

埼玉大学大学院 学生会員 佐藤 靖彦
 埼玉大学工学部 正会員 川上 英二

1. 序論 地中埋設構造物の耐震性は2点間の地盤の相対変位・平均ひずみに大きく影響されるため、ひずみの正しい評価が必要である。従来、地盤のひずみ振幅 ε は地震波を変形せずに伝わるものと仮定して、 $\varepsilon = V/C$ (V : 地震波の速度振幅、 C : 位相速度)により推定されている。しかし、実際の地震波を2点間で比べてみると、波形は多少異なり、地震波は変形しながら伝播していることがわかる。¹⁾そこで、本研究では変形しながら伝播する波動について、 $\varepsilon = V/C$ の妥当性の検討を行った。

その方法として、変形しながら伝播する波動をパワースペクトルは一定であるが、クロススペクトルにおいて相関の程度が減少しながら伝播する波動と仮定した。そして、各時刻におけるひずみの場所による変動、2点間の相対変位・平均ひずみのスペクトルの特性等を検討した。さらに、変形しながら伝播する波動をシミュレートすることにより、上記で求められた解析結果を確認した。

2. 変形しながら伝播する波動 変形しながら伝播する波動とは2点でのその相関が小さくなるような波動であり、減衰して伝播する波動にそれとは独立な波を加えることによりシミュレートできる。一方、変形せずに伝播する波動とは減衰せずに同一波形を保ち、たまたで伝播する波動である。従来、地震動を相関をもつ複数の確率過程と考えた研究が幾つか行なわれている。^{3,4,5)} Fig. 1は変形しながら伝播する波動を相関をもつ複数次常確率過程を用いてシミュレートしたものであり、破線が変形せずに伝播する変位波、実線は変形しながら伝播する変位波であり、波形が変化しながら一定速度で伝播している様子がわかる。

実際の地震波において離れた2地点でその波形を比較すると2点間の距離 $|x_0|$ が大きいほど、また長周期の波より短周期の波ほど2点の波形は異なり相関が小さくなるものと考えられる。そこで、伝播時間 $|x_0|/C$ と角振動数 ω に比例する減衰を考え、無次元量 $\omega|x_0|/C$ の関数 $A(\omega|x_0|/C)$ を用いて変形しながら伝播する波動のクロススペクトル $S_{XT}(x_0, \omega)$ が次式のように表わせるものと仮定した。⁶⁾

$$S_{XT}(x_0, \omega) = S_T(\omega) \exp(-i\omega|x_0|/C) A(\omega|x_0|/C)$$

ただし、 $S_T(\omega)$ はパワースペクトルであり、また、ここでは簡単化のため

$$A(\omega|x_0|/C) = \exp(-\alpha_0 \omega|x_0|/C)$$

と仮定した。^{3,4)} ここで、 α_0 は波動の変形しやすさの程度を表わすパラメータである。

3. 変形伝播する波動のひずみ特性 波が変形して伝わる場合のひずみ特性の解析解を簡単に求めるために、加速度パワースペクトルにGoto-Kameda⁷⁾の式を用いた。Fig. 2-(a),(b)にクロススペクトルを逆Fourier変換して求めた相互相関関数 $R_{XT}(\tau)$ を示す。実線は自己相関関数、一点鎖線は2点間の距離が400mの場合の相互相関関数である。Fig. 2-(a)は波の変形が無い場合($\alpha_0 = 0$)であり、Fig. 2-(b)は波が変形して伝播する場合($\alpha_0 = 1.0$)である。波が変形する場合相互相関関数の最大値は自己相関関数の最大値より小さくなり、距離及び振動数が増え、相関が小さくなる。これらそれぞれの場合について相互相関関数から各時刻における変位の場所による変動波形のスペクトル $S_x(k)$ を算定し、これをFig. 3に、さらにFig. 4にひずみ波形のスペクトルを示してある。ただし、横軸に波数 k をとり、実線は波の変形がない場合、破線が波の変形がある場合である。Fig. 4のひずみスペクトル $S_{\varepsilon}(k)$ は、波の変形がある場合には高波数で大きくなる。したがって、波の変形がある場合、短波長成分のひずみが増大され、 $\varepsilon = V/C$ によるひずみの推定値では過小評価されていると考えられる。

4. 変形する波動の相対変位・平均ひずみの特性

2点間の相対変位・平均ひずみ (= 相対変位/2点間距離)

離)のr.m.s.値と2点間距離 X_0 との関係を示したのがFig.5-(a),(b)である。波の変形伝播の影響は相対変位では顕著ではないが、平均ひずみでは特に2点間の距離が短いところで著しく、波の変形伝播により相対変位・平均ひずみは増大される。逆に2点間距離が200mから500m付近では実線が破線より大きく、波の変形伝播の影響により相対変位・平均ひずみは減少する。これは波の変形がある場合の2点の波形が一對の独立波形に近づくものと考えることにより説明可能である。つまり、2点間の距離が地震波の卓越波長の1/4以下の距離では卓越波長成分が2点間で同位相であり、平均ひずみは大きくなる。一方、1/4~3/4波長の間の距離では卓越波長成分が2点間で逆位相となるため平均ひずみが小さくなるものと考えられる。

6. 結論 1). 各時刻におけるひずみの場所による変動波形のスペクトルは、特に短波長成分において波の変形がある場合の方が無い場合よりも大きく算定される。そして、波の変形が無い場合に成立する式 $\varepsilon = V/C$ によるひずみでは過小評価されている。

2). 2点間の相対変位の大きさに及ぼす波の変形伝播の影響はそれほど大きくないが、2点間の平均ひずみに及ぼす波の変形伝播の影響は特に2点間の距離が短いところで著しい。

3). 2点間の距離が地震波の卓越波長の1/4以下の場合には、相対変位・平均ひずみは波の変形伝播の影響により大きくなる。しかし、1/4から3/4の間の場合には逆に小さくなる。

7. あとがき

本報告をまとめるにあたり埼玉大学工学部久保義三郎先生、渡辺啓行先生に貴重な御助言を頂きました。記して深謝の意を表します。

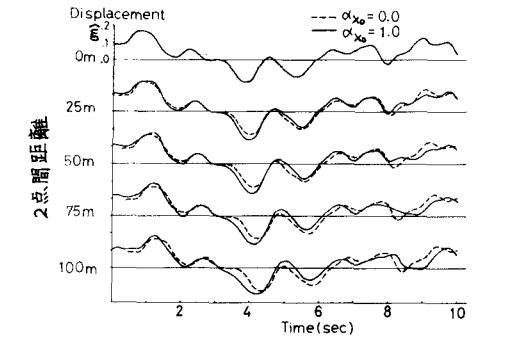


Fig.1 変形しながら伝播する波動のシミュレーション

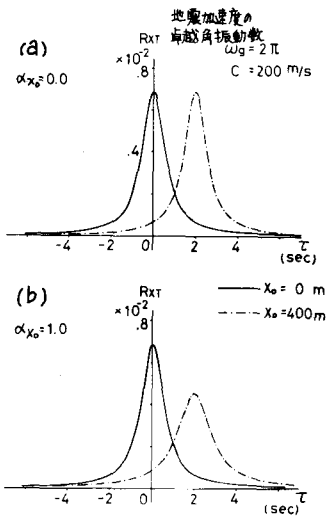


Fig.2 相互相関関数

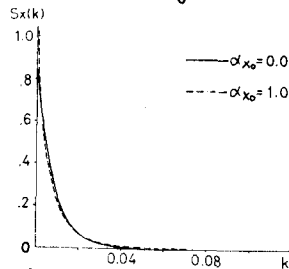


Fig.3 変位の場所による変動波形のスペクトル

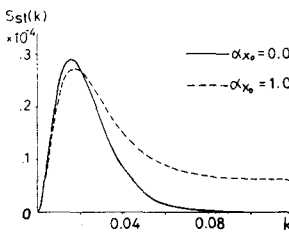


Fig.4 ひずみの場所による変動波形のスペクトル

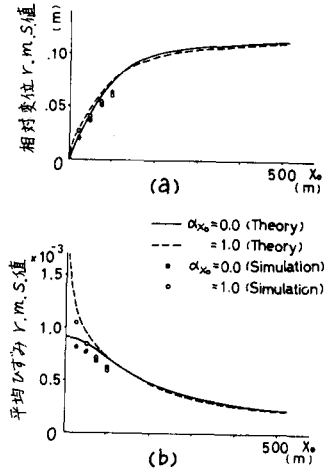


Fig.5 相対変位・平均ひずみのr.m.s.値

参考文献 1). Tsuchida, Kurata: Observation of Earthquake of Ground with Horizontal and Vertical Seismometer Arrays, Proc. of 4th JEES, 1975. 2). 高田, Wright: ライトライン系解析のための相対地震変動, 土木学会論文報告集 299号, 1980. 3). 星谷: 確率手法による振動解析, 鹿島出版, 1974. 4). 石井: 確率手法による入力損失の検討, 清水建設研究所報 34号, 1981. 5). Matsushima: Spectra of Spatially Variant Ground Motions and Associated Transfer Functions of Soil Foundation System, 第4回地震工学シンポジウム講演集, 1975. 6). 日野: スペクトル解析, 朝倉書店, 1977. 7). Gotokameda: Statistical Influence of the Future Earthquake Ground Motion, Proc. 4WCEE, Chile, 1969.