

(15) 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

佐藤工業(株) 中村 晋
 (財)大坂土質試験所 香川 敬生
 日本原子力研究所 蛭沢勝三

1.はじめに

地震動の予測を行う上で表層地盤における地震動の増幅特性は、伝播・震源特性と同様に重要な因子である。既往の地震動予測式、例えば距離減衰式は地震記録の統計処理により得られる推定式でありばらつきを含んでいる。そのばらつきが地震動を特性を支配する3つの因子のうちいずれに起因しているのかは不明である。一方、地震動の増幅特性は他の因子と異なり、適切な地震観測データが得られればそのばらつきを評価することが可能となる。これは、地震動予測式に及ぼす他の因子である伝播・震源特性の影響を把握する上でも重要であると考えられる。

ここでは、地震動の増幅特性のばらつきおよびそのばらつきと地盤物性の空間的ばらつきとの関係を明らかにするため、日本原子力研究所内(大洗研究所)で実施されている鉛直アレー観測で得られた記録の分析結果を報告する。合わせて、観測記録より得られた地震動の増幅特性を用いて同定した地盤のせん断波速度と地盤調査に基づく地盤物性のばらつきとの比較も行う。この地震観測地点では詳細な地盤調査が実施され、地盤物性のばらつきが明らかとなっている。

2.地震観測の概要

2.1 地震観測記録

地震観測は1987年12月から実施されている。その際、地震計は別報¹⁾で示した様に地中4点の鉛直アレー配置となっている。ここでは、1992年7月までに観測された約100地震の記録の内、表-1に示した7つの地震を検討の対象とした。それらの震源位置を図-1に示す。

表-1 検討に用いた地震

No.	地震名称	発生年月日	Mj	震源深さ
1	茨城県南西部	1989,2,19	5.6	55.3
2	千葉県北部	1989,3,6	6.0	55.7
3	茨城県沖	1989,2,12	5.3	38.3
4	茨城県沖	1989,8,5	5.8	39.1
5	鹿島灘	1990,10,6	5.0	50.8
6	茨城県沖	1991,6,25	5.1	48.6
7	茨城県沖	1991,8,6	5.9	42.5



図-1 震源位置分布

2.2 地盤構造及び地盤物性のばらつき

地震観測位置周辺(約200m四方)では9点でボーリング調査が実施され、各点でサスペンション法による弾性波探査等の各種地盤調査が実施されている。図-2にボーリング調査より得られた地層境界の平均値及び各層でサスペンション法により得られたS波速度、P波速度および単位体積重量の平均と変動係数を示す。地層構成は、表層より、ローム層、S波速度が約300~500m/sの見和層及び石崎層、S波速度が約480~600m/sの鮮新統及びS波速度が1000m/sの中新統となっている。4つの地震計は、地表層のローム層上面(GL-1.2m)、石崎層

上部砂層中(GL-32.1m), 鮮新統上面(GL-95.15m)及び中新統上面(GL-173.6m)に設置されている。

各地層の地盤物性のばらつきつまり変動係数は, 表層のローム層ではS波, P波速度とも40%以上, その下の見和層では12.0~30.5%, 石崎層では2.8~18.0%, 鮮新統では3.0~9.9%となり, 深くなるにつれ言い替えるとS波, P波速度の値が大きくなるにつれ物性値の変動が小さな値となっている。一方, 単位体積重量はその変動がS波, P波速度に比べて小さく6.8%以下(中新統を除く)と小さな値となっている。

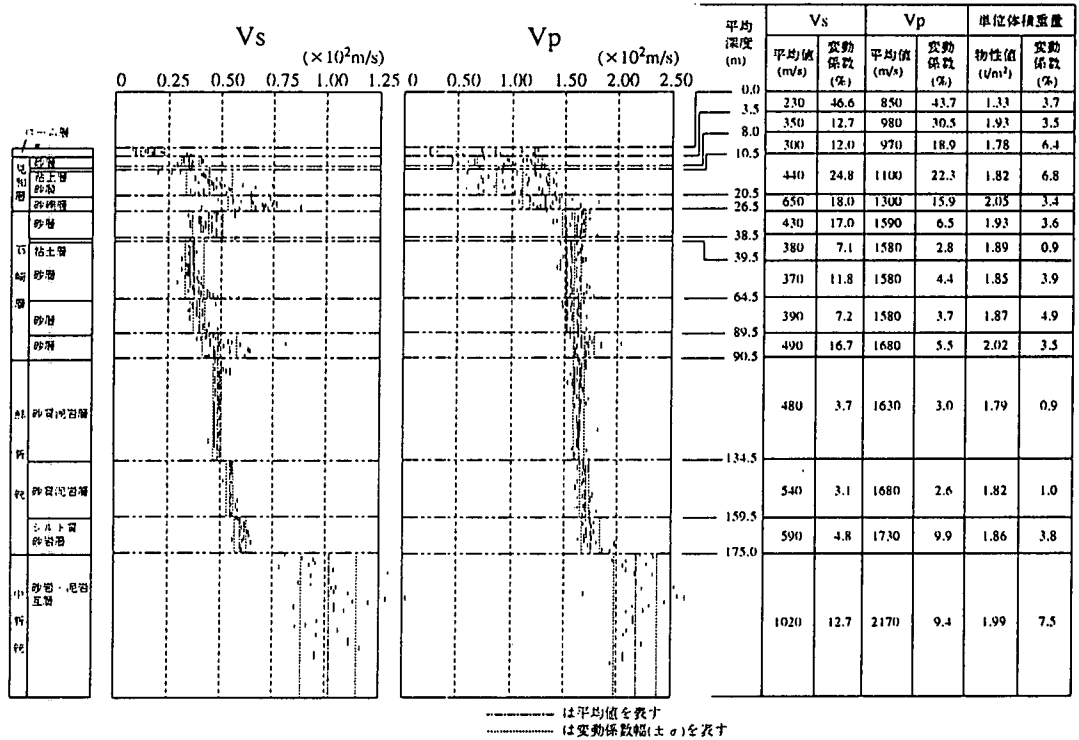


図-2 地盤構造および地盤物性のばらつき

3. 地震動の増幅特性

まず, 最大加速度の深度分布を水平成分と鉛直成分について図-3に示す。ここで, 水平成分の最大加速度は水平2成分の自乗和の平方根として得られる加速度時刻歴の最大値とした。これより, 水平・鉛直成分とも最大加速度の増幅は, ほとんど見和層(地表から石崎層上部(GL-32.1m))において生じていることが分る。また, 地震1,3,7では地表(GL-1.2m)の加速度が100gal以上と大きな値となっている。

次に, 地中最深部に対する地表(GI-1.2m)および地中2点で観測された記録のベクトルスペクトルの比として定義される周波数応答関数²⁾に基づき地震動増幅の周波数特性を示す。地表および地中2点で地震毎に求めた周波数応答関数の平均値の比較を図-4, 各地点における周波数応答関数の平均と変動幅(1σ)を図-5~7に示す。図-4より, 周波数0.7Hzおよび2.0Hzに見られる周波数応答倍率のピークは各地点とも共通に見られる。それより高周波数側について見ると, 地中2点の周波数応答倍率は5.0, 6.0Hzに2.0~3.0倍程度の増幅を示すピークが認められるもの同程度の値となっている。一方, 地表の周波数応答倍率は周波数5.0~10.0Hzにおいて他2地点より応答倍率が大きな値となっており, 見和層での最大加速度の増幅はこの周波数帯における増幅により生じていると考えられる。また, 周波数応答倍率の変動についてみると, 地表と地中2点における周波数2.0Hzより低周波数側では周波数応答倍率のピークを与える周波数近傍では変動係数が20%程度とほぼ

同程度の値となっている。しかし、周波数5.0~10.0Hzでは地表の周波数応答倍率の変動が30%程度と他2地点における変動(20%程度)より大きな値となっている。見和層の地盤物性の変動は図-2に示した様に他の地層に比べ大きいことから、地表における高周波数帯での周波数応答関数の地震毎の変動は地盤物性の変動と同程度の値となっており、相関があると考えられる。一方、低周波数における増幅特性には地盤全体の震動挙動の影響が含まれていることから、地表および地中2点の増幅特性の変動は同程度になったものと考えられる。

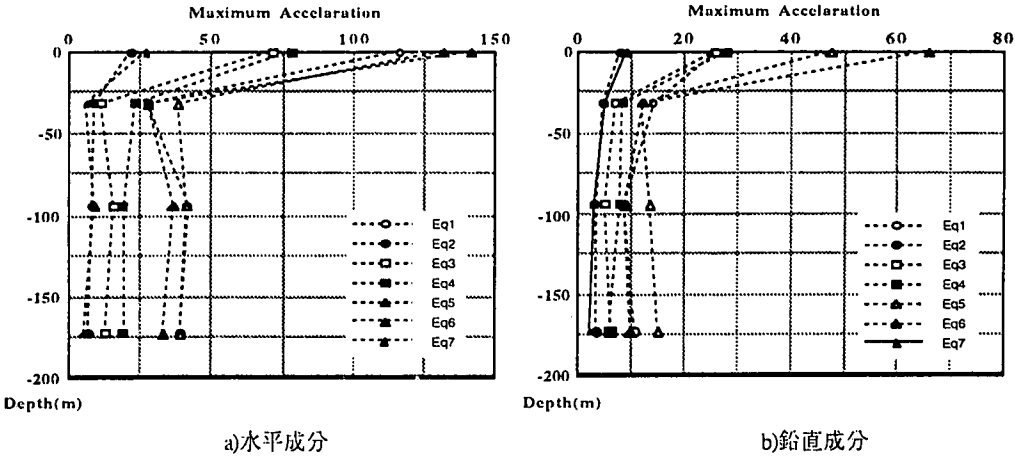


図-3 最大加速度の増幅特性

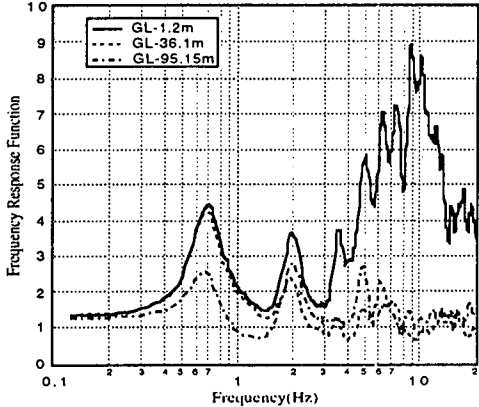


図-4 地表および地中における平均周波数応答関数

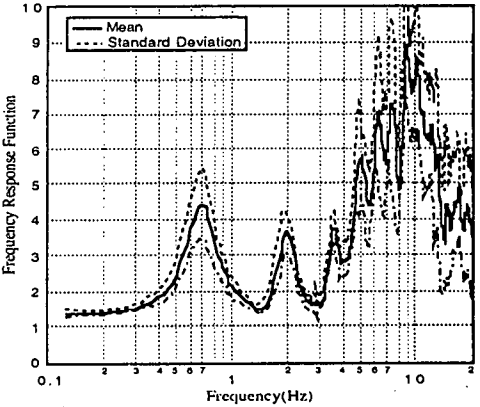


図-5 地表における周波数応答関数

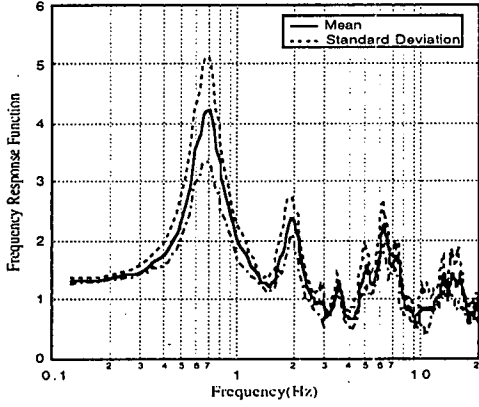


図-6 地中(GL-32.1m)における周波数応答関数

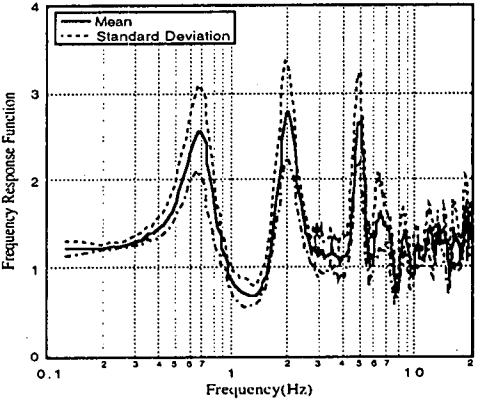


図-7 地中(GL-95.15m)における周波数応答関数

4.地盤物性の同定とそのばらつき

地盤物性の推定は、地震記録とS波重複反射理論に基づく周波数応答関数の残差平方和をSLP法とDFP法を併用した手法により最小化あるいは極小化する沢田らが提案している同定手法¹⁾により行った。その際、地盤は水平成層構造(15層)をなし、地震動の水平成分はS波であると仮定した。ここで、同定の対象とした地盤物性はS波速度と減衰定数である。減衰特性のモデル化は著者の一人が示した手法²⁾を用いた。地盤の密度はばらつきが小さいことから図-2の平均値を用いた。

地震毎の同定により得られたS波速度の平均およびその変動係数と図-2に示した地盤調査により得られた結果との比較を表-2に示す。両者の平均値を比較すると5層を除き20~30%程度の差異となっている。変動係数について見ると、見和層では同定による推定値は11.7~40.4%、その層以深では28.2%以下と見和層に比べて小さく、地盤探査結果と傾向が一致している。しかし、7層以深における同定による推定値の変動は地盤調査結果に比べかなり大きな値となっている。これは、地震記録に基づいて算出した地中2地点の周波数応答関数の変動には表層部分の影響が含まれていることから、それを用いた同定された地盤物性にも表層の影響が含まれるためこのような傾向になったものと考えられる。

表-2 同定により推定したS波速度と弾性波探査による測定値の比較

層数		弾性波探査による測定値		同定による推定値		
		平均値(m/s)	変動係数(%)	平均値(m/s)	変動係数(%)	
1	見和層	230	46.6	162	20.7	
2		350	12.7	333	16.8	
3		300	12.0	359	25.1	
4		440	24.8	537	27.5	
				530	40.4	
5		650	18.0	409	11.7	
6	石崎層	430	17.0	475	23.5	
7		380	7.1	337	28.2	
8		370	11.8	437	11.4	
9		390	7.2	407	4.3	
10		490	16.7	351	15.9	
11		鮮新統	480	3.7	553	18.4
12			540	3.1	553	25.0
13			590	4.8	674	11.4
14	1020		12.7	1022	-	

5.あとがき

ここでは、日本原子力研究所内(大洗研究所)で実施されている鉛直アレー観測で得られた記録より得られる地震動の増幅特性のばらつきと地盤物性の空間的ばらつきとの関係について検討を行った。さらに観測記録より得られた地震動の増幅特性を用いて同定した地盤のせん断波速度と地盤調査に基づく地盤物性のばらつきとの比較も行った。その結果、地震動の増幅特性のばらつきは地盤物性のばらつきと相関性が高く、周波数毎にその周波数に影響を及ぼす地層の中で物性のばらつきの大きな地層の影響を受けることが分かった。

参考文献

- 1) 鹿沢勝三他, 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, 第23回地震工学研究発表会(投稿), 2) 中村晋, ベクトルスペクトルによる地震動の増幅特性とその応用, 土木学会論文集(7月掲載予定), 1995, 3) 沢田勉他, 地盤のS波速度とQ値の同定問題におけるSLP法の改良とその適用, 土木学会論文集, No.446/1-19, pp.205~213, 1992, 4) 中村晋, 動的変形特性が拘束圧依存性に及ぼす影響, 軟弱地盤における地震動増幅特性に関するシンポジウム, pp.267~274, 1994