

地震動加速度応答スペクトルにおける地盤条件の影響について

徳島大学工学部 正員 沢田 勉  
 徳島大学大学院 ○学生員 権野 彰浩

1. まえがき 従来より用いられている耐震設計用の応答スペクトルでは、通常ならんがの“正規化”と“平均化”が行われている。しかし、この正規化と平均化により、本来個々の応答スペクトルに含まれていたその他多くの情報が利用されなくなっている。この個々の応答スペクトルに関する情報は、応答スペクトルの平均値まわりのばらつきに表われているので、このばらつきを適切に評価することにより、精度のよい平均応答スペクトルが作成されると考える。応答スペクトルのばらつきに与える要因としては、地震規模、震源機構、伝播経路、観測地点の地盤条件などが考えられる。これらの要因のうち地盤条件は、道路橋耐震設計指針に示されるⅠ～Ⅳ種の地盤種別によって表わされているが、同一の地盤種別のごく近接した地点でも地震動による構造物の被害に差が生じる場合もあり、複雑な地盤性状を単純で定性的な地盤種別による分類のみで論じるには無理があると思われ。本研究では、地盤条件と地盤のごく表層で測定されたN値に基づく地盤パラメータを用いて表わし、地盤条件が応答スペクトルのばらつきにどの程度影響するかを検討した。

2. 使用した強震記録と観測地点の地盤条件 (1)使用した強震記録 日本およびその周辺で発生した地震によって得られた82成分の地震動水平加速度記録を基本とし、各水平2成分を全パワーが最大となる方向に変換した球形41成分を用いた。これらの記録はすべてSMAC-B2型強震計によって得られたものであり、文献(1)の補正を行ったものである。強震記録の選定条件として、(1)観測地点のN値のデータおよびマグニチュード、震央距離が既知であること、(2)強震記録の最大加速度が約50gal以上であること、の2点を考えた。一般に、地震動は奥体波と表面波より構成される。このうち奥体波は、建設基盤(一般の標準貫入試験によるN値が約50以上であり、その地点に建設する構造物を支持する層)以下の地盤条件の影響をうけるが、表面波はより深い地盤特性の影響をうける。本研究では、地盤条件として地盤のごく表層のN値を用いるので、表面波の優勢な地震動に対して地盤条件の影響を論じるには無理がある。そこで、以下では次の2つのデータセットに対し、解析を行った。

DS1: 上述の41個のデータ、DS2: 41個の全データより、表面波が優勢なデータ、およびN値が建設基盤まで完備されていないデータを除いた残りの27個のデータ。

(2)観測地点の地盤条件とその定量化 地盤条件を定量化するため、標準貫入試験より得られるN値に基づく指標を得ることにした。N値を用いた地盤条件の指標としては、次式で示されるような、杉戸、後藤、豊田<sup>(2)</sup>によるものがある。

$$S_c = \int_0^h \exp\{-r_1 N(x)\} \exp(-r_2 x) dx \quad (1)$$

ここで $S_c$ は地盤パラメータ、 $N(x)$ はN値、 $h$ はN値のデータが得られている地盤の深さ、又は地表からの深さ、 $r_1, r_2$ は定数である。

3. 加速度応答スペクトルの統計解析 地震動応答スペクトルの値に影響を与える要因として、地震のマグニチュードM、震央距離 $\Delta$ 、および地盤パラメータ $S_c$ を考え、応答スペクトルの回帰式を設定した。図1は、応答スペクトル $S_A$ と地盤パラメータ $S_c$ の関係を示したものである。この図より $S_A$ と $S_c$ の間には、かなりのばらつきはあるが、両対数教紙上でほぼ直線関係があるように見える。以上のことより加速度応答スペクトルの回帰式を次のように仮定した。

$$\log S_A(T_0) = a + bM + c \log(\Delta + 30) + d \log S_c \quad (2)$$

$\omega$ にて  $S_A(T_0)$  は、減衰定数 0.05, 非共振固有周期  $T_0$  の絶対加速度応答スペクトル,  $a, b, c, d$  は回帰係数である。以下の解析では、データセットの差異, および地盤パラメータ  $S_c$  の有用性をみるために次の3通りの計算を行った。Case 1; データセットの 1 の記録に対し, 式(2)の回帰式を用いた場合, Case 2; データセットの 2 の記録に対し, 式(2)の回帰式を用いた場合, Case 3; データセットの 2 の記録のうち地盤種別Ⅲに属するデータを用いて,  $M, \Delta$  のみによる回帰分析を行った場合。図 2 は, Case 1, 2 における回帰係数  $C$  を示したものである。この図より, 震央距離に対する回帰係数  $C$  は, Case 1 の場合, 固有周期 (以下  $T_0$  と略す) が約 0.9 ~ 4 秒の領域で正となり, 遠距離の地震ほど応答値が大きくなることを意味する。このようになった理由として, 遠距離で発生した地震による地震動に長周期の表面波を含む記録が 2, 3 あったために,  $T_0$  が 0.9 ~ 4 秒での応答が極端に大きくなったものと考えられる。図 3 は, 式(2)の回帰係数  $d$  を示したものである。この図より, 地盤パラメータ  $S_c$  に対する回帰係数  $d$  は,  $T_0$  が 0.5 ~ 2 秒において 1 ~ 1.5 と大きな値を示し, この付近の周期では, 地盤の影響が大きく表れていることがわかる。また,  $T_0$  が 0.5 秒以下, および 2 秒以上では  $d$  の絶対値が小さく, あまり地盤パラメータの影響があらわれないことがわかる。図 4 は, 地盤パラメータの有用性をみるために, Case 2, 3 で求めた変動係数を各々の  $T_0$  に対してプロットした図である。Case 2 は, 地盤条件を  $N$  値を用いて定義した場合, Case 3 は, 地盤種別で区別した場合である。この図より, Case 2 と 3 の変動係数の差は,  $T_0$  が 0.5 ~ 2 秒で大きく, 地盤パラメータ  $S_c$  は, 中周期部の応答スペクトルのばらつきにかなり影響を与えることがわかる。また, 地盤種別で区別した応答スペクトルのばらつきは,  $T_0$  が 0.5 ~ 2 秒で大きくなるが,  $N$  値に基づく地盤パラメータによるものとこのばらつきは, 全領域の周期にわたって変化の少ないことがわかる。

**4 結 論** 本研究では, 地盤条件を定量的なパラメータで表わし, それが応答スペクトルのばらつきにどの程度影響するかを検討した。得られた結果を要約すると次のようになる。1) 建設基礎以浅の地盤条件を用いた地盤パラメータでは, 表面波が顕著にあらわれる地震動の特性を表わすことができない。したがって, 表面波の卓越する地震動に対しては, 別の取り扱いを考えなければならぬ。2) 実体波の優勢な地震動に対しては, 本研究で用いた地盤パラメータは応答スペクトルのばらつきをかなり減少させる。また, 現行の地盤種別ごとの応答スペクトルの変動は,  $T_0$  が 0.5 ~ 2 秒の中周期部で大きい。が,  $N$  値に基づく地盤パラメータを用いると, この傾向はほぼなくなり, 全領域の周期にわたって変動係数の値が 60% 前後と均等化する。最後に, 本研究を進めるにあたり, 適切な御助言をいただいた徳島大学工学部宇都宮英孝教授に謝意を表します。なお, 本研究の震害記録は, 京都大学工学部交通土木工学科後藤研究室所蔵のものを使用させて頂いた。記して謝意を表します。

**5. 参考文献** 1) 鹿田地, デジタルフィルターによる SMAC-B2 加速度記録の補正について, 土木論文集, No. 227 2) 杉戸地, 地震動予測における  $N$  値を用いた評価法, 第 17 回自然災害科学シンポジウム

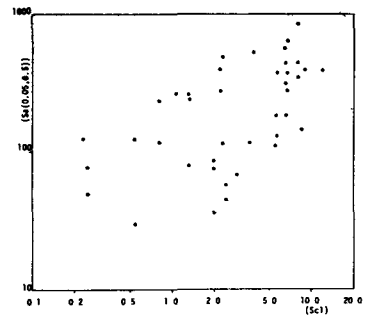


Fig. 1

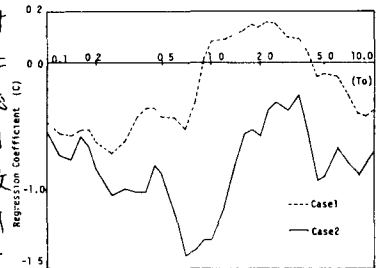


Fig. 2

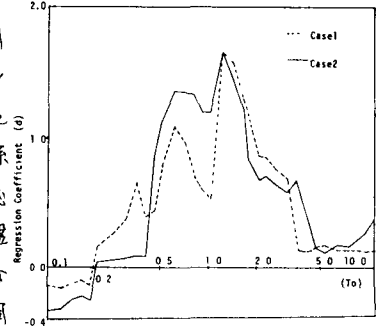


Fig. 3

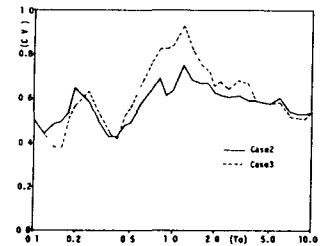


Fig. 4