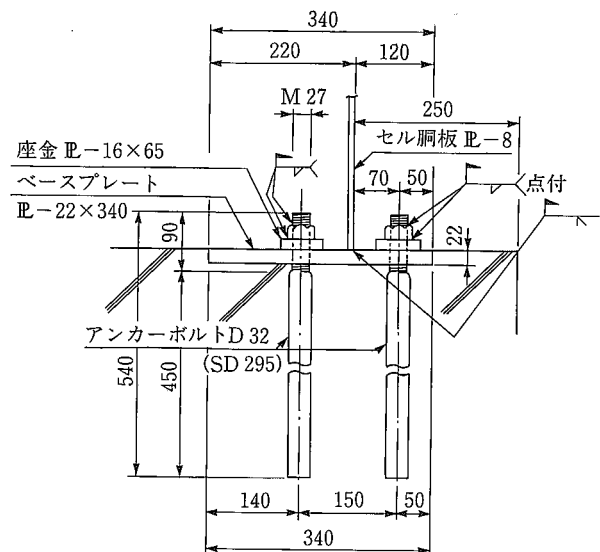
### (2) 鋼製円筒ケーソンを用いた重力式壁体の施工手順

鋼製円筒ケーソンによる重力式壁体の施工フローおよび施工手順概要を第4図、第5図に示す。

### (3) 鋼製円筒ケーソンの特長



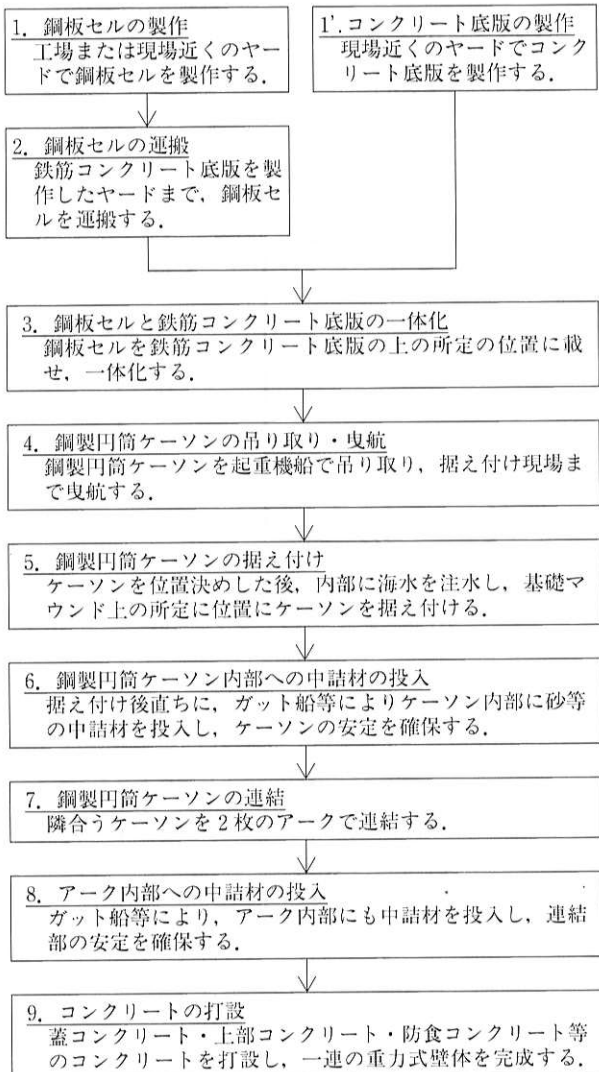
第2図 鋼製円筒ケーソン概念図



第3図 鋼板セルとコンクリート底版の結合部・構造例

従来のコンクリートケーソンに比べ、鋼製円筒ケーソンには次のような特長がある。

- 自重が小さいため、ケーソン据付けのための起重機船を小型化でき、それに係わる工費が軽減される。
- 自重が小さく浮遊時の喫水が少ないため、水深の浅い海域においても浮上曳航が可能である。
- ケーソンの大部分が重量の軽い鋼板セルで構成されており、下端のみに重量の重いコンクリート底版を配置した構造であるため重心位置が低く、浮上曳航時の安定性に優れる。
- 底版だけに鉄筋コンクリートを使用した構造であるため、配筋、型枠組、コンクリート打設等のコンクリート工が削減される。
- 鋼板セルの製作とコンクリート底版の製作を並行して進めることができるため、ケーソン製作のための工期を短縮することができる。



第4図 鋼製円筒ケーソンによる重力式壁体の施工フロー

### 3. 敦賀港フェリー埠頭整備工事における鋼製円筒ケーソン護岸建設工事の概要

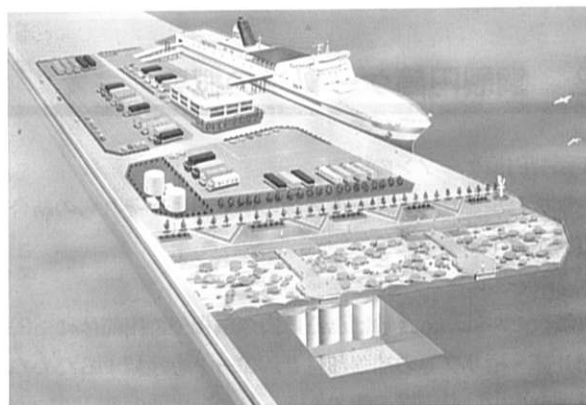
#### 3-1 敦賀港フェリー埠頭整備工事の概要

敦賀港には、小樽港と連絡する長距離フェリーが1970年以来就航している。しかし、現在のフェリー埠頭はフェリーのさらなる大型化に対応するためには岸壁水深が不足するとともに、背後地の利用度が高いため利用車両の増加に応じて駐車場を広く確保することが難しくなっている。

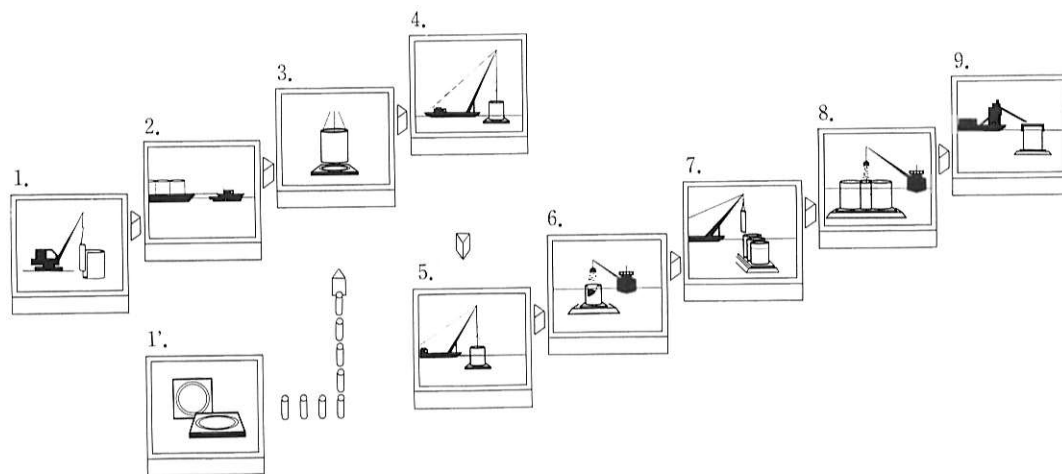
そのため、敦賀港鞠山地区において大型フェリー埠頭の整備工事が1991年より開始された。この工事のうち、鋼製円筒ケーソンは取付先端護岸に用いられている。

フェリー埠頭整備工事は1996年に完成する予定であり、同年4月より大型フェリー（全長220m、総トン数約2万トン）が就航する予定である。

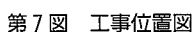
第6図にフェリー埠頭の完成予想図、第7図に本工事の工事位置図を示す。



第6図 フェリー埠頭の完成予想図

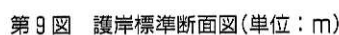


第5図 鋼製円筒ケーソンによる重力式壁体の施工手順概要



ボーリング調査の結果得られた土層区分図を第 10 図に示す。図に示されるとおり、本護岸建設位置の土質条件は、海底面から下約 4 m が粘性土層となっており、その下が砂





名称		鋼板セル	ベースプレート	鉄筋コンクリート底版	合計
1 型 (標準)	寸法形状	$\phi$ H t 9.0 m * 8.9 m * 8 mm	B t 340 mm * 22 mm	B L t 9.5 m * 9.95 m * 0.6 m	——
	重量(t)	21.979	2.369	138.964	163.3
2 型 (異型)	寸法形状	$\phi$ H t 9.0 m * 8.9 m * 8 mm	B t 340 mm * 22 mm	B L t 9.5 m * 7.1 m * 0.6 m 12.8 m	——
	重量(t)	21.979	2.369	138.964	163.3
3 型 (異型)	寸法形状	$\phi$ H t 9.0 m * 8.9 m * 8 mm	B t 340 mm * 22 mm	B L t 9.5 m * 7.63 m * 0.6 m 12.27 m	——
	重量(t)	21.979	2.369	138.964	163.3
4 型 (異型)	寸法形状	$\phi$ H t 9.0 m * 10.4 m * 8 mm	B t 340 mm * 29 mm	B L t 9.5 m * 12.92 m * 0.6 m 6.98 m	——
	重量(t)	25.839	3.271	138.964	168.1
5 型 (異型)	寸法形状	$\phi$ H t 9.0 m * 10.4 m * 8 mm	B t 340 mm * 25 mm	B L t 9.5 m * 5.94 m * 0.6 m 13.96 m	——
	重量(t)	25.839	2.602	138.964	167.4

第10图 土層区分图

質土と粘性土の互層になっている。

b その他条件

海象条件：H.W.L.=C.D.L.+0.5 m,

L.W.L.=C.D.L.±0 m

設計震度：Kh =0.20, Kv =0

上載荷重：q =0.5 t/m<sup>2</sup>,

q' =0.25 t/m<sup>2</sup>(地震時)

材料条件(裏込石、基礎マウンド石)

：φ=35° , γt=2.0 t/m<sup>3</sup>

耐用年数：50 年

(3)構造条件

本護岸の標準断面は第 9 図のとおりであるが、断面決定の前提条件となった構造条件を以下に示す。

a 埋立地の計画天端高

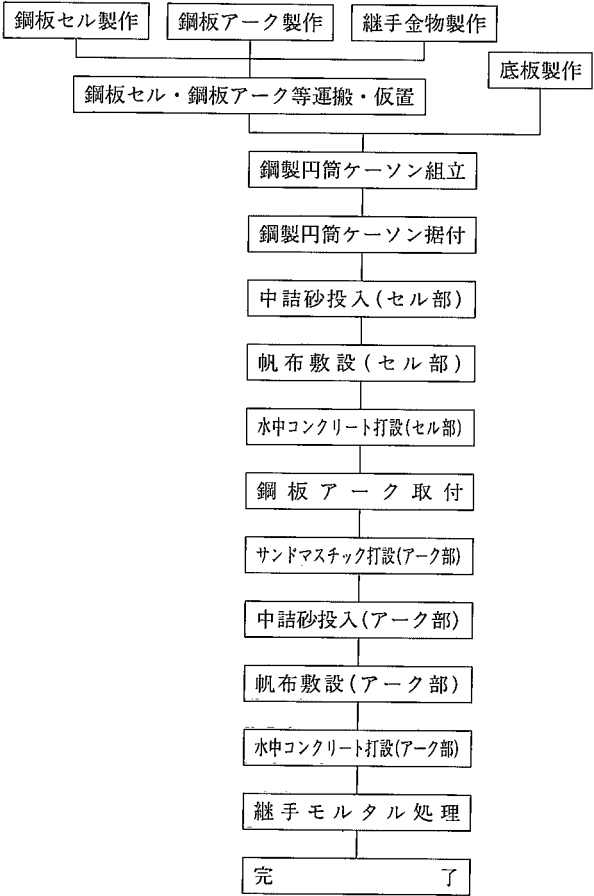
本護岸背後の埋立地には臨港道路およびフェリー用の駐車場が整備されるため、波浪による越波、しぶき等の浸入があれば重大な被害が予想される。従って、許容越波量を 0.01 m<sup>3</sup>/m・sec に設定し、水理模型実験により埋立地の計画天端高を+2.5 m とした。

b マウンド天端高

基礎マウンドの天端高は、経済比較により-9 m 付近が最も経済的であることが明らかになったため、施工性を考慮し、本護岸と接続するフェリー岸壁のマウンド天端高に合わせて-9.5 m とした。

(4)工事工程およびフロー

工事工程を第 2 表に、堤体完成までの代表的な工事フローを第 11 図に示す。



第 11 図 代表的な工事フロー

第 2 表 工事工程

名称	数量	平成 3 年度												平成 4 年度												平成 5 年度												平成 6 年度												平成 7 年度											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3												
岸壁(取付先端)	159.6 m																																																												
基 礎 工	170.0 m				50 m												85.6 m		34.4 m	70 m																																									
製 作 工 (円筒ケーソン製作)	17 函																	7 函			10 函																																								
本 体 工 (円筒ケーソン据付)	17 函																				5 函	6 函	6 函																																						
裏 込 工	159.6 m																																																												
裏 埋 工	159.6 m																																																												
階 段 工	159.6 m																																																												
上 部 工	159.6 m																																																												
埠頭用地埋立	650 000 m <sup>2</sup>																																																												

注) H. 5. 12 までは実績

この工事では中詰の波浪による飛散を防ぐため、中詰砂投入後、中詰砂上部に水中コンクリートを打設した。また、中詰に砂を用いたこともあって、アーク部中詰砂の下端にはサンドマスチックを打設した(打設厚: 50 cm)。

#### (5) 施工方法

鋼製円筒ケーソンは、コンクリート底版と鋼板セルを別々に並行して製作した後、両者を結合して完成した。コンクリート底版は、敦賀港内の-8 m 岸壁背後のヤードで製作した。一方、鋼板セルは工場で製作した後、台船に載せてコンクリート底版製作ヤードまで運搬した。

鋼板セルとコンクリート底版の結合には、120 t 吊りまたは 300 t 吊りのトラッククレーンを用いた。これらのクレーンで鋼板セルを吊り取り、コンクリート底版に埋め込まれたベースプレート上の所定の位置に置いた後、鋼板セルとベースプレートを溶接し結合した。

鋼製円筒ケーソンの施工は、コンクリート底版製作ヤードの面積が限られているため、3 サイクルに分けて行った。各サイクル毎の製作・据付け数量は、1 サイクル目 5 函、2 サイクル目 6 函、3 サイクル目 6 函である。ただし、鋼板セルは工場で製作したため、製作効率を上げることを目的として、2 サイクルで製作した(1 サイクル目 7 函、2 サイクル目 10 函)。

製作速度は、鋼板セルが、10 函同時製作の場合で 7 日/函程度である。また、コンクリート底版は、6 基同時製作の場合で、養生期間を含めて 14 日/基程度である。

従って、結合作業を含めても、鋼製円筒ケーソンの延べ製作期間はケーソン 1 函当たり 25 日程度となり、同規模のコンクリートケーソンの製作期間(35 日/函程度)に比べ、工期の短縮が実現されている。

ケーソンの据付けは、比較的小型の 214 t 吊り起重機船を用いて、1 函/日のサイクルで行われた。

#### (6) 現地観測

本工事においては、設計・施工法のさらなる検討に役立てるため、現地観測が実施されている。

現地観測の目的は、次の 2 点である。

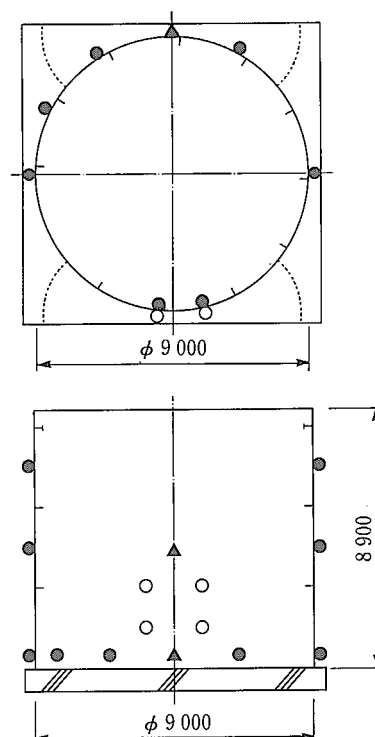
- ・ 沈設中の鋼製円筒ケーソンの挙動把握
  - ・ 護岸完成後の鋼製円筒ケーソンの挙動把握
- 観測用計器の取付位置を第 12、13 図に示す。

なお、本現地観測は 1994 年末頃まで続けられ、1995 年にはその結果がまとめられる予定である。

#### (7) 主要船舶機器

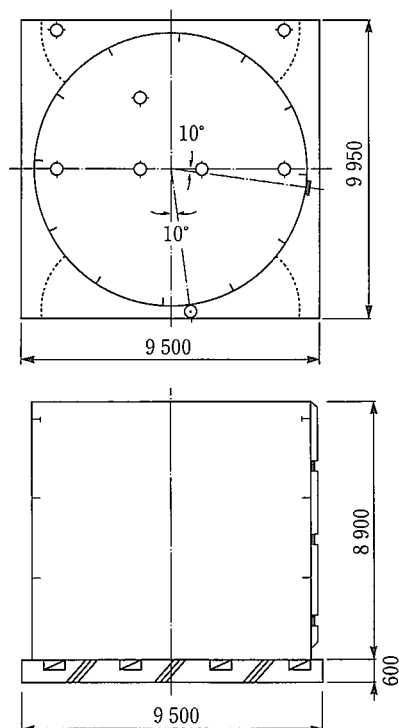
本工事に使用された主要船舶機器を第 3 表に示す。

●	二軸ゲージ(セル外)
○	二軸ゲージ(セル内)
▲	三軸ゲージ(セル外)



第 12 図 歪ゲージ取付位置

■	裏込め土圧計
○	中詰め土圧計
◎	水圧計



第 13 図 土圧計および水圧計取付位置

第3表 主要船舶機器一覧

船舶・機器名	型 式	数 量	摘 要
台 船	3 500 t 積み	1	鋼板セル, アーク運搬
	4 000 t 積み	1	"
引 船	2 100 PS	1	鋼板セル, アーク運搬
	2 000 PS	1	"
ト ラ ッ ク ク レ ーン	油圧 300 t 吊り	1	鋼板セル, アーク仮置・据付
	油圧 120 t 吊り	1	"
ガ ッ ト 船	188.0 GT	1	中詰砂投入
起 重 機 船	214 t 吊り	1	鋼製円筒ケーソン据付
	78 t 吊り	1	アーク据付, 継手処理
引 船	600 PS	1	鋼製円筒ケーソン据付, アーク据付, 継手処理
交 通 船	140 PS	1	

#### 4. 振動模型実験結果

より合理的な設計法を確立するため、敦賀港の実工事に先立ち、運輸省港湾技術研究所において振動模型実験を行った。

以下に本実験の概要を示す。

##### (1)実験目的

実験では、鋼板セルから底版へのモーメント伝達機構を検討した。

モーメント伝達機構の概念図を第14図に示す。

##### (2)実験方法

実験には、直径 900 mm の鋼製円筒ケーソン模型 3 体をアークで連結した供試体を使用した。

本供試体を振動台に設置し、中詰および裏込めに乾燥砂を投入した後、振動台を揺すり、加速度、中詰底面反力、鋼板の応力等を測定した。第15図に実験装置の概要を示す。

なお、実験の目的が鋼板セルから底版へのモーメント伝達機構の検討にあるため、構造物全体の滑動や転倒が生じないように底版は振動台に固定した。また、加振条件は以下のとおりとした。

加振方向 : 模型横断面方向

波 形 : 正弦波水平振動

振 動 数 : 3 Hz

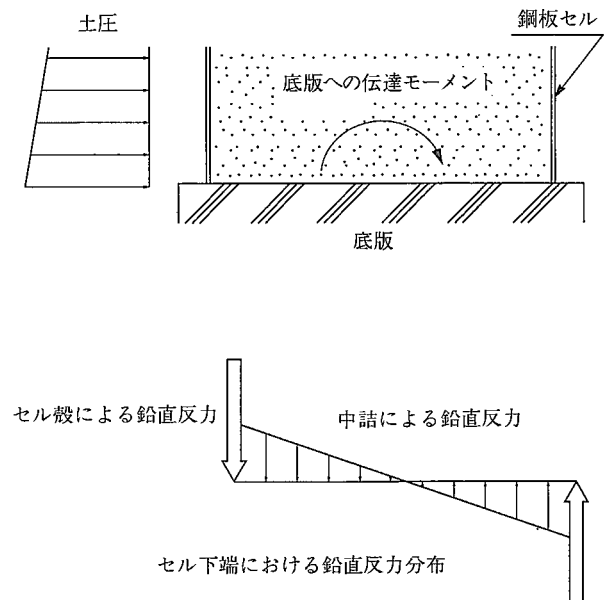
ピーク加速度: 50~400 Gal

##### (3)実験結果

###### a 鋼板セル下端部の鉛直応力

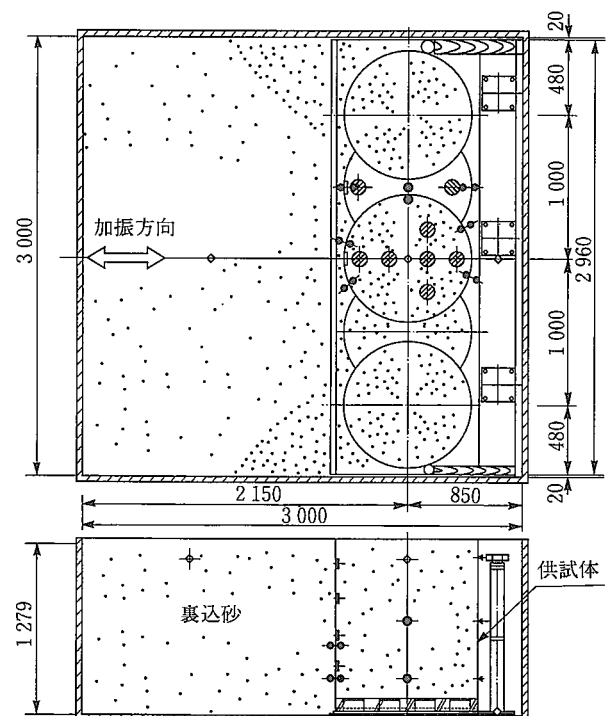
中央に設置された模型について、鋼板セル下端付近の鉛直応力度分布を第16図に示す。なお、図中の応力度は、各振動加速度における最大値および最小値を表しており、分布は模型横断面方向の分布を示している。また、符号は引張りを正とした。

この図に示されるとおり、鋼板セル下端付近に生じる鉛



第14図 モーメント伝達機構・概念図

⊕	中詰側面土圧計
⊗	中詰底面土圧計
⊙	歪ゲージ(三軸)
⊖	歪ゲージ(二軸)
←	変位計
◇○	加速度計



第15図 実験装置概要

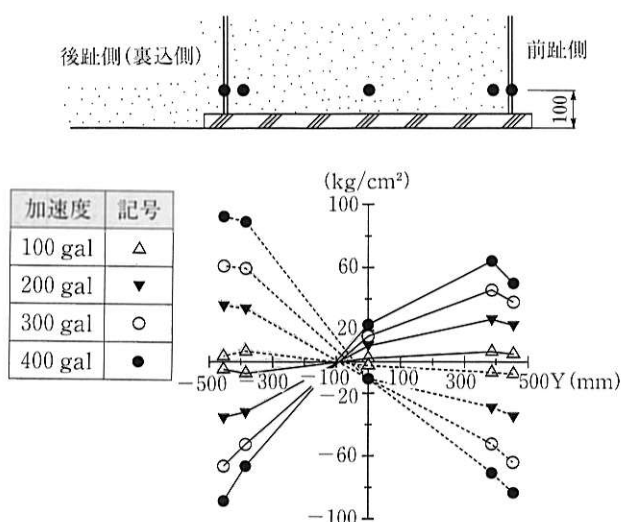


直応力の最大値および最小値は、概ね鋼板セル中心をゼロとして、模型横断面方向に三角形に分布した。

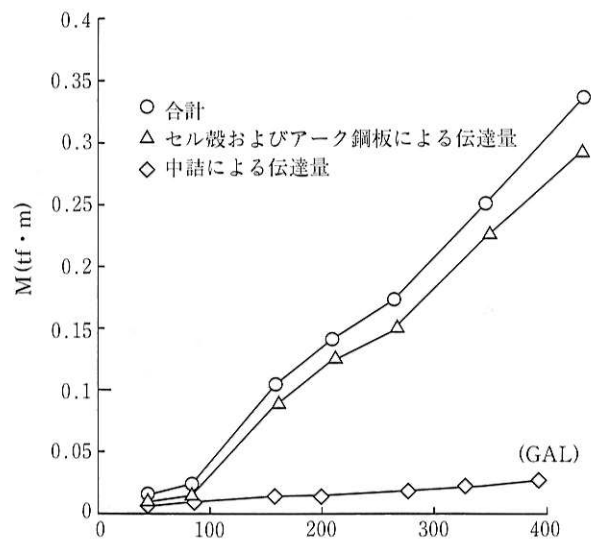
#### b 中詰によるモーメントの分担率

鋼板セルとアーク下端部の鉛直方向応力度および鋼製円筒ケーソンとアークの中詰底面土圧から算定したモーメント伝達量を第17図に示す。

第17図によると、中詰によるモーメント伝達量は、全モーメント伝達量の10～30%程度であった。



第16図 セル下端付近の鉛直応力度分布



第17図 底版へのモーメント伝達量

## 5. 結 語

本論文は、鋼製円筒ケーソンの概要、敦賀港における施工事例、および模型振動実験結果を紹介した。

鋼製円筒ケーソンは、次のような構造物である。

#### i) 用途

各種港湾・海岸工事における護岸、岸壁、防波堤等の重力式壁体として用いられる。

#### ii) 構造

鋼板セルと鉄筋コンクリート底版を一体化した構造。

#### iii) 特 長

- ・ケーソン据付のための起重機船を小型化できる。
- ・水深の浅い海域でも浮上曳航が可能である。
- ・ケーソンの製作期間を短縮できる。
- ・曳航時の安定性が良い。
- ・コンクリート工事が少なく済む。

敦賀港における工事概要は次のとおりである。

#### i) 工事目的

フェリーの大型化・高速化に対応するためのフェリー埠頭の整備

#### ii) 鋼製円筒ケーソンの使用位置

フェリー埠頭の先端護岸

#### iii) 護岸諸元

護岸延長 : 159.6 m,  
マウンド天端高: C.D.L.-9.5 m  
ケーソン 天端高: C.D.L.±0 m (標準部)

#### iv) ケーソン諸元 (標準部)

鋼板セル : 直径 9.0 m, 高さ 8.9 m,  
板厚 8 mm  
コンクリート底版: 長さ 9.95 m, 幅 9.5 m,  
版厚 0.6 m

総重量: 163 t

#### v) 工 期

1991 年～1996 年

模型振動実験においては、鋼製円筒ケーソンは以下の特性を示した。

- 鋼板セル下端付近に生じる鉛直応力の最大値および最小値は、概ね鋼板セル中心をゼロとして、横断面方向に三角形に分布する。
- 中詰によるモーメント伝達量は、全モーメント伝達量の10～30%程度である。



北村卓也/Takuya Kitamura

建設エンジニアリング事業部  
東京土木鉄構開発・設計室 担当課長  
(問合せ先: 03(3282)6306)

## 参考文献

- 1) 島田敬・花木芳雄・三浦守: 敦賀港-9 m 岸壁先端 鋼製円筒ケーソン工事, 土木施工, Vol.34, No.12(1993), pp.9-16
- 2) 敦賀港工事事務所: 敦賀港岸壁(先端取付)工事について——鋼製円筒ケーソンの製作・据付——, 運輸省第一港湾建設局第32回管内技術報告会資料(1996)