

大成建設 ○岩野 政浩 泉 博允
大成建設 中尾 健児 杉原 豊

1. はじめに 原子力発電所の立地拡大のための地下立地方式は、環境保全や敷地の有効利用、及び耐震性の面で優れた特徴を有している。この地下立地には、地上からの掘削による堅型方式や地下空洞方式等があげられるが、本論文では円筒堅型地下原子力発電所を取り上げ、数値解析手法によりその耐震性の定量的評価を行った。

解析にあたっては、成層な硬質地盤、軟質地盤の2種類を立地地盤として設定し、人工地震波に対する時刻歴応答解析を、モデルの側方、下方への波動逸散を考慮した軸対称FEMを用いて実施した。なお、比較検討のために地上立地の場合についても同様の検討を行い、地下立地は十分耐震性にも優れ、本検討条件のもとでは立地の可能性が十分あることが認識された。

2. 解析条件 硬質地盤と軟質地盤の物性値を図-1に解析モデルと併せて示す。物性値の設定に当たっては、地上原子力発電所の各建設地点の地盤を参考にした。解析領域は、半径方向には建屋の直径(80m)の2倍(160m)を深さ方向には3倍(240m)とし、地盤は軸対称ソリッド要素でモデル化した。一方、建屋は軸対称円筒シェル要素とし、内部コンクリート構造は、1次周期が10 HZ程度となるようにモデル化した。解放基盤面はVSが1000 m/secの地層の上面に設定し、この解放基盤面上で図-2に示した設計用限界地震動(S2)を想定した。このS2地震動をもとに、モデル底面(GL-240m)での入射波を算定し、解析モデルへの入力とした。解析は、0.2~25 HZの周波数を対象に複素応答法を用いて実施した。

3. 解析手法 円筒堅型地下原子力発電所は、地下に完全に埋設される点に着目すれば、従来より地中構造物の耐震設計手法として地盤のひずみに着目した応答変位法が実用的な方法としてあげられるが、ここでは地盤と構造物の動的相互作用を考慮すると共に、建屋の内部構造物に至るまで詳細な検討を可能とし、構造系の3次元効果を評価するために、軸対称FEM解析を適用した。この軸対称FEM解析の特徴は、モデル境界での波動逸散を考慮するため、次の点に対して解析的処理を払っている。

- i) 側方境界-----粘性境界を軸対称モデル用に改良し、波動の解析領域内への反射を無くしている。
- ii) 下方境界-----モデル底面下の地盤の波動インピーダンスを考慮し、波動の地下逸散現象を評価している。

4. 解析結果 図-2に建屋天端の半径方向加速度波形を示す。周期特性および加速度値に各々差が認められ、Case1では建屋の自己振動が見られる。図-3に建屋天端、内部コンクリート、建屋基礎の応答加速度のフーリエスペクトルを示す。天端(A点)を比較すると、Case1では、建屋の固有周期(0.4秒)において、Case3では、GL-240mまでの地盤のせん断1次振動(1.1秒)が、Case2、4では、0.1~0.5秒に入力地震動にみられる複数の周期が卓越しているのがわかる。内部コンクリート(B点)と基礎(C点)は各場合とも類似した運動をしており、B点ではCase3そのもので、

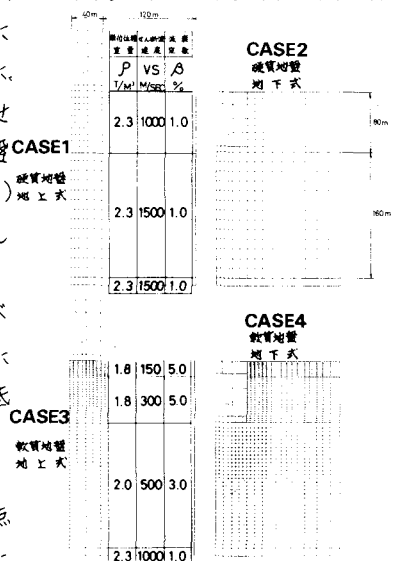


図-1 解析モデルと物性値

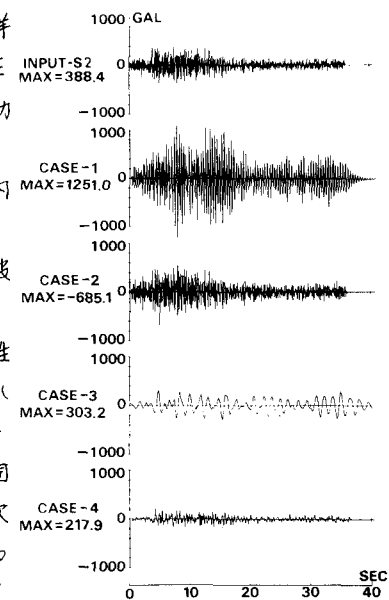


図-2 基準地震動と加速度応答波形

0.12 秒付近に卓越周期がみられる。図-4 に半径方向最大加速度分布を示す。地盤においては、軟質地盤で波動の乱れが生じているのがわかる。これは伝播する波動の波長が短かく、構造物の存在の影響を強く受けるためである。地下式の場合、硬質地盤においては、構造物周辺で加速度の増幅がみられ、軟質地盤では地盤運動の抑制がみられる。これは、建屋と周辺地盤との相対的な硬軟によるものと思われる。建屋自体の応答倍率をみると、硬質地盤の地上式、地下式で各々 2.8, 2.4 倍を示し、軟質地盤では 1.0 倍前後と低い値を示している。図-5 に地盤の八面体せん断歪(γ_{oct})の最大値の分布を示す。地上式においては、硬質、軟質地盤とも建屋端部に局所的に歪の増大がみられるが、これは建屋のロッキング振動によるものと思われる。地下式においては、軟質地盤では建屋の剛性により周辺地盤の歪が遠方地盤に比較し、生じにくい結果となっているが、硬質地盤では逆に側壁部の周辺地盤の方が多少大きめの値を示している。図-6 に建屋シェル部材の鉛直方向、円周方向の軸力、および断面内の曲げモーメントの最大値の分布を示す。硬質地盤においては、地上式の方が、軟質地盤においては、地下式の方が、各成分とも大きめの値となる。なお、建屋下端における軸力と曲げモーメントの最大値より地震時増分応力を算定すると、各ケースで各々 60, 15, 20, 28 kg/cm^2 となる。

5. まとめ 円筒型地下原子力発電所の耐震性の検討を解析的に実施し、硬質地盤および軟質地盤での立地の可能性が十分あることが認められた。また、ここで適用した解析手法は円筒型原子力発電所の耐震設計を行うにあたり有効な手法であることを確認した。今後さらに、地盤の非線形性、傾斜地盤の影響を考慮して、検討を加えていく予定である。(参考文献)

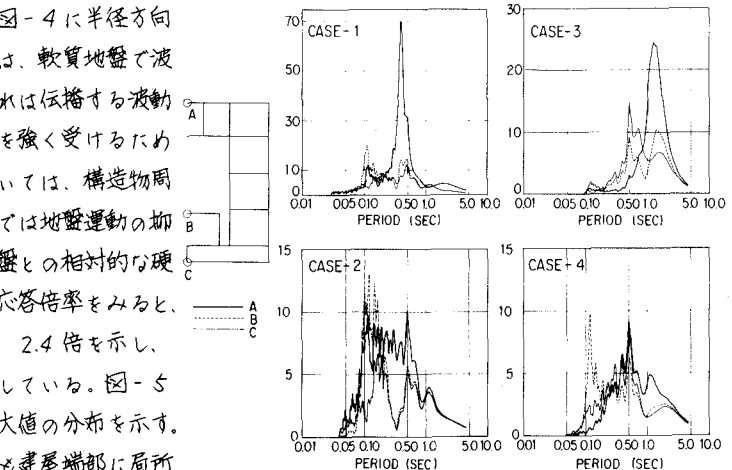


図-3 フーリエスペクトル

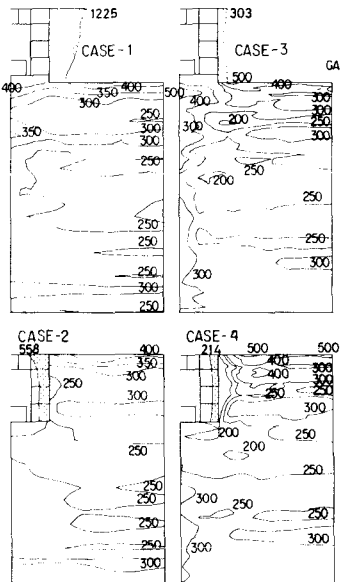


図-4 最大加速度分布図 ($\theta = 0^\circ$ 断面)

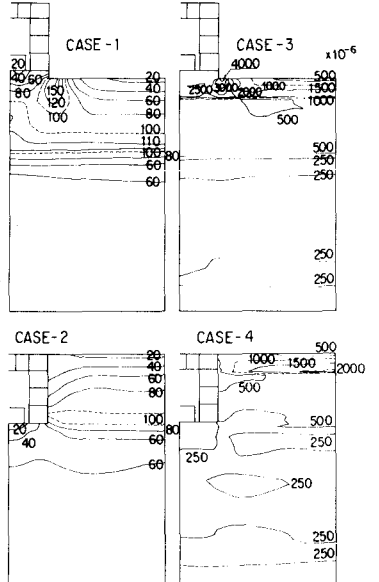


図-5 最大 γ_{oct} 分布図 ($\theta = 0^\circ$ 断面)

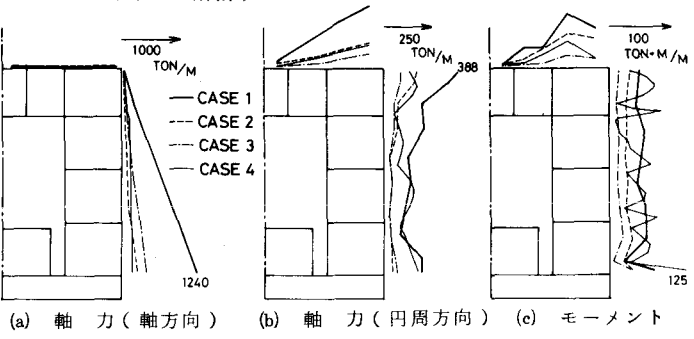


図-6 最大断面力分布図 ($\theta = 0^\circ$ 断面)

1) Lysmer・Kuhlemeyer; Proc. ASCE, 98, EM. 4, P.859~877, 1969
2) 多賀・富樫; 第 16 回土質工学研究発表会講演集, P.1209~1212, 1981