

## 加速度記録から永久変位のない変位波形を計算する簡単な方法

A simple method to calculate displacement waveform without eternal offset from acceleration seismogram

# 筧 楽磨[1]

# Yasumaro Kakehi[1]

[1] 神戸大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Kobe Univ.

<http://www-seis.planet.kobe-u.ac.jp/~kakehi/oidemase.html>

加速度記録から永久変位のない変位波形を計算する簡単な方法を報告する。加速度波形での基線補正、速度波形でのリニアトレンドの除去を施したのち、それでもなお変位波形に現れる低周波ノイズを、次のようにして取り除く。まず、「片揺れ」する実体波部分をなめらかな曲線で置き換え、ハイカットフィルターをかけて低周波ノイズの曲線のみを取り出す。これをもとの変位波形から差っ引くことで、低周波ノイズを除去し、かつ実体波部分の「片揺れ」を無用に損なわない変位波形を得ることができる。

防災科学技術研究所の K-net, KiK-net に代表される加速度型地震計による高密度観測網の展開で、加速度波形データを扱う機会が今まで以上に増えた。解析によっては加速度波形を変位波形にしたいことがある。震源過程の解析がその例で、変位波形の実体波部分は far-field term が卓越するため、波形を見るだけで震源時間関数がおよそ見てとれるという利点がある。

ところが、体験した人はよく知っているように、加速度波形から変位波形を得ることは非常に難しい。これは数値積分を 2 回する際に、低周波ノイズが蓄積されていくことによる。地震の規模や震源距離から永久変位はないと考えられるにもかかわらず、低周波ノイズにより偽の永久変位が生じてしまう場合が非常に多い。この報告では、そのような加速度記録から低周波ノイズを取り除き、永久変位成分を持たない変位波形を得る簡単な方法を紹介する。

### (1) 加速度波形の基線補正

P 波到着時刻以前の信号が届いていない部分のデータから基線のずれを求め、これを差っ引く。

### (2) 速度波形のリニアなトレンドの補正

1 回積分して速度波形にする。速度波形の途中からリニアなトレンドが乗る場合が多い。これは加速度波形でいうと、ある時刻にステップ的に基線ずれが生じることに対応する。リニアなトレンドが乗り始める時間は、(a) S 波部分の大振幅の到着時、(b) S 波の立ち上がり、(c) P 波の立ち上がり、というパターンが多く、地震計の振子が大きく揺れる時に、基線ずれが生じていることを想像させる。このリニアなトレンドを直線で fitting して、トレンドを取り除く。

ここまでの補正はその根拠も比較的明快であり、また通常よく行われる補正である。これ以降がやっかいなところであり、この報告の骨子である。

### (3) 変位波形の低周波成分の除去

補正した速度波形を積分して変位波形にするが、この段階では低周波のノイズが乗っている場合が多い。これを取り除くには、ローカットフィルターをかければよいと考えてしまうが、事態はそう単純ではない。1つの問題点は、(伝搬経路の影響を受けているとはいえ)震源時間関数を反映して「片揺れ」をしている実体波の部分である。「片揺れ」というのは低周波成分に富むので、そのような波形にローカットフィルターをかけると、実体波による真の信号もいくぶんカットしてしまうことになり、よろしくない。また、永久変位をもつような低周波成分はローカットフィルターではなかなか完全に除去できないという第 2 の問題点がある。

そこで、次のような工夫をする。低周波ノイズの乗った変位波形の「片揺れ」をしている実体波部分を、その前後となめらかにつながる曲線で置き換える。ローカットフィルターで低周波ノイズを完全にカットするのは難しいのに対し、ハイカットフィルターをかけて低周波ノイズだけを取り出すことはやさしい。取り出した低周波ノイズは、目で見て「これを取り除きたい」と思う低周波の曲線そのものと言ってよいものになる。これをもとの変位波形から差っ引くことにより、低周波ノイズを除去し、かつ実体波部分の「片揺れ」を無用に損なわない変位波形を得ることができる。

「片揺れ」部分のなめらかな曲線での置き換えは、「片揺れ」の前と後ろの部分のトレンド(直線で fitting)になめらかに接続する 3 次関数を求めてやることで行った。これは 4 元連立 1 次方程式を解くだけでできるので、プログラムは非常に簡単なものである。

この手法の問題点は以下の通りである。P波とS波の間の near-field term は、変位波形では基線の片側に偏した非常に低周波の成分である。従って、これを低周波ノイズと区別して扱うことは無理で、near-field term は低周波ノイズとともに除去されてしまうことになる。near-field term はモーメントテンソルインバージョンによるメカニズム決定で威力を発揮する成分だけに残念ではある。しかし、加速度計を使っている限り、よほど S/N のよいデータを除き、変位の near-field term の再現まで期待するのがそもそも無理であると考え。もう1つの問題点は、記録によっては速度波形に乗るトレンドが直線的でなく曲線を描く場合があることである。この場合は、その曲線的なトレンドをうまく取り除く別の対処法を考える必要がある。

講演時には、2000年10月31日に三重県中部で起こった  $M_w = 5.5$  の地震（深さ 43.6 km、フィリピン海プレート内のスラブ内地震と考えられる）の K-net による加速度波形を補正して変位波形にした例を紹介する。