

立体有限要素解析システムによる 基礎構造物の解析

(株) 構造システム 正会員 ○木村 裕之

同 上

カスパー ハノン

1. はじめに

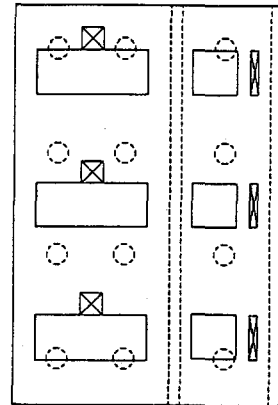
変電機器などの基礎にはケーブル用に開口部を設けたり、洞道と呼ばれるケーブル敷設および管理用の箱型断面がある。(図1) そのような基礎構造物の部材設計は、断面方向に骨組解析をするなどの方法が取られてきた。しかし、開口部があったり、荷重が解析断面に対して面外方向の場合があるといった点で、骨組解析では実態に沿ったモデル化ができていない。立体的なモデルを解析する手法として、有限要素解析が有効である。実際の設計業務には、使用するコンピューター(大型電子計算機、EWS等)やプログラムが高価である、入出力が馴染みにくい、解析結果の評価が専門的である、といったことから多くは用いられていない。

当社では、建築の壁構造などを対象に、パソコンによる有限要素解析プログラムを開発してきた。このプログラムは立体シェル要素を用いており、上記のような断面形状を有する基礎構造物にも応用できる。

立体シェル要素は、節点回転角を自由度に加え、要素辺上に中間従属節点を考慮した平面要素と面外せん断変形も考慮する板要素とを組み合わせている。

入力は、CADをベースにしている。マウスとアイコンによる入力のため、操作性が良く、視点変更や拡大縮小なども容易にできる。出力として、モーメント、せん断力の断面力と応力が画像処理される。

平面図



断面図

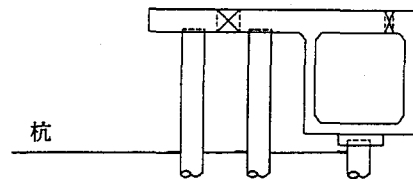


図1 変電機器基礎

2. システムの構成

2.1 ハードウェア

- ・ NEC PC98シリーズ 32ビットパソコン
- ・ 拡張メモリー (8M以上)
- ・ ハードディスク
- ・ マウス
- ・ 数値演算プロセッサ
- ・ イメージプリンター

2.2 ソフトウェア

(1) 解析概要

プログラムは、C言語を使用して記述した。入出力および解析部分の全てに渡り、C言語を利用し、構造化プログラミングを行っている。また、他の機種への移植性を高めている。

要素は、4節点アイソパラメトリック要素を用いた。平面要素[1]と板要素[2]を組み合わせた要素を基本にした、線型の静解析である。平面要素は、1節点の自由度としてX、Y方向の変位 δx 、 δy 、お

よびZ軸方向に回転角 θ_z の3自由度を設定し、辺上に従属節点がある。板要素は、同一節点にX、Y方向の回転角 θ_x 、 θ_y を持ち、更にZ軸方向の変位 δ_z の3自由度を設定している。この板要素は面外のせん断変形を考慮する。(図2)

解析法は変位法を採用した。変位を求める連立1次方程式の解法には、メモリーの効率を高めるスカイライン法を用いている。また、応力結果は、要素中央の値を用いてスプライン関数を定義し、応力コンターを表示できるように処理している。

(2) CAD入力

入力部分は、当社のCADをベースにしている。初期画面において、メッシュの大きさを3方向各々(X, Y, Z)について設定し、材料定数のヤング率やポアソン比のデフォルト値を定める。アイコンによって、壁や床版の部材毎にモデルを設定し、必要に応じて開口部、荷重や支点を決める。

モデル作成をしながら、入力データを作成する。そのデータを解析用に数値変換する。この段階でも修正もしくは、他の有限解析プログラム用にデータを変更することができる。

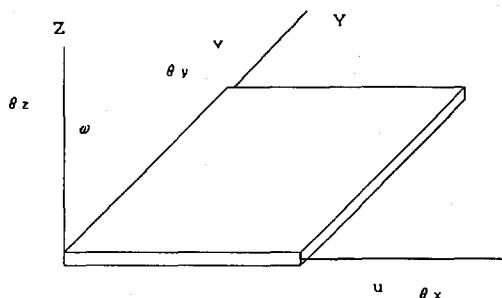


図2 立体シェル要素

(3) 画像出力・数値出力

画像出力についても、CADを利用している。モデル表示や変形図は、立面図、平面図および投影図で表現でき、モデルの回転や縮小拡大も容易である。また、指定する部分の応力を、解析モジュールで計算したスプライン関数に基づき、コンター図で表現する。コンター図の色は、ユーザーが変更可能になっている。ユーザーが設定した任意の応力値については、コンター図を塗りつぶした図（レンダリング）を作成する。それ以外の応力値をもつ部分は、ワイヤーで表現する機能を持っている。この機能を用いることで、例えば、鉄筋コンクリート構造の許容応力度以上の部分を、画面上で明示することが可能である。

数値出力については、変位置、各応力、断面力がテキストファイルに保存される。エディターで編集可能である。また、ポストプロセッシングのための、表計算などに利用しやすい書式になっている。

3. 解析事例

(1) 解析対象

本システムを利用して、立体的にやや複雑な変電機器の基礎構造物について解析を試みた。なお、例は杭基礎を対象としている。基礎上には重量物である変電機器が載り、荷重としてはその重量、基礎自重、および土圧がかかる。杭については、弾性支承上の梁などでモデル化することが多いが、今回、基礎床版の検討を行う目的から杭をヒンジ結合（ピン支点）としている。(図3)

なお、比較のため骨組モデルの計算も行ってみた。(図4)

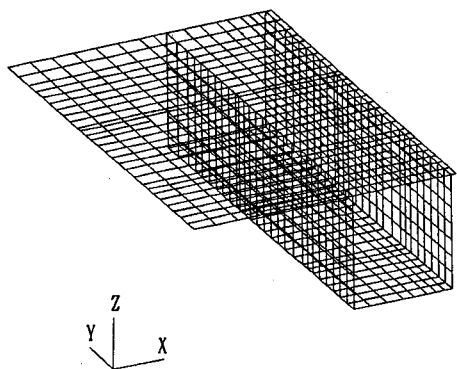


図3 FEMモデル

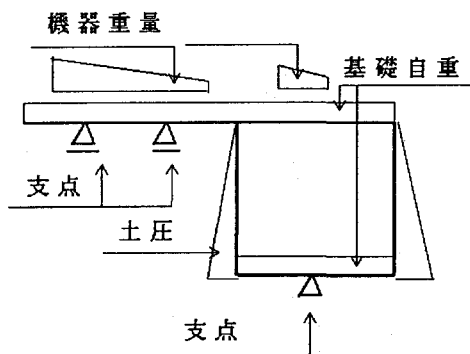


図4 骨組モデル

(2) 解析結果

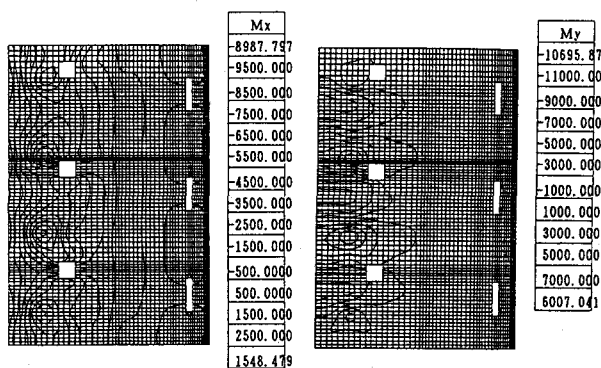


図5 FEM解析結果
曲げモーメント図

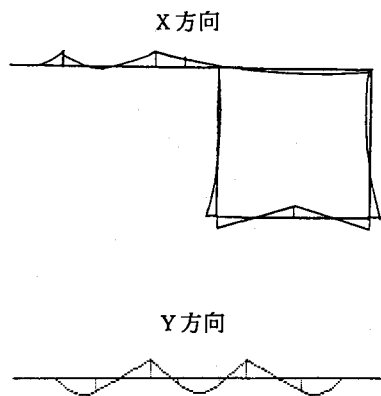


図6 骨組計算結果
曲げモーメント図

表1 解析結果比較

	FEM解析結果	骨組計算結果
最大曲げモーメント t_m	-10.7 / 6.0	-12.5 / 10.8
有効幅 m	-----	1.0
鉄筋量 t	0.72	1.04

骨組みモデルでは、立体構造物を平面的な線で表現するため、X、Y両方向についてモデル化する必要がある。また、開口部については、剛性の低減することにより考慮する方法もあるが、応力集中や直角方向への力の分散は、表現できない。さらに、解析して得た断面力を負担する有効幅を考慮しなければならない。その有効幅も基準や指針等により設定したものであり、応力分布を計算で求め得

た有効幅ではない。

一方、有限要素解析は、そうした問題に解決策を与える。表1は、2つの手法を用いた、解析結果の比較を行っている。断面力は、基礎の長手方向（Y方向）の曲げモーメントを取り上げている。鉄筋量は、その断面力から算出した。有限要素解析の場合、各部分で断面力が算出されているため、有効幅を考慮することなく、その部分ごとに鉄筋量を算出することができる。概算で算出した基礎長手方向全体の所要鉄筋量は、骨組モデルでは約0.72t、FEMモデルは約1.04tとなる。なお、基礎短手方向（X方向）では差異が小さいので比較は省略した。

（3）考察

本システムを利用することで、以下のような効果が期待できる。

- 1) 開口部の影響を確認できる。
- 2) 立体モデルとして構造物の実状に近づけることが可能
- 3) 応力分布を詳細に確認できるので、合理的な配筋をすることができる。
- 4) 荷重分布を立体的に再現できる。
- 5) 変形量を的確に把握できる。
- 6) 荷重分担幅、有効幅を設定することなく設計に反映することができる。

また、解析結果から従来の方法、平面骨組解析に比べ、

- 1) 断面力がX、Y両方向に分担されるため、各方向で計算する骨組解析より小さな値となる。
- 2) 主鉄筋量が長手方向で概算3割程度低減する。

などの点がわかった。

4. おわりに

従来、パソコンは、立体有限要素解析のプラットフォームとして利用されなかった。しかし、パソコンを用いることで、むしろ利便性、迅速な画像処理、容易なファイル管理、経済性等の面から有利な解析が行える。

現在、梁要素を組み込んでおり、将来的には他の要素も導入する予定である。また、設計者の立場から、より使いやすいように改良することや、実際の設計（部材や配筋決定、図面作成）に直結できるようにすることを目標としている。研究目的で多用されてきた有限要素解析も、今後更に、日常的な設計手段となると考える。

5. 参考文献

- [1] Richard H. MacNeal and Robert L. Harder, "A Refined Four-noded Membrane Element with Rotational Degrees of Freedom", Comp. & Struct. Vol. 28 No.1 pp.75-84, 1988
- [2] Klaus-Jurgen Bathe and Eduardo N. Dvorkin, "Short Communication Four-node Plate Bending Element based on Mindlin/Reissner Theory and a Mixed Interpolation", IJNME, Vol. 21 pp.367-383, 1985