

I-457

鉛直アレー地震観測記録による地盤増幅特性の評価

鹿島建設技術研究所 正員 石田 寛 高橋克也 太田外気晴
東北電力（株） 飯塚節夫

1. まえがき

構造物へ入力する地震動は、一般に、基盤地震動に地盤増幅特性を乗じて評価される。基盤地震動は震源とサイトの位置関係が与えられれば、断層モデルを用いた解析等により求めることができるが、地盤の増幅特性はサイトの局所的な地盤構造に大きく影響を受ける。従って、原位置での地盤調査資料を活用してサイト固有の地盤増幅特性を評価することが重要となる。

本研究は、このような背景のもとに鉛直アレー地震観測記録を用いて加速度応答スペクトルに関する地盤増幅特性を評価し、その基本的特性を回帰分析を利用して現象論的に検討したものである。

2. 観測地点と観測記録

対象とした福島県富岡町の鉛直アレー観測地点の地盤構造および観測点の深さを図-1に示す。ここでは、基盤の観測点No.1 (GL-950m) と途中深度の観測点No.4 (GL-100m) に対する岩盤上部の観測点No.5 (GL-6m) の増幅特性を対象とした。解析には観測点No.1で水平成分が2Gal以上を記録した計42地震を用いた。地震のマグニチュード(M)と震源距離(X)の分布を図-2に示す(点線と一点鎖線については後述する)。分布が帯状となっているのは観測地点の地球物理的環境の反映と考えられる。

3. 地盤増幅特性の評価

観測点No.1, No.4, No.5の地震動記録から減衰定数 $h=5\%$ として加速度応答スペクトル $S(T)$ を求め、これらをデータとしてそれぞれの観測点に対する回帰モデル

$$\log S_i(T) = a_i(T)M + b_i(T) \log X + c_i(T) \quad (1)$$

を求めた。ここに、 i は観測点を表わす指標である。さらに、考察を容易にするために係数 $a_i(T)$, $b_i(T)$, $c_i(T)$ の平滑化を行なった。

No.1とNo.4に対するNo.5の応答スペクトルの比(増幅スペクトル)を、それぞれ $A_{5/1}(T)$ と $A_{5/4}(T)$ とおくと、それらは回帰モデル(1)を用いて、

$$\begin{aligned} \log A_{m/n}(T) &= \log S_m(T) - \log S_n(T) \\ &= \alpha_{m/n}(T)M + \beta_{m/n}(T) \log X + \gamma_{m/n}(T) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\alpha_{m/n} = a_m - a_n, \quad \beta_{m/n} = b_m - b_n, \quad \gamma_{m/n} = c_m - c_n \quad (3)$$

と求められる。図-3に得られた増幅スペクトル $A_{5/1}(T)$ の係数を示す。

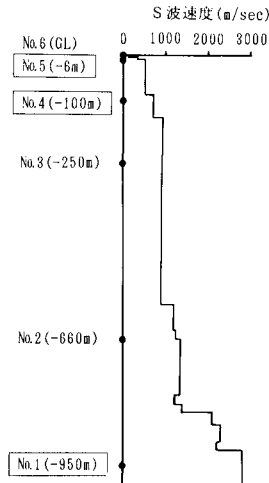


図-1 地盤のS波速度構造と観測点深さ

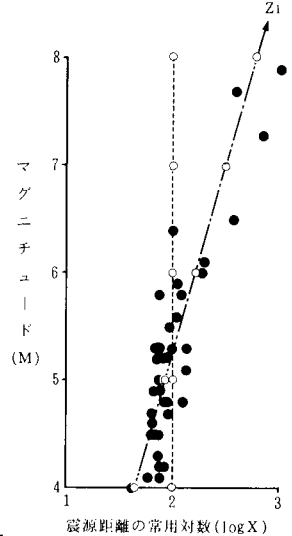


図-2 地震のM-X分布

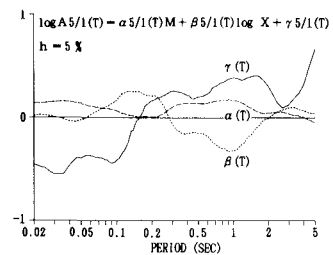


図-3 $A_{5/1}(T)$ のモデル

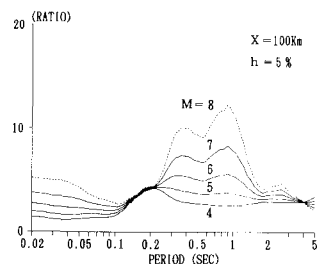


図-4 $A_{5/1}(T)$ のM依存性

4. 考 察

(1) 増幅スペクトルのM, X依存性

増幅スペクトルのモデル(2)を用いて図-2の点線上のx点で増幅スペクトル $A_{5/1}(T)$ を求め、図-4に示す。0.1秒より短周期側と1秒付近の帯域で増幅スペクトルはMとともに大きくなることが認められる。

ここで、使用した地震のMとXにかなりの相関性があること（図-2）を考慮すると、増幅スペクトルに対するMとXの効果を個別に評価することは難しいと考えられる。そこで、図-2の一点鎖線で示す方向に座標軸の1つが向くように座標系を回転させ、その方向をZ1軸、直交方向をZ2軸と名づけるとモデル(2)は図-5に示すように変換される。新しい係数 $\alpha'_{5/1}(T)$ は $\alpha_{5/1}(T)$ に比べて凹凸が少なくなり、Z1が大きくなると4秒より短い周期の領域でほぼ一様に増幅スペクトルが大きくなることを示している。図-6に図-2の一点鎖線上のX点で評価した増幅スペクトルを示す（ M^* は図-2の一点鎖線上でのMの値を示す）。Z1軸方向は、MとXがともに大きくなる方向であるから一般に地震動の長周期成分が優勢になり、また継続時間が長くなる方向である。従って、このような基盤での地震動特性の観点から地盤での増幅特性の検討を行なう必要がある。

(2) 増幅スペクトルの深さ依存性

基盤での観測点No.1から岩盤上部のNo.5までの増幅スペクトル $A_{5/1}(T)$ （図-6）に対して、地盤中に位置するNo.4からNo.5までの $A_{5/4}(T)$ （図-7）の比を求め、図-8に示す。座標Z1が小さいほど $A_{5/4}(T)$ の $A_{5/1}(T)$ に対する比は大きく、従って地表近くで急激に増幅する傾向を示している。

当該地点のように大きな波動インピーダンス比を持つ地層境界面のない地盤では、途中層からの増幅を基盤からのその推定値とすると過小評価になる怖れが強い。

(3) 最大加速度増幅率

増幅スペクトルの評価最短周期0.02秒における値は、近似的に最大加速度の増幅率と見なすことができる。そこで、最大加速度の増幅率を求めると図-9のように得られる。

5. まとめ

鉛直アレー地震観測により得られたデータに基づいて、地盤の増幅特性を検討した。その結果、地盤増幅特性は基盤での地震動特性に依存することが明らかとなった。構造物への入力の評価はこのような観点からの検討も有用となろう。

今後、詳細な地盤資料を持たない一般のサイトで増幅特性を推定するためには、地盤構造と地震動の関係が直接対比できる鉛直アレー観測記録の検討とともに、標準貫入試験等の原位置での調査資料から振動系としての地盤モデルを作成する手法の検討が必要である。

なお、本研究で用いた地震動記録は電力共通研究「新第三紀堆積岩の地震動特性に関する研究」で実施された地震観測によるものである。

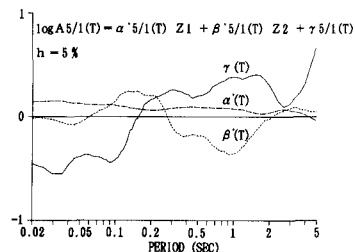


図-5 $A_{5/1}(T)$ の変換モデル

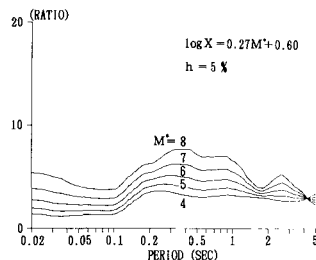


図-6 Z1軸上での $A_{5/1}(T)$

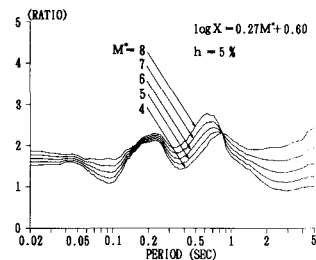


図-7 Z1軸上での $A_{5/4}(T)$

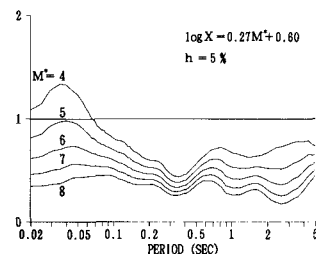


図-8 $A_{5/4}(T)$ の $A_{5/1}(T)$ に対する比

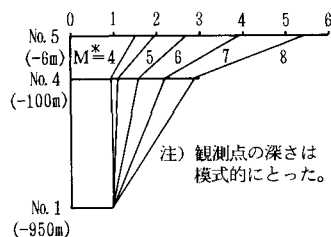


図-9 最大加速度増幅率