

大阪府立高専 正会員 ○宮脇幸治郎
熊本大学、 学生員 八木 勇司

1. はじめに

一般に地震波記録などには、種々の雑音が混在していることがある。例えば、観測機器は地中に設置されている場合が多く、記録をとるセンサーはケーブルを介して出力する機器に接続されている。このような状態で地震動がかなり激しく揺れる場合、その記録中にケーブルがセンサーを引張ることにより、インパルス的な雑音が入り込んだりする。また、地表面上を伝播している電磁的な雑音によりガウス性雑音が、入り込んだりする。一方、地震波のような信号波形は、実験の場合と違いその再現性は難しく、工学的には貴重な信号であり、雑音除去の工学的意味をもっている。

本研究は、元の信号波形にインパルス性雑音やガウス性雑音が付加された波形記録より、その雑音信号をウェーブレット変換により除去しようと試みた。その結果インパルス性雑音やガウス性雑音の除去には、有効な一手法であることが示された。

2. ウェーブレット変換による雑音除去のアルゴリズム

(1) インパルス性雑音に対する場合

インパルス性雑音は、次式のように表現できるものと仮定する。

$$\tilde{x}(t) = g(t) + n(t) = g(t) + \sum_k \delta(t - a_k) \quad (1)$$

なお、 $\delta(q)$ は、デルタ関数とし、式(1)は、ウェーブレット展開表示すると、

$$\tilde{x}(t) = \sum_j \sum_m \tilde{D}_{jm} \psi_{jm}(t) \quad (2)$$

となる。ここで、式(1)より雑音除去するためには、

$$g(t) = \tilde{x} - n(t) = \sum_j \sum_m \left(\tilde{D}_{jm} - \sum_k \psi_{jm}(a_k) \right) \psi_{jm}(t) \quad (3)$$

のように変形し、インパルスの生じる時刻 a_k をウェーブレット変換により探索し、除去する。

(2) ガウス性雑音に対する場合

ガウス性雑音を含んだ信号は、インパルス性雑音の場合と同様の式(2)のようなウェーブレット展開でき、そのウェーブレット係数は、次式のように定義されている。

$$\tilde{D}_{jm} = \langle x(t), \psi_{jm}(u) \rangle \quad (4)$$

ここで式(4)は、フーリエ変換すると、

$$\hat{D}_{jk} = \langle \tilde{D}_{jm}, e^{-i2\pi km} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \tilde{D}_{jm} e^{-i(2\pi km/N)} \quad (5)$$

と表示できる。式(4)よりガウス性雑音除去するためには、式(5)に、次のローパスフィルターを乗じフーリエ逆変換して除去する。

$$\eta_k = 1 - \left(\frac{d}{N} k \right)^2 \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (6)$$

ここに、 d は、平均的に平滑化するデーターの数に相当する。

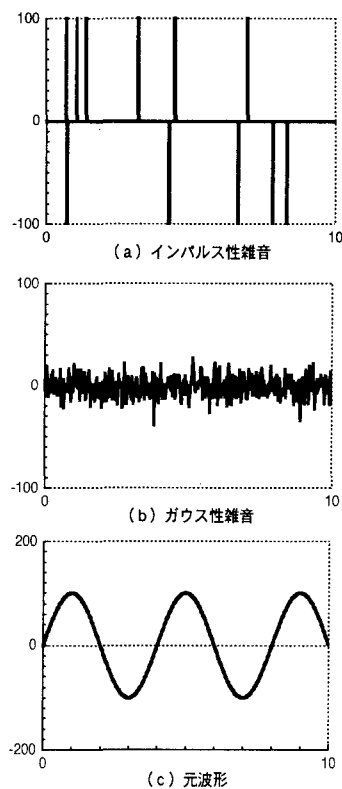


図-1 設定したモデル波形

3. 数値シミュレーションによる検討

(1) 設定雑音モデル

ウェブレット変換による雑音除去の有効性を確認するために、図-1に示すような正弦波の信号にガウス性雑音とインパルス性雑音の波形を付加させたものを用いた。本方法による雑音除去効果は、次式に示すような無雑音波形との差のRMSの比 e/e_0 で評価した。

$$e_0 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (\tilde{x}(t_i) - g(t_i))^2}, e = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (x(t_i) - g(t_i))^2} \quad (7)$$

ここに、 $\tilde{x}(t_i)$: 雑音波形, $x(t_i)$: 雑音除去処理後の波形

ガウス性雑音のレベルは、元波形の10%の標準偏差を有するものを標準にして、時間刻み、元波形の振動数、データ数、およびローパスフィルターのパラメータ d についてその影響を調べた。

(2) 計算結果

図-2は、元波形の振動数による雑音除去の効果を示している。図より、時間刻みが0.02秒の場合、約0.65Hzまで比較的良好な雑音除去を示しているが、それ以上の振動数域では急激に悪くなっている。すなわち、元の信号波形と雑音との振動数域が大きく分離している方が除去の効果が大きい。

図-3は、対象とするデータ数による影響を示している。雑音の種類が、インパルス性雑音とガウス性雑音では、データ数の雑音除去の効果がかなり異なっているのがわかる。しかし、 $n=2000$ を越えるとほぼ一定の傾向を示している。

図-4は、高振動数域のガウス性雑音を除去するパラメータ d の影響を示している。インパルス性雑音は、上に凸の除去効果を示しているが、除去率は、非常によい。一方、ガウス性雑音は、下に凸の除去効果を示しており、約 $d=15$ で $e/e_0 \approx 0.3$ の効果を示している。

図-5は、雑音除去に対する他の手法との比較を時間刻み dt に対して示している。フーリエ変換や、スプライン関数による方法は、約0.2秒までの領域でほぼ一定の $e/e_0 \approx 0.5$ を示しているが、ウェブレット変換の場合では、約0.1秒までほぼ一定の $e/e_0 \approx 0.3$ を示し、その後時間刻みが増加すると除去効果が悪くなっている。

これらの結果によると、インパルス性雑音除去には、ウェブレット変換による除去効果がかなり優れているのが、わかる。なお、このような特性を実地震記録に対して適用した例は、発表時に示す予定である。

4. おわりに

本研究は、ウェブレット変換による雑音除去をインパルス性雑音とガウス性雑音に分けて処理した。その結果、雑音の除去には、かなりよい特性を示した。また、ガウス性雑音を含む雑音処理に対しても簡易的なフーリエ変換などの手法に比べよい結果を得た。

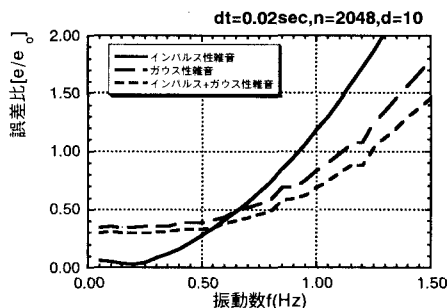


図-2 元波形の振動数の影響

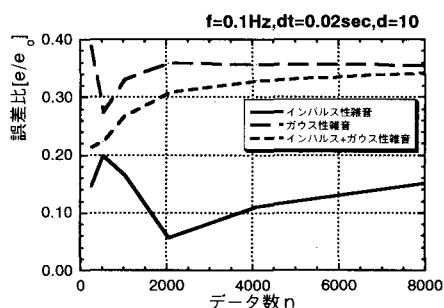


図-3 データ数の影響

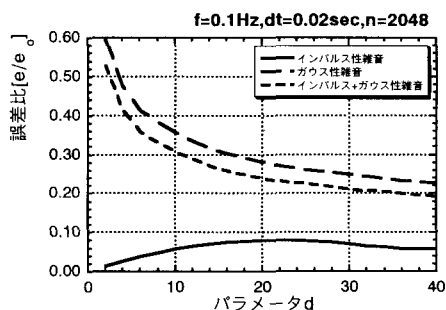


図-4 パラメータ d の影響

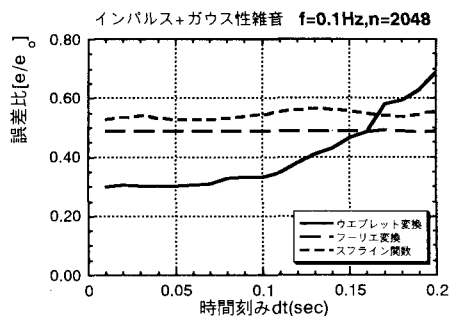


図-5 手法の違いによる時間刻みの影響