

電源開発(株) 正会員 有 賀 義 明

電源開発(株) 正会員 清 水 秀 昭

電源開発(株) 正会員 市 川 芳 忠

まえがき

原子力発電所の地下立地方式の研究の一環として、当社では、沼原(栃木県:東経139°56',北緯37°06'),池原(奈良県),御母衣(岐阜県)の大規模地下式水力発電所に於いて、地下の地震動特性を把握解明するために地震観測を実施している。前回の講演会では、沼原での地震観測方法・観測記録解析手法の概略を示し、観測波形と解析結果の代表例を紹介した¹⁾。沼原では、現在までに計16の地震記録が得られ、一部は整理中であるが、本報では、9つの地震に関する解析結果(伝達関数, 応答スペクトル)を紹介し、若干の考察を述べる。

空洞掘削型の地下式原子力発電所は、スパン約30m程度の地下空洞を複数個有するので、これら地下空洞群の健全性、特に地震時の安定性の証明が必要となる。この場合、有限要素法等の解析の手法を用いて地下空洞群の動的解析をすることが考えられるが、岩盤の非等方不均質性の評価や地震時の岩盤物性値をどうとるかという問題に加えて、入力としてどのような地震動を用いるかが重要な課題となってくる。地上式の原子力発電所に関しては、原子力委員会により示された耐震設計審査指針の中で設計用地震動策定手法が提示され、また、近年、標準設計用スペクトルが提案されるなど、耐震設計に用いるべき入力地震動に関する知見が体系化されつつあるが、地下式原子力発電所に関しては検討すべき課題が多い。ここに示した結果は、一つの観測例ではあるが、地下地震動を検討するに際しての一基礎資料となれば幸いである。

伝達関数

沼原発電所の地震計設置場所は、図-1の如くであるが、表-1に示す沼原観測地震動から求めた伝達関数を図-2に示す。この伝達関数は、(1)式に示す様に、地表と地下のバ
³⁾

$$P_1(f)/P_2(f)$$
ワースペクトルの振幅比の平方根として求めている。

$$\text{伝達関数 } T(f) = \sqrt{P_1(f)/P_2(f)} \quad \text{--- (1)}$$

図-2から分るように、水平動の場合は6~11Hz付近にピークが見られ、上下動の場合は10~15Hz付近にピークが見られる。振幅比は、水平動より上下動の方が概して小さいが、0~5Hzの低周波数域では、共に振幅比も小さく周波数特性

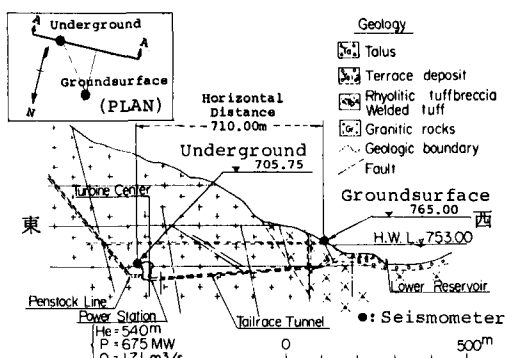


図-1 沼原地震計設置場所 (A-A断面)

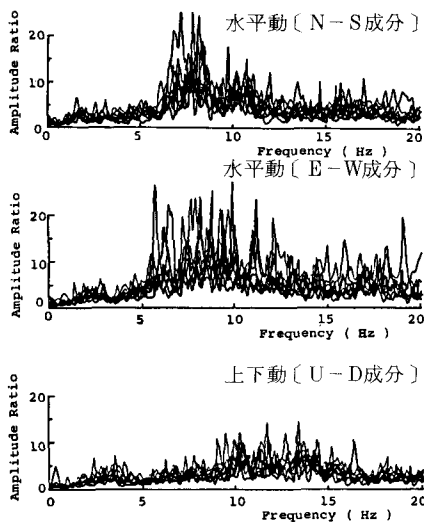


図-2 伝達関数

表-1 沼原地震観測記録

No.	1	2	3	5	6	7	8	9	11		
発生年月日	1977 12.17	1978 1.14	1978 2.20	1978 3.7	1978 3.20	1978 5.11	1978 6.12	1978 6.14	1979 3.11		
震央	北緯 36°36' 34°46' 38°45' 32°08' 36°05' 37°17' 38°09' 38°12' 37°17'	東経 141°12' 139°15' 142°12' 137°44' 139°53' 141°48' 142°10' 142°29' 141°43'									
マグニチュード	5.3	7.0	6.8	(7.8)	5.5	5.4	7.4	6.3	5.5		
震源深さ (km)	40	0	40	300	50	40	40	40	40		
震央距離 (km)	130	260	340	590	120	170	230	260	160		
最大加速度 (ガル)	地表	N-S	10.9	0.80	3.67	4.4	29.9	2.8	10.7	0.50	3.6
		E-W	7.7	0.77	3.18	4.0	30.3	3.0	9.6	0.62	5.5
		U-D	6.1	0.40	1.19	1.6	9.3	1.2	6.3	0.37	2.7
		地下	N-S	2.2	0.33	0.88	1.8	14.5	0.5	3.3	0.24
最大加速度振幅比 (地表/地下)	地下	E-W	2.4	0.30	0.96	1.6	10.8	0.6	2.4	0.20	1.3
		U-D	1.9	0.30	0.80	1.4	8.6	0.4	2.6	0.16	0.8
		N-S	4.93	2.42	3.67	2.44	2.09	5.6	3.24	2.08	2.25
		E-W	3.17	2.57	3.18	2.50	2.81	5.0	4.00	3.10	4.23
最大加速度振幅比 (地表/地下)	U-D	U-D	3.27	1.33	1.19	1.12	1.09	3.0	2.42	2.31	3.38
		震害	震害	震害	震害	震害	震害	震害	震害	震害	震害

に明瞭な差は見られない。地震動特性は、地震の発震機構等の種々の要因によっていろいろな影響を受けると考えられるが、図-2では、マグニチュード(M)、震央距離(Δ)、継続時間、最大振幅、周波数特性がそれぞれ異なる九つの地震動の伝達関数が各振動成分においてほぼ類似した傾向を示している。このことから、伝達関数は、観測した地点の地盤特性に最も大きく依存するものであり、M、 Δ 等の影響はあまり受けないと考えることが可能である。多重反射理論に基づくシミュレーションでも同様の結果が得られている。

応答スペクトル

減衰定数が0.05の時の規準化加速度応答スペクトルを、近距離〔 $\Delta < 200$ km, (M < 6)〕, 遠距離〔 $\Delta \geq 200$ km, (M ≥ 6)〕, 水平動, 上下動, 地表, 地下に分類して図3~図6に示す。特徴的なことは、近距離と遠距離とで、特性が大きく異っていることである。地震動の伝播経路上の履歴から、一般に近地地震では短周期成分が卓越し、遠地地震では長周期成分が卓越して来ると考えられるが、この傾向は、水平動・上下動共に認められ、上下動でより顕著である。水平動と上下動の差は、遠距離において、比較的目的立つ。地表と地下の差は、地下では短周期成分が減少しており、地表より長周期側にピークが現われることが多い。応答倍率は地表の方が概して大きい、周期によっては、地下の方が大きいことがある。ただし、絶対加速度応答スペクトルでは、地表より地下の方が大きくなることは、殆んどない。

あとがき

地下地震動の最大振幅、周波数特性について検討するために、ここでは、沼原地震記録から求めた伝達関数、応答スペクトルを紹介した。最近では、応答スペクトルの統計解析に関する研究も多く報告されているが、その種の検討も試みたいと考えている。これまで沼原等における地震観測記録に基づき、大規模地下空洞の地震時挙動に関する検討等も行っているが、今後も地震観測を継続しつつ、地下地震動特性を定量的に把握し、地下空洞群の動的安定性解析に活用出来る妥当な解析手法を確立するために、地盤モデル(岩盤物性値等)、多入力等の問題も考慮に含めつつ、検討を重ねる予定である。末尾ながら、東大生研久保慶三郎教授の御指導に深く感謝の意を表します。

(参考文献) 1) 有賀, 市川, 橋本; 地下における地震動特性 第34回年譜要集 1-153, 1979, 10 2) 市川, 有賀; 地下空洞の地震時挙動観測例 第15回地震工学研究発表会講演概要 P169~P172, 1979, 7 3) 大崎順彦; 地震動のスペクトル解析入門 鹿島出版会 1976

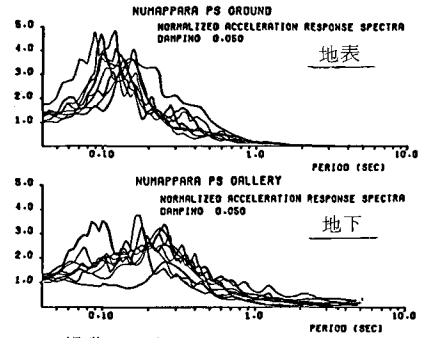


図-3 規準化加速度応答スペクトル
〔近距離, 水平動〕

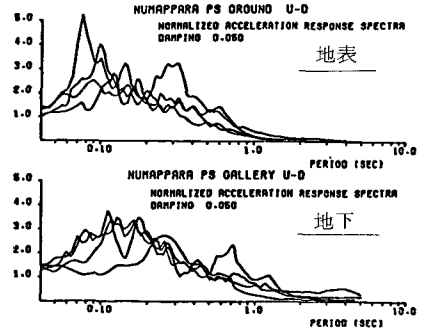


図-4 規準化加速度応答スペクトル
〔近距離, 上下動〕

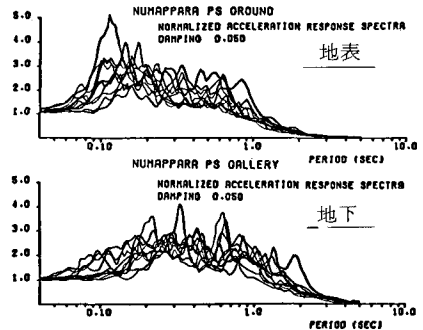


図-5 規準化加速度応答スペクトル
〔遠距離, 水平動〕

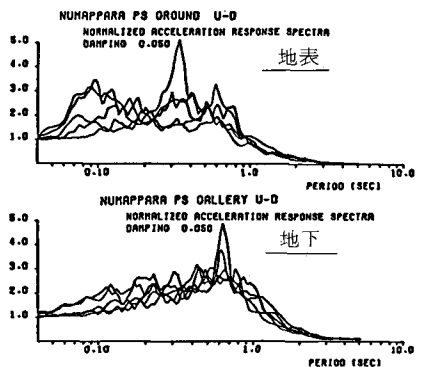


図-6 規準化加速度応答スペクトル
〔遠距離, 上下動〕