

運輸省港湾技術研究所 正 横田 弘  
同 上 正 清宮 理

### 1. まえがき

大水深域に建設される海洋構造物として、工費の低減、強大な波力に対する安全性の確保等の理由から、新しい形状の部材を有する構造物が提案されている。このような構造物の一例に、曲面スリット消波構造がある。この消波構造は、防波堤の前面に取付けられた  $1/4$  円弧状の曲面部材で構成されており、波エネルギーの逸散を目的としている。 $1/4$  円弧状の部材は、波浪作用時に内側と外側の両方向から交互に波力の作用を受ける。両方向からの荷重作用時の曲面部材の基本的な力学的性状は、載荷実験により、ほぼ把握することができた<sup>1)</sup>。本報告では、この曲面部材を対象として有限要素法を用いた非線形解析を実施し、これらの載荷実験の結果と比較して、解析手法の検証を行った。

### 2. 載荷実験の概要

載荷実験に用いた曲面ばり供試体は、図1に示すようにPC及びRC製で、断面寸法が  $27 \times 11$  cm、図に軸半径が  $160$  cm の  $1/4$  円弧状である。用いたコンクリートの設計基準強度は、 $400 \text{ kgf/cm}^2$ 、粗骨材の最大寸法は、 $10 \text{ mm}$  である。載荷実験では、供試体の中央部に油圧ジャッキを用いて、内側からもしくは外側からの2方向載荷を行った。

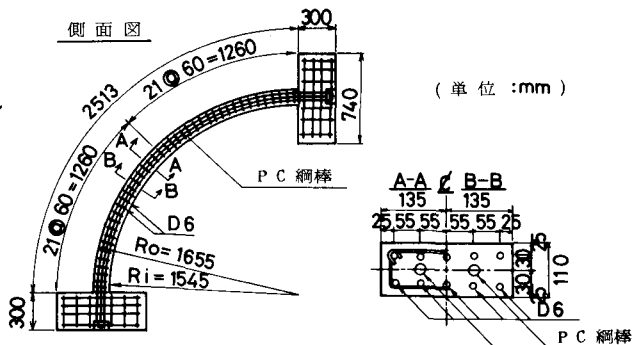


図1 載荷実験に用いた供試体の形状

### 3. 解析方法の概要

曲面部材(はり)の有限要素モデルは、図2に示すもので、載荷点を対称に上半分を計算の対象とした。また、端部は、完全固定としたが、載荷実験の結果からも固定の条件はほぼ満足されていることが確認できた。材料の1軸応力～ひずみ曲線は、コンクリートが図3、鉄筋が図4に示すようにモデル化した。すなわち、相当塑性応力と相当塑性ひずみを用いて、多軸状態での応力～ひずみの関係を整理した。コンクリートでの相当塑性応力に対しては、Druker-Pragerの式( $\alpha = 0.07$ とする)、鉄筋に対しては、von Misesの式を用いた。コンクリートの破壊曲面を図5に示す。ひびわれが発生した場合には、その積分点におけるひびわれ方向の剛性マトリクスを

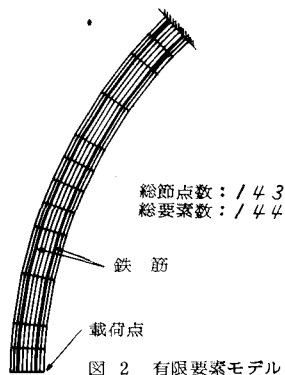


図2 有限要素モデル

$$[D_{cr}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_c & 0 \\ 0 & 0 & \mu G \end{bmatrix} \quad \mu: \text{せん断剛性の低下率}$$

とし、ひびわれ直角方向に応力が伝達しないものとした。この時せん断剛性を低下させた<sup>2)</sup>。本解析では、鉄筋とコンクリートとは完全付着とした。

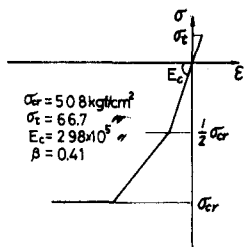


図3 コンクリートの応力～ひずみ関係

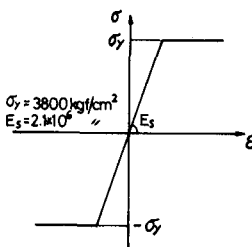


図4 鉄筋の応力～ひずみ関係

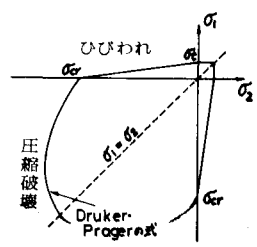


図5 コンクリートの破壊曲面

#### 4. 解析結果と考察

載荷実験は、PC 及び RC 供試体の両者について行ったが、今回の解析は、RC 供試体のみを対象として実施した。内側から載荷した場合の荷重～変位曲線を図6に示す。解析結果の方が同一変形量に対する荷重は小さいが、これはスターラップの評価の相違等によるものと考えられる。即ち、今回の計算モデルでは、スターラップに相当する要素を特に設けず、コンクリートの弾性係数を換算していること等による。しかし、荷重～変位曲線の傾向は、両者で比較的一致している。また、ひびわれ発生荷重も実験結果では約1tf、解析結果では約1.6tfと良く一致している。内側から載荷した場合のひびわれの発生して

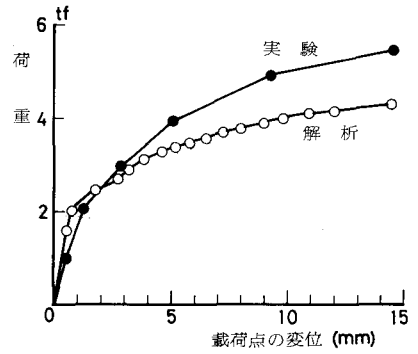


図6 荷重～変位曲線（内側から載荷）

いる様子を図7に示す。実験結果では、初期ひびわれは、供試体の各点に分散して発生した。解析結果では、ひびわれは、載荷点及び載荷点と端部の約半分の位置に集中して発生している。しかし、終局状態で比較すると、ひびわれ発生位置は、両者で大きな相違が見られない。また、ひびわれは、ほとんどの地点で貫通している。外側から載荷した場合のひびわれの発生している様子を図8に示す。内側からの載荷の場合と比較して、外側からの載荷の方がひびわれの発生個数は少ない。終局時には、載荷点及び載荷点と端部の約半分の地点で圧縮破壊が進行

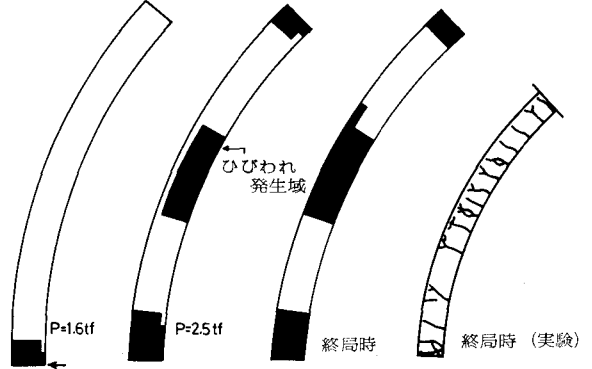


図7 ひびわれ発生の様子（内側から載荷）

している。しかし、それ以外の部分では、ひびわれの個数も少なく、貫通も見られない。曲面部材の載荷実験では、内側からの載荷に対しては、曲げ破壊型、外側からの載荷に対しては、圧縮破壊せん断破壊型となったが、解析結果でも、外側から



図9 外側鉄筋の応力分布（内側から載荷）

の載荷では、あまりひびわれの進展が進まないうちに、急激に圧縮破壊をおこしており、載荷方向の相違による破壊型式の相違を十分に追跡・表現できた。図9に、内側からの載荷( $P=4\text{tf}$ )の場合の外側鉄筋の応力分布を示す。実験結果と解析結果は、良く一致している。

今回用いた有限要素モデルで、曲面部材の載荷実験で得られた耐力、変形、ひびわれ性状等とかなり良く追跡できた。しかし、鉄筋とコンクリートとの付着、ひびわれ面でのせん断力の伝達、コンクリートの圧壊後の軟化性状等については、今回深く検討できなかった。これらを今後検討していきたい。また、載荷実験では、交番載荷も実施しており、今後この実験を対象に解析を進めていく予定である。

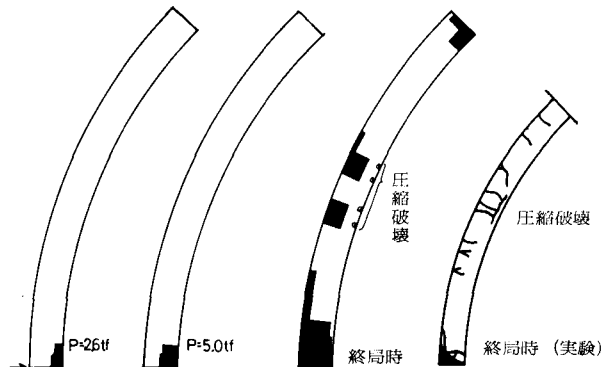


図8 ひびわれ発生の様子（外側から載荷）

- 参考文献 1) 清宮・横田・西澤：曲面形状をした消波部材の力学性状，第5回コンクリート工学会講演会論文集，昭和58年6月  
2) 井元・武田：3次元連続体の非線形有限要素解析(第1版)，大林組技術研究所報，No.11，1975年。