

速度計波形から計測震度をリアルタイム演算するフィルタの設計について

2025.1.10 即時解析／予測研究集会

気象研究所 干場 充之

気象庁の計測震度は、3成分の加速度波形をフーリエ変換し、周波数領域で周波数に応じた重みを掛け、逆フーリエ変換で時間領域に戻した波形（以下、震度波形と呼ぶ）から推定される。この位相遅れのない波形は因果律を満たさないため、厳密にはリアルタイムで計測震度を推定することはできない。一方、リアルタイムの震度を用いるニーズはあり、例えば、緊急地震速報の PLUM 法で用いられている。リアルタイムの震度の推定には、いくつかの提案があるものの、功刀・他（2008, 2013）の方法が、本来の定義に極めて近い演算を行い震度波形を求めている。現在、PLUM 法では震度をリアルタイムで推定して用いており、そこでは加速度計の出力波形から震度波形を求めている。一方、リアルタイムで伝送されている波形データは、加速度計よりも速度計の出力波形の方が多い。緊急地震速報では、観測点密度を上げることが迅速化につながる。このため、速度計の出力波形から、震度波形をリアルタイム演算することを考える。なお、この震度のリアルタイム演算を用いることにより、観測点の品質管理をリアルタイムで行うことも期待できる。

速度計の出力波形から、震度波形をリアルタイム演算するには、速度計の計器周波数特性の補正、 $((s^2+2h_0\omega_0s+\omega_0^2)/s^2)$ 。ここで、 $s=i\omega$ で、 ω_0 と h_0 は速度計の固有角周波数と減衰定数と、速度から加速度の変換（つまり、微分）、 s 、の演算を行うフィルタとを合わせた $(s^2+2h_0\omega_0s+\omega_0^2)/s$ を考える（高周波側では s に漸近する）。これに、功刀・他（2013）が提案するフィルタ（高周波で s^{-6} に漸近する）に追加して施せば良さそうである（合わせれば高周波で s^{-5} に漸近するはず）。が、実際に s - z 変換として双一次変換、 $s^{-1}=\Delta T/2 \cdot (1+z^{-1})/(1-z^{-1})$ （ここで、 ΔT はデジタルのサンプリング間隔、 $z=\exp(i\omega\Delta T)$ ）、を用いて試みると高周波では s^{-5} で減少するどころか逆に発散するようになる。その原因は、功刀・他（2013）では、 s - z 変換として $s^{-1}=\Delta T/2 \cdot (1+z^{-1})/(1-z^{-1})$ 、を用いているものの、 $s^{-2}=\Delta T^2/12 \cdot (1+10z^{-1}+z^{-2})/(1-z^{-1})^2$ を用いており、 s^{-2} はナイキスト周波数 $(1/(2\Delta T))$ 、 $z=-1$ 付近でも 0 には漸近しないためである。このため、功刀・他（2013）のフィルタを一旦複数のサブフィルタに分解し、計器特性変換と、速度加速度変換、の演算を組み換え直して発散しないようにフィルタを再構築した。

例として、Fig.1 に 2024 年 8 月 8 日の日向灘での地震(Mj:7.1)での JMA 中之島（加速度計の観測点コード、47338; 速度計のコード、NAKANO）での震度波形の比較を示す。両者の震度波形は極めて似ており、リアルタイムで求めた計測震度相当値、 I_r もほぼ同じになる。Fig.2 には、別の例として、同一地点である加速度計 KiK-net MYZH14 と速度計 Hi-net N.NCNH の比較を示す。これらのペアでは、震度波形は異なり、 I_r も 0.4 ほど異なっている。この原因としては、速度波形を一回積分し相対変位応答を求めてみると、特異な波形が得られるので、おそらく振子が筐体に接触しているものと推測される。汐見・他（2005）では、

Hi-net の水平動では 0.1cm を超えると筐体に接触している可能性を考慮すべき、と指摘しており、この推測と整合的である。

文献

- 功刀・他 (2008) 地震 2, 60, 243-252.
- 功刀・他 (2013) 地震 2, 65, 223-230.
- 汐見・他 (2005) 地震 2, 57, 451-461.

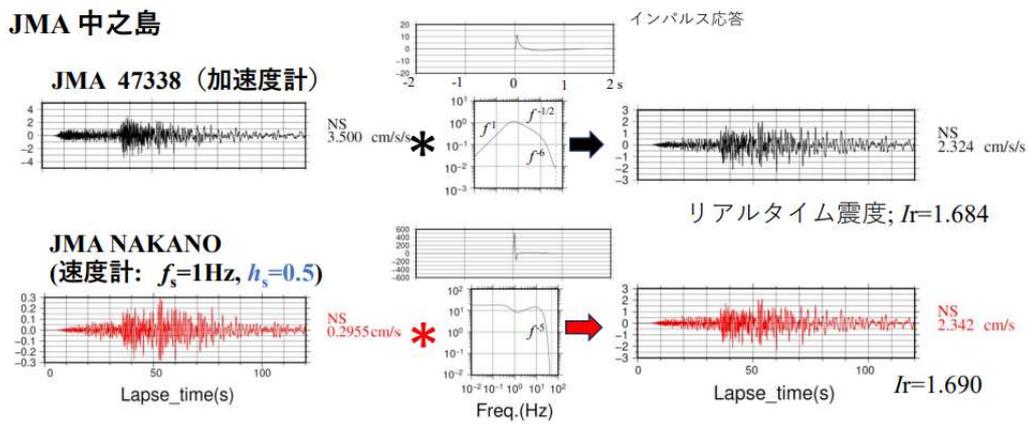


Fig. 1. 2024 年 8 月 8 日の日向灘での地震(Mj:7.1)での JMA 中之島での加速度計 (47338) からの震度波形と、速度計 (NAKANO) からの震度波形の比較。

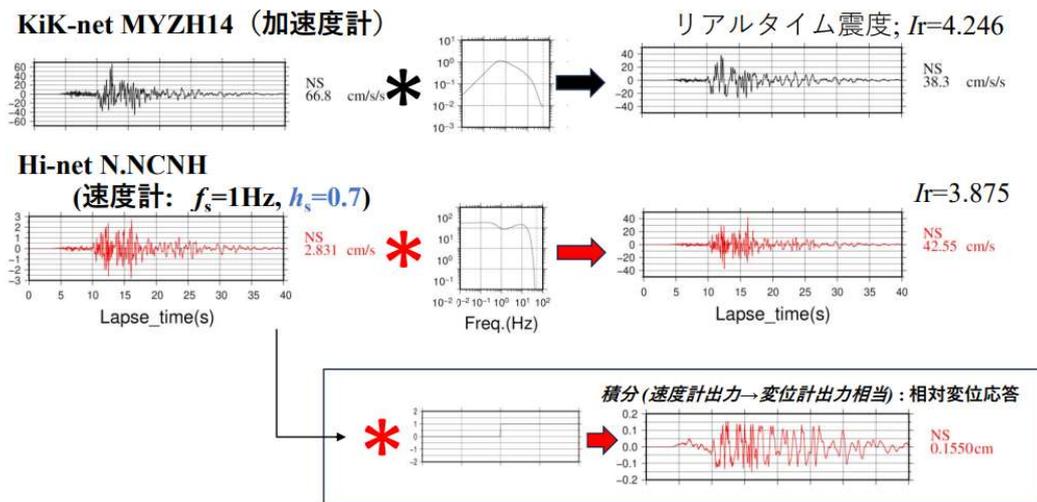


Fig. 2. 加速度計 (KiK-net MYZH14) からの震度波形と、速度計 (Hi-net, N.NCNH) からの震度波形の比較。相対変位応答の波形も合わせて示す。