

狭帯域フィルターを使った安定的な加速度マグニチュード推定

中村武史（防災科学技術研究所）

地震観測点のデータから大地震時のマグニチュードを精度良く即時推定することは、主要動到達前に震度や長周期地震動を予測し、被害軽減につなげるために重要な要素の一つである。また、推定したマグニチュードは、津波伝播や沿岸波高などに関する予測でも活用されており、津波に対する被害軽減の観点でも重要である。

震源近傍数点の観測点データからマグニチュードを即時推定するにあたっては、気象庁による緊急地震速報をはじめ、強震計で記録された加速度波形データを積分した変位波形成分の振幅値が解析で使用されることが多い。長周期成分が卓越する変位波形は、地震波伝播途中の散乱や浅部の地盤構造の波形への影響が比較的小さく、マグニチュードの安定的な推定に適している。一方、最近の研究では、加速度波形振幅からマグニチュード（加速度マグニチュード）を推定する手法が提案されており（Lin and Wu, 2010; Eshaghi et al., 2013, 2015）、カタログによるマグニチュードと概ね整合する結果を示している。これらの先行研究では、短周期成分を含む広い帯域（例えば、Eshaghi et al. (2013) では、0.06–10 秒）の加速度波形の振幅を解析している。加速度波形を使ってマグニチュードを推定する利点として、変位に変換するための積分を伴わないため、加速度オフセット等による長周期ノイズの影響の抑制や積分時の数値誤差の影響を回避することができる。また近年は、MEMS をはじめ、汎用・安価な加速度計を容易に多点設置できるようになり、そのような地震計で記録した波形振幅から、複雑な処理をせずにマグニチュードを推定することができる。しかし、これらの先行研究では、観測点全体で平均化した最終的な加速度マグニチュードの推定値がカタログ値と整合的な値となるものの、観測点間ではばらつきが大きく、震源周辺に観測点が多数配置もしくはある程度の即時性を犠牲にして多数の観測点データを収集することが整合性の前提条件となっている。このため、海域で発生した地震など、観測点がそもそも少ない場所で発生した地震の場合、このような前提条件を満たすことが難しく、加速度波形の振幅からマグニチュードを即時かつ安定的に推定することが困難となることが予想される。本研究では、広帯域の加速度波形振幅を解析した先行研究と異なり、狭帯域の加速度波形振幅に注目し、少ない観測点で加速度マグニチュードを安定的に推定する手法を考案したので紹介する。

周波数領域において、加速度波形を変位波形に変換するフィルター $H_a(\omega)$ と、変位波形から注目周期成分を抽出するフィルター $H_d(\omega)$ との関係について、以下の式で表現できる。

$$H_d(\omega) = H_a(\omega)(i\omega)^2$$

ここで、加速度波形データの積分のために $1/(i\omega)^2$ 倍するのではなく、その逆数が右辺にかかっていることに注意が必要である。上式から、例えば、加速度波形に適用する 2 次のバンドパスフィルターは、ある周期より短周期側で帯域通過、長周期側で 4 次のハイパスフィルターを変位波形に適用するフィルターに相当することとなる。同様に、加速度波形に適用する 3 次のバンドパスフィルターは、ある周期より短周期側で 1 次、長周期側で 5 次のバンドパスフィルターを変位波形に適用するフィルターに相当する。また、フィルターのタイプに関わらず、周期 $T_0 \approx 6$ 秒付近では $|i\omega_0| \approx 1$ となるため、フィルター適用前後の加速度波形と変位波形の振幅がほぼ同じ値となることを示している。つまり、周期を限定すれば、加速度波形にフィルターをかけるだけで、加速度波形と変位波形の振幅が定数倍の関係となることがあり、周期 6 秒であれば、両者の振幅がほぼ同じとなる。本研究では、加速度-変位間で振幅の変

化が小さい周期6秒に注目し、この周期付近に中心周期をもつ狭帯域のバンドパスフィルターを加速度波形データに適用し、変位に相当する振幅を持つ加速度波形を得た。そして、変位マグニチュードに相当する加速度マグニチュードの推定を試みた。フィルターの種類として、ここでは、2次および3次のベッセルフィルターを使用した。解析で使用したデータは、KiK-netの地中加速度計データである。

狭帯域フィルターを通した加速度波形データから、経験式の構築と式に基づく加速度マグニチュードの推定を行った結果、Mw 8程度までの地震について、F-netメカニズム解カタログのMwと整合する結果を得ることができた。Mwに対する偏差(2σ)は±0.7であった。これは、緊急地震速報で使用されている変位マグニチュード式(清本・他, 2010)を使用して解析した場合とほぼ同じ値であった。一方、Lin and Wu (2010)やEshaghi et al. (2013, 2015)などの先行研究に倣って広帯域の加速度波形振幅を解析した場合、散乱や浅部地盤構造の影響による振幅のばらつきのため、その偏差は±1.5程度となった。

本研究手法による加速度マグニチュードは先行研究と比べて安定性が高く、緊急地震速報で使用されている変位マグニチュード式による推定結果とほぼ同じ結果となることが分かった。また、本研究手法は積分処理が不要で、狭帯域フィルターの適用により加速度の長周期成分を減衰させるため、記録に混入することがある長周期ノイズの解析への影響を抑制できることも分かった。本研究では周期6秒に着目したが、他の周期においても同様に、狭帯域フィルターの適用と定数倍の乗算だけで加速度波形振幅からマグニチュード推定を行うことができる。数点の地震観測点データから容易な処理で、即時かつ安定的にマグニチュード推定をする上で有用と考える。

謝辞

本研究では、気象研究所 勝間田明男博士が開発、公開されたフィルター(勝間田, 1993)のプログラムコードを使用させていただきました。深く感謝致します。

