

西松建設

正員 ○佐藤 靖彦

埼玉大学工学部

正員 川上 英二

1. はじめに

地中埋設構造物の耐震性は2地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これらの値の正しい評価が必要である。従来、地盤のひずみ振幅は地震波を同一の波形で伝播するものと仮定して推定されている。しかし、実際には、地表面上の2地点で観測される地震波形は地盤の不均一性などの理由により同一波形ではなく、波形は異り波形のゆがみが生じている。著者らは、この波形のゆがみの程度をコヒーレンスで表し、この影響を考慮した場合に2地点間の地盤の相対変位・平均ひずみが同一波形で伝播する場合とどの様に異なるかを明らかにしている¹⁾。本研究は地震の実測記録から算定されるコヒーレンスの性質を考察し、その算定方法について検討を加えたものである。

2. 波形のゆがみ

波形のゆがみを示す1例として、東京都²⁾が中川水管橋左岸及び右岸において観測した千葉県中部地震の加速度記録波形を図-1に示す。図-1の2つの波形を比較すると互いに良く似ているが、波形が多少異っており、すなわち波形のゆがみが生じていることがわかる。

3. コヒーレンスの算定方法とその問題点

波形のゆがみの程度を表す尺度として従来より式(1)で定義されるコヒーレンス coh が用いられている。

$$\text{coh}^2(\omega) = \frac{|S_{xy}(\omega)|^2}{S_x(\omega) S_y(\omega)} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $S_x(\omega)$ 、 $S_y(\omega)$ は xy 各地点におけるパワースペクトル、 $S_{xy}(\omega)$ はクロススペクトル、 ω は角振動数である。式(1)よりそのまま直接コヒーレンスを算定すると、常に1になってしまう³⁾ため、従来、スペクトルをアンサンブル平均あるいはウィンドーを用いて平滑化することによってコヒーレンスは算定されている。本研究では1つの地震データから算定可能なウィンドーを用いた平滑化(本報告では Hanning の方法による結果を示す)による方法に注目した。

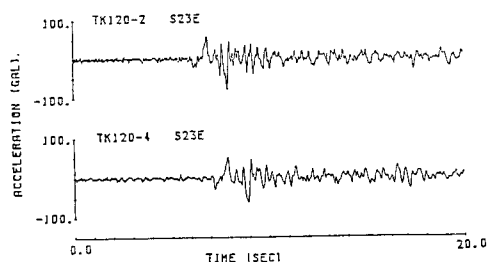
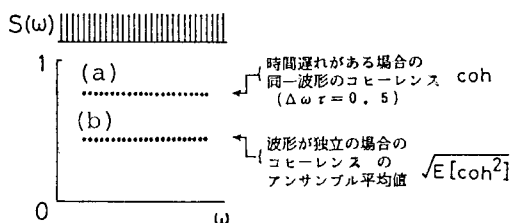
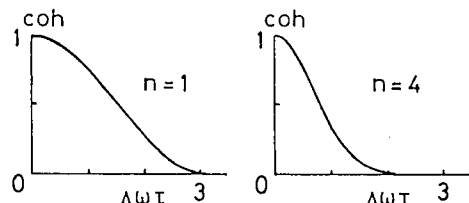
そして、従来の算定方法では

(1) 2つの波形に時間遅れが存在する場合にコヒーレンスが1にならない

(2) 2つの波形が独立であってもコヒーレンスは零にならない

などの問題点があることを提起した。

この1例として、スペクトルがホワイトノイズの場合についての結果を以下に示す。図-2(a)は時間遅れがある場合($\Delta\omega\tau=0.5$)の同一波形のコヒーレンスを示しているが、同一波形であるにもかかわらず1ではない。この値は角振動数の分割間隔 $\Delta\omega$ と時間遅れ τ との積 $\Delta\omega\tau$ の関数であり、 $\Delta\omega\tau$ の増大に伴いコヒーレンスは減少し1にならず、平滑化の回数 n の増加とともにその減少の程度は著しくなる(図-3参照)。

図-1 加速度記録波形²⁾図-2 ホワイトノイズの場合のコヒーレンス ($n=4$)図-3 コヒーレンスに及ぼす $\Delta\omega\tau$ の影響

一方、図-2 (b) は2つの波形が独立である場合のコヒーレンスのアンサンブル平均値であるが、独立であるにもかかわらず零ではない。図-4 は平滑化の回数がアンサンブル平均値に及ぼす影響を示している。平滑化の増加に伴いこの値は減少しているが、独立であるにもかかわらず零にならず算定値に偏りが生じていると考えられる。図-5 (a) (b) は従来の方法を用いて図-1 の波形のコヒーレンスを算定した結果である。

(a) は平滑化を1回、(b) は8回繰返した結果であり、角振動数 $\omega = 50 \text{ rad/s}$ 付近では平滑化1回の場合には約0.4、8回の場合には約0.1であり、この違いは算定値に偏りが含まれていることが原因であると考えられる。

4. 算定方法の改良

以上のように、従来の方法では2つの波形に時間遅れがある場合には同一波形でもコヒーレンスは1にならず、独立の場合でも零にならないため、波形の相関を知る上で不都合である。そこで本研究では、2つの波形に時間遅れが存在する場合には波形をそろえ $\tau = 0$ とした。また、算定値に含まれる偏りを取り除くため独立の場合のアンサンブル平均値を下限とし、これ以上の値が相関を持つものと考え、算定値の補正を行ない前述の問題点を解決した。図-1 の波形について従来の結果に補正を加え、求めたコヒーレンスを図-6 に示す。これによって算定値に含まれる偏りは取り除かれ、角振動数 50 rad/s 付近ではほとんど相関がないことがわかる。さらに、以上の方法を用いて実測記録の解析を行なった結果、地震動の伝播特性として、長周期成分の相関が高く短周期成分の相関は低いこと、さらに、2地点が離れる程相関が小さくなることがわかった。

5. 結論

- (1) 従来のコヒーレンスの算定方法では、2つの波形に時間遅れがある場合には同一波形でも1にならずその値は $\Delta\omega\tau$ に影響される。一方、独立の場合でもコヒーレンスは零にならず算定値に偏りを生じ、この偏りの程度は平滑化の程度によって異なる。
- (2) 2つの波形に時間遅れがある場合には波形をそろえ、独立の場合のアンサンブル平均値を下限としてコヒーレンスの算定値の偏りを補正した結果、波形のゆがみ(相関)の程度を表す安定したコヒーレンスが得られた。
- (3) 実測記録の解析の結果、地震動の伝播特性として、短周期の波動程、また、2地点が離れる程相関が小さいことがわかった。

謝辞 本研究をまとめるにあたり貴重な御助言を頂きました埼玉大学工学部久保慶三郎先生、渡辺啓行先生に謹んで感謝いたします。

参考文献

- 1) 川上・佐藤：土木学会論文報告集，No. 337，1983.
- 2) Yazaki, S. ら：防災科学技術研究資料第80号，1983.
- 3) J.S. ベンダット・A.G. ピアソル (得丸他訳)：ランダムデータの統計的処理，培風館，1976.

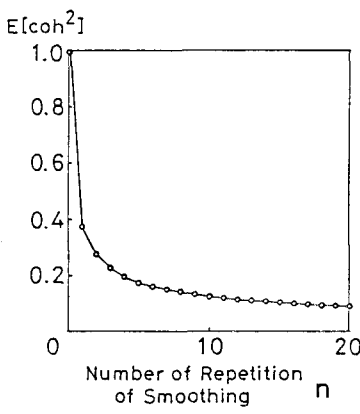


図-4 コヒーレンスに及ぼす平滑化の回数の影響

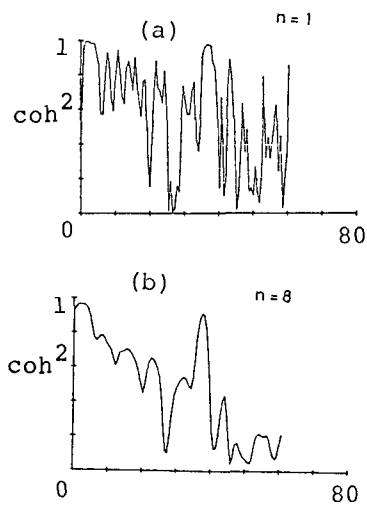


図-5 従来の方法による算定結果

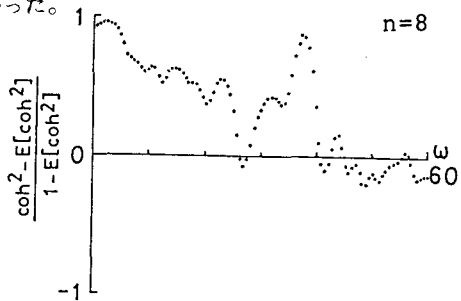


図-6 補正を加えた算定結果