

1. はじめに

著者ら¹⁾はすでに地表面観測記録にもとづく液状化判別手法を提案している。従来の手法ではフーリエ変換・逆変換により周波数領域でのフィルタ処理を繰り返し行うため(図-1参照)、多くの時間を要する。しかしながら、震後の緊急対応、2次災害の防止には、即時的な情報に基づいた行動が必要であり、フィルタ処理に多くの時間を要することは従来手法の1つの問題点である。本稿では判別時間短縮のためにデジタルフィルタ^{2),3)}を用いた新たな波形処理手法について検討した。

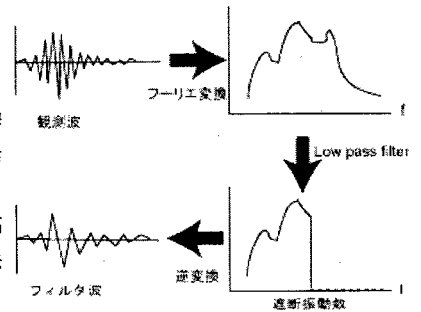


図-1 フィルタ波の算定

2. 改良点の概要と適用例

デジタルフィルタの詳細については文献^{2), 3)}に譲るが、本研究では時間領域でのフィルタ処理法として、システム応答が有限時間で終わる FIR フィルタを用いる。FIR フィルタの特徴として、フィードバックを持たない(伝達関数に分母を持たない)こと、そのために常に安定性を保証できることが挙げられる。適用した FIR フィルタは、窓関数法(フーリエ級数)を用いて伝達関数を決定する。伝達関数は式(1)で示される。

$$h(nT) = \frac{1}{\omega_s} \int_{-\omega_s/2}^{\omega_s/2} H e^{j\omega T} e^{j\omega nT} d\omega \tag{1}$$

ここで、 h :インパルス応答、 ω_s :基準周波数、 H :伝達関数である。これは、離散値系の周波数スペクトルは周波数軸上で周期関数となっており、フーリエ級数表示が可能であることを利用した設計方法である。フーリエ級数展開の性質より、急峻に変化する周期関数をフーリエ級数で展開し、それを無限項まで求めると、理想的なフィルタの特性を設計できる。しかしながら、現実問題として無限項まで見ることは不可能であり、有限項でうち切る必要がある。いくつかの次数でうち切ったときのフィルタの様子を図-2に示す。図-2より次数が大きくなるとカットオフ周波数(ここでは判別法に用いる振動数1Hz)付近での傾きが急峻になることが知られる。有限項でのうち切りにより、周波数特性上の不連続において突起や揺れすぎ(ギブス現象^{2),3)})が発生する。

窓関数を適用することで、ギブス現象を解消できる。種々の窓関数を適用した場合(うち切り次数は301とした)について、図-3に示した。これよりカイザー窓を適用したケースがカットオフ周波数(振動数1Hz)付近での傾きが急峻で、フィルタ特性がよいことが知られる。以後、本手法ではカイザー窓を適用する。

またカイザー窓を適用したフィルタ特性でうち切り次数を変動させたものを図-4に示す。算定されたフィルタ波を図-5に示した。これらの図より、次数は大きいほどフィルタ特性がよいこと、周波数領域でフーリエ変換、逆変換により算定したフィルタ波とも合致することが知られた。さらに、次数を上げれば、フィルタ特性を上げることは可能であるが、算定さ

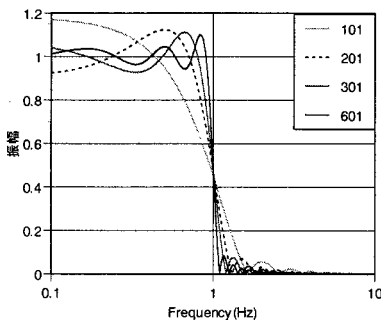


図-2 フィルタ特性(次数による)

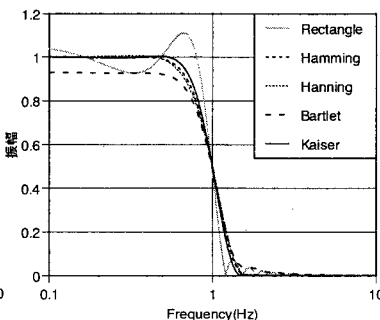


図-3 フィルタ特性(窓関数ごと)

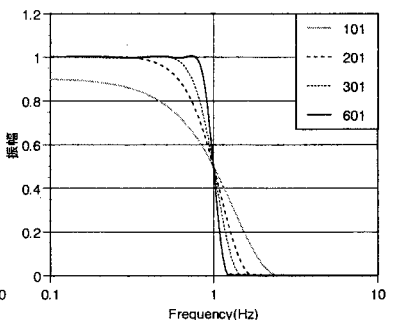
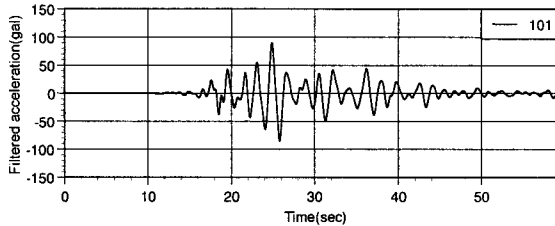
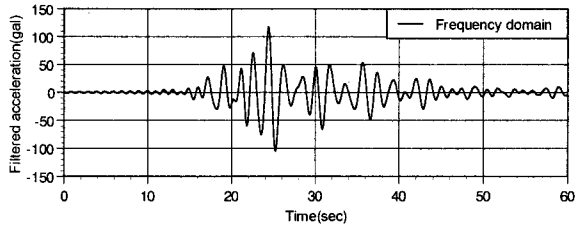


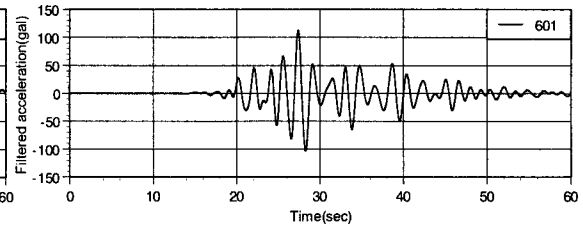
図-4 フィルタ特性(カイザー窓)

れるフィルタ波にほぼ差が見られないこと、計算に時間を要することを考慮して、次数 601 を用いることとした。図-5 より知られるように、算定されたフィルタ波には時間の遅れを生じる。次数 601 とすればサンプリング振動数 100Hz の波形について 3 秒の遅れとなる。そのため以下の計算では、ある時間 τ での算定値は時間 $\tau-3$ のものを示す。

本手法により図-1 で示されるフーリエ変換、逆変換による繰り返し処理を経ずに、フィルタ波を算定できる。



(1) フーリエ変換・逆変換によって算定したフィルタ波



(2) 今回手法によるフィルタ波 (次数 101, カイザー窓)

(3) 今回手法によるフィルタ波 (次数 601, カイザー窓)

図-5 算定されたフィルタ波

3. 新旧フィルタ処理の比較

ここでは、新たに適用したフィルタと従来までのフィルタによる処理に要する時間について検討した。60 秒と 120 秒の波形について検討したものの結果を表-1 に示した。計算に用いたのは、SGI 社製の EWS である。本表より従来手法は今回示した手法に比して計算時間

表-1 フィルタ処理に要する時間

	60秒波形		120秒波形	
	従来手法	今回手法	従来手法	今回手法
計算時間	402秒	3秒	845秒	4秒
実際時間	402秒+ α	3秒(遅れ)+ β (3秒以下)	845秒+ α	3秒(遅れ)+ β (4秒以下)

だけで 100 ~ 200 倍の時間を要することが知られる。また実際には波形が得られるごとに処理が行われるので波形の記録に要する時間、遅れなどを考慮して ($\alpha=0$, β には計算時間を仮定)、6 ~ 7 倍の時間を要することが知られた。

仮に、従来までの手法を 60 秒 (or 120 秒) の波形が記録された後に、1 回だけのフーリエ変換・逆変換でフィルタ波を算定した場合には、60 秒+数秒で得られることになるが、その場合はあくまで 60 秒を経た時間での結果であり、リアルタイムな使用には適さず、緊急停止の判断に間に合わなくなる可能性もある。新たに提案した処理方法によれば、当該時間+3 秒 (遅れ) に結果が得られることになり、即時判断に適していると言える。

4. 鳥取県西部地震時の観測記録への適用

著者らの液状化判定手法により、2000 年鳥取県西部地震時の数点の観測記録をもとに判定した。フィルタ波の算定には、従来のもものと今回のものを用いた。結果を表-2 に示す。本表より従来手法、今回手法ともに同様の判定結果が得られていることが知られる。実際の液状化が発生していた地点は存在しないが、PHRI 境港では、付近の護岸で液

表-2 判定結果

観測地点	観測機関	成分	Amax (gal)	A.I.比 (従来)	A.I.比 (今回)	判定結果
境港(47742)	JMA	EW	748.40	0.335	0.328	0.5
		NS	299.24	0.339	0.334	0.5
境港-G(F1493)	PHRI	WE	302.45	0.663	0.653	1
		NS	208.66	0.544	0.537	0.5
米子(TTR008)	K-Net	EW	383.59	0.560	0.470	0.5
		NS	314.41	0.217	0.178	0
米子(47744)	JMA	EW	219.09	0.078	0.075	0
		NS	280.23	0.019	0.190	0

状化が発生しており、地表面下で液状化が発生した可能性がある。著者らの手法でも同様の結果が得られており、液状化が発生していた可能性が高い。また JMA 境港、K-NET 米子についても、波形には主要動の途中から長周期化が見られ、本手法からも液状化の可能性があると推察できる。JMA 米子では本手法からは液状化の可能性は見られない。

5. まとめ

本稿では、従来の地表面観測記録に基づく液状化判別手法の繰り返し処理に多くの時間を要する点を改良して、判別時間短縮のためにデジタルフィルタを用いた新たな波形処理手法について検討した。まとめて以下に示す。

- 1) 今回提案したフィルタ処理手法によれば、極めて短時間でフィルタ波を算定することが可能であり、リアルタイムな使用にも適している。
- 2) 実記録に適用した結果、今回手法の判定結果は従来手法の結果と概ね同じであり、短時間での液状化判定が可能である。

【参考文献】

- 1) 高田二郎, 尾崎竜三: 地表面観測記録にもとづくリアルタイム液状化判別手法, 土木学会論文集, No.640/I-50, 2000.1.: 2)
- 三谷政昭: デジタルフィルタデザイン, 昭晃堂, 1987.4.: 3)
- 尾知博: デジタル・フィルタ設計入門, CQ 出版社, 1990.5.