

微小地震動記録に現れたノイズの処理に関する研究

豊橋技術科学大学 ○北畑雅義 同 濟 大 学 蔣 通
 豊橋技術科学大学大学院 学生員 西岡省三 豊橋技術科学大学 正員 栗林栄一

1. はじめに 耐震安全性を検討するための入力地震動として、過去の地震動の特性を統計的に予測して設計用地震動を模擬する手法が用いられる。そのため地震計から得られた加速度波形を用いるが、波形からできるだけ雑音成分を除去し必要な信号成分を得なければならない。そのため本論文では、 ϵ -フィルタ¹⁾を用いて、その入出力特性に関し解析を行い、その結果に基づいてパラメータの値を明らかにし、実際に観測された地震波について ϵ -フィルタで処理し、その有効性を検討するものとする。

2. 解析概要 入力信号は比較的大振幅の信号成分に、小振幅雑音が重畳したものと仮定する。 ϵ -フィルタは、このような入力信号を大振幅信号成分と小振幅雑音成分に分離することを目的としている。

x_n を入力、 y_n を出力とすると、本論文で用いた ϵ -フィルタのアルゴリズムは、

$$y_n = \sum_{k=-N}^M a_k \{x_n - F(x_n - x_{n-k})\}$$

$$= \sum_{k=-N}^M a_k x'_{n-k}$$

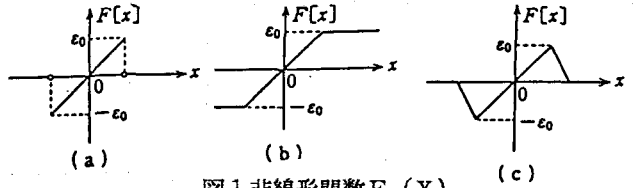


図1 非線形関数 F (X)

と表される。ここに、M、Nは整数であり、 a_k は非巡回形線形低域通過フィルタの係数であって、

$$\sum_{k=-N}^M a_k = 1$$

となるように定める。

また、 x'_{n-k} はたとえば図1 (a) のF (x) を採用すると、表1 シミュレーション波形の種類

$$x'_{n-k} = \begin{cases} x_{n-k}, & |x_n - x_{n-k}| \leq \epsilon_0 \text{ のとき} \\ x_n, & |x_n - x_{n-k}| > \epsilon_0 \text{ のとき} \end{cases}$$

で与えられる。

解析手法として、まずシミュレーション波形として3種類²⁾の原信号を考え、これにランダム雑音と一定振幅雑音を、それぞれ加えてできる6種類の入力信号のケースについて ϵ -フィルタを用いて、 $\epsilon_0 (= \epsilon_1) = 1 \times \sigma \sim 8 \times \sigma$ として、平滑化点数を3~71まで順次変化させその特性を得るものとする。ただし、 σ はそれぞれの雑音成分の標準偏差である。また、フィルタ係数 a_k は簡単のために図2に示すものを用いた。次に、この結果を用いて実際に観測された波形について ϵ -フィルタの有効性を検討するものとする。

3. 結果と考察 まず、表1に示すような6種類のシミュレーション波形を用いて ϵ -フィルタの入出力特性について検討をおこなったが、代表的なもののみ図示する。図3 (a) に原信号を、図3 (b) に入力信号をまた、図3 (c) に処理後の信号の一例を示す。図3 (a), (b), (c) から明らかなように ϵ -フィルタによって信号の突発成分を残したまま小振幅雑音成分が平滑化されていることが分かる。次に6種類のケースについて最適な平滑化点数(N)、雑音成分の標準偏差(σ)、最適な ϵ_1 、入力信号の振幅の平均値(E)、原信号値と処理後の信号値の2乗平均誤差(δ)、 δ/E の値を表2に示す。

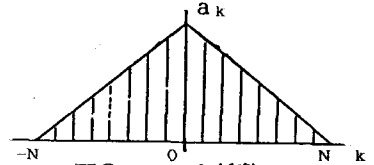


図2 フィルタ係数 a_k

ケース	原信号成分	雑音成分	σ
1	単振幅正弦波	ランダム雑音	12.2530
2	多振幅正弦波	ランダム雑音	12.2530
3	テスト波形	ランダム雑音	12.2530
4	単振幅正弦波	一定振幅雑音	12.7268
5	多振幅正弦波	一定振幅雑音	12.7268
6	テスト波形	一定振幅雑音	12.7268

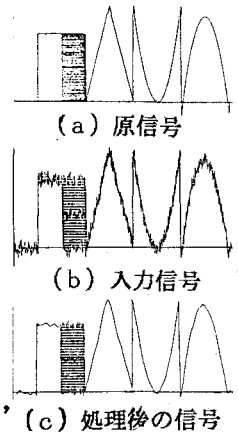


図3 ケース3の信号波形

また、表3にそれぞれのケースの最適な ϵ_1 、雑音成分の最大振幅(NOMAX)、入力信号の最大振幅(INMAX)、原信号の最大振幅(NAMAX)、入力信号のフーリエ振幅の最大値(FMAX)とそのときの周波数(CIR-FMAX)を示す。

・最適な ϵ_1 の値の範囲の設定

最適な ϵ_1 の値の範囲は、2倍の雑音成分の最大振幅(2×NOMAX)以上、入力信号の最大振幅(INMAX)以下であることが分かった。このため、入力信号の雑音除去を行う場合に設定すべきパラメータ ϵ_1 の値は、

$$2 \times \text{NOMAX} \leq \epsilon_1 \leq \text{INMAX}$$

の範囲に設定されるべきである。

次に、実際に観測された波形を用いるが、入力信号には0線を補正したものをを用いる。図4(a)に示すような実際の波形データを最適な ϵ -フィルタ(EX5)で処理した結果を、図4(b)に示す。ここで、 ϵ_1 の値の決定には、波形の主要動以後の微動成分を読みとり、上記の結果を参照して1.5, 3.0, 6.0という3つの値を設定した。表4はそれをまとめたものである。また、Nの値の決定には、19は表1のケース4のNの値を、29はNを順次変化させ解析を行ったときの最適と思われる値として設定した。また耐震設計上、主要動以後の波形はあまり意味を持たないため、表示は割愛する。

次にそれぞれのケースについて、入力信号のフーリエ振幅の最大値(FMAX)とその時の周波数(CIR-FMAX)、それぞれのケースを ϵ -フィルタで処理したあとの出力信号のフーリエ振幅の最大値(AFMAX)とその時の周波数の値(CIR-AFMAX)を表5に示す。

・シュミレーション波形の結果より設定された最適な ϵ_1 の値の妥当性

シュミレーション波形の結果から、 ϵ_1 の値を3種類設定したが、EX3やEX6のように ϵ_1 の値が大きいき大振幅成分がかなりの減衰を受けた。雑音成分が未知のため最適であると断言できないが、主要動以後の波形の減衰が大きくまた、主要動の部分があまり減衰を受けていないものを最適な ϵ -フィルタで処理されたとみなす。 ϵ_1 の値の決定には、実際にその波形の振幅の大きさ見て信号成分であるか雑音成分であるか判断したが、今回用いた波形のように雑音成分であろうと思われる成分がある程度判断できれば ϵ_1 の値も判断できたが、そうでない場合は ϵ_1 の値の設定が設定範囲が広いため問題となろう。

4. 結論 本論文ではまず、 ϵ -フィルタを用い、その出力特性についてシュミレーション波形を用いて解析を行った。この結果から ϵ -フィルタの非線形特性が明かとなり、また設定すべきパラメータ ϵ_1 の値を得ることができた。次に、この値をもとに実際に観測された波形について ϵ -フィルタを用いて処理したが、それらの結果からもわからように ϵ -フィルタは、信号の突発性を保持するため突発性のある信号の雑音除去に有効的であるといえる。また ϵ -フィルタを用いることによって、原信号成分をはげしく減衰させることなく小振幅雑音成分を除去できるといえる。以上のようなことより、 ϵ -フィルタは実際の波形についても十分有効的でありまた、現実的であるということがいえよう。

5. 参考文献 1) 荒川薫, 原島博, 宮川洋: ϵ -分離非線形デジタルフィルタの統計的解析, 電子通信学会論文誌(A), J66-A, 1, pp32-39 (昭和38-01)。

表2 ϵ -フィルタでの処理結果1

ケース	N	σ	ϵ_1	F	δ	δ / F
1	43	12.2530	73.5180($\sigma * 6$)	51.4265	9.4543300	0.183834
2	11	12.2530	98.0240($\sigma * 8$)	58.9066	23.2289000	0.394300
3	19	12.2530	73.5180($\sigma * 6$)	79.2394	22.3714000	0.282327
4	17	12.7268	50.9072($\sigma * 4$)	52.3332	0.0135641	0.000259
5	7	12.7268	76.3608($\sigma * 6$)	58.8319	0.8315220	0.014134
6	7	12.7268	63.6340($\sigma * 5$)	80.0008	3.9436800	0.049296

表3 ϵ -フィルタでの処理結果2

ケース	ϵ_1	NOMAX	INMAX	NAMAX	FMAX	CIR-FMAX
1	73.5180	30	103.7850	80.000	392.956	0.2930
2	98.0240	30	144.5430	124.618	241.283	2.2461
3	73.5180	30	291.0000	288.235	392.050	0.0977
4	50.9072	18	97.7145	80.000	399.183	0.2930
5	76.3608	18	140.1320	124.618	237.201	2.2461
6	63.6340	18	297.7270	288.235	393.229	0.0977

表4 パラメータの値

ケース	N	ϵ_1
EX 1	19	1.5
EX 2	19	3.0
EX 3	19	6.0
EX 4	29	1.5
EX 5	29	3.0
EX 6	29	6.0



図4 (a) 実際の地震波(補正前)

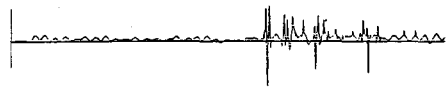


図4 (b) 処理後の地震波(EX5)

表5 ϵ -フィルタでの処理結果3

ケース	CIR-FMAX	MAX	CIR-AFMAX	AFMAX
EX1	3.3935	5.209	3.39355	4.825
EX2	3.3935	5.209	3.39355	4.242
EX3	3.3935	5.209	3.39355	3.604
EX4	3.3935	5.209	3.39355	4.439
EX5	3.3935	5.209	3.39355	3.336
EX6	3.3935	5.209	3.39355	2.226