

傾斜した基盤上の沖積砂層の振動特性

大成建設 正員 浜田政則

同上 正員 ○亀村勝美

1. まえがき

傾斜した基盤を持つ沖積砂層地盤に於いて地震観測を実施し、この地盤の地震時挙動について検討を加えた。更に、地震観測結果に基づいて、地盤の変位応答を算定する為の簡易モデルを作成し、このモデルによる解析値と実測値との比較を行なった。

2. 地震観測

1) 地盤概要 観測地点は和歌山県有田市にある化学工場敷地内で、局所的な微小地震が多発している所である。この地域を含む和歌山県西海岸地域は中央構造線の南側に位置し、断層が複雑に分布しており、浅発地震の多発地域となっている。観測地点の断面図を図-1に示す。地盤は地表面より埋土、沖積砂層、洪積砂層、古期崖錐堆積層、及び結晶片岩で構成され、岩盤は山側から海側へ約3:1で傾斜している。弾性波探査より得られた各層のS波速度及びせん断弾性係数を図-2に示す。

2) 観測点 加速度計の配置を図-1に示す。No. 1, No. 2, No. 6, No. 3 は地表面の測点で、これらの測点に於ける表面層の厚さは各々5m, 35m, 45m, 57mである。測点No. 4 は岩錐堆積層上の、測点No. 5 は岩盤の測点である。設置した加速度計は、いずれも固有周期0.2秒の地中埋設型で、フラットな周波数領域は0.5Hz~30Hzである。測点No. 1, No. 2, No. 3, No. 4 では水平2成分(以下、護岸線と平行な方向をX方向、直角方向をY方向とする)、No. 5, No. 6 では水平2成分と鉛直1成分の加速度について観測を行なった。

3. 地震観測結果

1973年1月より1975年12月迄に、地表面の最大加速度が5gal以上の地震記録が12回観測された。各々の地震のマグニチュード、震央距離、震源深さ及び各測点での最大加速度を表-1に、又、震央位置を図-3に示す。これらの地震の内、WK-1, WK-6は震央距離が40Km以上、又、震源深さも50Km以上であるが、他の地震はすべて震央距離が20Km以内、震源深さも10Km以内である。観測記録の一例として1973年11月25日、和歌山県中部で発生したWK-1の記録を図-4に示す。地震のマグニチュードは5.7、震源深さは55Km、震央距離は40Kmである。X方向の加速度の最大値は、基盤で16gal、地表面の測点No. 1で19gal、No. 2で53gal、No. 3で67galであり、増巾率はそれぞれ1.2倍、3.3倍、4.2倍、又、Y方向の加速度の最大値は、基盤で17gal、地表面の測点No. 1で15gal、No. 2で86gal、No. 3で59galであり、増巾率はそれぞれ0.9倍、5.1倍、3.5倍で、表面層による増巾効果が顕著である。Y方向の最大加速度が表面層の厚さが一番大きい測点No. 3ではなく、測点No. 2に生じているのは、岩盤に入力した地震波の周波数特性の影響であると考えられる。

Depth (m)	Soil Profile	γ_t ($\frac{1}{m^3}$)	V_s ($\frac{m}{sec}$)	G ($\frac{kg}{cm^2}$)
0-10	Fine Sand	1.9	110	230
10-20	Silty Clay			
20-30	Medium Sand	2.0	190	740
30-40	Fine Sand			
40-50	Silty Sand	2.0	230	1080
50-60	Silty Clay			
60-70	Sandy Silt	1.9	270	1400
70-80	Fine Sand			
80-90	Talus			
90-100	Schist			

図-2 地盤定数

表-1 観測地震

Earthquake		Maximum Values of Accelerations (Gal)											
Name (Date)	M H Δ	1X	2X	3X	4X	5X	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	6Y	5Z
WK-1 (73.11.25)	5.7	5.0	18.5	53.0	66.5	25.3	15.8	15.2	86.0	58.5	18.9	17.2	10.0
WK-2 (74.3.27)	4.2	10.8	15.3	37.3	56.7	7.7	19.7	54.7	41.7	7.7	6.3	5.2	
WK-3 (74.4.3)	3.2	5.20	41.8	62.8	59.7	41.7	23.3	56.8	41.3	24.3	18.7	12.8	
WK-4 (74.4.25)	3.0	5.9	30.8	44.0	40.7	9.1	24.2	43.0	69.2	14.3	5.1	3.1	
WK-5 (74.11.29)	3.1	4.6	18.4	39.3			12.1	18.0	38.3	45.4	14.1	36.8	4.8
WK-6 (74.12.6)	4.4	70.4	5.6	18.0			3.8	7.3	23.0	25.3	2.9	16.4	1.5
WK-7 (75.8.14)	2.4	10.8	17.9	49.2	27.3		17.5	10.4	28.8	21.3	8.5	23.6	3.3
WK-8 (75.8.24)		3.6	11.6	8.6			2.7	3.8	10.4	7.7	2.7	7.9	1.8
WK-9 (75.9.24)	4.3	10.14	15.7	42.4	26.9		16.8	13.8	53.2	45.6	18.0	53.4	4.7
WK-10 (75.8.14)	2.6	8.2	2.3	17.1	18.3		2.3	1.0	12.2	13.9	2.4	16.1	1.3
WK-11 (75.9.6)	2.4	6.19	4.7	13.1	30.8		9.8	5.1	13.5	23.3	3.5	18.0	1.4
WK-12 (75.9.21)	3.6	4.15	3.1	10.2	10.2		2.6	2.6	9.0	13.5	2.3	8.5	1.3

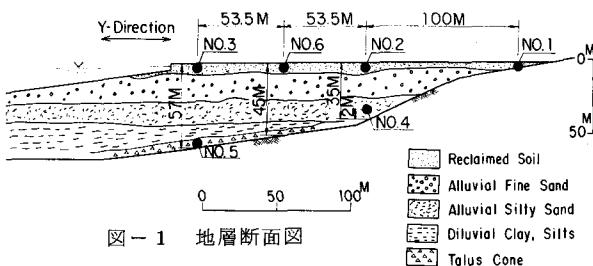


図-1 地層断面図

1) 加速度の増巾率 表面層による加速度の増巾率を調べる為、地表面の測点No. 1, No. 2, No. 3, No. 6の最大加速度を岩盤上の測点No. 5の最大加速度に対してプロットした結果を図-5, 図-6に示す。測点No. 1での加速度の増巾率は、X, Y方向ともほぼ1に近く、5 m程度の層厚では加速度はほとんど増巾されないことを示している。測点No. 2, No. 3, No. 6での加速度の増巾率は、3倍から9倍迄の間に分布しており、表面層の層厚が3.5 m以上では相当増巾されることが指摘される。

図-5, 図-6に示した加速度の増巾率には相当のバラつきが見られるが、最小二乗法により平均増巾率を求めると図中に示した直線を得る。これをまとめて図-7に示す。X, Y方向とも測点No. 2, No. 3, No. 6では直線の傾きが4.5°以下であり、基盤加速度の増大とともに増巾率が低下する傾向を示している。測点No. 3及びNo. 6の直線の傾きは、測点No. 2の傾きと比較し、X, Y方向いずれに於いても小さく、増巾率の低下の割合は、層厚が増すに従い大きくなることを示している。

表面層の厚さと増巾率との関係を図-8に示す。縦軸は地表面加速度の基盤加速度に対する増巾率であり、横軸は各測点に於ける表面層の厚さを示している。図から3.5 m以上の表面層を持つ測点では、それ程増巾率は変化せず、むしろ幾つかの地震では増巾率が低下する傾向を示すことが分かる。これは、基盤に入力する地震動に短周期成分が卓越している為であると考えられる。

2) 鉛直動の性質、鉛直方向加速度の増巾率を図-9に示す。横軸は、岩盤上の測点No. 5の鉛直方向加速度の最大値、縦軸は、地表面の測点No. 6の最大値である。鉛直方向加速度の場合も、水平方向加速度の場合と同様、基盤での加速度が増大すると増巾率が低下する傾向を示している。又、鉛直方向加速度の増巾率は、図-6に示した

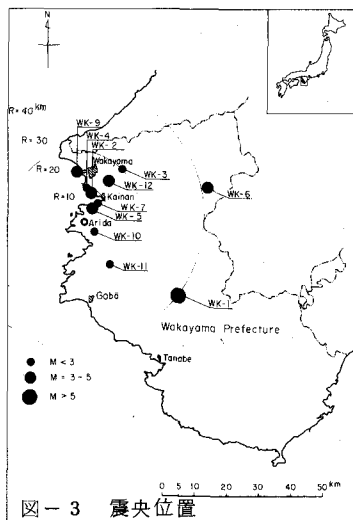


図-3 震央位置

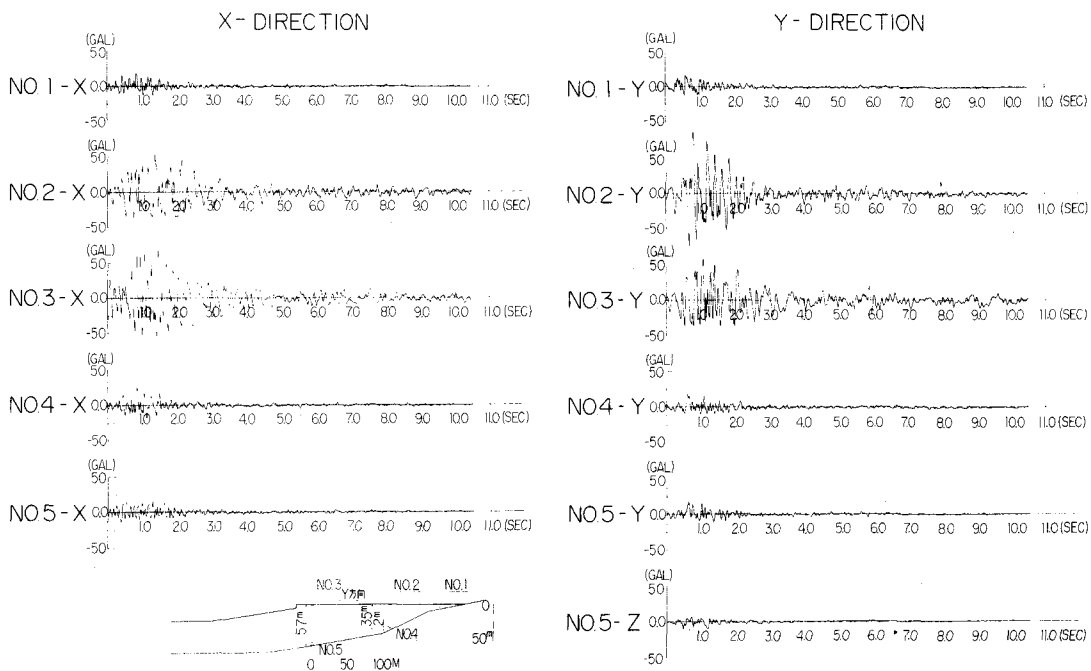


図-4 WK-1 (1973年11月25日の地震記録 $M = 5.7$, $\Delta = 4.0 \text{ Km}$, $H = 5.0 \text{ Km}$)

同一測点No. 6 の水平方向加速度の増巾率とほぼ同じであり、基盤加速度 10gal に対し 3 倍程度である。

図-10は、鉛直方向加速度の水平方向加速度に対する大きさを示したものである。縦軸は鉛直方向加速度の最大値、横軸は、水平方向加速度の最大値を示している。この図から、水平方向加速度が増大すると鉛直方向加速度の水平方向加速度に対する割合が低下する傾向が指摘される。即ち、岩盤上の測点No. 5では、水平方向加速度 1gal に対し、鉛直方向加速度も 1gal、水平方向加速度 10gal に対して鉛直方向加速度 6～8 gal である。地表面の測点No. 6 に於いても 10gal 程度の水平方向加速度に対する鉛直方向加速度は 7～8 gal であり、更に 50gal の水平方向加速度に対しては 20gal の鉛直方向加速度と、その割合は大きく低下している。

4. 数値解析

幾何的形狀や地層構成が複雑な地盤の動的応答を求める方法の一つとして、2次元、3次元の有限要素法が一般的に用いられている。しかし、有限要素法による解析には多大な労力と費用を必要とし、実用性という点では未だ問題が残されている。そこで本解析では、地盤の変位応答のみを算定することを目的に、簡易モデルによる解析法を用いた。この解析法では地盤を複数の切片に分割し、それぞれの地盤切片を一質点系に置換する。一質点系の固有振動周期は、その地盤切片を単独に取り出して求められた地盤の基本振動周期と一致するように設定され、質点の質量は、各々の地盤切片のセン断基本振動モードの有効質量とする。一質点系は、地盤切片間の相対変位に抵抗する地盤バネにより結合される。本解析で用いたモデルを図-11に示す。このモデルに岩盤上の測点No. 5での水平加速度を入力し、各質点の応答変位を求めた。各地盤切片内の任意の深さでの応答値は、その地盤切片を代表する質点の応答変位に刺激係数を乗じて求めることが出来る。

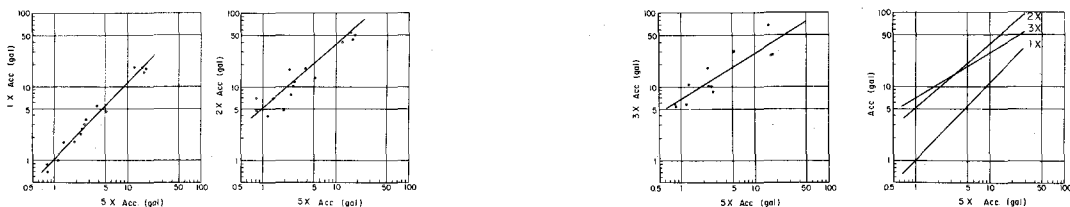


図-5 水平方向加速度の増巾率 (X方向)

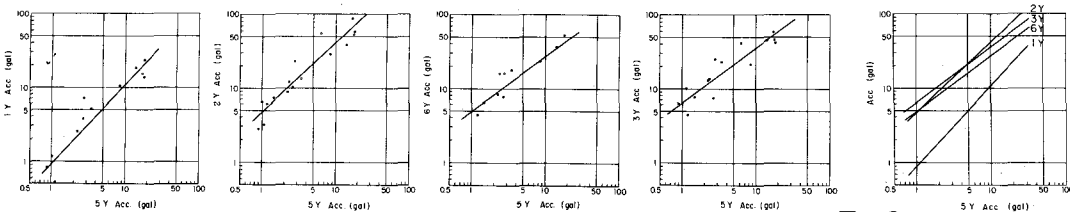


図-6 水平方向加速度の増巾率 (Y方向)

図-7 水平方向加速度の増巾率

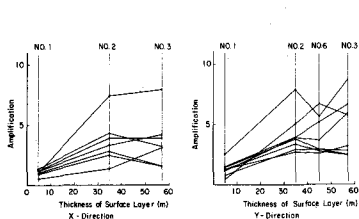


図-8 層厚と増巾率の関係

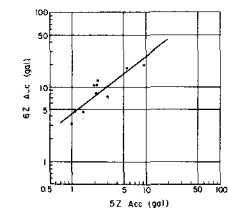


図-9 鉛直方向加速度の増巾率

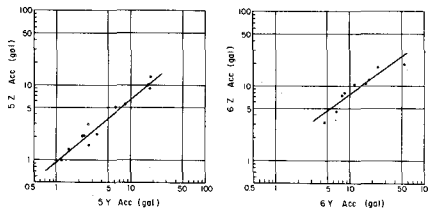


図-10 鉛直方向加速度と水平方向加速度の割合

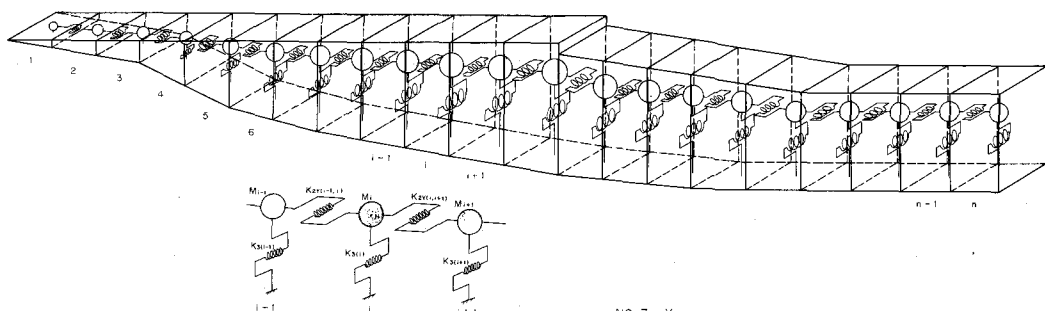


図-1 1 解析モデル図

計算に用いた地盤各層の弾性係数は、弾性波探査により得た値を基本として、各地層のひずみの大きさからSeed等の方法を用いて補正した。減衰定数は、5%と10%を仮定した。

簡易モデルによりWK-1の地震波について解析した結果を図-12、図-13に示す。図中に示した観測変位波形は、加速度波形をフーリエ積分により二重積分して求めたものである。簡易モデルによる計算波形と観測波形を比較すると、波形の前半部では、観測波形に高周波成分が含まれており、類似性は余り見られないが、後半部ではかなり良好な一致が見られる。又、Y方向については、有限要素法による計算波形と、簡易モデルによる計算波形は、良く一致しており、簡易モデルによる解析法が有効であることが示されている。

5. 結論

地震観測及び数値解析の結果から次の事が明らかになった。

1) 表面層による水平方向加速度の増巾率は、一般的に層厚が増すにつれて大きくなるが、層厚が3.5mを越えると層厚の影響は少なくなり、増巾率はある一定値に近づく傾向がある。

2) 表面層による鉛直方向加速度の増巾率は、水平方向加速度の場合とほぼ同等の値である。

3) 鉛直方向加速度の最大値は、水平方向加速度の最大値の60%~100%であり、この割合は岩盤に於いても、又、沖積層表面に於いても変化しない。

4) 簡易モデルにより求められた地盤の変位応答値は、有限要素法による計算値と非常に良く一致し、又実測値とも比較的良好的な類似性を示した。このことから簡易モデルにより充分な精度で地盤の変位応答を算定出来ることが示された。

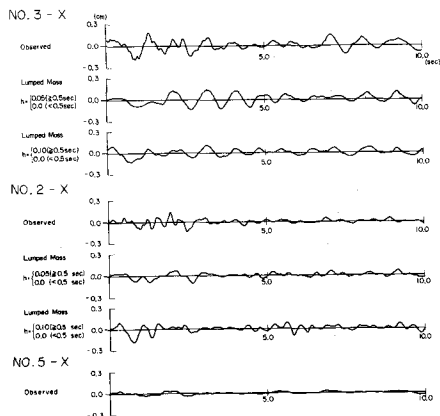


図-1 2 変位応答 (X方向)

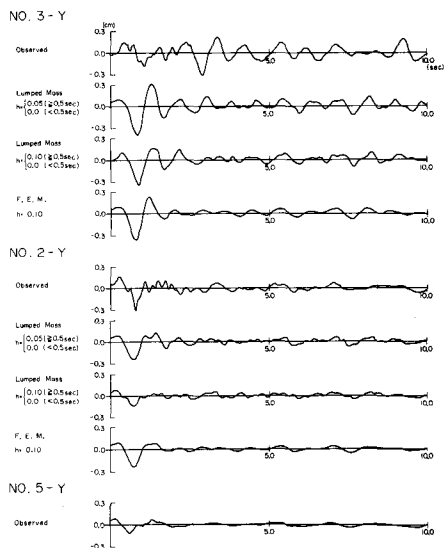


図-1 3 変位応答 (Y方向)