

[156] 新形式防波堤ケーソン用フーチング部材の力学的性状

正会員 ○ 横田 弘 (運輸省港湾技術研究所 構造部)  
 正会員 清宮 理 (運輸省港湾技術研究所 構造部)

1. まえがき

大水深海域に建設される防波堤では、波浪に対する滑動・転倒の安定性のほか、マウンドの許容支持力(端趾圧)に基づいて堤体寸法が決定されることが多い。従来の函形のケーソン構造を大水深海域に建設する場合、端趾圧を許容値以下とするには困難である。この問題の解決策として、ケーソン底部にフーチングを設け、堤体重量はそのまま接地面積を増大させる構造が考えられる。このフーチング構造では、フーチング長が長くなるため、フーチング部の強度保持の観点から各種の構造的工夫が行われている<sup>1)</sup>。

この例として、バットレスフーチング(図-1)及び箱形フーチングが提案されている。バットレスフーチングではフーチングに三角形のバットレスが取付けてあり、箱形フーチングではフーチング全体が台形の箱となっている。これらフーチングの設計は、3辺固定版あるいは4辺固定版として行われる。しかし、実際にはバットレス自体の変形あるいは箱形フーチング内部の壁の変形によりこれらの条件が満足されず、設計が危険側に行われる可能性がある<sup>2)</sup>。そこで本報告では、これらフーチング構造の力学的性状を調べるとともに、所定の端趾圧に対して既往の設計法がどの程度の安全率を与えるかを検討する目的で載荷実験を行ったので、その結果について述べる。

2. 実験供試体の概要

載荷実験の対象とした供試体の概要を図-2に示す。供試体は、2×2の隔室を有するケーソンに所定のフーチング部材を設けたものである。ケーソンの寸法は、長さ180cm、幅180cm、高さ230cmで、フーチング部材の長さは60cmである。各部材の厚さは、ケーソンの外壁が10cm、隔壁が8cm、底版が15cmである。バットレスフーチングの厚さは25cmで、バットレスの辺長は60cm×60cm、厚さは10cmである。バットレスは90cm間隔に3枚取り付けている。また、箱形フーチングの部材厚さは10cmである。図-2には描かれていないが、供試体上部に固定用床版(300cm×180cm×40cm)が設けてある。なお、供試体ケーソンの部材厚さ、フーチング長及び隔室の大きさは、実構造物(図-1)の約1/4である。

バットレスフーチングの配筋状況を図-3に示す。箱形フーチングでもほぼ同様の配筋である。ケーソン外壁では、SD30-D6鉄筋を75mmピッチで2段配筋、隔壁ではSD30-D10鉄筋を75mmピッチで1段配筋、底版ではSD30-D10鉄筋を75mmピッチで2段配筋である。また、フーチング部材

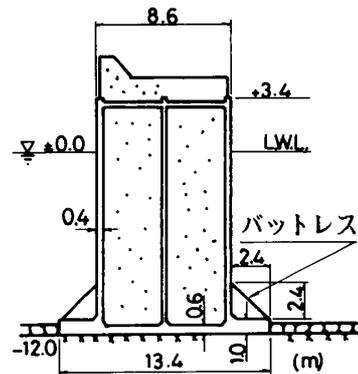


図-1 M港防波堤標準断面図

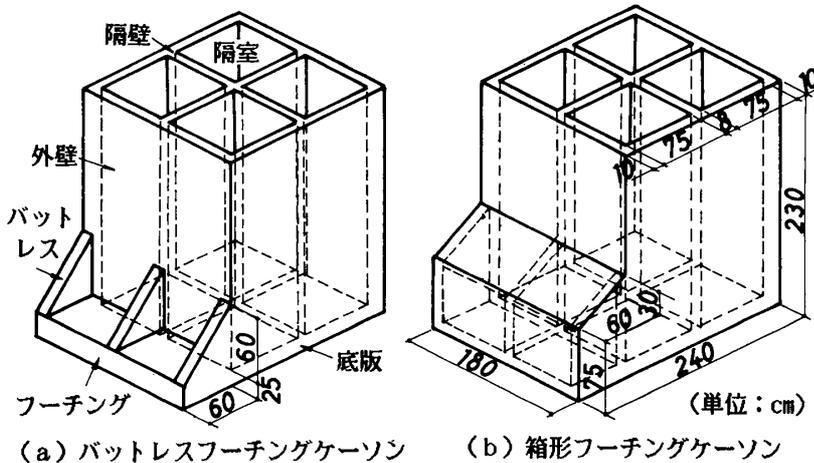


図-2 供試体の概要

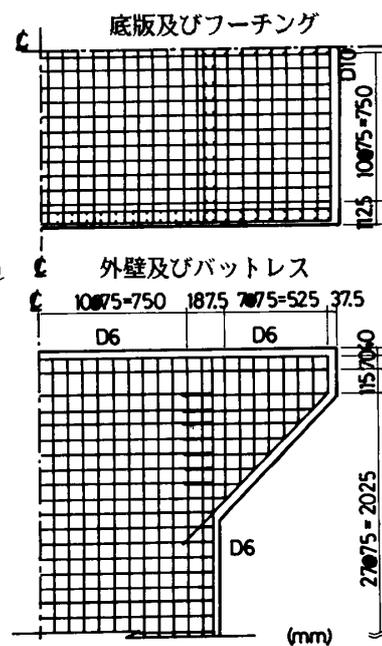


図-3 配筋の状況

の配筋は底版の鉄筋を延長して行っている。バットレス及び箱形フーチングの壁部材の配筋はケーソン外（隔）壁の配筋と同様に行い、ケーソン本体の壁部材内で重ね継手を施している。固定用床版ではこの部材で破壊が生じないようにSD30-D22鉄筋を用いている。

供試体製作に使用したコンクリートは、配合強度265kgf/cm<sup>2</sup>、水セメント比56%、粗骨材最大寸法10mmである。コンクリートは固定用床版、壁部材及び床版の3回に分けて打設を行った。

3. 実験の概要

載荷実験では、フーチングに作用する地盤反力（端趾圧）を想定外力とした。しかし、現地での地盤反力を忠実に再現するためには、碎石のマウンド上で載荷実験を行うか多数の油圧ジャッキを用いる必要がある。しかし、これらの方法ではフーチング部のひびわれの発生状況の観察や破壊形式の確認が困難であるとともに、実験方法が複雑になりどの程度正確に地盤反力を再現できているか疑問がある。そこで今回は、フーチング部の耐力の確認を主目的として近似的に線分布荷重を載荷した。供試体は上下を逆向きにして図-4に示すように反力床に固定し、載荷フレームに取付けた油圧ジャッキにより鉛直下向きに荷重を作用させた。油圧ジャッキは容量100tfのものを3台用い、各々での荷重値が等しくなるように調整した。載荷点はフーチング端部から15cm内側の位置とした。載荷は変位制御とし、鉄筋降伏時変位（ $\delta_y$ ）の5倍程度の変位が計測されるまで繰返し行った。実験中の計測は、荷重、変位、鉄筋及びコンクリートに生じるひずみ量、ひびわれの発生状況及びひびわれ幅について行った。

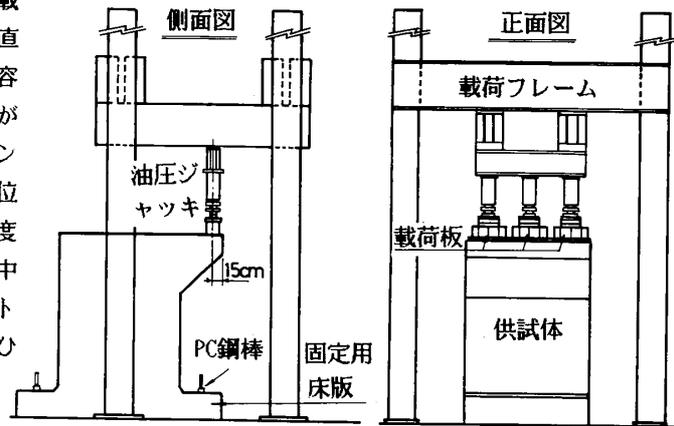


図-4 載荷の状況

4. 実験結果と考察

(1) 荷重と変位

実験での各項目に対する荷重値を表-1に示す。荷重は3基のジャッキ荷重の合計である。また、表中で $\delta_y$ は最初に鉄筋が降伏した時の中央載荷位置でのフーチングの鉛直変位である。今回実験に用いた供試体では、箱形フーチングの方がバットレスフーチングよりも75%程度最大荷重が大きく、構造的に耐力の高いことが実験でも確認できた。

両供試体での荷重と中央載荷位置でのフーチングの鉛直変位との関係を図-5に示す。バットレスフーチングでは、変位が $3\delta_y$ に達する以前に最大荷重を示し、以後荷重-変位曲線の包絡線が若干負勾配となり、急激な強度の低下は見られなかった。箱形フーチングでも変位が $3\delta_y$ 付近に達した時点で最大荷重となった。しかし、最大荷重後の強度の低下はバットレスケーソンに比較して大きかった。

両供試体でのフーチング幅方向の変位状況を図-6に示す。両フーチングとも変形の状況はほぼ対称形となったが、箱形フーチングでは終局状態に近づくると片側の壁位置の変位が大きくなった。両供試体ともバットレスや壁部材があるにもかかわらずこれらの位置での変位は大きく、バットレスケーソンでは中央位置のバットレスによるフーチング周辺の変位の拘束がほとんど見られなかった。

表-1 実験結果（荷重）の一覧

荷重(tf)	バットレスフーチング	箱形フーチング
フーチングFC	36 (1)	58 (1)
フーチングSC	110 (3)	100 (2)
本体SC	120 (3)	171 (4)
鉄筋降伏	110 (2)	170 (3)
$2\delta_y$	145 (3)	230 (4)
$3\delta_y$	143 (4)	263 (5)
$4\delta_y$	132 (5)	239 (6)
$5\delta_y$	126 (6)	151 (7)
最大	149 (4)	263 (5)

FC：曲げひびわれ、SC：せん断ひびわれ ( )内は載荷ループ数を示す。

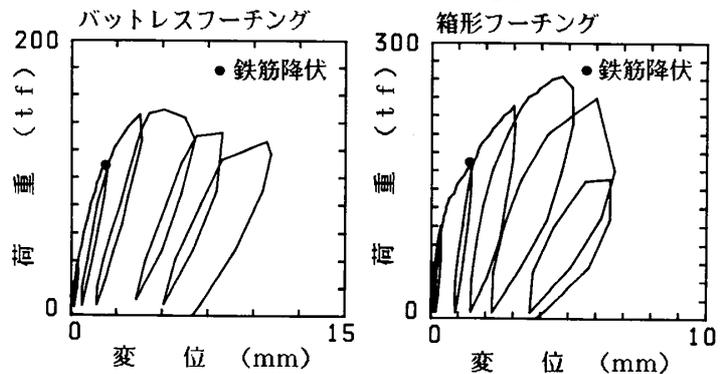


図-5 荷重とフーチング鉛直変位との関係

(2) 鉄筋及びコンクリートに生じるひずみ

最大荷重時におけるフーチング部材での幅方向及び長さ方向の鉄筋及びコンクリートに生じるひずみ量の分布を図-7及び図-8に示す。バットレスフーチングでは、フーチングに曲げひずみが生じ、ケーソン本体との取付け部付近で最大となった。また、バットレス斜辺沿いの鉄筋に生じたひずみは圧縮となり、鉄筋端部よりも中央部でひずみ量が大きくなった。バットレスとケーソン外壁との取付け部分では、壁内の2本の鉄筋に生じるひずみ量はほぼ等しくなり、バットレス上部位置での壁部材内では面内力が卓越した。フーチング幅方向のひずみ分布は変位分布で述べたとおり、バットレス位置でのひずみが大きくなったが、長さ方向のひずみと比べると、かなり小さかった。箱形フーチングでもバットレスフーチングとほぼ同様の傾向が見られたが、箱部分での壁部材に生じたひずみ量は小さかった。

図-9にバットレス及び箱形フーチング側壁での主せん断ひずみの値を示す。主せん断ひずみは、コンクリート表面に貼付した等角ロゼッタゲージにより計算して求めた。バットレスでの主せん断ひずみ量は $1000 \times 10^{-6}$ 以上となりかなり大きな値となった。

一方、箱形フーチングでは、 $500 \times 10^{-6}$ 以下のひずみ量しか計算されず、鉄筋ひずみの測定結果と同様に、フーチング内の応力の発生は小さかったという結果となった。

(3) ひびわれの発生及び破壊形態

両フーチングでの最終ひびわれ状況を図-10に示す。両フーチングとも底板部分には曲げひびわれが卓越した。バットレス部分にはせん断ひびわれが見られた。バットレスフーチングでの破壊の形態は、中央位置のバットレスの付着割裂破壊であった。なお、ケーソン本体の壁部材にはひびわれがほとんど発生しなかった。

箱形フーチングでは、フーチングの外壁及び本体のフーチング取付け部分の壁部材にせん断ひびわれが生じた。破壊の形態は、フーチングとケーソン本体との接合部付近でのコンクリートの圧縮破壊及びフーチング外壁のせん断破壊であった。

荷重と最大ひびわれ幅との関係を図-11に示す。最大ひびわれ幅は両供試体ともフーチング底板とケーソン本体との取付け部付近で計測された。港湾施設で一応の目安

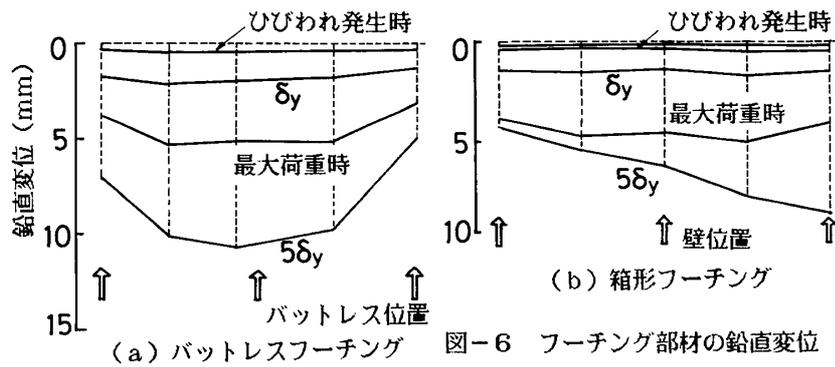


図-6 フーチング部材の鉛直変位

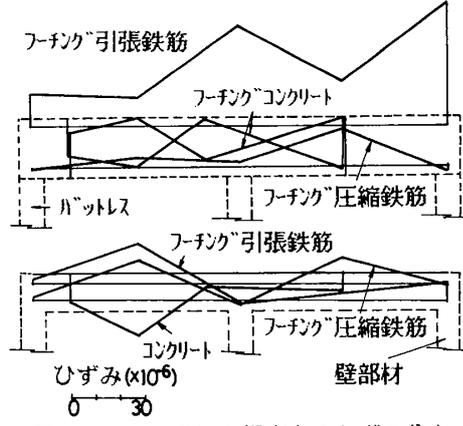


図-7 フーチング幅方向のひずみ分布

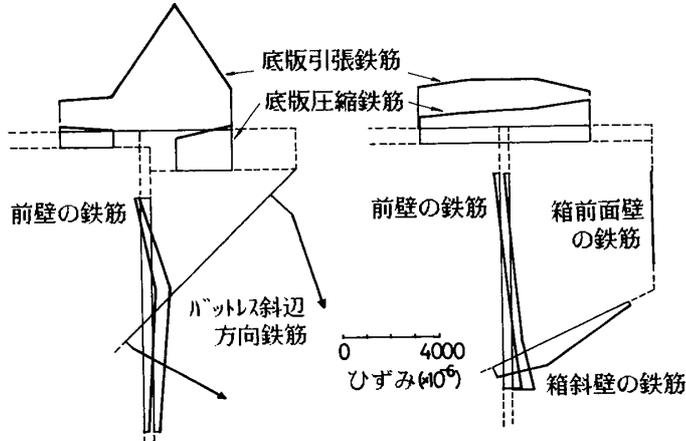


図-8 フーチング長さ方向のひずみ分布

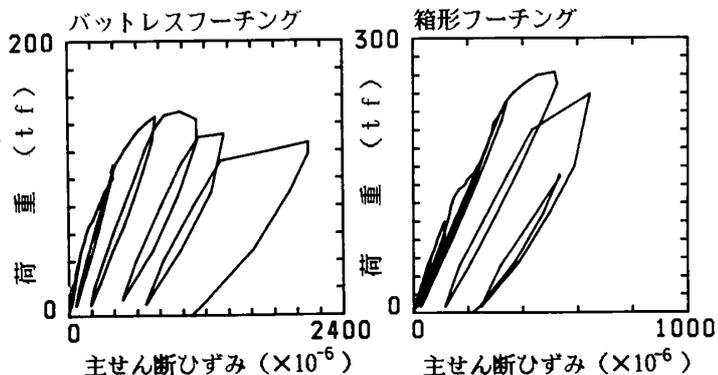


図-9 フーチングでの主せん断ひずみ

と考えられている許容ひびわれ幅は0.2mmであるが、その際の荷重はバットレスフーチングで約80tf、箱形フーチングで約130tfであり、両者とも鉄筋降伏荷重の約70%、最大荷重の約50%となった。

5. 実構造物との対応

実構造物での許容端趾圧は、現在のところ50~60tf/m<sup>2</sup>とされている。その場合、フーチング部材の受ける地盤反力を求めてみる。許容端趾圧が等分布にフーチングに作用するとすれば、フーチングの受ける地盤反力の合力は1040tf程度となる。供試体の模型縮尺は1/4程度であるので、応力相似に基づいてこの外力を実験での荷重に換算すると65tf程度となり、鉄筋降伏荷重の約50%となる。両構造形式は現行の許容端趾圧に対して十分な安全性を有することが確認できた。

6. まとめ

載荷実験から得られた主要な結論は以下のとおりである。

- ①バットレスフーチングの破壊形式は、バットレス部の鉄筋に添った付着割裂破壊であり、破壊もバットレス部材に限定された。箱形フーチングではバットレスフーチングよりも耐荷力として7割程度大きく、構造的にも剛性が高かった。また、破壊形式は壁部での面内せん断破壊とフーチング取り付け部でのコンクリートの圧縮破壊であった。
- ②両フーチング構造ともフーチング部での押抜きせん断は生じておらず、壁部分の破壊が進行していた。また、壁位置での変形が大きかった。設計で仮定している版周辺の固定条件が終局時付近では満足されていない。ケーソン本体の設計で、フーチングの押抜きせん断で構造の安全性を検討するとすればバットレス部の剛性をより高める必要がある。しかし、より合理的に設計するとすれば、フーチング部及び壁部分の両者を考慮した計算法を用いる必要がある。
- ③マウンドの許容支持力から得られるフーチングに作用する荷重を今回の載荷実験での載荷荷重に換算すると約65tfとなった。この載荷重は終局耐力の25~40%程度であり、フーチング全体のじん性からも十分安全であると言える。また、その際のひびわれ幅も0.2mm以内であり、許容端趾圧が作用した状態でもコンクリートのひびわれが起因する耐久性の問題はないものと考えられる。

7. あとがき

今回の報告では、載荷実験によるフーチング部材の力学性状の評価を中心にとりまとめた。FEMによる構造解析なども行っており、これらと合わせてフーチング部の設計法をとりまとめていきたい。なお、載荷実験は、大成建設(株)技術研究所の施設を利用して実施した。

参考文献

- 1)大堀他：釜石港湾口防波堤の設計に関する技術検討、土木学会海洋開発シンポジウム論文集、1985年
- 2)横田、南、清宮：ケーソン式防波堤への有限要素法の適用、港湾技研資料No.403、1981年

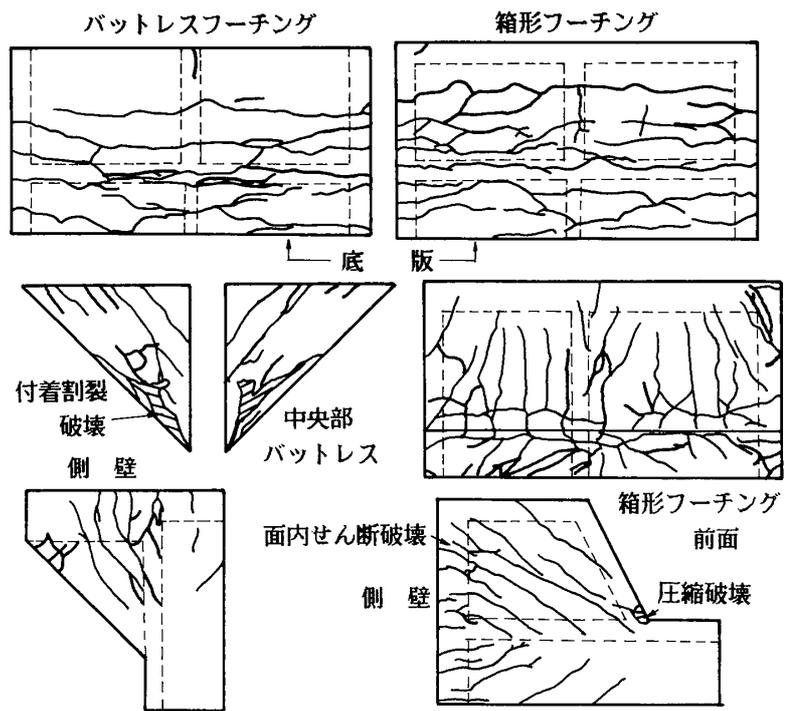


図-10 終局時のひびわれ発生状況

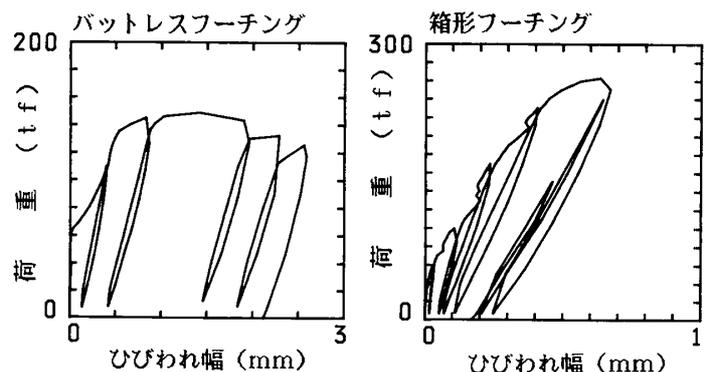


図-11 荷重と最大ひびわれ幅との関係