

# フェロセメント、プレハブ工法による 防波堤ケーソンの軽量化施工法

蘇 棋 福\*・林 長 聡\*\*

## 1. 概 要

混成防波堤のようなケーソンを用いた防波堤を建設するためには、一般にケーソンヤードや浮ドックなどの施設を必要とするが、地理的、地形的な条件から、それらの施設を行う事が出来ない場合及び比較的延長が短くケーソンの個数が少ないため、それらの施設費が割高につくような場合には、ケーソンの製作と施工のための施設を要しない工法が要求される。又水深の大きい防波堤では、ケーソンの大きさを出来るだけ縮小する事が経費と施工上から要求される。本研究は上記の要請に対応する事を目的として、小型漁船の製造に多く用いられているフェロセメントをケーソン製作に応用してその軽量化をはかると共に、プレハブ工法を導入して、製作と施工に要する施設を省略して、混成防波堤を建設する工法を述べ、併せて台湾東海岸の成功新港（漁港）における実施例について報告する。

## 2. F.C. プレハブ工法の発想

### 2.1. ケーソン軽量化の目的

本文におけるケーソンの軽量化とは次の2つの事柄を含む。

#### (1) 完成断面の縮小による軽量化

この事は力学的安定の問題であり、2 次元的には防波堤断面形状を改善して、外力としての波圧力を低減することと、これに対する抵抗力としてのケーソン底面の摩擦力を増大することの2つの方法によってのみ可能である。波圧力低下の方法にはたとえば有孔壁防波堤などがあるが現在はまだケーソン混成防波堤が最も普遍的であるから、本文はケーソンによる混成防波堤を対象とする。

底面摩擦抵抗を増加してケーソンの重量と断面を減ずる方法は従来多くの技術者によって考えられたにも拘らず、現在も殆んど平滑底面として摩擦係数は0.6を用いるに止まっている。この主な原因はケーソン底版と基礎マウンドの施工が困難なことによると考えられる。

例えば留萌港南防波堤<sup>1)</sup>(1927)の基礎直立堤部では下部工における最上段方塊の突起がケーソン下面の凹部と噛み合うようになっている。鼠ヶ関港<sup>2)</sup>(1956)の西防波堤と洞海湾北防波堤<sup>3)</sup>(1954)ではL型ストッパーを用い模型実験により摩擦係数を0.7~0.8とした。有田港<sup>4)</sup>(1964)ではケーソンの底面にアスファルトマットを張付ける事により、堤幅13.3mを11.55mに縮小した。しかしこれらの試みもまだ一般化されるには到っていない。

#### (2) 施工時におけるケーソンの軽量化

これは完成断面の縮小の問題とは無関係でケーソンの造函及び進水時の重量を軽減することによって、進水施工設備を簡単にすることを目的とし、これにより施工設備と施工法を簡略化して、経済的な建設を可能ならしめる事である。そしてこの点に主眼をおいた試みは未だなされたことがないと考えられる。

以上の様な意義をもつケーソン軽量化のために、著者は以下にのべるF.C.版プレハブ工法を開発し、提案するものである。

### 2.2. F.C. プレハブ工法の発想

#### (1) F.C. の特性

フェロセメントとは鉄筋コンクリートの一種で、複数層の金網を組合せて鉄筋と共に主補強材料としたセメントモルタルの薄い一体構造物である。これは約120年前にフランスのランボット<sup>5),6)</sup>によって考案され、イタリアのネルビイが1946年165噸のイルネイ号を建造した。1965年<sup>7)</sup>には船長16mのアワニ号がニュージーランドで建造され、この船は36m/sの強風に遭遇したり、氷山に衝突したり、鉄鋼製ヨットに突き当てられたりしたが、大きな損傷もなく、世界周航に成功した。こうしてF.C.船は1972年のニュージーランドにおける第1回<sup>8)</sup>F.C.船の設計と建造に関する国際会議以後、世界各国に拡がっているものである。その主な理由は次の各項にあげられる。

(a) F.C.は破壊に到るまでに、大きなエネルギー吸収能力を持ち弾性に富む。

(b) 鉄筋コンクリートよりも粘りがあり、高強度で亀裂が拡がらない特性を持ち、衝撃に対して抵抗力が大

\* 正会員 中華民國台湾漁業技術顧問社技師長

\*\* 中華民國台湾漁業局設計課長

きい。船舶では特に繰返し応力、疲労が問題とされる。

(c) 耐腐蝕性、耐透水性にすぐれ、維持費が安い。

(d) 船体の重心が低く、外洋においても安定性が高い。

本文における F.C. とは著者の新調合比の珪砂を用いたもので、一般 F.C. の細骨材とは異なるものである。

## (2) 防波堤ケーソンへの応用の可能性。

従来の鉄筋コンクリートケーソンは自重が大きい為、本体の製作よりもむしろ施工施設、曳航施設に工費を要することもありうる。これに対して F.C. が船舶に成功的に使用されていると言う事実は、多くの類似点を持つケーソンの軽量化に F.C. を利用することが可能ではないかと言う事を強く示唆するものである。著者の発想もこの点に基づいている。そこで著者はその可能性を確かめる為に、同一設計条件の下で F.C. がケーソンと R.C. ケーソンの比較設計を行い、1976 年中国土木水利工程学会第 1 回海岸工程研究会論文集<sup>9)</sup> “F.C. ケーソンの防波堤への応用の可能性”において、ケーソン軽量化と施工法の簡易化を論じ、更に 1976 年台湾東海岸<sup>10)</sup>の新港漁港の防波堤延長工事に際して技術的検討と模型実験を行った上、実施例として 12m×10m×6.7m の F.C. ケーソン 10 函を設計し施工した。その結果は充分満足すべきものと考えられるので、本文はその成果を基礎として本工法を紹介する。

## 2.3. F.C. によるケーソンの問題点と対応すべきケーソンの構造

### (1) F.C. ケーソン製作上の問題点

F.C. を防波堤ケーソンに用いる際に考慮すべき点は主として船舶に利用する場合との相異点である。主な点は以下のようなものである。

(a) 浅海部の基礎マウンド上に固定される防波堤ケーソンに作用する砕波圧力は、浮遊航行する船舶に対する波圧力に比べると格段に大きいと考えられる。故に波圧の直接作用を受ける側壁は従来の R.C. ケーソンと同等の強度を保持する構造でなければならない。

(b) 防波堤ケーソンは船舶と異なり、自重により波圧に対抗する為、据付けられた後、底版はマウンドの捨石による強大な局部的圧力を受ける状態にある。従ってこのような点荷重に対して R.C. ケーソンと同様に充分耐えるものでなければならない。

(c) 船舶は維持補修を随時行う事が出来るが、設置後の防波堤ケーソンにおいては不可能であるから、耐久性が特に問題であり、亀裂の発生と構造上の不備による海水浸透と鉄筋腐蝕は極力避けねばならない。

(d) プレハブ型式を考えた場合、継手の構造に特に注意し、強度においては F.C. ケーソンと同等であると

共に、漏水と海水浸透を防ぐ必要がある。

以上の 4 点は船舶と異なる問題点であるが、F.C. 船舶の成功実績は F.C. の耐漏水、耐浸透性を充分に証明するものであり、防波堤ケーソンにおいては、特に施工時の軽量化の可能性を強く示唆するものである。従って F.C. ケーソンにおいては、その圧縮強度と一点衝撃に対する抵抗力と継手構造と施工、特に現場組立てについて注意を集中すれば足りると思われる。

## (2) 軽量化のために考えられる構造型式

上記の問題を解決する為に、著者が開発したケーソンの基本構造は次のようである。

(a) 強大な砕波圧力に対応する強度を与える為に、ケーソン側壁は 2 枚のプレハブ F.C. 版の中間にコンクリート壁を挟んだサンドウィッチ・コンポジット壁構造とする。これにより従来の R.C. ケーソンの側壁と同等の強度を保つことが出来る。

(b) ケーソン底版は進水時の複雑な応力に対抗する為、F.C. 版を R.C. によって補強しておき、据付後の局部的点荷重に対抗し、且耐久性を与える為、進水後更にコンクリートを打設し、充分の厚さを持たせる構造とする。

(c) プレハブ型式とする為断手部は特別の設計を行う。

以上のような構造は軽量化に対して次のような利点を生ずる。

(i) サンドウィッチ・コンポジット構造の側壁は施工の際、予め 2 枚のプレハブ F.C. 版を型枠として組立て、ケーソン進水後その中間にコンクリートを打設することにより、ケーソン製作時の型枠を省略し、また進水時のケーソン重量を著しく軽減することができる。

(ii) F.C. 版の特性を利用すれば、ケーソン底版を波型とする事が容易であり、従って底面摩擦係数が増大し、完成断面を縮小することが可能となる。

この構造における基本的利点は、従来の R.C. ケーソンと異なり、プレハブ F.C. 版により特別の施設のない現場において組立て製作ができることである。

## 3. 台湾東海岸新港防波堤における F.C. ケーソン施工事例

### 3.1. 新港漁港と防波堤施工位置

新港漁港は図-1 に示すように台湾東海岸の太平洋に面する東経 120°22'36"、北緯 23°5'40" に在る。港口は東南方向に開口しており、台風による波の侵入が甚しい為、東防波堤を 90m、西防波堤を 12m 延長することとなった。

### 3.2. 設計条件

(1) 設置位置の水深：-6m~-9.5m

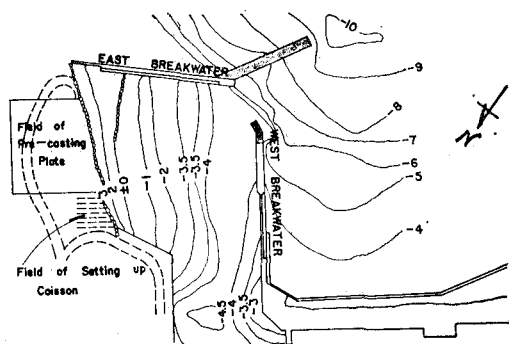


Fig. 1 Layout at Hsin-Kong Fishing Harbor

- (2) 設計潮位: H.H.W.L. = +2.55 m,  
H.W.L. = +1.15 m, L.W.L. = ±0 m  
(3) 設計波:  $H_{1/3} = 4.6$  m,  $T_{1/3} = 12$  sec,  $\beta = 12^\circ$

### 3.3. 防波堤断面及びケーソンの主要寸法

上記の設計条件に対し、底面摩擦係数を後述の波型底版として 0.8 と取り、ケーソンの幅 12 m, 長さ 10 m, 高さ 6.7 m として計算すれば滑動に対する安全率は広井公式においては 1.65, 合田式においては 1.54 を与える。マウンドの厚さは 1.60 m として、防波堤の標準断面は図-2, ケーソンの形状は図-3 に示すようである。

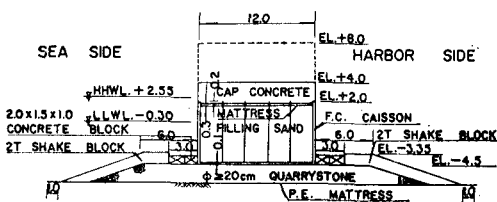


Fig. 2 Cross Section of East Breakwater of Hsin-Kong Fishing Harbor

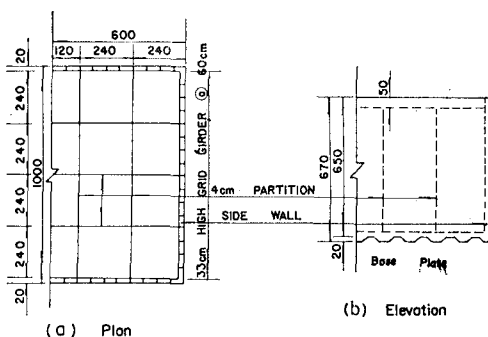


Fig. 3 Ferrocement Caisson

### 3.4. 施工条件

新港漁港の東防波堤を 90 m 延長すると、水深は -6 m ~ -9.5 m となるので、防波堤構造はケーソンを用いなければ、台風時の深海波 ( $H_{1/3} = 9$  m,  $T_{1/3} = 12$  sec) に

よる堤前波 ( $H_{1/3} = 4.60$  m,  $T_{1/3} = 12$  sec) に対抗できない。然し大型ケーソンを使用する為には、ケーソンヤード、又は浮ドックを必要とすることになる。又 R.C. ケーソンでは断面は幅 15 m を必要とすることになり、このような大型ケーソンの製作は施工場所と機械設備の制限により本港においては事実上不可能である。著者は主としてこの問題を解決するため本工法を開発したのである。本工事における F.C. ケーソンの製作及び組立はすべて図-1 に示すように、新港泊地内において行ったものである。

### 3.5. F.C. 材の重量比と力学的、物理的特性

本工法に使用した F.C. 材は普通ポルトランドセメントを用い、珪砂 ( $\text{SiO}_2$ ) を骨材とするフェロセメントで、著者はその圧縮強度を向上するため、台湾<sup>11)</sup>の中興大学コンクリート実験室において F.C. 材の成分と力学的、物理的実験を行って圧縮強度 500~600 kg/cm<sup>2</sup> の高強度フェロセメント調合比を得た。又新日本製鉄化学工業株式会社に依頼して X 線回折と D.T.A. 回折を行い、その成分結果を明らかにした。

F.C. 材の成分重量比は普通ポルトランドセメント 1.0~1.1, 台湾産珪砂 1.5~1.6 ( $f, m = 3.20$ , 比重 2.60), 分散材 0.15~0.21, 水 0.40~0.45 で、主補強材は #20 × 3/4 口" 金網と鉄筋である。この重量比に基づいて現場で製作した F.C. 版の圧縮強度は 500~600 kg/cm<sup>2</sup>, 曲げ強度 48~84 kg/cm<sup>2</sup>, 引張強度 37.4~44.7 kg/cm<sup>2</sup>, となっている。その他の物理特性は密度 2.60 kg/cm<sup>3</sup>, ヤング係数  $2.2 \times 10^3$  kg/cm<sup>2</sup>, とされる。尚耐衝撃性、耐久性、水密性が高く、これらの諸特性はケーソンに利用する際、極めて有利であるが、特に注目すべき点は、不亀裂性と破壊の伝播がない事、及び破損個所からの海水の浸透がなく、従ってたとえ亀裂破損が生じても、これが拡大したり金網又は鉄筋の腐蝕を誘発することがないことである。この特性は 1972 年台湾水産試験所<sup>12)</sup> 東山号 F.C. 試験船に鉄鎚で打撃を加え、直径 15 cm の孔をあけた後海水に浸し毎月の欠測実験を 12 個月間続けた実物実験報告によって検討証明された。

### 3.6. F.C. ケーソンの波型底版構造と製作

#### (1) F.C. 波型底版による摩擦係数の増加実験

混成防波堤ケーソンの底面摩擦係数の増加に関しては、既述のように底版の形状、捨石のマウンドの高さと材料、粒径等について種々の実験的研究と試みがなされて来たが、実際に施工された例は少ない。これは従来の R.C. ケーソンにおいては、底面の亀裂と点荷重に対する懸念及びケーソン進水時の困難のため、平滑底面で施工の方がより安全とされたことによると考えられる。これに対し F.C. ケーソンにおいては、F.C. の不亀裂性と進水時の軽量化によって、波型底版を採用しても上記の問題を解決することが可能と考えられる。更にこの



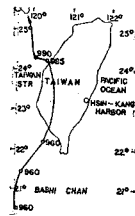


Fig. 7 Track of Typhoon Thelma (July 24-25, 1977)

に対し底面摩擦係数を0.8として、幅12m、長さ10m、高さ6.7mのケーソン10函を製作したが、進水前のケーソン重量は223屯、進水後底面補強と側壁中間層のR.C.を打設した完成ケーソンの重量は355屯であった。之は底面摩擦係数を0.6とする従来のR.C.ケーソン重量の夫々35%及び56%に当る。防波堤完成後2個年を経過し、図-7に示す如く数回の台風による高波を受けたが、防波堤は全く異状なく機能を果している。

#### 謝辞

本研究論文の模型実験は中興大学土木系郭金棟教授の指導のもとで実施し、同時に論文の作成について九州大学井島武士教授の適切な助言をいただいたことに深く

謝意を表明する次第である。

#### 参考文献

- 1), 2), 3), 4) 伊藤喜行: 特殊防波堤論, 1968年度水工学に関する夏期研修会講義集(Bコース), pp. 6-1-21.
- 5) National Academy of Sciences: Ferrocement Application in Developing Countries: Washington D.C. 2, 1973.
- 6) 滝本久雄: フェロセメントについて, 日本セメント株式会社
- 7) 西岡思郎: フェロセメントについて, セメントコンクリート, No. 350, Apr. 1976.
- 8) C. C. Hung: Studies on Mechanical and Construction of Ferrocement Fishing Boat in Taiwan Area. J.C.R.R. Fisheries Series. No. 19, 1975.
- 9) 蘇 棋福・李 進信: F.C. 泊箱応用防波堤之可行性分析, 中国土木水利工程学会第1回海岸2工程研討会, pp. 13-1-28, 1975.
- 10) 蘇 棋福・張 瑞欣: 新港灣港擴建計劃報告書・中国農復会, 漁業局, 第2回海岸工程研討会, pp. 22-1-12, 1976.
- 11) T. Yen, C. F. Su, M. F. Chang: A possibility to increase the mortar strength for ferrocement. 中興大学材料実験室報告, 1976.
- 12) 戚 桐欣: 鋼骨水泥漁船示範作業毎月工作報告, 台湾省水産試験所, 1972.