

(14) 硬質地盤における鉛直アレー観測で得られた地震動特性

日本原子力研究所 正員 ○蛭沢勝三、馬場 治、鈴木偉之
佐藤工業 正員 中村 晋
大阪土質試験所 正員 田居 優、香川敬生

1. はじめに

鹿島灘沖は、多くの有感地震の発生地域であると共に、周波数特性の異なる地震動の震源域でもある [1]。そのため、鹿島灘沖に面した大洗周辺では、周波数特性の異なる多数の地震動を期待し得るので、地震動のサイト地盤局所特性等を研究する上で有用な場所であると考えられる。日本原子力研究所では、大洗町にある大洗研究所敷地内で1987年12月から、加速度計（水平2成分、鉛直1成分）を鉛直方向に4箇所設置した鉛直アレー観測を行っている。鉛直アレー観測に当たり、敷地内の地盤を対象として、ボーリング調査、PS検層等の原位置試験、浅層反射法探査等が行われ、地盤物性が詳細に調査された。

著者等は、加速度フーリエスペクトルをパラメータとする断層モデルに基づく地震動予測式作成法の開発のために、このサイトでの観測地震動を用いたインバージョン解析等を行っている。これまでに、震源特性や局所地盤での水平及び鉛直動の増幅特性に関する知見が得られた。

本報では、大洗サイトでの鉛直アレー観測システムとサイト地盤物性について述べると共に、これまでに観測された地震動の諸元と主な地震動の震源スペクトル等について述べる。水平及び鉛直動の増幅特性に関する知見については、本発表会での他の報告で行われる [2]。

2. 鉛直アレー観測システム

(1) 観測機器の概要

鉛直アレー観測機器は、地震計、増幅器、収録装置、無停電電源装置等からなる。主な機器の概要について述べる。

地震計は、NS、EW、UDの3成分を有するサーボ型加速度計である。増幅器の加速度の最大測定値は±1000Gal、加速度の周波数特性は0.1~30Hz、速度の周波数特性は0.5~35Hzである。

収録装置は、スターター、磁気記録、遅延、時計の各装置からなる。スターター装置では、信頼性工学での"OR"及び"AND"ゲートを用いて作成された3チャンネル構成のトリガシステムにより、任意の地震動レベルを検知する。継続時間は、地震波終了後の約30秒までである。磁気記録装置のサンプリング時間は1/100秒で、サンプリングデータはデジタルテープに記録され、最大記録時間は約150分である。遅延装置の遅延時間は約10秒である。時計装置の時間は、NHKの時報で自動修正される。無停電電源装置の停電保償時間は約30分である。

(2) 地震計の設置位置

地震計は、地表面から1.2m、32.1m、95.15m、173.6mの場所にそれぞれ1個、合計4個設置されている。トリガーは、地表面から173.6mの地震計に0.5 Galで設定されている。

3. サイト地盤の調査・試験

(1) 調査・試験の内容

サイト地盤に関する調査・試験としては、ボーリング調査、原位置試験としてのPS検層、孔壁加圧試験、標準貫入試験、ボーリングコアによる室内土質及び岩石試験及び浅層反射法探査等が行われた。

(2) ボーリング調査及び原位置試験

深さ約200mのボーリングが3本、約100mのボーリングが7本、その他4本試錐された。孔径は、5種類で、不攪乱試料が採取された。表1にボーリングにより得られた地層名及び地層区分を示す。この敷地での層相は、上からローム層、見和層及び石崎層の第4紀系が水平に堆積し、これらの下に鮮新統、中新統が堆積しているが、両者は不整合面を介して分布している。

原位置試験のPS検層では、9本のボーリング孔を対象として、サスペンション法と板たたき法により原位置でのP波とS波速度を求めた。表1中にPS検層結果を示す。表からローム層と見和層では、サスペンション法の値が高いが、石崎層、鮮新統、中新統ではほぼ一致している。

孔壁加圧試験での静的及び動的加圧試験を行い、原位置での静的及び動的地盤定数（初期側方圧、降伏応力、破壊応力、地盤反力係数、静的変形係数）を求めると共に、標準貫入試験によりN値を求めた。

室内土質試験では、9本のボーリングコアを用いて、単位体積重量、間隙比、平均粒径等の物理特性、一軸圧縮強度、粘着力、内部摩擦角の強度特性、静的変形係数、圧密降伏応力等の変形特性を求めた。同様に、室内岩石試験では、3本のボーリングコアを用いて、これらの物理・強度・変形特性を求めた。

(3) 浅層反射法探査

ボーリング孔間の地層の連続性と地盤速度値を把握するために、東西・南北方向200mの測線長を対象として、電磁ハンマー板たたき方式と重錘落下方式によるP波とS波の浅層反射法探査を行い、地盤構造図を作成した。探査の結果、主に5つの反射面が認められ、ボーリングにより得られた地質柱状図の各層の境界面とよく一致していた。

4. 観測地震動の特性

(1) 地震のマグニチュード、震央距離と最大加速度

1987年12月から地震動を観測しているが、整理済みの1992年2月までの60個の地震動データの概要について述べる。

図1に地震のマグニチュード及び震央距離のヒストグラムを、図2に各地震のマグニチュードと震央距離の関係を示す。

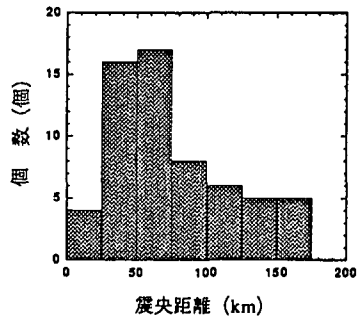
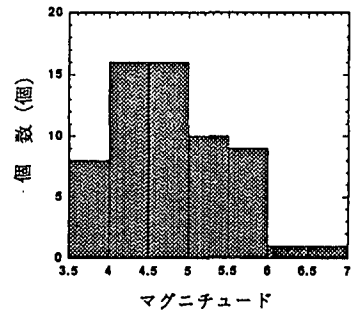


図1 地震のマグニチュードと震央距離のヒストグラム

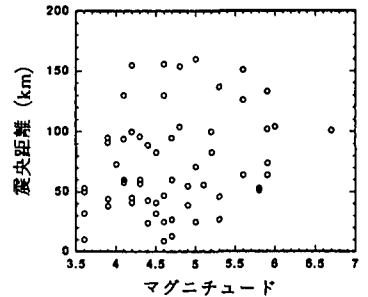


図2 地震のマグニチュードと震央距離の関係

表1 ボーリング調査及びPS検層の結果

地層	地層名 地層区分	深さ GL(m)	地震計設置位置	平均層厚 (m)	PS 検層				
					サスペンション法		板たたき法		
					P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	
見和層	ローム層 Lm	1.26	TP+37.17m (GL:1.2m)	3.3	880	170	270	110	
	上部層	Mu-S1		4.57	5.4	930	350	610	330
		Mu-C		9.97	1.5	1000	300		
		Mu-S2		11.47	6.2	1070	430		
		Mm-Sg1		17.67	1.9	1200	490	750	420
	石崎層	Mm-S		19.57	2.6	1050	450		
		Mm-Sg2		22.17	5.7	1370	610	1390	670
		下部層		Ig-S1	27.87	12.7	1580	430	1640
Ig-C			40.57	1.1	1590	370			
Ig-S2			41.67	25.5	1580	370		380	
Ig-Sc			67.17	6.3	1580	390	1640	400	
Ig-S3	67.17	12.4	1630	440	1720	450			
Ig-Sg	73.47	1.4	1700	510	1840	530			
鮮新統	Ig-S4	85.87	5.1	1680	500	1790	520		
	Tm(上)	92.37	46.0	1630	480	1680	530		
	Tm(F)	138.37	23.6	1680	580	1630	550		
中新統	Ts	161.97	11.8	1760	620	1820	580		
	Tm,s	173.77	TP-135.23m (GL:173.6m)	-	2170	1010	2450	1020	

(注) 深さ、層厚は9本のボーリングの平均である。表中の数値は各層の平均値である。
GLは、地表面からの深さを表す。

表2に主な地震動の諸元を、図3に主な地震の分布状況を示す。地表面での水平地震動の最大加速度が、約20 Gal以上のものが28個観測されている。これらのうち、最も大きな水平動は1990年5月の地震の約187 Gal、上下動は同じ地震の約69 Galである。

水戸气象台での大正10年12月から昭和61年2月までの地震記録の震度を整理したところ、震度III（約10～25 Gal）の地震が年に約5～6回程度、震度IV（約25～80 Gal）の地震が年に1回程度、震度V（約80～250 Gal）の地震が10年に1回程度襲来しており、この周辺は地震活動度の高い地域であると考えられる。

(2) 水平動と上下動の最大加速度の比

地表面での最大加速度が8 Gal以上の20波を対象として求めた上下動成分と水平動成分の最大加速度比の測点毎の平均値と標準偏差を表3に示す。表から、各測点での平均値は、約0.39から0.58の範囲で測定箇所による違いは小さい。上下動成分に対する水平動成分の比について渡部等は、震源近傍では1に近いが、震央距離が増すと約0.4から0.6の値になると述べている[3]今回対象とした地震動の震央距離は、比較的大きいことから、渡部等の結果と整合している。

一方、標準偏差は、第1測点以外は約0.12から0.16の範囲で近似しているが、第1測点は約0.27で他よりばらつきが大きい。

表2 主な観測地震動の諸元

No.	発生年月日	マグニチュード	震源深さ (km)	震央距離 (km)	最大加速度 (Gal)			応力降下量 (Bar)	備考
					NS	EW	UD		
1	1987/12/17	6.7	58	101	43.9	42.4	24.9	—	千葉県東方沖
2	1989/02/19	5.6	55	64	116.4	65.8	26.3	550	茨城県南西部
3	1989/03/06	6.0	56	64	19.4	18.1	8.2	490	千葉県北部
4	1990/02/12	5.3	38	46	69.9	28.9	25.9	180	茨城県沖
5	1990/05/03	5.3	52	27	187.0	116.4	69.3	—	鹿島灘
6	1990/08/05	5.8	39	51	78.0	49.0	28.3	320	茨城県沖
7	1990/10/06	5.0	51	25	129.1	123.4	47.5	420	鹿島灘
8	1991/06/25	5.1	49	56	133.5	80.9	65.7	310	茨城県沖
9	1991/08/06	5.9	43	74	25.5	18.4	9.3	240	茨城県沖
10	1991/12/12	4.6	48	25	80.4	48.8	27.2	—	鹿島灘

表3 上下動成分と水平動成分の最大加速度の比

測点 No.	地表面からの深さ (m)	上下動成分と水平動成分の最大加速度の比	
		平均値	標準偏差
1	1.2	0.48	0.27
2	32.1	0.58	0.16
3	95.15	0.39	0.12
4	173.6	0.47	0.14

最大加速度 2 Gal 以上の20波を用いて評価する。

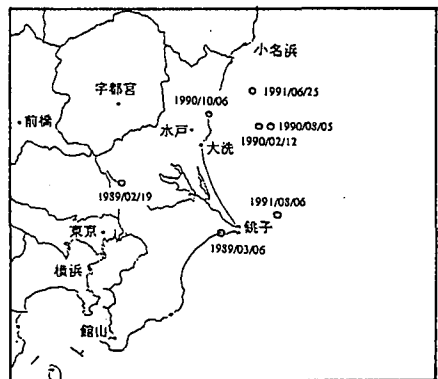


図3 主な地震の分布状況

5. 観測地震動の応用

(1) 地震動予測式作成法の概要

地震動は、震源特性、伝播特性、サイト局所地盤特性に影響される。断層モデルに基づく地震動予測式は、これら3つの特性からなり、加速度フーリエスペクトルとして表わす。各特性を構成するパラメータを確率変数として、それらの分布関数を決めた上で、その中央値と標準偏差を求め、これらの不確かさの伝播解析から加速度フーリエスペクトルの中央値と標準偏差を求める。各特性は、観測地震動スペクトルを用いたインバージョン手法 [4] によって求める。

(2) 観測及び震源スペクトルと応力降下量

大洗サイトを対象として、このサイトとこれを取り巻く気象庁の7つの観測所（小名浜、水戸、銚子、館山、横浜、東京、前橋、宇都宮）での観測スペクトルを用いて、インバージョン手法により震源特性、伝播特性、サイト局所地盤特性を構成する各パラメータを求めた。また、得られた断層パラメータを用いて各震源での応力降下量等も求めた。

現在、各パラメータのばらつきや加速度フーリエスペクトルのばらつきについて検討中であるので、観測及び震源スペクトルと応力降下量の評価結果の1例について述べる。

評価に用いた地震動は、大洗と上述7観測所で同時観測されている表2中のNo.1、5、10を除いた7波である。図4にNo.6の波の観測スペクトルを、図5に震源スペクトルを示す。観測された変位スペクトルから、波動伝播による影響と観測点近傍の増幅特性が取り除かれ、断層理論に良く一致する震源スペクトルが求められた。これらの震源スペクトルから表2中の応力降下量が計算された。茨城県沖の地震の応力降下量は、他の地域に比べ低いとの傾向が得られた。これは従来の研究成果 [5] とも整合している。

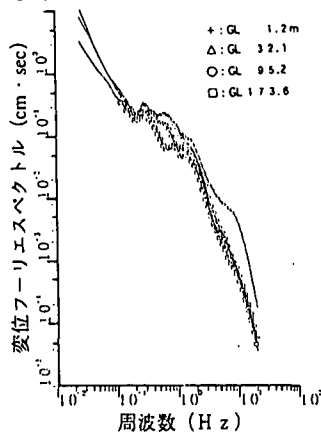


図4 大洗サイトでの観測スペクトル
(1990年8月5日の地震、M5.8)

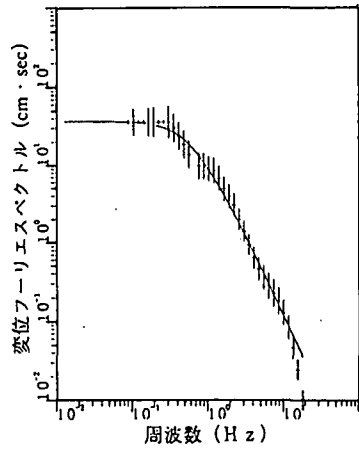


図5 震源スペクトル
(1990年8月5日の地震、M5.8)

6. おわりに

原研の大洗研究所敷地内で1987年12月から鉛直アレー観測を行っている。観測に当たり、敷地内の地盤物性を詳細に調査した。著者等は、観測地震動を用いて断層モデルに基づく加速度フーリエスペクトルをパラメータとする地震動予測式作成に関する研究を実施しているが、得られた断層パラメータから応力降下量等を求め、各震源の特性を把握した。

今後、観測地震動の蓄積を図ると共に、地震動予測式作成法の研究を継続する予定である。

謝 辞

地震動予測式作成に当たり御指導頂いている京都大学亀田弘行教授に感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 井元良、服部禎男：「高速増殖炉技術確証試験」の役割と高速炉免震技術の現状・将来展望、原子力工業、第35巻、第6号、1989。
- [2] 中村晋、香川敬生、蛭沢勝三：鉛直アレー観測に基づく地盤物性のばらつきが地震動の増幅特性に及ぼす影響、第23回地震工学研究発表会、講演概要集、1995。
- [3] 渡部丹、藤堂正喜：設計用模擬地震動に関する研究—その1、日本建築学会論文報告集、第303号、1981。
- [4] 岩田知孝、入倉孝次郎：観測された地震波から震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み、地震、第2輯、39、1986。
- [5] 武村雅之他：プレートの沈み込み帯における中小規模地震の震源スペクトルの地域性、地震、第2輯、42、1989。