

I-11 3次元有限要素法を用いたRC構造物の耐震設計例について

○ 東北電力㈱ 女川原子力(発)建設所 安田 悟
同 上 正会員 上田 亨三郎

1. まえがき

女川原子力発電所海水ポンプ室の耐震設計にあたって、動的2次元有限要素法モデル作成および部材応力算定のための手法として、静的3次元有限要素法解析(以下、「FEM解析」と呼ぶ)を採用したので、その概要を報告する。

2. 構造概要

設計対象は、幅30.1m~32.5m×高さ23.6m~28.4m、長さ77.0m、壁厚1.0m~2.0mの鉄筋コンクリート構造物で、岩盤上に構築された後、その周囲は盛土材にて埋立てられる。なお、躯体の上部は機器・配管類が設置されるため、耐震壁により3エリアに区分され、また水路として利用される躯体の下部は、4連及び2連のボックスカルバートとなっている。

3. 設計手順

設計は図-1の設計フローに従い進めた。その概要は以下のとおりである。

(1) 地震応答解析

設計対象が、地中に埋設される構造物であるため、構造物と周辺地盤の動的相互作用が評価できるように、構造物-地盤連成モデルによって地震応答解析を行うこととした。また、応答解析法としては、法面の存在および地層の傾斜をはじめとする地盤の不整形性が構造物に加わる地震荷重に反映されたものとなるように、動的2次元FEM解析法(解析プログラム: Super FLUSH)を採用した。

a. 地盤-構造物系のモデル化

(a) 構造物

躯体の長手方向において、水路部の隔壁の数や床スラブレベルが変化することに加えて、耐震壁が不規則に配置されているなどにより、代表断面を選定することが困難であった。そこで、予備検討として躯体を壁の配置状況等を勘案の上、3ブロックに区分し、各々を等価な2次元FEMモデルに置換して、地震応答解析を行ない、各ブロック間での位相差を照査した。

この結果、ブロックにより剛性は異なるものの、概ね同位相で震動することが確認されたため、躯体全体を平面要素とはり要素を用いて、等価な2次元FEMモデルに縮合し、これを代表断面として地震応答解析を行うこととした。

この3次元(構造物)から2次元への自由度の縮合は、以下の手順によった。

① 躯体全体を四角形および三角形のシェル要素から成る3次元FEMモデルに置換し、弾性解析により単位荷重作用時の変位を算定する。

② はり要素(スラブや隔壁等)と平面要素(耐震壁)により2次元FEMモデルを作成し、単位荷重作用時の変位を算定する。

③ 上記①と②の変位が等しくなるように、2次元FEMモデルの要素剛性を補正する。

(b) 地盤

地盤の要素分割は、せん断波速度(V_s)に応じて、速度層区分を行ない、各要素の高さは該当する地盤の V_s に応じて定めた。

構造物-地盤連成モデルの概要を図-2に示す。

b. 地震応答解析結果

応答解析結果の内、動土圧(最大値の絶対値)は、躯体左側では平均10.8t/m²(上半分の区間)~9.6t/m²(下半分の区間)、躯体右側(法面のある側)では平均値で9.0t/m²(上半分の区間)~6.3t/m²(下半分の区間)、また躯体内での加速度値は平均560gal(頂部)~330gal(底部)となった。

(2) 部材設計用断面力算定結果

部材設計にあたっては、前述の3次元FEMモデルに対して、常時荷重(固定荷重、機器配管荷重、静止土圧、地下水圧、内水圧、地表面上載荷重等)と地震時荷重(水平地震力は、右向きと左向きの2通り。鉛直地震力は上向きと下向き

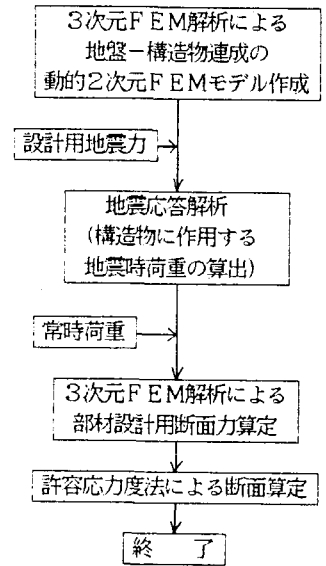


図-1 設計フロー

の2通り。)を適宜組合せて、弾性解析を行ない断面力を算定した。各要素では板の曲げと膜応力を考慮すると共に、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮した。また、支持地盤は等価な弾性ばね(「多治見の振動アドミタンス理論」に基づく静的ばね)として評価し、モデル底面に付加した。解析結果の一例として、各部に発生する変位の鳥瞰図を図-3として示す。この図からは、せん断剛性の小さいモデル図左下の付近に変位が集中する傾向が窺える。

断面算定では、常時および地震時における要素毎の断面力に対して、鉄筋とコンクリートの応力度が許容応力度以下となることを確認した。

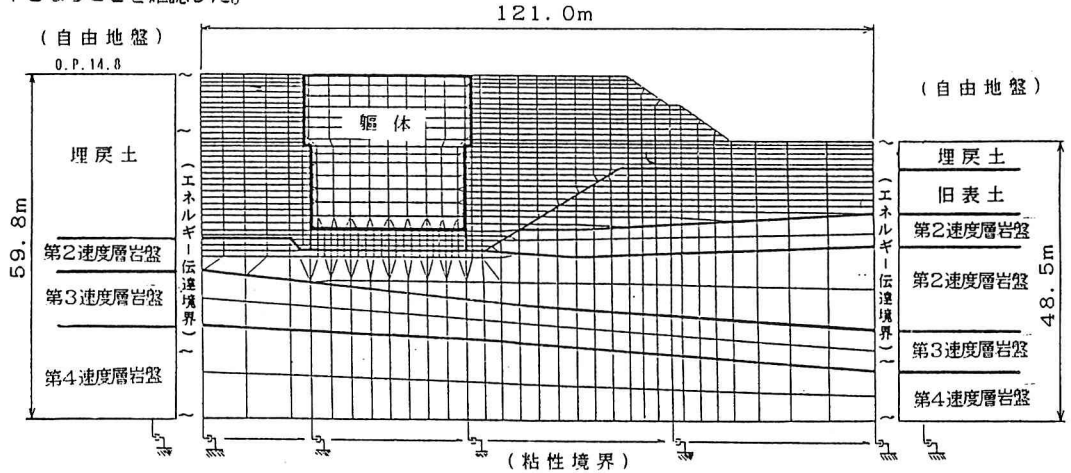


図-2 構造物-地盤連成モデル

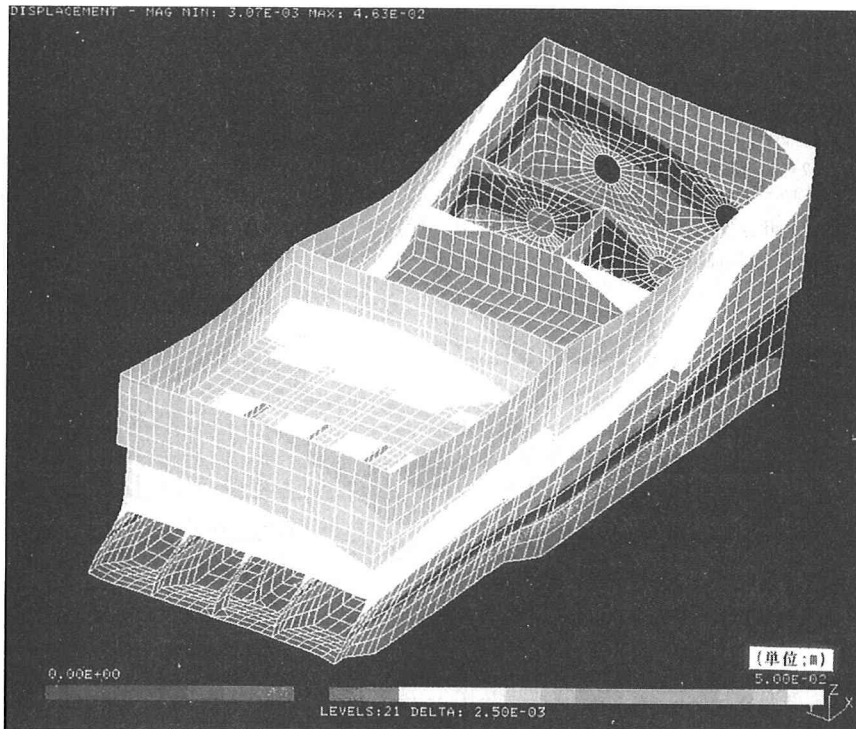


図-3 変位分布図(地震力は左から右に作用)

4. あとがき

断面力算定への3次元有限要素法解析の導入により、耐震壁や開口部に接続するスラブをはじめとして、構造の複雑な部分の設計に、躯体内における応力の流れを適切に反映できたと考えている。