

I-564 地下構造物の設計用入力地震動に関する一考察

電源開発(株)	正員	○有賀	義明
電源開発(株)	正員	堀	正幸
電源開発(株)	正員	多賀	宗紀

1 まえがき 地下空間の有利性の1つとして、地下においては地震動の強さが地表より概して小さくなることを挙げることができる。このような地下空間の有利性を活用し、将来の電源立地を拡大する一方策として原子力発電所の地下立地を考えることができる。原子力発電施設としての地下空洞および地下空洞内に建設される構造物、機器・配管系等については耐震安全性の確認が必要不可欠となるが、その際、入力地震動としてどのような地震動を用いるかが重要なポイントとなる。一般的に地下構造物の設計用入力地震動として考えられ得るものを列挙すると表-1のようになる。理想としてはサイトで得られた実測地中地震動が良いと思われるが、規模が十分に大きな地震動はなかなか得られるものではないため、実際には適切な方法により作成した模擬地震動を用いることになる。従来の地上式の原子力発電所の耐震設計では、解放基盤表面という概念が導入され、解放基盤表面で定義された基準地震動に基づき各サイトの地盤条件に応じた耐震解析が実施される。こうした考え方を踏まえ、ここでは、構造物を解放基盤表面に設置した場合と地下空洞内(横型全地下式の地下立地方式を想定)に設置した場合の各構造物設置位置の地震動を比較することにより、地下構造物の設計用入力地震動について若干の考察をした。

2 地震応答解析 構造物を解放基盤表面に設置した場合は、基準地震動がそのまま構造物設置位置での地震動となるが、地下空洞内に設置した場合については、図-1に示す解析用地盤モデル(下郷地下発電所をモデル化)を用いて地下空洞底盤位置での地震動を求めた。解析用地盤モデルの境界条件は、下方・側方境界共に粘性境界を設定し、地盤物性値は表-2の値を使用した。基準地震動には、軽水炉改良標準化耐震設計小委員会が提示した標準地震動の中から表-3に示す2波を用いた。解析コードは、当社で開発した“DANON”(直接積分法による非線形動的解析プログラム)を使用した。¹⁾なお、解析は、①位置Aを解放基盤表面と仮定する:②位置Aで地震動の引き戻しを行う(“SHAKE”による):③位置Bで算出された入射波(2E)を解析用地盤モデルの下方から入力する:④位置Cでの応答波形を出力し位置Aの基準地震動と比較する、のフローで実施(線形解析)した。

3 解析結果 基準地震動として標準地震動[1]を用いた時の、解放基盤表面位置と地下空洞底盤位置の加速度時刻歴の比較結果を図-2に、速度応答スペクトルの比較結果を図-3に示す。同様に、基準地震動として標準地震動[2]を用いた時の解放基盤表面位置と地下空洞底盤位置の加速度時刻歴の比較結果を図-4に、速度応答スペクトルの比較結果を図-5に示す。これらの結果では、地下空洞底盤位置の加速度振幅は解放基盤表面位置の約1/2となった。また、スペクトル特性については、地下空洞底盤位置では解放基盤表面位置に比べて0.08秒~1.0秒の短周期成分がかなり低減し、この傾向は、短周期成分を多く含む地震動において顕著であった。

4 あとがき 地上(堅固な岩盤)に構造物を建設した場合と、地下(十分な地山被りのある地下空洞内)に構造物を建設した場合を想定し、動的応答解析により構造物の入力地震動について検討してみたところ、地下に設置した場合は、地上に設置した場合に比べ、加速度振幅が小さくなり、短周期成分が低減するという結果を得た。沼原地下発電所²⁾・下郷地下発電所等³⁾での地震観測結果では、地下地震動については、【1】深い地下での加速度は、水平動の場合、地表の1/2~1/3以下になる:【2】地下の地震動のスペクトルは地表部で卓越する短周期成分が低減する等の知見を得ているが、今回の解析の結果は実地震観測の結果と良く符合するものであった。

表-1 地下構造物の耐震設計用入力地震動

NO	地震動の種類	備 考
1	サイン波	・条件設定（どの周波数を何波用いるか）が難しい。
2	ホワイトノイズ	・ある最大振幅値を設定した時、他の周波数特性を有する波に比して、対象構造物に最も悪い影響を与える波とは限らない。
3	強震記録	・地表部での記録が多く、そのままだでは地下の特性を考慮できない ・国 内：八戸(1968.5.16)、御北橋(1978.6.12) ・海 外：El Centro(1940.5.18)、Taft(1952.7.21)
4	標準地震動	・従来の原子力発電所の耐震設計に適用されている。 ・軽水が改良標準化耐震設計小委員会が提示。
5	実測地下地震動	・沼原、下野、池原、御母衣、城山、落合、鬼怒川 ・強震記録がなかなか得られない。
6	模擬地震動	(1) 標準地震動、強震記録等をもとに重複反折理論、有限要素法を用いて解析計算によりシミュレーション地震動を求める方法。 (2) 実地震観測記録に基づき地下地震動の周波数特性、位相特性最大速度振幅等を推定し、人工地震波を作成する方法。 (3) 新層モデルから人工地震波を作成する方法。

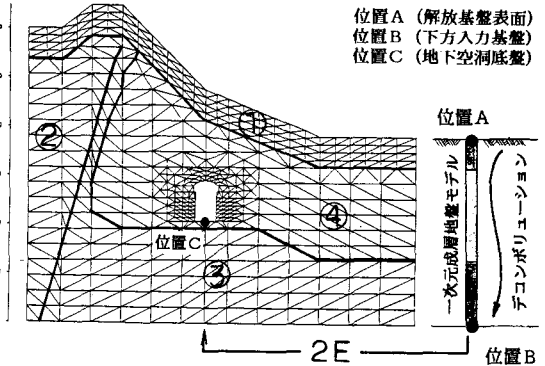


図-1 動的解析用地盤モデル

表-2 解析用地盤物性値

岩盤分類	密度 (t/m ³)	S波速度 (m/s)	ポアソン比	減衰定数 (%)
1	2.2	1000	0.3	5
2	2.6	2300	0.3	2
3	2.7	2450	0.3	2
4	2.8	2600	0.35	1

表-3 動的解析に用いた入力地震動

基準地震動	概 要
標準地震動 [1]	低地震地帯, S2, M6.5, Δ7.2km (直下地震) 位相: Cholame Shandon, 最大加速度: 340.13 (gal), 0~10秒使用
標準地震動 [2]	高地震地帯, S1, M8.4, Δ9.0km (遠地震) 位相: TAFT EW 最大加速度: 286.15 (gal), 0~15秒使用

(標準地震動: 軽水が改良標準化耐震設計小委員会が提示)

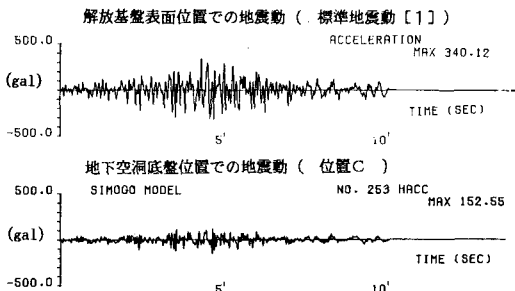


図-2 解放基盤表面位置と地下空洞底位置の加速度時刻歴
(標準地震動 [1] の場合)

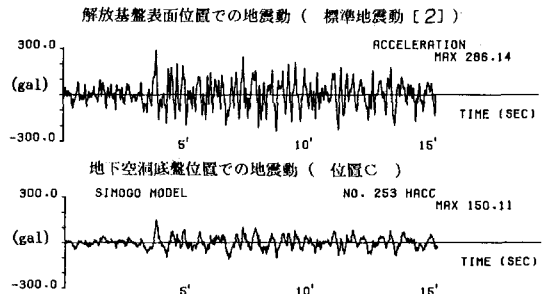


図-4 解放基盤表面位置と地下空洞底位置の加速度時刻歴
(標準地震動 [2] の場合)

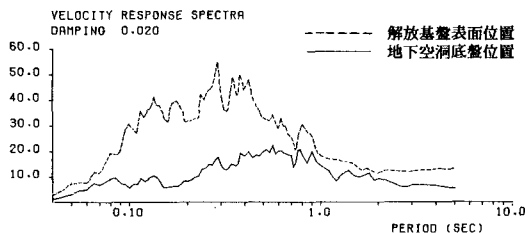


図-3 解放基盤表面位置と地下空洞位置の速度応答スペクトルの比較 (減衰 2%、標準地震動 [1] の場合)

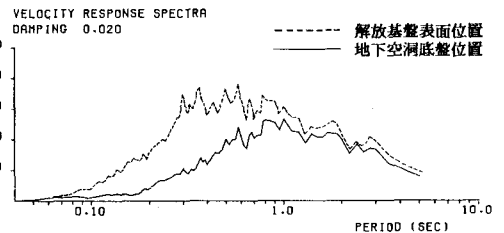


図-5 解放基盤表面位置と地下空洞位置の速度応答スペクトルの比較 (減衰 2%、標準地震動 [2] の場合)

【 参考文献 】

- 1) 有賀, 堀; 地下発電所における地震動シミュレーション解析, 土木学会第40回年次講演概要集, I-417, 1985.9.
- 2) 有賀, 堀, 市川; 沼原地震記録による地下地震動特性一応答スペクトル形状一, 土木学会第38回年次講演概要集, I-419, 1983.7
- 3) 有賀, 堀; 地下空洞における地震観測 (下郷地下発電所), 土木学会第39回年次講演概要集, I-400, 1984.9.