

VI-285

有限要素法による RC 製円筒型魚礁の応力解析

富士総合研究所

正会員

高橋邦彦

同上

山本晃司

水産土木建設技術センター

正会員

安藤 亘

1. はじめに

円筒型魚礁は、沿岸の漁場の生産量を増すために海底に設置される、鉄筋コンクリート製の構造物で、円筒側面部に魚が出入りする窓が設けられている。そのため、複雑な応力分布や窓の形状によるひび割れ発生パターンの違いが予想される。そのため、筆者らは窓の形状やひび割れの効果を考慮した有限要素法による応力解析を行い、それが強度評価に有効であることを確認した。

2. 応力解析の目的

円筒型魚礁は、側面の窓の形状によって丸窓形と角窓形に分けられ、図1に示すような配筋がなされている。

魚礁の強度を評価するに際しては、窓の形状や配筋状況が与える影響を評価する。もっとも影響が大きいと考えられる、窓の上部側方からの荷重を考えて、非線形応力解析を実施して、コンクリートと鉄筋が降伏する荷重を求めることとする。なお、水中での衝撃荷重は文献1)に従って静的荷重に置き換えて載荷する。

3. 解析手法

(1) 構造物のモデル化

RCをコンクリートと鉄筋に分け、コンクリートについてはソリッド要素を用いて厚さ方向に4分割する。鉄筋は別にモデル化し、節点間を結ぶトラス要素で表す。応力集中を表すために十分細かい要素分割も必要であり、ここでは対称性を利用して二分の一のモデルを扱い、図2に示すように約5000要素（15000自由度）に分割した。さらに、応力集中の予想される隅角部等は解析式による応力の割り増しを行っている。

次の角窓タイプ、丸窓タイプの二つのモデルを解析して、窓形状によるひび割れ状態の違いを分析し、補強方法の検討材料とした。

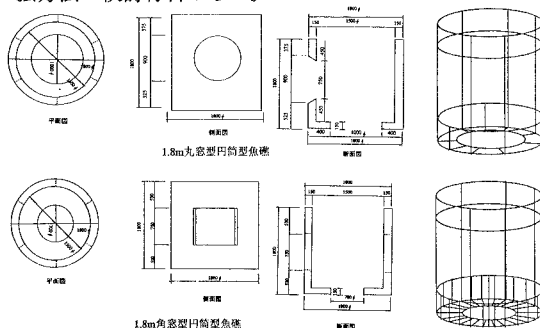


図1 円筒型魚礁の構造図

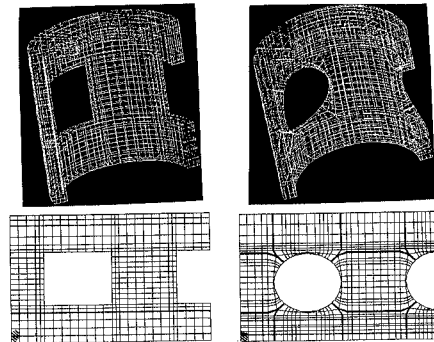


図2 解析モデルのメッシュ分割

(2) コンクリートの強度解析手法

コンクリート構造物の強度を評価する場合には、コンクリートと鉄筋の材料非線形的特徴（塑性、ひび割れ）を考慮する必要がある。特にひび割れの発生、進展は強度に大きな影響があり、その有限要素法によるモデル化手法として、次の2つがある。

- ・ **Smeared Crack Model** : ひび割れした要素を、最大引張り応力方向に弱い直交異方性材料とみなし剛性を低下させる。細かいひび割れが広く分布するような場合には有効。ひび割れ位置の予測などに有効であるが、ひび割れ発生後の挙動は模擬にくい。
- ・ **Discrete Crack Model** : 接合要素等を利用して、引張・せん断によるひび割れを接点を分離して表現。き裂の進展をミクロにモデル化する。予めき裂を設定する必要がある。結果がパラメータの設定に依存しやすい。

円筒型魚礁の強度のFEM解析で評価をするにあたっては、以上の特徴を生かすため、**Smeared Crack Model**（圧縮、せん断卓越では **Drucker-Prager** モデル）で全般的な応力分布を解析し、破壊荷重の評価と破壊モードの予測を行った上、**Discrete Crack Model**で形状の変化とひび割れ開口の関係性を求めた。

4. 解析結果

図4に**Smeared Crack Model**による破壊判定の状況、表1にひび割れおよび破壊判定（鉄筋の降伏）荷重を示す。ひびわれ位置は経験的な知見とよく一致しているが、実際と異なりひび割れ発生部位が一定の広がりを持つこと、窓の形状に伴うひび割れ進展状況の違いが表わせず若干鉄筋量が少なく底部窓が広い丸窓の方が小さい荷重で破壊する結果となった。

引き続き、ひび割れ進展の様子をより詳細にモデル化し、ひびわれ開口幅が計算できるように、**Smeared Model**の結果を用いて、き裂位置を仮定し**Discrete Crack Model**による解析を行った。図4にひび割れ発生直後と、破壊判定時点のひびわれ進展状況を示す。また、図5に、ひび割れ開口に伴う載荷位置における押し込み変位量と載荷重の関係を示す。これにより、角窓の場合に窓の周辺の応力集中からき裂が急速に進展して、小さい荷重でひび割れが開口し鉄筋が降伏する現象が表現できた。

これらの結果から窓の形状の違いによる魚礁の強度の変化を推定できた。

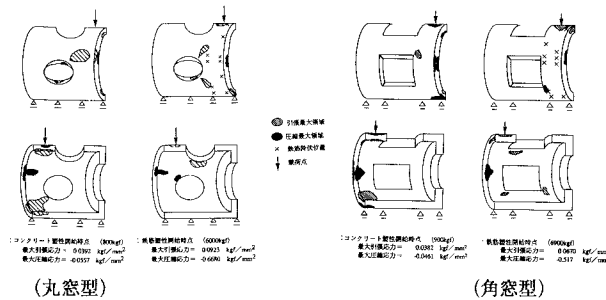


図3 Smeared Crack Modelによる破壊魚礁損傷部位の予測図

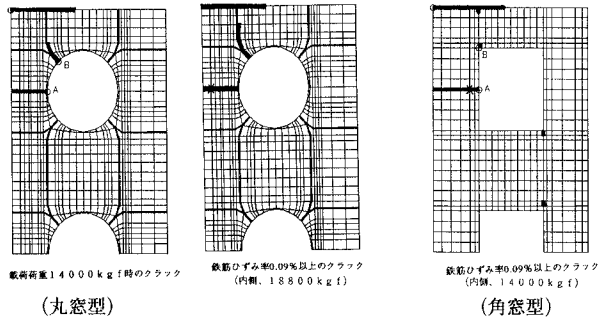


図4 Discrete Crack Modelによるひび割れ進展の様子（展開図）

表1 Smeared Crack Modelによる破壊荷重の予測値

	角窓タイプ	丸窓タイプ
コンクリートひび割れ	900kgf	800kgf
鉄筋降伏	6900kgf	6000kgf

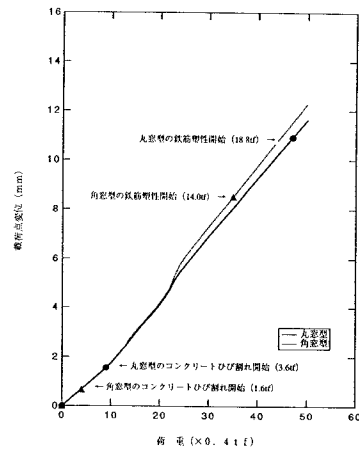


図5 Discrete Crack Modelによる応力変位特性図

5. まとめ

今回の様に有限要素法の大規模解析によるひび割れのシミュレーションを魚礁等の実構造物の設計に適用した例はあまりなく、ひび割れを考慮した有限要素法解析が実用的な観点で適用できることが分かった。しかし、解析結果は対象の形状・鉄筋量・ひび割れの特長、解析手法とモデル化、導入するパラメータに大きく依存するため、シミュレーションの適用に際してはそれらの特性の検討、実験的知見との比較などを行う必要がある。

<参考文献>

- 1) 「沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針（平成4年度版）」全国沿岸漁業振興開発協会
- 2) 野口、井上、“有限要素法による鉄筋コンクリート構造物のせん断解析手法”、RC 構造物のせん断問題に対する解析的研究コロキウム