

パーセヴァルの定理を適用した観測記録の補間にもとづく計測震度の推定

神戸大学工学部 正 会 員 尾崎 竜三

神戸大学工学部 フォロー会員 高田 至郎

1. はじめに

筆者ら^{1), 2)}は、形状補間法を限られた地点に設置されている地震観測機器による実測データに適用し、地震記録の非観測地点において基盤波を推定する手法について提案している。さらに得られた基盤波を対象地盤に入力することで、地表面での地震動を推定し、記録の非観測地点での計測震度を算定することができる。

しかしながら現段階では、位相角の推定の際にランダムに与えられる初期位相に影響され、決定的な位相角、つまり決定的な基盤波形状が推定されない状況であり、それを用いて計算される地表面波、計測震度は一意に決まらない。

そこで本研究では、フーリエ振幅の補間にもとづき、パーセヴァルの定理を適用して、位相特性の推定を経ずに地震動の非観測地点で計測震度を推定する。

2. 適用手法

まず本稿で用いるパーセヴァルの定理について概要³⁾を示す。ある標本値 x_m ($m=0,1,\dots,N-1$)の有限フーリエ係数が A_k , B_k であるとき、パーセヴァルの定理は成分波の振幅 $X_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}$ を用いて式(1)のように示される。

$$\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x_m^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{X_0^2}{2} + \sum_{k=1}^{N/2-1} X_k^2 + \frac{X_{N/2}^2}{2} \right) \quad (1)$$

さて、式(1)の左辺はある時間間隔 $\tau = N\Delta t$ の標本値の2乗の平均値を示している。ここで $N=2$ とすれば、左辺は $(x_0^2 + x_1^2)/2$ となる。 N を小さな値とし、時間を進めて考えた場合、左辺は N 個の標本値の2乗の移動平均を示す(図-1)。

計測震度は3成分の観測波をフィルタ処理した上で、ベクトル波形を計算し、ベクトル波形中0.3秒の継続時間を持つ加速度を修正河角式に代入することで算定される。移動平均を取ることで実際の観測記録は平滑化されることになるため、パーセヴァルの定理を用いて算定した計測震度と実際に算定した計測震度の関係が明らかであれば、観測記録を N 個ずつ処理することにより、フーリエ振幅(成分波の振幅)のみを用いて計測震度を算出できる。

形状補間法を用いれば、地震記録の非観測地点においても、フーリエ振幅を補間することは容易である。この特性を利用して計測震度を算定する。本手法の概念図を図-2に示す。1) N 個の観測記録からフーリエ振幅を算定する、2) フーリエ振幅を補間する、3) 計測震度算定用のフィルタ処理を行う、4) パーセヴァルの定理により移動平均を算定するといった一連のプロセスを繰り返すことにより、

観測時間中の移動平均を算定し、5) ベクトル合成し、継続時間を考慮することで計測震度を求める(形状補間法によるフーリエ振幅の補間の詳細は文献1)、2) 参照されたい)。

ここで問題になるのは、標本値個数 N と、パーセヴァルの定理を用いて算定した計測震度と実際の計測震度の関係である。次でそれらについて検討する。

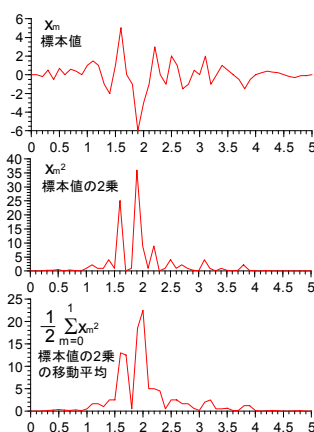


図-1 標本2乗値と移動平均

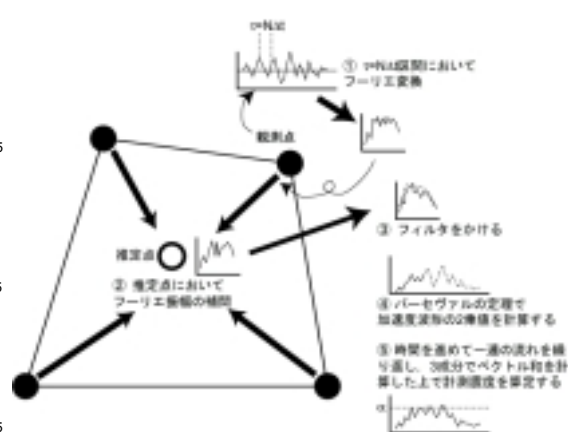


図-2 適用手法の概念図

3. 手法の検討

3.1 標本値の個数による影響

ここでは、観測記録の個数 N が計測震度にどのような影響を及ぼすかを検討した。1つの観測記録を用いて、 N を変化

キーワード：計測震度、パーセヴァルの定理、形状補間法、フーリエ振幅

連絡先：神戸市灘区六甲台町 1-1 Phone: 078-803-6047 Fax: 078-803-6069

させ、パーセヴァルの定理を適用して算定した計測震度を表-1 に示す (N と総データ数が等しい部分)。実際の計測震度もあわせて示した。表-1 より N の値が小さいほど、実際の計測震度と異なることが知られる。図-3 で示されるように標本値の個数が少ないため、基準振動数が大きく、さらにカットオフフィルタの影響を受け、式(1)右边で計算される値が非常に小さくなるためである。その性質を補うために、 N 個の観測記録にゼロをつけて検討した。結果は表-1 に示したとおりであり (N と総データ数が異なる部分)、後続のゼロの個数が多くなるに従って、算定される計測震度が大きくなり、一定の値となる。後につけたゼロにより基準振動数が小さくなり、ナイキスト振動数までの間を十分に補うことができたためである。総データ数 256 以上で一定の値になる。後続のゼロをつけることにより式(1)左辺の値は小さくなるが、ゼロの個数に応じた定数を乗ずることで対応した (式(2)は 2 個の観測記録にゼロを 14 個つけた場合 ($N=16$ になる) であり、8 倍すればよい)。

$$\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x_m^2 = \frac{1}{16} \sum_{m=0}^{15} x_m^2 = \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{2} \sum_{m=0}^1 x_m^2 \quad (\because x_m = 0 (m=2 \sim 15)) \quad (2)$$

表-1 データ数と計測震度の関係

総データ数	データ数毎の計測震度(実際の計測震度:5.656)							
	観測記録のデータ数N							
	N=2	N=4	N=8	N=16	N=32	N=64	N=128	N=256
2	0	-	-	-	-	-	-	-
4	2.144	0.940	-	-	-	-	-	-
8	3.770	3.770	3.023	-	-	-	-	-
16	4.266	4.452	4.405	4.144	-	-	-	-
32	4.496	4.746	4.868	4.799	4.778	-	-	-
64	4.667	4.922	5.098	5.175	5.098	5.098	-	-
128	4.778	5.046	5.245	5.391	5.396	5.238	5.337	-
256	4.789	5.054	5.257	5.411	5.426	5.263	5.309	5.238
512	4.789	5.054	5.257	5.411	5.426	5.263	5.309	5.298
1024	4.789	5.054	5.257	5.411	5.426	5.263	5.309	5.298

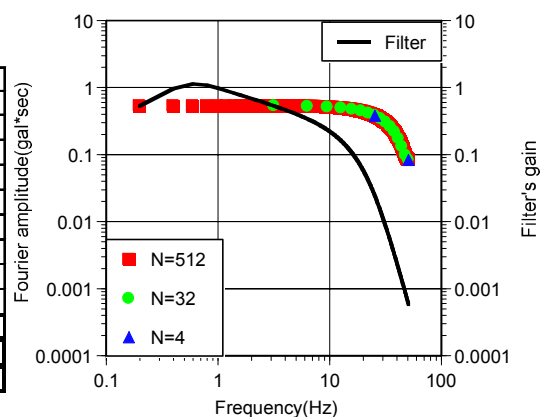
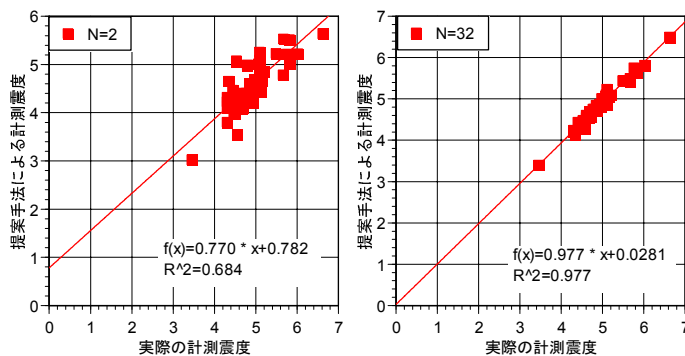


図-3 標本数毎のフーリエ振幅

3.2 パーセヴァルの定理を用いて算定した計測震度と実際の計測震度

ここでは、パーセヴァルの定理を用いることによって、移動平均を取られることになる観測記録から算定される計測震度と実際の計測震度の関係について検討した。3.1 の結果を考慮し、 $N=512$ として、その中の観測記録の個数を変化させて検討した。2000 年鳥取県西部地震時の 44 地点 (サンプリング周期 0.01 秒 : 30 地点, 0.005 秒 : 14 地点) の記録を用いた。44 地点すべての記録による関係で、512 個中、観測記録が 2 個と 32 個の結果を図-4 に示す。標本値に占める観測記録の個数が大きいほど相関が高くなり、32 個を越えれば、かなり精度がよくなることが知られた。本稿では $N=512$ とし、32 個が観測記録である条件を用いる。



(1)N=2 の場合

(2)N=32 の場合

図-4 計測震度の関係

4. 適用例とまとめ

地表面波からの基盤波の推定にはまだ十分な精度が得られていないため、基盤強震ネットによる基盤での観測記録を用いて本手法を検討した。観測地点、推定地点の関係、適用結果は紙面の都合上発表に譲りたい。

本研究では形状補間法とパーセヴァルの定理を適用して、位相特性の推定を経ずに、地震動の非観測地点における計測震度を算定することが可能となった。観測された基盤波での検討をより多く行い、本手法の推定精度を検討する必要がある。また当該地盤の周波数応答関数が既知であれば、観測地点における基盤波の推定や推定地点における地表面波の算定にも対応できる。

参考文献

- 1)高田至郎, 尾崎竜三:地震動補間に基づく任意地点での加速度波形推定, 建設工学研究所論文報告集, 第40-B号, pp.1-22, 1998.11., 2)尾崎竜三:リアルタイム地震防災における液化化モニタリングと地震対策に関する研究, 神戸大学学位論文, pp.103-131, 1999.3., 3)大崎順彦:新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, pp.25-79, 1994.5.