

# 可変的パラメトリック射影フィルタを用いた 構造システム同定の初期値の影響

## Influence of Initial Values on Structural System Identification Using Variable Parametric Projection Filter

遠藤 龍司<sup>1)</sup>, 登坂 宣好<sup>2)</sup>, 羽生 大樹<sup>3)</sup>

Ryuji Endo, Nobuyoshi Tosaka and Daiki Habu

- 1) 職業能力開発総合大学校 建築システム工学科 (〒252-5196 神奈川県相模原市緑区橋本台4-1-1 E-mail: endo@uitec.ac.jp)  
 2) 東京電機大学 未来科学部 建築学科 (〒101-8457 東京都千代田区神田錦町2-2 E-mail: nobtsk@cck.dendai.ac.jp)  
 3) 職業能力開発総合大学校大学院生 (〒252-5196 神奈川県相模原市緑区橋本台4-1-1 E-mail: m22519@uitec.ac.jp)

The structural system identification to identify lateral stiffness of multi-story frame structure was performed as a framework of inverse problem. The variable parametric projection filter (VPPF) is proposed as new filtering algorithm with use of the variable parameter determined automatically and computationally based on linear assumption between state and observation vectors at first step. It is well known empirically that initial values influence to accuracy of solution and filtering process. Thus, in this paper relations between initial values and filtering process are shown through numerical examples on some structural system identifications.

**Key words:** System Identification, VPPF, Frame Structures, Natural Frequencies, Initial Values

### 1. はじめに

構造物の状態を定期的かつ非破壊的に検査する方法の一つにヘルスマonitoringシステムがある<sup>1),2)</sup>。土木構造物や建築構造物の非破壊検査の方法として、超音波探傷やエックス線探傷も広く用いられているが、一般に多くの労力と時間を必要とする。これに対して、計算力学に基づくヘルスマonitoringシステムはアルゴリズムが決定されればオートマチックに非破壊検査が可能となるであろう。この様なシステムは構造物の損傷同定やシステム同定を中心に構成されるが<sup>3)</sup>、解析手法は逆問題解析として位置付けられる<sup>4)</sup>。筆者らは、これまで構造物の損傷同定やシステム同定を逆問題解析として構成し<sup>5)-7)</sup>、フィルタリングアルゴリズムを逆解析手法として採用した。このとき、構造物は多質点系としてモデル化し、観測量には固有振動数を用いたが、特にすべての層の水平剛性を同定するシステム同定は同定すべき未知数が多くなり、一意的な解が存在しないことに起因して、逆解析特有の非適切性の処理が重要な課題であった。したがって、逆解析手法の選択が問題となるとともに、解析アルゴリズムの中でも何らかの正則化を図る必要がある。損傷同定解析の報告においてはフィルタリングアルゴリズムにおけるフィルタゲイン(復元作用素)として、パラメトリック射影フィルタが優れていることを指摘した<sup>8)</sup>。パラメトリック射影フィルタには

ティホノフの正則化パラメータが含まれており、正則化パラメータとして対象とする数理モデルに適応する値を設定する必要があり、様々な値を試行錯誤の上に決定することになる。しかし、決定した値は対象とするモデルに最適な値である保証は存在しないのが現状である。

そこで、筆者らはパラメトリック射影フィルタの正則化パラメータを計算的かつ自律的に各フィルタリングステップにおいて決定するアルゴリズムである可変的パラメトリック射影フィルタ(Variable Parametric Projection Filter: VPPF)を提案し、フレームモデルを対象として損傷同定解析<sup>9)</sup>およびシステム同定解析<sup>10)</sup>を実施した。その結果、同定すべき未知数が複数となっても極めて安定したフィルタリング計算が可能であった。

一方、この種の損傷同定解析やシステム同定解析は、観測量には固有振動数、状態量には剛性を採用することになるため、両者の関係が非線形となり所謂拡張型のフィルタを取り扱うことになる。この場合、フィルタ方程式を用いての繰り返し演算では、フィルタリングを駆動するための初期値が解の精度等に大きく影響することになる。また、工学問題では同定すべき状態量が全く未知である場合に、設定した初期値の根拠も明確にする必要がある。

そこで、本論文では対象とする構造物を2層から5層の建築構造物とし、すなわち同定すべき水平剛性である未知数が2~5とする質点系とし、固有振動数を観測データとする逆問題を構成することにより、各未知数の数に対する初期値の影

2010年10月6日受付 2010年11月9日受理

¶Dedicated to the memory of Prof. Masataka TANAKA

響を検討することを目的とする。具体的には各質点系モデルに対し、1層の状態量と他の層の状態量の2つの初期値を設定するものとし、これら両者の値を初期値とするとき逆解析が可能か否かをシミュレーション逆解析により逐一調べる方法とした。これらより、初期値の設定に関する規則性を示唆するとともに、合せて観測誤差と初期値の関係についても考察を加えることにする。

## 2. 可変的パラメトリック射影フィルタリングアルゴリズム

本研究で対象とする逆解析手法である可変的パラメトリック射影フィルタリングアルゴリズムについてフィルタ理論に基づき概説する。

### 2.1 フィルタ理論とフィルタリングアルゴリズム

ある場の挙動が微分方程式や離散的表現である差分方程式を数理モデルとする系は、一般にダイナミックシステムと呼ばれている。ダイナミックシステムで混入する雑音を考慮する場合は確率ダイナミックシステムとして取り扱うことになり、この様なシステムに対するフィルタリング問題は以下の様に構成される。

・状態方程式

$$\mathbf{z}_{t+1} = \Phi_t \mathbf{z}_t + \Gamma_t \zeta_t \quad (1)$$

・観測方程式

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{M}_t \mathbf{z}_t + \mathbf{v}_t \quad (2)$$

ここに、 $\mathbf{z}_t$ 、 $\mathbf{y}_t$ 、 $\zeta_t$ 、 $\mathbf{v}_t$ はそれぞれ状態ベクトル、観測ベクトル、システム雑音ベクトル、そして観測雑音ベクトルである。また、 $\Phi_t$ 、 $\Gamma_t$ 、 $\mathbf{M}_t$ はそれぞれ状態遷移行列、駆動行列、観測行列であり、一般に既知の確定行列である。

システム雑音ベクトル $\zeta_t$ 、観測雑音ベクトル $\mathbf{v}_t$ および状態ベクトル $\mathbf{z}_t$ の初期状態量 $\mathbf{z}_0$ に対して、次の様な統計的性質が仮定される。

$$E\{\zeta_t\} = 0, \quad E\{\mathbf{v}_t\} = 0, \quad E\{\zeta_t \zeta_e^T\} = \delta_t \delta_{te} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} E\{\mathbf{v}_t \mathbf{v}_e^T\} &= \mathbf{Q}_t \delta_{te}, \quad E\{\mathbf{z}_t \zeta_e^T\} = E\{\mathbf{v}_t \zeta_e^T\} = 0 \\ E\{(\mathbf{z}_0 - \bar{\mathbf{z}}_0)(\mathbf{z}_0 - \bar{\mathbf{z}}_0)^T\} &= \mathbf{R}_0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに $\mathbf{E}$ は期待値を意味し、 $\delta_{te}$ はKroneckerのDeltaである。また、以上の関係から $\mathbf{z}_t$ はGauss・Markoff過程であり、 $\mathbf{v}_t$ のGauss過程が定義される。この様な統計的性質の基でフィルタ方程式および初期条件が次式で与えられる。

・フィルタ方程式

$$\hat{\mathbf{z}}_{t/t} = \hat{\mathbf{z}}_{t/t-1} + \mathbf{B}_t (\mathbf{y}_t - \mathbf{M}_t \hat{\mathbf{z}}_{t/t-1}) \quad (5)$$

・初期条件

$$\hat{\mathbf{z}}_{0/-1} = \bar{\mathbf{z}}_0 \quad (6)$$

ここに、 $\hat{\mathbf{z}}_{t/t}$ は状態量 $\mathbf{z}_t$ の推定値を意味し、 $\bar{\mathbf{z}}_0 \equiv E[\mathbf{z}_0]$ である。また、フィルタ方程式(5)に含まれる $\mathbf{B}_t$ はフィルタゲインもしくは復元作用素と呼ばれ、 $\mathbf{B}_t$ としてWinnerフィルタを用いると一般にカルマンフィルタ<sup>11)</sup>と呼ばれている。本研究では射影フィルタ族の中の次式で与えられるパラメトリック射影フィルタを $\mathbf{B}_t$ として採用する。

$$\mathbf{B}_t = (\mathbf{M}_t^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{M}_t + \gamma \mathbf{I})^{-1} \mathbf{M}_t^T \mathbf{Q}^{-1} \quad (7)$$

ここに、 $\mathbf{Q}$ は観測誤差共分散行列、 $\gamma$ は正規化パラメータである。

### 2.2 構造システム同定への適用

ここまで述べた離散的ダイナミックシステムに対するフィルタ理論を構造システム同定のための逆問題解析に適用する。構造システム同定とは、対象とする構造物の固有周期(振動数)を観測し、その構造物のすべての層の水平剛性を同定する問題と定義することにする。同定すべき状態量は各部材要素ではなく水平剛性であることから、対象とする構造物は最も単純な振動モデルである多質点系のM-K型自由振動方程式で表わし、これを逆解析の数理モデルにすることができる。

式(1)-(7)で示したフィルタ理論において、固有振動数を観測データとし、M-K型の自由振動方程式より水平剛性 $\mathbf{K}$ を同定する逆問題解析を以下の様に構成する。

まず状態量である水平剛性は、フィルタリング過程において時間的遷移構造を持たないことを仮定すると、状態方程式(1)は次の様に表すことができる。

・状態方程式

$$\hat{\mathbf{z}}_{t+1} = \mathbf{I} \hat{\mathbf{z}}_t \quad (8)$$

すなわち、状態遷移行列は単位行列で表わされ、システム雑音は無視することになる。これより、添字 $t$ は時間項を表わすのではなく、フィルタリングステップを意味することになる。

次に観測方程式において、観測量である固有振動数と状態量である水平剛性の関係は非線形となるため、観測方程式も次式の様に非線形に拡張する必要がある。

・観測方程式

$$\mathbf{y}_t = m_t(\hat{\mathbf{z}}_t) + \mathbf{v}_t \quad (9)$$

ここに、 $m_t(\mathbf{z}_t)$ は水平剛性 $\mathbf{z}_t$ における固有振動数を意味する非線形ベクトル関数である。そこで、実用的な計算を行うために $\mathbf{z}_t$ の回りで展開し、高次項を無視すると次式の様な疑似線形化された観測方程式を得る<sup>11)</sup>。

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{M}_t \hat{\mathbf{z}}_t + \mathbf{v}_t \quad (10)$$

ここに、 $\mathbf{M}_t$ は感度行列であり次式で与えられる。

$$\mathbf{M}_t \equiv \frac{\partial m_t(\hat{\mathbf{z}}_t)}{\partial \mathbf{z}_t} \quad (11)$$

これらのことより、フィルタ方程式も非線形ベクトル関数を用いた、いわゆる拡張型を用いる必要がある。

・フィルタ方程式

$$\hat{\mathbf{z}}_{t+1/t} = \hat{\mathbf{z}}_{t/t-1} + \mathbf{B}_t (\mathbf{y}_t - m_t(\hat{\mathbf{z}}_t)_{t/t-1}) \quad (12)$$

ここに、 $\hat{\mathbf{z}}$ に関する下付き添字 $t/t-1$ は $t$ 回目のフィルタリングステップの情報に基づく $t-1$ 回目の状態ベクトルを意味する。また、復元作用素 $\mathbf{B}_t$ は式(7)を用いることになるが、拡張型のフィルタでは、 $\mathbf{M}_t$ は式(11)で与えられる感度行列を用いなければならない。

逆解析手法としてのフィルタリングアルゴリズムは、観測データである固有振動数 $\mathbf{y}_t$ と状態量である水平剛性が $\mathbf{z}_t$ のときのM-K型自由振動方程式から計算された固有振動数が一致するまで繰り返し計算するアルゴリズムである。従って、

フィルタゲイン（復元作用素） $B_t$ は繰り返し計算において、状態量 $\hat{z}_t$ の変化をコントロールする役割を担っていると考えられる。すなわち、フィルタリングの性質はフィルタゲイン $B_t$ の性質に依存することになる。

フィルタ方程式(12)を繰り返し計算アルゴリズムとして駆動するためには、初期値を与える必要がある。非線形項を含んだ繰り返し演算であり、一意的な解が存在しないため、逆解析特有の計算が不安定となる非適切性のみならず、解の精度にも初期値が多大な影響を与えることが考えられ、本研究の意味がここに存在することになる。

### 2.3 可変的アルゴリズムの構成

パラメトリック射影フィルタをフィルタゲインとして採用する場合、正則化パラメータ $\gamma$ を具体的な数値として与える必要がある。筆者らは、当初パラメータ $\gamma$ の設定に際し、試行錯誤により様々な値を適当に設定した経緯がある。その結果、パラメータ $\gamma$ の値を大きく設定すると拡張 Kalman フィルタの性質に類似し、逆に小さな値を設定すると射影フィルタの性質に移行することになった<sup>8)</sup>。しかし、こうして設定した $\gamma$ の値は、逆解析の対象とする数理モデルに最適な値である保証はなく、客観的な $\gamma$ の値の決定法が望まれる所となった。

そこで、正則化パラメータ $\gamma$ の設定において可変的決定手法を導入することにより、任意の初期値からフィルタリングの計算過程を通して、自律的であり数理モデルに適應する数値を与えることのできる可変的パラメトリック射影フィルタリングアルゴリズム（VPPF）を提案した。

以下に VPPF について概説する。

フィルタリングの初期ステップにおいて、非線形ベクトル関数を擬似線形化し、フィルタ方程式を表すと次式で与えられる。

$$\hat{z}_{0/0} = \hat{z}_{0/-1} + B_0 \{y_0 - M_0(\hat{z}_{0/-1})\} \quad (13)$$

これより、状態ベクトルは観測ベクトルに比例するものと仮定すると、近似的に次式の様に表わすことができる。

$$\hat{z}_{0/-1} \doteq A_0 y_0 (= A_0 M_0(\hat{z}_{0/-1})) \quad (14)$$

ただし、行列 $A_0$ は対角行列である。一方、初期ステップのフィルタ方程式は、次式の様に表わすこともできる。

$$\hat{z}_{0/-1} \doteq B_0 y_{0/-1} \quad (15)$$

ここに、 $B_0$ はパラメトリック射影フィルタであり、具体的には次の式の様に表わされる。

$$A_0 y_{0/-1} = B_0 y_{0/-1} \quad (16)$$

$$= (M_0^T Q_0^{-1} M_0 + \gamma_{0/0} I)^{-1} M_0^T Q_0^{-1} y_{0/-1}$$

式(16)より、パラメータ $\gamma$ の初期値に関する次の関係式を得る。

$$\gamma_{0/0} \hat{z}_{0/-1} = b_{0/-1} \quad (17)$$

ただし、

$$b_{0/-1} = M_0^T Q_0^{-1} (I - M_0 A_0) y_{0/-1} \quad (18)$$

である。以下の関係より、 $\gamma_{0/0}$ は $\hat{z}_{0/-1}$ と $b_0$ との内積と $\hat{z}_{0/-1}$ の

ノルムを用いて次式で表わされる。

$$\gamma_{0/0} = \frac{\hat{z}_{0/-1}^T b}{\|\hat{z}_{0/-1}\|^2} \quad (19)$$

式(19)を計算することにより、フィルタリング1回目の初期状態量に対する値が求まったので $B_{0/0}$ を求め、フィルタ方程式より $\hat{z}_{0/0}$ を得ることができる。次に $\hat{z}_{0/0}$ を用いて同様の計算により $\gamma_{0/1}$ を求め、フィルタ方程式より $\hat{z}_{0/1}$ が求められる。この一連の計算を $\gamma$ が収束するまで繰り返し計算を行い、収束した値をフィルタリング1回目の $\gamma$ の値とする。フィルタリング2回目では $\hat{z}_{1/0}$ を初期値として $\gamma$ が収束するまで繰り返し計算し、各フィルタリングステップで同様の計算を行うことにより $\gamma$ を決定することで可変的パラメトリック射影フィルタ（VPPF）を構成することができる。

### 2.4 可変的アルゴリズムの正則化

式(19)により構成した可変的アルゴリズムは、フィルタ方程式により、次のステップの状態量を繰り返し計算により決定していることからわかる様に、フィルタリング計算を正則化することなしに実施していることと同様である。経験的には状態量が3変数以上になると繰り返し計算が不安定になる場合が散見される。そこでこの問題を回避するために、多変数ベクトルで表現されている式(19)において、対角行列 $A_0$ の特定の成分に着目し、1変数として計算することが考えられる。これにより、 $\gamma$ を決定するための繰り返し計算はスカラー表現となり次式で表わされる。

$$\gamma_{0/-1} = M Q^{-1} (1 - a_0 M) y_{0/-1} \hat{z}_{0/-1}^{-1} \quad (20)$$

ここに、 $M$ 、 $Q$ 、 $a_0$ 、 $y_{0/-1}$ 、 $\hat{z}_{0/-1}^{-1}$ はそれぞれ $M_0$ 、 $Q_0$ 、 $A_0$ 、 $y_{0/-1}$ および $\hat{z}_{0/-1}$ の特定された同一の成分である。

一連のフィルタリング計算の流れを図1に示す。

## 3. 逆解析の対象とする多質点系モデル

フィルタリングアルゴリズムを逆解析手法とするとき、フィルタ方程式を繰り返し計算アルゴリズムとして用いることになり、フィルタを駆動するために初期値を与える必要がある。本研究で対象としている様な観測量と状態量が非線形の関係にある逆問題を扱う場合には、拡張型のフィルタリングアルゴリズムによる繰り返し計算をする必要がある。この場合フィルタリング計算の安定性や解の精度は正則化項の働きとともに、設定する初期値に大きく依存する。

そこで、フィルタリング計算と初期値の関係を定性的に検討するために、図1に示す4種類の多質点系モデルのシステム同定を行うことにする。表1に各質点系モデルの質量と同定すべき水平剛性、すなわち正解の水平剛性を示す。なお、これらの値はすべて無次元量とし、観測データとしての固有振動数は質点の数のモードまで用いることにする。逆解析は一意的な解が存在しないことに起因し、同定すべき未知数が多くなると非適切性のリスクも高くなる。本逆解析では、未知数の数を2~5とし、未知数に応じて初期値が非適切性に与える影響についても検討できる様にモデルを設定した。

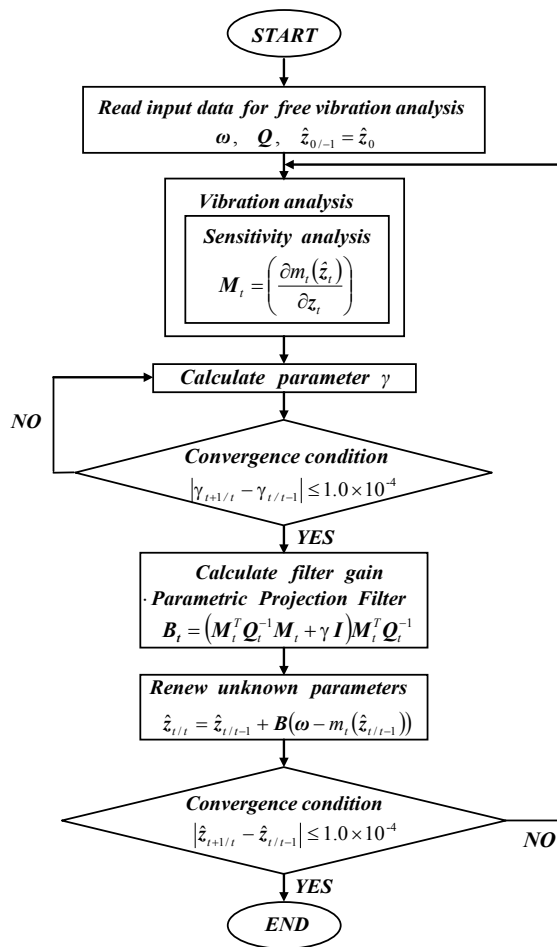


図 1. 逆解析のフロー

#### 4. 結果の検証と考察

先にも述べた様に拡張型フィルタリングアルゴリズムによる逆問題解析では、与える初期値が解の精度に影響するだけでなく、非適切性が生じる原因にもなっている。そこで 2~5 質点系モデルのシステム同定を VPPF により行い初期値の設定方法について検討を行うことにする。初期値の設定に関しては、汎用性のある規則性を提案することを目的とした。具体的には、いずれのモデルもすべての状態量の初期値は同じ値とすることを基本とし、この基本条件のもとで解の精度を改善するために、1 つの状態量に対する初期値を異なった値（具体的に 1 層の値）とすることにした。すなわち、初期値として最大 2 つの値を与えるものとした。

逆解析に当たって、観測誤差共分散は観測データの 1% を標準偏差とする観測誤差を設定し、1 層の初期値と他の層の初期値を 20 パターン設定し、それぞれ 400 通りの逆解析を行い同定の可能性を検討した。図 3~6 に表 1 に示したそれぞれのモデルに対する逆解析の結果を示す。シミュレーション逆解析の結果、多くの場合正則化パラメータ  $\gamma$  の効果により安定したフィルタリング計算が実施されたが、状態量の収束値は目標値にほぼ達している場合と、差異を生じて収束している場合が見られる。どの程度まで許容できるかは、対象とする逆

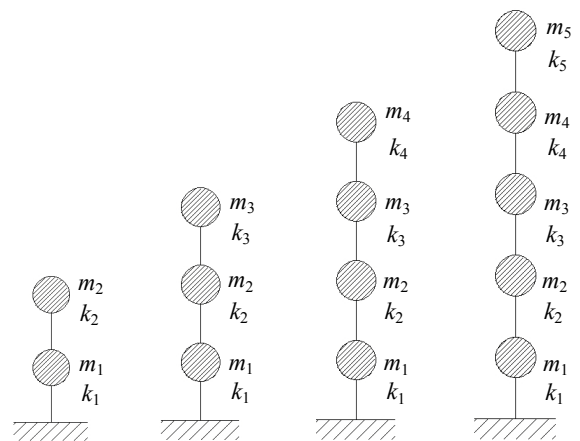


図 2. 構造システム同定のための多質点系モデル

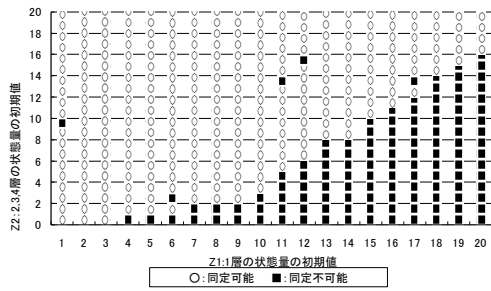
表 1. 各質点系モデルの質量と水平剛性

モデル	2 質点系		3 質点系		4 質点系		5 質点系	
	剛性	質量	剛性	質量	剛性	質量	剛性	質量
5 層	10	1	10	1	10	1	10	1
4 層	9	1	9	1	9	1	9	1
3 層	8	1	8	1	8	1	8	1
2 層	7	1	7	1	7	1	7	1
1 層	6	1	6	1	6	1	6	1

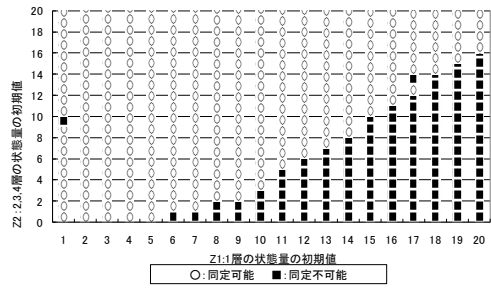
問題に依存する。そこで、各質点系モデルにおいて、同定値と目標値を差異の比として表わし、最大 10%、15% の差異まで許容した場合の同定の可否をそれぞれ (a), (b) で表わすことにした。すべての結果を表わす図において、横軸は 1 層の水平剛性  $z_1$ 、縦軸は 1 層以外の水平剛性を意味しており、目標値からの差異により分類した場合の各初期値に対する同定結果を ○ (同定可能)、■ (同定不可能) で表わした。これらのモデルはいずれも各層の水平剛性が極めて近い値に設定されており、建築構造物を例とするならば、上層になるほど地震層せん断力が小さくなることを反映させて、多少上層の水平剛性を小さく設定したモデル群である。当然、いずれのモデルにおいても許容する差異が大きければ同定の可能性は拡大する。また、同定すべき未知数が多くなるにつれて、同定可能な初期値の組み合わせは減少する。さらに顕著な特徴として、1 層の初期値は目標値（正解の水平剛性）より小さい場合ほど同定可能な組み合わせは多く見られるが、逆に 1 層の初期値を大きく設定すると急激に同定可能な組み合わせが減少することになる。すなわち同定の可否は 1 層の初期値に依存する傾向が見られるが、これは  $\gamma$  をスカラーで決定する際、対角行列  $A_0$  の成分の 1 行 1 列目を採用していることに起因していると考えられる。

次に図 7(a), (b) に 2 質点系において 1 層の水平剛性と 2 層の水平剛性の差を大きくしたモデル ( $k_1 = 9, k_2 = 4$ ) に対する同定結果を示す。表 1 に示したモデルに比べると、明らかに同定可能な組み合わせは減少しており、各層の水平剛性に差がある構造物の初期値の設定は困難を伴うことが考えられる。

さて、フィルタリングアルゴリズムを逆解析手法とするこ

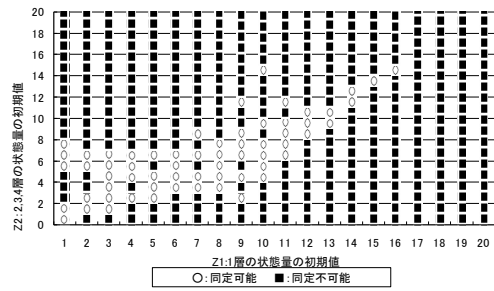


(a) 10%の差異まで許容した結果



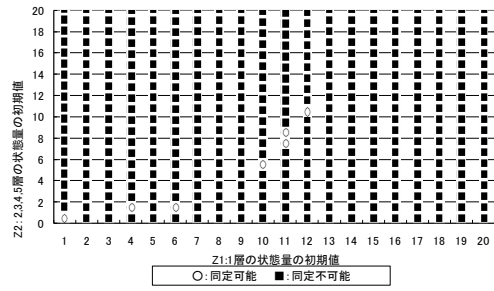
(b) 15%の差異まで許容した結果

図3. 2質点系モデルのシステム同定結果



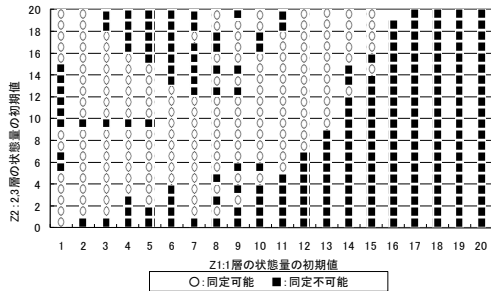
(b) 15%の差異まで許容した結果

図5. 4質点系モデルのシステム同定結果

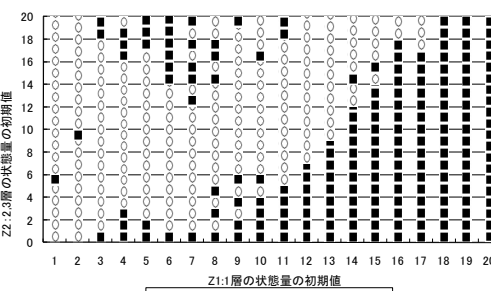


(a) 10%の差異まで許容した結果

図6. 5質点系モデルのシステム同定結果

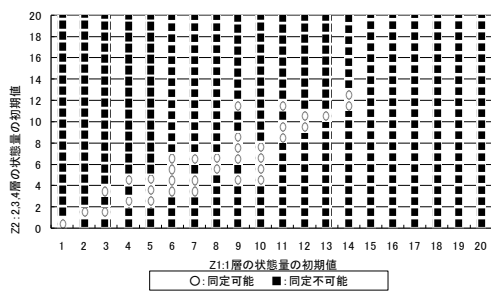


(a) 10%の差異まで許容した結果



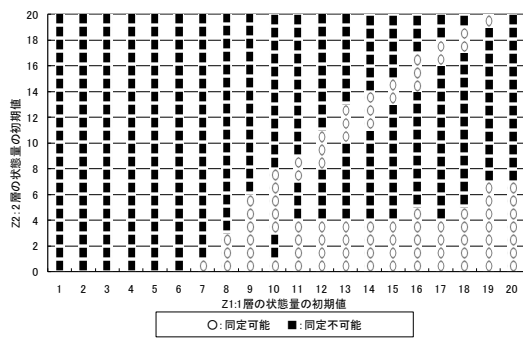
(b) 15%の差異まで許容した結果

図4. 3質点系モデルのシステム同定結果

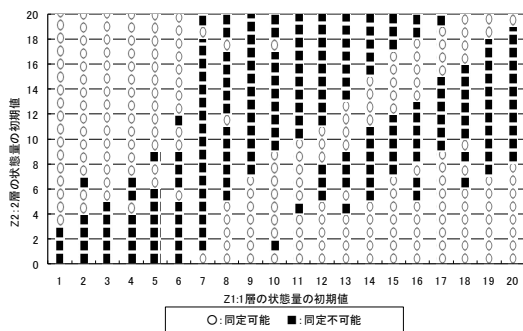


(a) 10%の差異まで許容した結果

との特徴の一つに観測誤差を考慮できる点が挙げられる。ここまで示してきた逆解析では、観測誤差として観測データの1%を標準偏差とする誤差を仮定したことはすでに述べたが、次に観測誤差と初期値の関係を検討するために、観測データの5%および10%を標準偏差とする観測誤差を設定し、表1に示す3層モデルで目標値との差異を10%まで許容した逆解析結果を図8, 9に示す。先に述べた逆解析結果と比較しても観測誤差による同定の可否の差は見られない。これは正則化項 $\gamma$ がノイズの統計的な先験情報として、推定誤差共分散行列 $\mathbf{Q}$ を用いた正則化が図られている結果であると考えられる。すなわち $\gamma$ は $S/N$ と類似しており、観測誤差が大きければ $\gamma$ の値は各フィルタリングステップで自律的に小さくなり、逆に観測誤差が小さければ $\gamma$ の値が大きくなるため初期値との関係に観測誤差の大小は関係しないものと考えられる。また総じて、いずれの逆解析結果においても、常に対角線上に同定可能な初期値の組み合わせが存在していることは注目に値する。この様に明らかに同定精度は初期値に依存しており、状態量と観測量が非線形の関係の場合に用いられる拡張

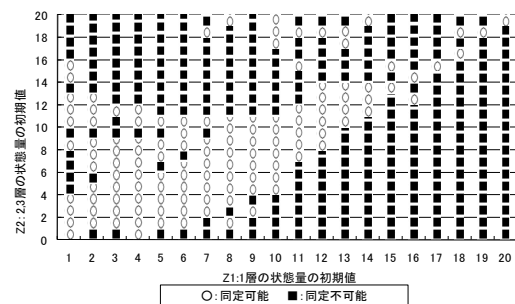


(a) 10%の差異まで許容した結果



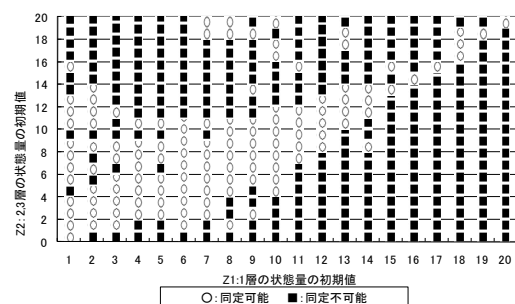
(b) 15%の差異まで許容した結果

図7. 2質点系モデルのシステム同定結果



(a) 10%の差異まで許容した結果

図8. 3質点系モデル (観測誤差: 5%)



(a) 10%の差異まで許容した結果

図9. 3質点系モデル (観測誤差: 10%)

型フィルタを逆解析手法とするシステム同定は初期値の設定に留意する必要があることがわかる。

## 5. まとめ

拡張型 VPPF アルゴリズムを用いたシステム同定における初期値と解の精度および初期値と観測誤差の関係について逐

一逆解析を行うことにより検討した。本研究で得られた結果は次の様にまとめることができる。

- (1) VPPF を逆解析手法とすると、正規化パラメータの効果によりフィルタリング過程は安定する場合が多いものの、初期値の選択により解の精度に違いが生じる。
- (2) 現実的な初期値の設定の提案を目的に、すべての状態量に対して等しい初期値か、1層のみ他の層の初期値と異なる場合を想定した結果、1層の初期値に依存して解の精度が決定される傾向にある。
- (3) 構造システム同定において各層の水平剛性が比較的近い値の場合には、状態量の初期値としてすべての層の値を等しいか、1層の初期値を他の層の初期値より幾らか違えて設定することにより解の精度が向上する傾向にある。
- (4) 初期値は目標値 (正解値) よりも小さく設定することにより解の精度が向上する傾向にある。
- (5) 水平剛性に差があると同定可能な初期値の組み合わせは減少する。

## 参考文献

- 1) 水野啓示郎, 松井徹哉: ニューラルネットワークによる建造物の振動応答推定, 日本建築学会構造系論文集, 第503号, pp.53-60, 1998
- 2) 中村充, 安井謙: 微動測定に基づく地震被災鉄骨建物の層損傷評価, 日本建築学会構造系論文集, 第517号, pp.61-68, 1998
- 3) J.A.Escobar, O.Lopez B.M., M.Sugahara: センシティブィー・マトリックスによる鉄筋コンクリート建造物の損傷解析, 日本建築学会構造系論文集, 第508号, pp.93-100, 1998
- 4) (社)土木学会: 土工学における逆問題入門, 丸善, 2000
- 5) 登坂宣好, 遠藤龍司, 武藤俊宏: フィルタ理論を用いた塔状トラスの構造損傷同定, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.7, pp.158-165, 2004
- 6) 塩田寿美子, 遠藤龍司, 登坂宣好, 武藤俊宏: ブレース構造モデルの実測値を用いた損傷同定解析, 構造工学論文集, 日本建築学会, Vol.52B, pp.133-138, 2006
- 7) 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建造物の損傷同定解析, 日本建築学会構造系論文集, 第605号, pp.95-102, 2006
- 8) 遠藤龍司, 登坂宣好, 川上善嗣, 塩田寿美子: パラメトリック射影フィルタに基づくアルゴリズムを用いた大型浮遊式海洋建築物模型の損傷同定解析, 日本建築学会構造系論文集, 第559号, pp.237-244, 2002
- 9) 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建造物の損傷同定解析, 計算数理工学論文集, Vol.7, No.2, pp.225-230, 2008
- 10) 遠藤龍司, 登坂宣好, 村山政昭: フレーム建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, Vol.8, pp.83-88, 2008
- 11) 片山徹: 応用カルマンフィルタ, 朝倉書店, 1997