

I-315 地中地震動特性に関する諸問題

-反射波との干渉について-

清水建設 正会員 ○ 赤尾嘉彦・東電設計 水谷守
東電設計 福島誠一郎・清水建設 勝倉裕

1.はじめに

最近は、立体的なアレー強震観測が盛んにおこなわれるようになり、入力地震動特性や表層伝播特性などが数多くの研究で調べられている。我々も、観測波形の中の直達P波と直達S波の継続部分に着目し、上下方向や水平方向の地動の特性を調べている。ところで、地中の地震動が地表の地震動と異なる点を充分に理解しておかないと、入力地震動特性などを見誤る危険がある。この論文では、観測記録をもとに反射波の影響に関する問題について考える。

2.観測記録

ここで用いた記録は、電力共通研究の富岡アレー観測点で、1982年8月から1985年12月までに得られた67記録の一部である。Fig.1は観測点直下の地盤構造であり、ほぼ地表面に至るまでVs=500m/s以上の硬質岩盤が続いている。地震計は水平面内と鉛直方向に配置されていて、この内の鉛直アレーの、地表、GL-100m、GL-250m、GL-660m、GL-950mの5点の記録を用い、各種の検討をおこなった。解析は、直達波部分が最深点で1gal以上ある記録を選択し、上下方向や水平方向の地動の特性を比較した。直達波部分の読み取りは目視によりおこない、Fig.2のようにタイムウインドをかけて継続部分を抽出した。最深点以外は、地盤構造から計算されるP波やS波の伝播時間差だけタイムウインドをずらした。

一般に、P波は上下動が卓越し、S波は水平動が卓越する。そこで、P波部分は上下方向成分を主成分、S波部分は水平方向成分を主成分と呼ぶことにし、その他の方向成分を従成分と呼ぶことにする。今回は主成分地動の特性について述べる。

3.エネルギースペクトル

Fig.3に、GL-250mの地点のP波とS波の主方向の規準化エネルギースペクトルを示す。規準化エネルギースペクトルとは、一つの大加速度記録に平均スペクトル形状が支配されないように、各記録のエネルギースペクトルの積分値を1として、P波は36成分のアンサンブル平均を取り、S波は58成分のアンサンブル平均を取って求めたスペクトルである。

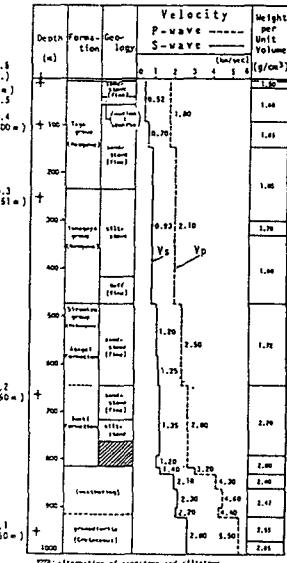
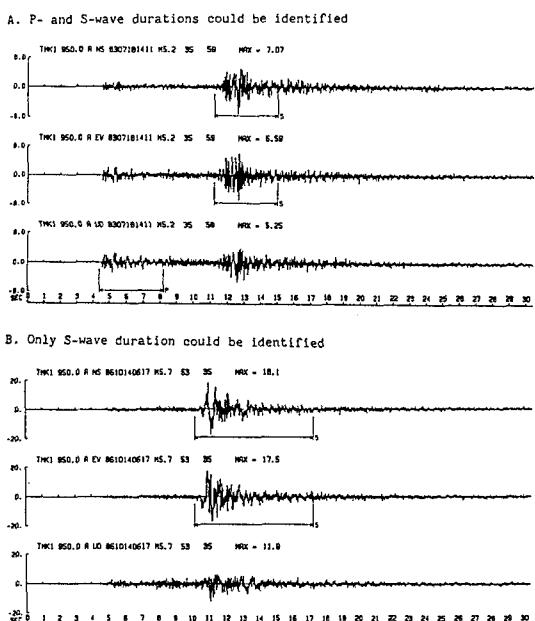


Fig. 1. Location of seismograph and ground properties. (After Omote et al. 1984)



このスペクトル図を見ると、振幅が特異な周期的な変動を示している。これほど顕著ではないが、他の地点のスペクトルも同様な変動が見られる。通常、このようなスペクトル変動の原因として考えられるのは、表層地盤の自由振動である。表層地盤をFig.4のような多質点系のモデルと見なすと、数個の卓越周期を持ったスペクトルが得られる。ところで、これらの卓越周期は同一表層地盤内では同一のはずであるが、各地点の観測スペクトルの卓越周波数は一致していない。さらに、全体的な傾向として表層に近いほど卓越周期は短周期に移行し、またP波はS波より短周期に寄っている。

このような現象を説明するモデルとして次に考えられるのは、地表面からの反射波との干渉である。Fig.5のように、ある深度から地表面までの実体波の往復時間 t_i (intercept time) とすると、周期 t_i の入射波成分 e は反射波成分 f と位相が一致し、対象地点の地震動は振幅がほぼ倍増される。一方、周期 $2t_i$ の入射波成分 e は反射波成分 f と位相が逆転し、振幅はほぼゼロになる。理論上、增幅と相殺は周波数 $1/t_i$ ごとに変動する。Table 1に観測スペクトルから読み取られる卓越周波数と、地盤構造から計算される t_i の比較を示す。全体的な傾向として、地盤構造から計算される t_i を0.05秒ほど短くすると非常によく一致する。

4. 結論

富岡のような堅い岩盤中では地表面から乱れの少ない反射波が帰ってきて、入射波と干渉することが明らかになった。このような現象は理屈の上では考えられても、我々が今までに扱ってきた地中記録には見られない傾向であった。特に、数十個の記録を平均してもなお最高モード8次まで、最高周波数24Hzまで明瞭に見られるのは驚きである。硬質岩盤中の記録を用いるときは以上の点を充分に考慮する必要がある。

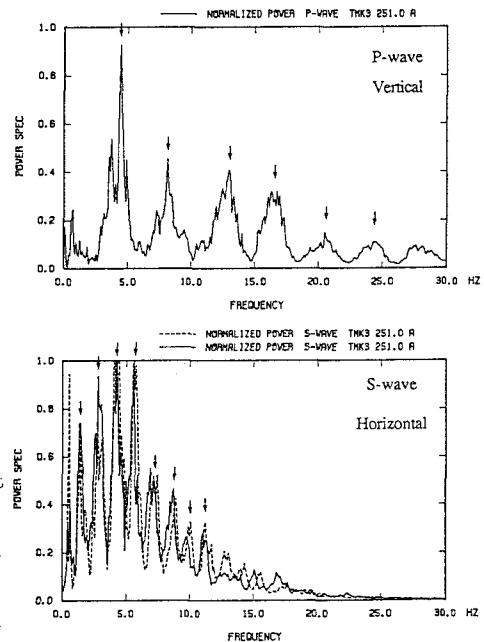


Fig. 3. Energy spectra at GL-250m.

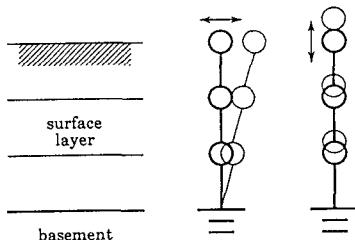


Fig. 4. Oscillation of surface layer.

Table 1. Comparison of the calculated intercept time and peak frequencies picked up from observation spectra.

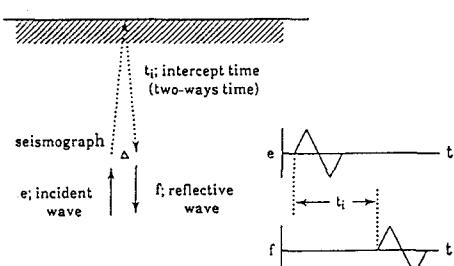


Fig. 5. Schematic relation of incident wave motion and reflective wave motion under the ground.

position	P-wave intercept	dominant frequency (Hz)	S-wave intercept	dominant frequency (Hz)
GL-100m	$t_i = 0.31s$ [$f_1 = 3.2Hz$]	no id	$t_i = 0.40s$ [$f_1 = 2.5Hz$]	3, 5.5, 8 [$f_1 = 0.37s$]
GL-250m	$t_i = 0.31s$ [$f_1 = 3.2Hz$]	4, 8, 13, 16, 21, 24 [$f_1 = 0.25s$]	$t_i = 0.76s$ [$f_1 = 1.3Hz$]	1.3, 2.8, 4.2, 5.6, 7.2, 8.8, 10, 11.2 / [7.2s]
GL-660m	$t_i = 0.67s$ [$f_1 = 1.5Hz$]	1.9, 3.4, 4.7, 6.6, 8.3, 9.7 / [$f_1 = 0.62s$]	$t_i = 1.54s$ [$f_1 = .65Hz$]	0.7, 1.2, 1.9, 2.7, 3.3 [$f_1 = 1.5s$]
GL-950m	$t_i = 0.84s$ [$f_1 = 1.2Hz$]	1.3, 2.6, 4 [$f_1 = 0.75s$]	$t_i = 1.90s$ [$f_1 = .52Hz$]	hard to find

謝辞: ここで使われたデータは電力共通研究

「地震観測にもとづく基準地震動評価手法の研究」で得られたものである。