

I - 5 女川原子力発電所第2号機排気筒の耐震設計について

東北電力株式会社 女川原子力発電所建設所  
 ○ 正員 小山内 寛  
 安田 悟

1. はじめに

女川2号機の排気筒は、地表面下約19mの基礎岩盤上に構築される複合フーチング基礎によって支持される。基礎部分の特徴は、排気ダクトを兼ねた中空断面の柱と、厚さ5.0mの基礎版を有する点であり、以下に地震応答解析の概要と部材の設計方法に主眼をおいて述べる。

2. 排気筒及び基礎の構造概要

排気筒は、鋼板筒身を鋼管四角形鉄塔で支えた高さ160.0mの鉄塔支持型構造である。

基礎は、厚さ5.0mで一辺の長さが38.0mの正方形の基礎版と、基礎版に固定された柱梁部（排気筒の筒身と支持鉄塔を支える5本の柱及び相互を連結するつなぎ梁）から成る複合フーチング形式である。（図-1,2参照）

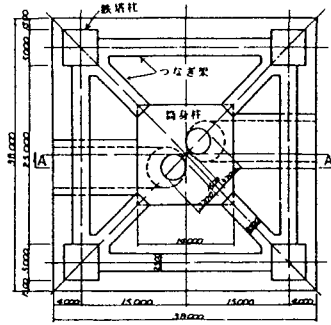


図-1 排気筒基礎平面図

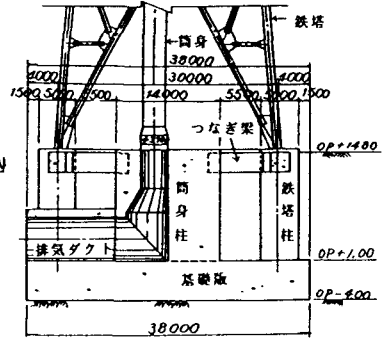


図-2 排気筒基礎側面図(A-A断面)

3. 地震応答解析

(1) 構造物及び地盤のモデル化

a. 排気筒のモデル化

排気筒及び支持鉄塔は、斜材または水平材が主柱材に接合される高さに質点を設け、曲げ・せん断変形をする質点系としてモデル化した。（図-3参照）

b. 基礎部分のモデル化

基礎は、5本の柱と基礎版を曲げ・せん断変形をする質点系にモデル化した。

c. 地盤のモデル化

(a) 基礎岩盤

基礎底面下の岩盤を表わす地盤ばねは、基礎版底面下の地盤を半無限地盤とみなして三次元波動論により評価する多治見の振動アドミッタンス理論（原子力発電耐震設計特別調査委員会報告書のED法）により算定した。

(b) 埋戻土

基礎全体を等価な円筒とみなして、埋戻土をNovak関数により側面ばねとしてモデル化し、制振効果を考慮したケース（「埋込みSRモデル」）と、制振効果をあえて無視したケース（「SRモデル」）の2ケースを考えた。

(2) 解析手法

地震応答解析は、地盤-構造物連成モデルに、基礎底面位置における設計用地震動を入力し、時刻歴直接積分法により行った。

なお、「埋込みSRモデル」による地震応答解析では、側面ばねを介して周辺地盤の変位及び速度を入力する多入力解析を行った。

(3) 解析結果の比較

排気筒部分の加速度応答値については、「SRモデル」と「埋込みSRモデル」とで有意な差は認められず、基礎部分の曲げモーメントが、「埋込みSRモデル」において最大で30%程度低減する結果となった。（図-4参照）

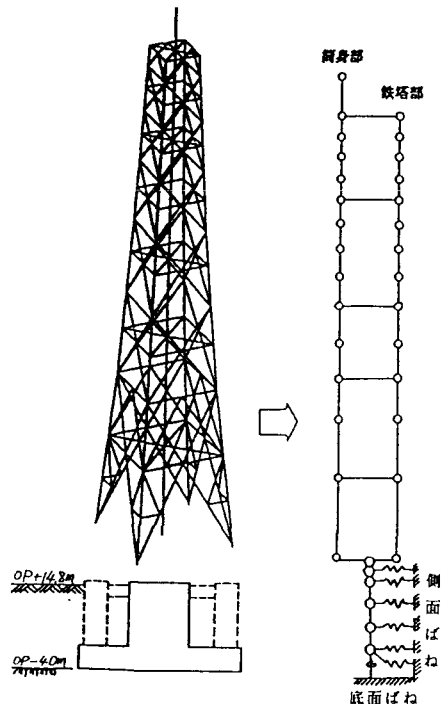


図-3 地盤-構造物連成モデル

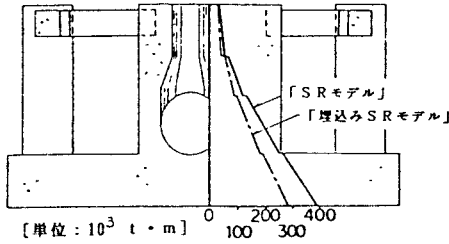


図-4 排気筒基礎部の曲げモーメント

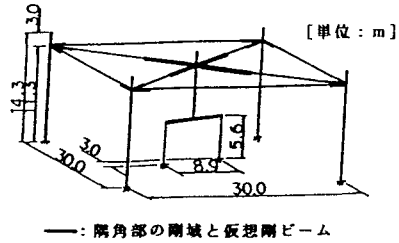


図-5 立体フレームモデル

4. 部材の設計

(1) 排気筒

排気筒の応力解析は、地盤-構造物連成モデルの各質点における曲げモーメントとせん断力の時刻歴応答の最大値を求め、各々の最大値分布を発生させるような荷重に換算し、これを筒身と鉄塔からなる三次元立体フレームモデルに作用させて行った。

(2) 排気筒基礎

排気筒基礎の応力解析は、柱梁部と基礎版とに分けて行った。

柱梁部の設計では、隅角部の剛域を考慮し、部材軸線位置で立体フレームにモデル化した。(図-5参照)

筒身柱下部は、図-1, 2に示すような開口を有しており、荷重作用方向と部材軸が一致せず3次元的な挙動をすると考えられるため、2本のビームとしてモデル化した。

また、筒身柱上部は、断面内に開口を有するが閉合しており、一体として挙動すると考え1本のビームでモデル化し、下部の2本のビームと仮想剛ビームで連結した。なお、各柱の下端部は、基礎版による拘束が大きいため固定条件を付与した。

基礎版の設計では、基礎版をシェル要素によりモデル化し、各節点に鉛直方向及び水平二方向の地盤ばねを付加するとともに、上部に柱がある部分には平面保持の条件を設定した。(図-6参照)

基礎設計用の荷重としては、上部工の自重、上部工が受ける風荷重と地震荷重、基礎の自重と地震時慣性力、地表面上載荷重、土圧、浮力の他に、不静定構造となる柱梁部の設計では乾燥収縮力も考慮し、断面設計を行った。

なお、断面設計は安全側の設計とすべく「SRモデル」と「埋込みSRモデル」の応答値を包絡して行った。

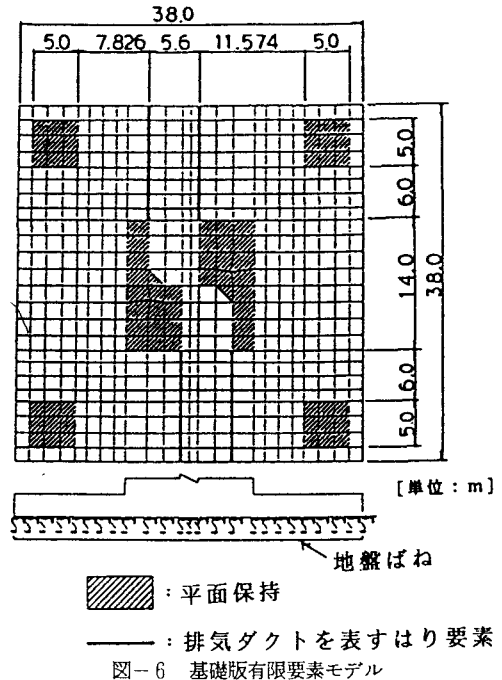


図-6 基礎版有限要素モデル

5. おわりに

部材の設計では、3次元立体フレーム解析及び柱部分の剛性を考慮した基礎版のFEM解析により、基礎版と筒身柱の応力評価を適切に行うことができたと考えている。