

I-85 非軸対称荷重を受ける軸対称構造物の 非線形解析手法

（株）電力計算センター 正会員 川原場博美
電力中央研究所 正会員 遠藤 孝夫
四国電力（株） 広瀬 謙治

1. まえがき

原子力発電所のPC格納容器やRC外部遮蔽壁のような軸対称に近い構造物の安全照査は、通常、シェル要素や三次元ソリッド要素を用いた有限要素解析によるのが一般的である。しかし、これらの要素を用いると、膨大な入力データの作成と計算量の増大が大きな問題点となってくる。

そこで、ここでは計算の効率化を計るため非軸対称荷重を受ける軸対称構造物としてフーリエ級数を用いた半解析的有限要素法を発展させ、周方向に剛性や幾何学的形状が変化する場合でも解析できるようにプログラムを作成し、鉄筋コンクリート円筒体を対象にした数値計算を行い、三次元有限要素法と比較検討し、その有効性を示したものである。

2. 計算手法の概要

図-1に計算手順の概略フローを示す。

文献1)に基づき有限要素の荷重・変位・歪・応力等をフーリエ級数展開し、周方向の各断面において、ある荷重に対する歪や応力を計算し、計算された歪や応力の関数としてその断面で負担できる応力（保持応力）を定め、この保持応力より等価節点力を求める。さらに、外力と等価節点力の差をとり不平衡力を計算する。そして不平衡力が十分小さくなるまで繰り返し計算する手法をとっている。

本解析法の特徴の1つとして、各要素の物性値（降伏条件、破壊条件、非線形特性）は、ユーザーサブルーチンで自由に設定することができる。

コンクリートのひびわれは、各主応力がコンクリートの引張強度に達した場合に各主応力に直交する方向に生じるものとした。ひびわれ発生後のひびわれ方向の応力負担は、テンションステイフネスを考慮したものを用いた。鉄筋は、線要素を用いた。鉄筋の応力-ひずみ関係は、引張、圧縮ともバイリニア型とした。

3. 計算結果と考察

計算に用いたモデルは、図-2に示すような上下に加力用スタブを付けた鉄筋コンクリート製円筒体で中心直径160cm、高さ160cm、壁厚6cmである。配筋は縦横同量配筋で鉄筋比1.8%である。計算は、本解析法により軸対称回転体とした場合と三次元立体要素を用いた場合について行い、解の精度を検討した。図-3に軸対称要素分割を示し、図-4に三次元要素分割を示す。

軸対称回転体による計算は、フーリエ級数の項数を16とし、周方向を32断面に分割した。外力は円筒体頂部のスタブ位置に静的水平力を24tonまで24ステップに分け荷重増分法により作用させた。

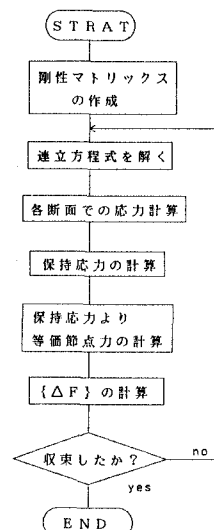


図-1 概略フロー

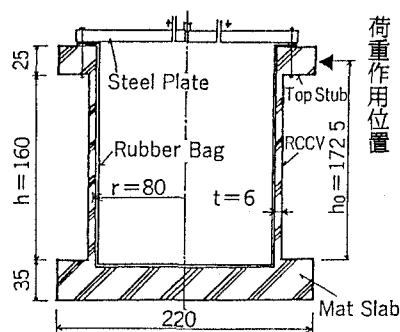


図-2 モデルの形状 (cm)

この結果として図-5に変位図を、荷重-変位曲線を図-6に示した。ひびわれは、両者とも水平荷重が12tonで生じ始めた。図-7にひびわれ性状を示す。

今回の計算の範囲では三次元解析と比較して良く一致し、本解析法の精度を検証することができた。

4. まとめ

本報告で述べた計算手法は、PCCVやRC外部遮蔽壁のような非軸対称荷重を受ける軸対称構造物の非線形解析に有効であり、一般の三次元解析と比較して、要素分割が少なくすみ、また要素再分割も容易である等の特徴をもち、入力データが作りやすく、経済的であると思われる。

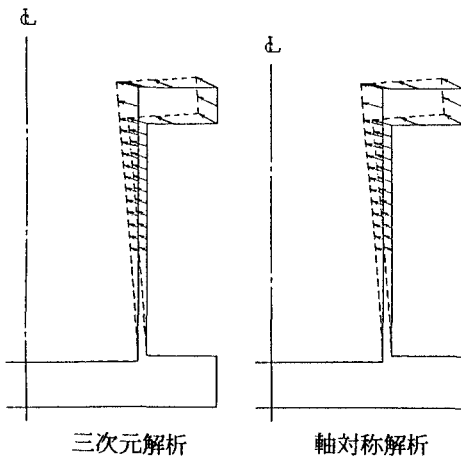


図-5 変位分布図

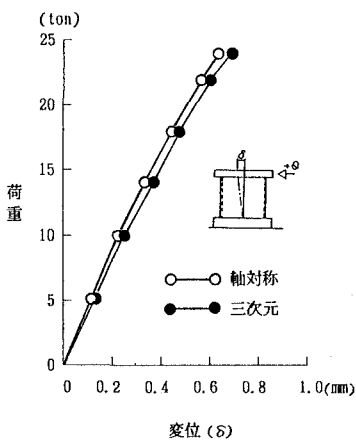


図-6 荷重-変位曲線

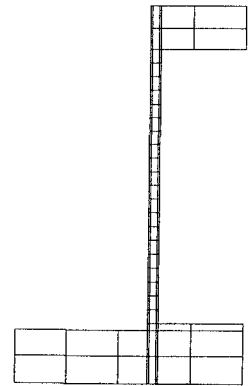


図-3 軸対称要素分割図
(節点数:127, 要素数:91)

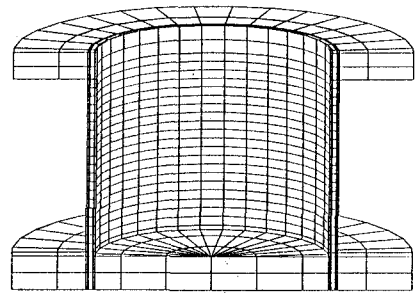


図-4 三次元要素分割図
(節点数:2235, 要素数:1547)

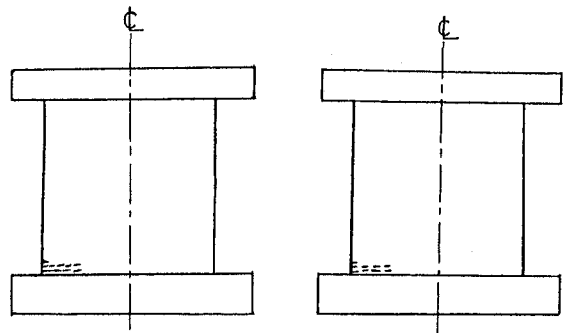


図-7 ひびわれ分布図

参考文献

- 1) O.C.Zienkiewicz著：吉織雅夫、山田嘉昭監訳：基礎工学におけるマトリックス有限要素法、PP 2 5 5～PP 2 7 3，培風館（昭和54年2月）