

平成 21 年 6 月 8 日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560562
 研究課題名(和文) 計測データ制約下における適応フィルタリング構造同定解析システムの構築
 研究課題名(英文) Construction of Computational Structural Identification System by Adaptive Filtering under Restricted Measuring Data
 研究代表者
 登坂 宣好(TOSAKA NOBUYOSHI)
 東京電機大学・未来科学部・客員教授
 研究者番号：00059776

研究成果の概要：構造物の特性を非破壊的に把握することは、昨今の耐震偽装問題を防ぐことのみならず、大地震後の建築物の安全性を確認する意味において重要なテーマである。本研究では限られた計測データを有効に活用することで高精度の同定解析を可能とするフィルタ理論(可変パラメトリック射影フィルタ)を構成した。その理論に基づき計算力学の立場からフィルタリングシステムを構成し、フレーム構造等に適用し、有効性を検証した。今後は、構築したフィルタリングシステムを用いた利便性の向上と実用化を図りたい。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	420,000	2,920,000

研究分野：計算工学・計算力学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：構造システム同定, 可変的パラメトリック射影フィルタ, 固有振動数, 逆解析, フレーム構造, 円筒シェル

1. 研究開始当初の背景

(1)我が国の耐震設計コードでは再現周期の長い大地震では塑性設計まで許容されているため、地震後の建築物の健全性に対する客観的評価の方法が必要である。

(2)健全性の客観的評価のためのデータの収集は計算力学的に行い、健全性評価システムを作成すべきであるが、その方法の一つに逆問題解析に基づくシステム同定がある。

2. 研究の目的

(1)システム同定は構造物のシステムに関する未知数を同時に同定しようとするものである。未知数が多くなることで、逆問題解析特有の不適切性が生ずるリスクは高くなるが、過去の情報に縛られることなく、現在の情報のみでシステムの状態を同定できる点に実用化が期待できる。

(2)本逆問題では不適切性が生ずるリスクが

高いため、逆解析手法の選択は重要である。そこで本研究では適応的なフィルタとして可変的パラメトリック射影フィルタ(VPPF)を開発し、フレーム構造物のシステム同定の逆解析手法としての有効性と特性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1)本研究で開発した VPPF を既存の問題である 5 層フレームモデルの損傷同定問題および他のフィルタでは逆解析が不可能であった液体を含む円筒シェル構造物の水位と剛性を同時に同定する逆問題解析に適用し、極めて安定した数理的有効性をもつ逆解析手法であることを確認した。

(2)過去の情報に縛られることなく、現在の情報のみでシステムの状態を同定できる点に今後実用化の可能性を期待している解法である VPPF を用いて 3 層フレームモデルに対し、固有振動数を観測データとして、3 層全ての水平剛性に関する逆解析を行った。このとき、観測データである固有振動数の実測と処理には実験モード解析を援用することを提案した。

4. 研究成果

(1)VPPF の提案のために報告した既存の問題である 5 層フレームモデルの損傷同定問題においては、実測値である固有振動数を観測データとして、各層の損傷同定解析を行った。ここでは、最下層である 1 層と中間層である 3 層が損傷したことを想定した結果を例として図 1 および 2 に示す。

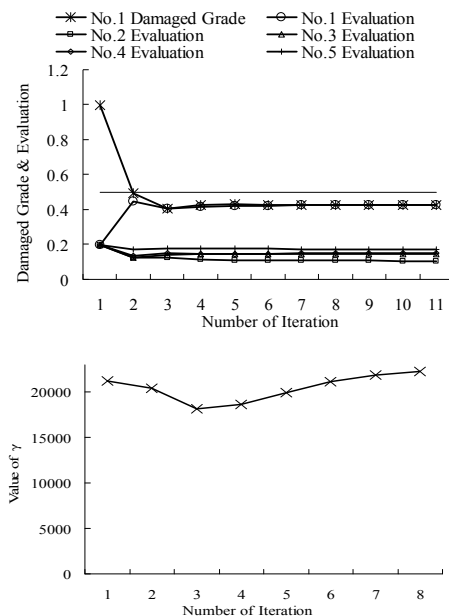


図 1 1 層損傷同定結果と正則化項の推移

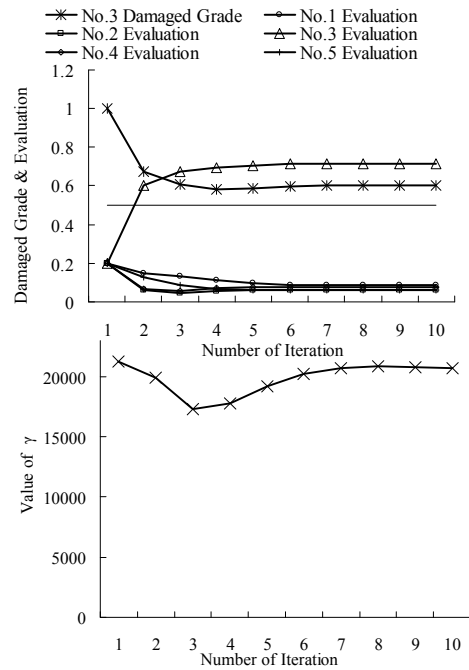


図 2 3 層損傷同定結果と正則化項の推移

結果を表す各グラフにおいて各層の評価値(Evaluation)は、仮定した損傷層の各モードの固有振動数が観測データと一致することにより、損傷層の評価値のみが 1.0 に近づくように設定されている。これらの結果は次のようにまとめることができる。いずれの層に損傷を仮定した場合でも、損傷を仮定した状態量は仮定した 50%の剛性低下近傍に極めて安定した状態で収束している。仮定した剛性低下と多少の差が生じているのは測定された固有振動数と数理モデルとしての固有方程式から計算された値との誤差に起因するものである。すなわち、観測データに実測値を用いた場合には微少ではあるもののフィルタリングの過程で数理モデルから計算された固有振動数に差が生ずる。これらの差は他の層の評価値を上昇させることになり、損傷を仮定した層の評価値の上昇を妨げる。しかし、損傷を仮定した層以外の層の評価値は損傷層を不明確にするほどの上昇は見られず、実測値を用いた同定解析において剛性低下および損傷層を明確に同定することが可能であった。また、観測データである固有振動数の標準偏差の値は極めて小さいため、観測誤差共分散行列の対角成分である分散値は非常に小さな値となる。そのため計算的に決定される γ は逆に大きな値となり、フィルタリング計算における収束安定性が確保

されたものと考えられる。これらの結果は既報で報告した拡張 *kalmén* フィルタ、射影フィルタおよび既存のパラメトリック射影フィルタの結果と比較すると、解の精度および安定性の両面から、本研究で提案した VPPF は構造損傷同等の逆解析手法として極めて有効であるといえる。

次に、内部液体を含む円筒シェルに液深と剛性の同定問題に関して、ここでは、まず同定が不可能であった場合として射影フィルタを用いた結果に関する例を図3に示す。

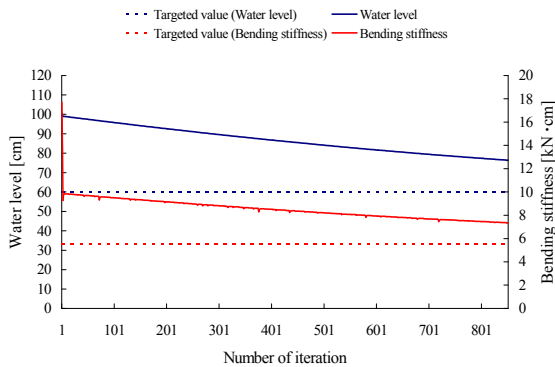


図3 射影フィルタによる液深と剛性の同定結果

これに対して本研究で開発した VPPF を用いたフィルタリングシステムは正則化項が有効に作用し、液深と剛性の同定が可能となった。その例を図4に示す。

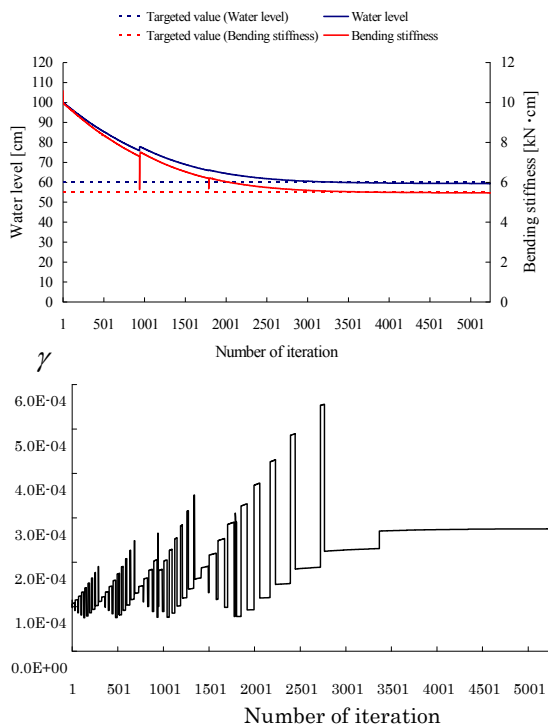


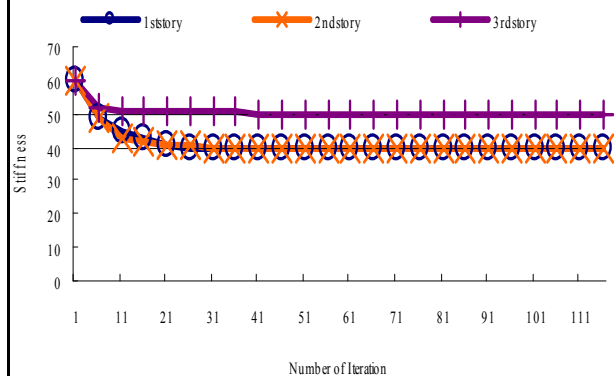
図4 液深と剛性の同定結果と正則化項の推移

内部液体を含む円筒シェルに関する逆問題解析から得られた知見は以下のようにまとめられる。

- *Wiener* フィルタを逆解析手法とした場合、状態量の変化が微小なため、同定が不可能であった。
- 図3に示したように、射影フィルタを逆解析手法とした場合、内部の水位が大きくなると目標値近傍には達するが収束しないため精度良い同定は不可能であった。
- パラメトリック射影フィルタを逆解析手法とした場合、 γ の設定により同定が可能であるが、 γ の設定には多くの解析による探索が必要である。
- 可変パラメトリック射影フィルタを逆解析手法とした場合、極めて精度良く同定が可能であった。また γ の人為的および経験的な設定の必要がないことから、可変パラメトリック射影フィルタの有効性が確認できた。

(2) 3層フレームモデルのシステム同定に関しては、まずシミュレーション逆解析により VPPF の特性について検討した結果、初期値を目標値の近傍に設定できれば極めて精度よく3層の水平剛性を同時に同定可能であることが図5および6に示すように確認された。可変的パラメトリック射影フィルタの特性を3層フレームモデルのシステム同定を通して検討した結果、次のような結論を得た。

- システム同定の同定精度は初期値の設定に大きく影響される。
- 可変的パラメトリック射影フィルタの正則化パラメータ γ は観測誤差に対応して、値が自律的且つ適切に決定されており、フィルタリング計算を安定させている。
- 可変的パラメトリック射影フィルタは、初期値を適切に設定することにより、複数の未知数を有する逆問題に対しても、有効な逆解析手法になり得ると考えられる。



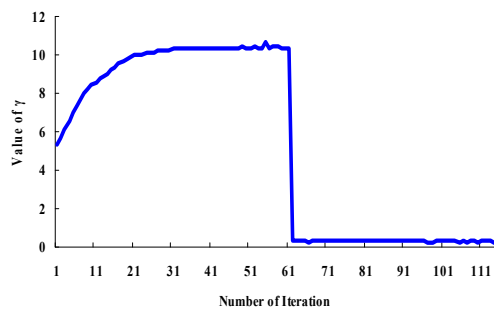


図5 固有振動数の1%を標準偏差とする誤差に対する同定結果と γ の変化

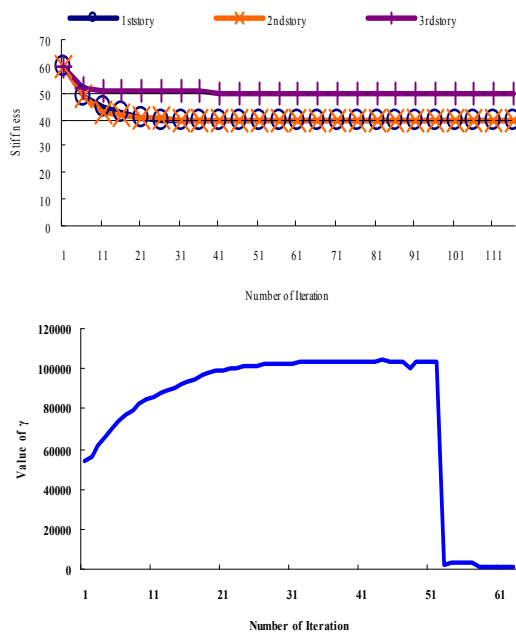


図6 固有振動数の0.01%を標準偏差とする誤差に対する同定結果と γ の変化

初期値を目標値の近傍、特に目標値の上方に設定しても精度のよい同定結果が得られるという結果は実用化に対して極めて有利であると考えられる。すなわち、設計図書等によりオリジナルの水平剛性が大雑把にわかれば、初期値をその上方に設定することはさほど困難ではない。もし、必ず目標値の下方に設定しなければならない場合は初期値の設定に困難が生ずるものと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

- ① 遠藤龍司, 登坂宣好, 村山政昭, フレーム構造物のシステム同定に用いる可変的パラメトリック射影フィルタの特性, 計算数理工学論文集, 8巻, 83-88, 2009, 査読有
- ② 里田 啓, 遠藤龍司, 登坂宣好, 可変的パラメトリック射影フィルタによる円筒シェルの逆問題解析, 計算数理工学論文集, 7巻2号, 231-234, 2008, 査読有
- ③ 登坂宣好, 遠藤龍司, 可変的パラメトリック射影フィルタによるフレーム構造物の損傷同定解析, 計算数理工学論文集, 7巻2号, 225-230, 2008, 査読有
- ④ 塩田寿美子, 遠藤龍司, 登坂宣好, フィルタ理論に基づくフレーム構造物の損傷同定解析, 日本建築学会構造系論文集, 第605号, 95-102, 2006, 査読有

〔学会発表〕(計11件)

- ① N.Tosaka and R.Endo, Structural Damage Analysis of a Frame Structure Model by Variable Parametric Projection Filter, 8th World Congress on Computational Mechanics, July, 1, 2008
- ② 遠藤龍司, 登坂宣好, VPPFによる3層フレーム構造物のシステム同定, 第57回理論応用力学講演論文集, 527-528, 2008
- ③ 村山政昭, 遠藤龍司, 登坂宣好, 今川憲英, 可変的パラメトリック射影フィルタによる構造システム同定解析, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造I, 345-346, 2008
- ④ 里田 啓, 遠藤龍司, 登坂宣好, フィルタリングアルゴリズムを用いる円筒シェルの逆問題解析の定式化, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造I, 835-836, 2008
- ⑤ N.Tosaka and R.Endo, Computational Identification of Structural System by Filtering Algorithm, The 7th International Conference on Fracture and Strength of Solids, August, 28, 2007
- ⑥ 遠藤龍司, 登坂宣好, 今川憲英, 可変的パラメトリック射影フィルタを用いた3層フレームモデルのシステム同定解析, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造I, 229-230, 2007
- ⑦ 遠藤龍司, 登坂宣好, モジュール連結型浮体の損傷同定解析, 第20回海洋工学シンポジウム講演論文集, CD-ROM, OES-16 (8頁), 2008
- ⑧ 遠藤龍司, 登坂宣好, 可変的PPFを用いたフレーム構造物の損傷同定解析, 日本機械学会2006年度年次大会講演論文集, Vol.6, 87-88, 2006

- ⑨ 塩田寿美子, 遠藤龍司, 阿部正慶, 登坂宣好, プレースモデルの可変パラメトリック射影フィルタを用いた損傷同定解析, 日本計算工学会計算工学講演論文集, 第11巻第2号, 839-842, 2006
- ⑩ 登坂宣好, 大川功次郎, メッシュレス有限要素法-フィルタ理論による弾性定数の分布同定解析, 日本機械学会 2006年度年次大会講演論文集, Vol.6, 85-86, 2006
- ⑪ 川上善嗣, 遠藤龍司, 登坂宣好, 阿部正慶, フィルタリングアルゴリズムを用いたフレーム構造モデルのシステム同定, 日本計算工学会計算工学講演論文集, 第11巻第2号, 847-850, 2006

6. 研究組織

(1) 研究代表者

登坂 宣好(TOSAKA NOBUYOSHI)
東京電機大学・未来科学部・客員教授
研究者番号：00059776

(2) 研究分担者

今川 憲英(IMAGAWA NORIHIDE)
東京電機大学・未来科学部・教授
研究者番号：10328510

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

遠藤 龍司(ENDO RYUJI)
職業能力開発総合大学校・建築システム
工学科・准教授