

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 市 川 芳 忠

ま え が き

石油の地下備蓄，LNG地下タンク，放射性廃棄物の地下貯蔵等をはじめとして，最近は，地下空間利用の必要性が，様々な方面で強く認識されるようになり，それに伴ない，地下構造物の耐震設計に関する研究も活発に行なわれるようになってきた。当社では，原子力発電所の地下立地方式に関する研究の一環として，地下における地震動特性，地盤の伝達特性，大規模地下空洞の地震時挙動等を把握・解明するために，昭和51年度より，池原（奈良県）を皮切りに，御母衣（岐阜県），沼原（栃木県），下郷（福島県）の各水力地下発電所において地震観測を実施している。地下立地方式原子力発電所の耐震設計においては，岩盤内に掘削された空洞自体が，極めて重要度の高い原子力施設（Asクラス）として取り扱われ，現実には起り得ないような荷重条件下での空洞の健全性の証明が必要となる。その際，設計用入力地震動として何を用いるかが重要な問題となる。そこで，本報では，設計用入力地震動策定時の大きな要素であるスペクトル特性を検討するために沼原での記録を紹介する。地下構造物の耐震設計を考える際の一参考資料となれば幸いである。

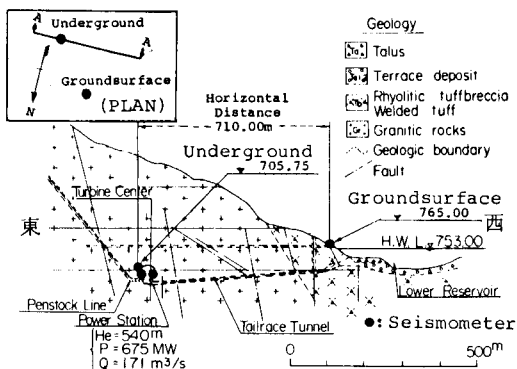


図-1 沼原における地震計設置位置

表-1 沼原における地震記録概要

(57.12月現在)

沼原地震記録

沼原（東経139°56′，北緯37°06′）

では，図-1に示すように，地上（加速度・変位共に3成分），地下（加速度・変位共に3成分），地下空洞側壁（変位6成分）に計18成分の地震計を設置しており，昭和52年12月に最初の記録が得られてから，昭和57年12月までの間に，表-1に示すような計46回の地震が記録された。これらの記録から，深い地下での地震動に関して，次の様な知見を得ている。

- 地下地震動の加速度振幅は，水平動の場合，地上の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 以下となる。上下動の場合は， $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{2}$ 以下となる。
- 地下での減衰効果は，震中距離が小さくなる程，大きくなる。直下型地震になればなる程，耐震上，地下の方が

分類	No.	発生年月日	マグニチュード	震央距離 (km)	震源距離 (km)	震源深度 (km)	地上での最大 加速度 (gal)	地下での最大 加速度 (gal)	地上での最大変位 (μ)	地下での最大変位 (μ)	地上での最大変位 (μ)	地下での最大変位 (μ)	備考	
直下型	42	81.12.22	4.4	21	21	0	20.5	3.8	5.4	239	83.6	3.5	116	震央距離30km以下
	4	78.3.6	4.0	22	55	50	5.0	1.4	7.2	28.4	15.2	3.0	—	
	24	80.7.7	3.0	10	10	0	25.4	1.5	17.2	74.6	9.6	10.1	26.0	
	28	81.1.1	2.6	10	10	0	6.0	1.1	8.0	28.8	9.5	4.0	11.3	
	17	80.3.8	2.6	10	14	10	8.6	2.8	6.7	28.5	3.3	9.8	3.9	
	18	80.3.10	2.5	22	37	30	7.0	2.2	3.4	27.6	8.3	3.5	10.8	
	12	79.6.17	2.4	10	14	10	3.4	0.5	7.8	13.7	2.5	8.8	2.7	
	10	78.6.17	—	27	27	0	12.0	1.1	15.9	81.0	9.3	13.5	22.1	
	8	78.6.12	7.4	229	232	40	8.3	3.0	3.4	469	423	1.1	397	*
	29	81.1.19	7.0	315	315	0	1.2	1.0	1.7	147	135	1.4	164	
東北	3	78.2.20	6.8	271	274	40	3.7	1.0	4.2	239	164	1.8	—	
	31	81.1.23	6.6	302	302	0	—	—	—	105	134	1.0	166	No. 8: 宮城県中地震
	9	78.6.14	6.3	256	259	40	0.6	0.2	3.1	85.2	95.2	1.2	70.2	
	33	81.1.23	6.2	301	301	0	—	—	—	42.8	34.3	2.1	38.8	
	35	81.4.13	5.7	215	217	30	4.1	2.4	2.3	337	179	1.9	233	
	11	79.3.11	5.5	160	165	40	5.5	1.6	4.3	75.0	48.3	1.7	69.8	
	7	78.5.11	5.4	167	172	40	3.0	0.6	5.3	87.3	45.6	2.3	77.6	
	25	80.7.16	5.2	169	174	40	1.5	0.5	2.8	26.4	26.5	1.7	30.0	
	45	82.7.23	7.0	207	209	30	18.1	6.7	2.1	367	373	1.1	666	
	46	82.7.25	5.9	198	198	10	3.9	1.9	2.1	47.9	27.2	2.1	35.1	
関東	13	79.7.11	5.9	135	141	40	8.5	2.2	4.6	218	116	2.2	129	
	39	81.9.2	5.8	180	184	40	1.2	0.4	3.0	55.3	36.3	2.2	44.5	
	43	82.3.7	5.5	95	112	60	11.7	2.6	5.3	106	48.5	1.2	58.4	
	15	79.11.25	5.4	107	139	90	19.9	2.5	8.9	109	44.4	4.0	37.2	
	1	77.12.17	5.3	126	132	40	10.9	2.4	4.9	162	98.2	2.5	—	
	36	81.5.23	5.3	156	161	50	2.6	0.9	4.9	40.8	33.3	1.6	35.2	
	37	81.8.7	4.5	127	133	40	—	—	—	—	—	—	5.7	
	41	81.9.13	4.4	154	154	0	2.8	0.6	5.0	38.3	23.4	2.1	24.9	
	16	79.12.17	4.3	91	109	60	7.1	1.2	6.2	27.4	7.9	4.8	8.5	
	南	2	78.1.14	7.0	266	266	0	0.8	0.3	2.6	74.4	55.6	1.5	—
23		80.6.29	6.7	250	251	10	1.3	0.6	2.7	59.2	47.4	1.7	63.6	No. 2: 伊豆大島近海地震
27		80.9.25	6.1	178	195	80	4.1	1.4	3.5	163	100	1.9	105	
22		80.5.8	5.7	290	296	60	0.5	0.3	1.5	37.8	25.6	1.6	31.0	
19		80.3.12	5.6	244	257	80	1.0	0.5	2.7	19.3	13.2	2.0	15.5	
6		78.3.20	5.5	113	124	50	30.3	14.5	2.8	364	344	1.3	—	
26		80.9.24	5.4	126	150	80	14.0	3.8	5.6	177	55.8	3.2	70.5	
34		81.1.28	5.0	104	120	60	13.9	3.6	6.8	184	64.2	2.9	83.5	
44		80.4.19	4.7	113	124	50	3.5	0.6	5.8	32.8	18.7	2.3	—	
38		81.8.25	5.1	366	500	340	—	—	—	—	—	—	12.0	
遠方	5	78.3.7	7.8	587	659	300	4.4	1.8	2.5	517	517	1.5	—	震央距離50km以上
	32	81.1.23	7.1	622	635	180	—	—	—	27.8	22.3	1.3	28.5	
	21	80.4.22	6.6	579	704	400	10.0	3.0	3.4	102	54.8	2.1	31.0	

有利であると言えることができる。

- 変位振幅は、地下において小さくなる傾向はあるが、地上と地下の差は、左程大きくない。
- 地下地震動のスペクトルは、地上において卓越する短周期成分が欠落し、長周期型となり、その形状は、地上に比してフラットになる。

応答スペクトル形状

表-1中のNo.1~No.22の記録に関して、線形加速度法³⁾を用いて、減衰定数を2%として求めた規準化加速度応答スペクトルを、直下型地震・近距離地震(震央距離<200km)、遠距離地震(震央距離 ≥ 200 km)、地上、地下、振動成分(N-S, E-W, U-D)に分類して、図-2~図-4に示す。特徴的なことは、震央距離の大小に応じて応答スペクトル形状が大いに異ってくることである。地震動の特性は、マグニチュード、発震機構の違いにもよろうが、伝播経路上の履歴から、近距離地震では短期成分が卓越し、遠距離地震になるに従って長周期成分が卓越してくるようになると考えられるが、この傾向は、各振動成分において認められ、上下動(U-D)でより顕著である。

あとがき

通常の地上式原子力発電所に関しては、設計用入力地震動のスペクトルとして、大崎スペクトル等、これまでの知見の集約が提案されている。地下地震動については観測例が少ないこともあり、今後、地下立地方式原子力発電所を含め、地下構造物の耐震設計を進歩させて行くためには、データの蓄積が欠かせないと思われる。当社の下郷発電所では、計33成分の地震計を設置して昨年より、地下地震動の観測を実施している。後日、機会を見て、その成果を紹介したいと考えている。

なお、本報は、計器の保守・管理、解析など多数の人々の努力の結果であることを記すと共に、末尾ながら、御指導頂いた埼玉大学 久保慶三郎 教授に厚く感謝の意を表します。

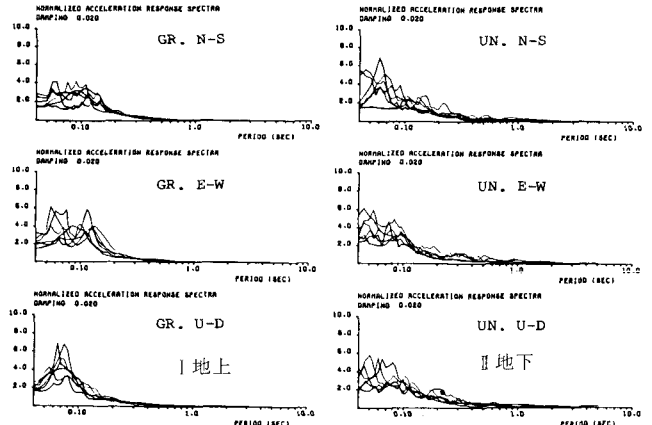


図-2 規準化加速度応答スペクトル〔直下型地震〕

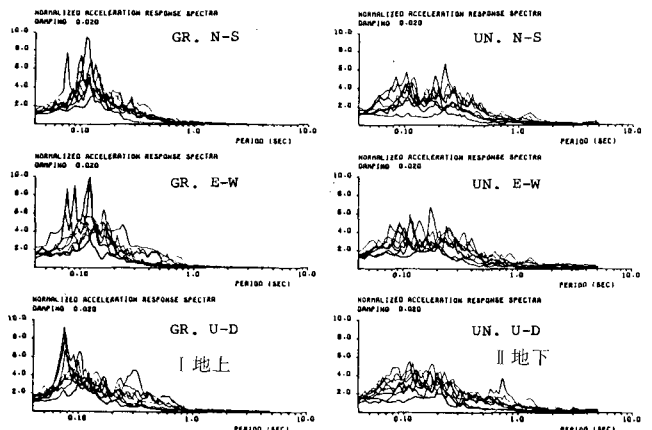


図-3 規準化加速度応答スペクトル〔近距離地震〕

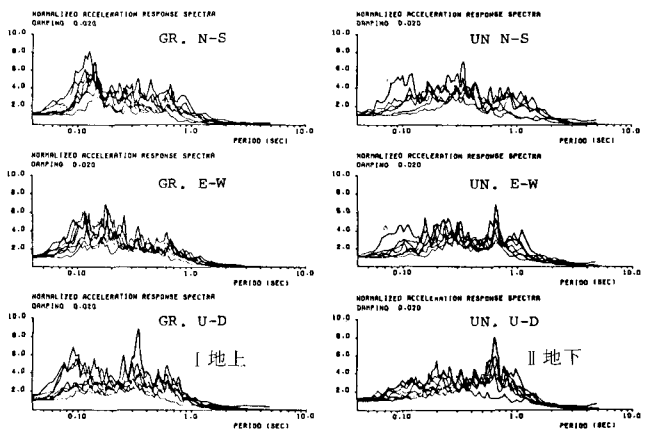


図-4 規準化加速度応答スペクトル〔遠距離地震〕

参考文献

- 1) 有賀, 市川, 橋本: 地下における地震動特性, 土木学会第34回年次学術講演会講演概要集, I-152, pp302-303, 1979, 10
- 2) 有賀, 青木, 市川: 沼原地震記録による地下地震特性—スペクトル強度—土木学会第36回年次学術講演会講演概要集, I-226, pp451-452, 1981, 10
- 3) 大崎順彦: 地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 1976