# 法政大学学術機関リポジトリ

# HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-12-21

# 建物の基本的特性に対する同定手法の検討

末崎, 和宏 / KAWAI, Yuto / YOSHIDA, Nagayuki / SUEZAKI, Kazuhiro / 河井, 雄登 / 吉田, 長行

(出版者 / Publisher)
法政大学情報メディア教育研究センター
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学情報メディア教育研究センター研究報告
(巻 / Volume)
32
(開始ページ / Start Page)
45
(終了ページ / End Page)
50
(発行年 / Year)
2018-06-01
(URL)
https://doi.org/10.15002/00014883

# 建物の基本的動特性に対する同定手法の検討

# A Study on Identification Method

# for Basic Dynamic Characteristics of the Buildings

河井 雄登<sup>1)</sup> 末崎 和宏<sup>2)</sup> 吉田 長行<sup>2)</sup>Yuto Kawai, Kazuhiro Suezaki and Nagayuki Yoshida

<sup>1)</sup> 法政大学大学院デザイン工学研究科建築学専攻
 <sup>2)</sup> 法政大学デザイン工学部建築学科

The structural model should be constructed with high accuracy for exactly redesigning the earthquake resistance ability of old buildings. For this, the procedures for identifying the basic characteristic of the building such as natural frequencies and damping factors are intensively required nowadays. This could be done by measuring the vibration of buildings caused by microtremors of the ground and identifying the vibrational characteristics of buildings. In this study it is investigated whether these dynamic characteristics could be extracted from observed data on small vibration by using MOESP method that is the basic method in subspace identification methods.

Keywords : Microtremor, MOESP, Subspace identification

#### 1. はじめに

既存建物に対する耐震診断と適切な耐震補強は喫 緊の課題である。その際、建物の構造強度を構造モ デルとして適切に評価することが耐震補強を有効に する上での重要な前提となる。一般には設計図書や 現場試験による算定、旧耐震規定に則った推定など が構造モデル作成時の手がかりとなる。耐震補強設 計はこの構造モデルに試行的な構造修正を加えて耐 震解析を実施しその有効性を検討する繰り返しプロ セスの中で進行する。このため、補強設計の基点と なる構造モデルは何らかの構造指標によってその妥 当性が検証されていなければならない。更には、耐 震補強の効果が施工後、確かに実現されたかの検証 も必要となる。これらの検証を可能にする一つの方 法として、常時微動観測を通じた構造特性指標の同 定検証が挙げられる。

本研究は微動観測データから構造特性指標として 代表的な固有周期と減衰定数を抽出する精度の高い

原稿受付 2018 年 3 月 20 日 発行 2018 年 6 月 1 日 Copyright © 2018 Hosei University 同定手法の可能性を探ったものである。近年、シス テム制御理論の分野で研究が盛んな部分空間システ ム同定法に着目し、その代表的な手法である MOESP 法をこの問題に適用する場合の定式化とその有効性 を検討している。

#### 2. 振動方程式と状態方程式・出力方程式

1 質点系モデル化された構造物が地震動の加速度 入力**z**<sub>0</sub>(*t*)を受けるとする。これを振動方程式で表す と、

$$m\ddot{z}(t) + d\dot{z}(t) + kz(t) = -m\ddot{z}_0(t)$$
 (1)

となる。ここで、*z(t)*は質点の水平変位である。 これを1階の微分方程式に書き換えると、

$$\{\dot{x}(t)\} = [A^*]\{x(t)\} + [B^*]\ddot{z}_0(t)$$
(2)

$$[A^*] = \begin{bmatrix} 0 & 1\\ -k/m & -d/m \end{bmatrix}$$
$$[B^*] = \begin{bmatrix} 0\\ -1 \end{bmatrix}$$
$$\{x(t)\} = \begin{cases} z(t)\\ \dot{z}(t) \end{cases}$$
(3)

 ${x(t)}$ は状態変数とよばれ、これによって記述された式(2)を状態方程式という。状態変数は観測装置を通してなんらかの出力量 ${y(t)}$ として計測される。 例えば、絶対加速度 $\ddot{x}(t) + \ddot{z}_0(t)$ が出力量の場合は、 式(1)より

$$y(t) = [C]x(t)$$
$$[C] = \left[-\frac{k}{m} - \frac{d}{m}\right]$$
(4)

と表される。上式を出力方程式とよぶ。

連続時間tで表された状態方程式を離散時間表現 すると、

$$\{x(k+1)\} = [A]\{x(k)\} + [B]\ddot{z}_0(t)$$
 (5)

$$[A] = e^{[A^*]\Delta t}$$
$$[B] = \int_0^{\Delta t} e^{[A^*]\tau} d\tau \cdot [B^*]$$
(6)

マトリクスA\*が正則なら、この積分値は次のよう になる。

$$[B] = [A^*]^{-1} (e^{[A^*]\Delta t} - [I])[B^*] = (e^{[A^*]\Delta t} - [I])[A^*]^{-1}[B^*]$$
(7)

出力方程式も離散時間表現すると、以下のように なる。

を線形時不変システムとよぶ<sup>[1]</sup>。

### 3. 固有値

マトリクス[ $A^*$ ]の固有値問題は、[ $A^*$ ]の固有値を $\lambda^*$ 、 固有ベクトルを{ $x^*$ }とすると次のように書ける。

$$[A^*]{x^*} = \lambda^* \{x^*\}$$
(9)  
固有値 $\lambda$ を決定するには、固有方程式  
$$[A^*] - \lambda^*[I]] = 0を解くことになる。1 質点系ではm ${\lambda^*}^2 + d\lambda^* + k = 0$ (10)$$

この解は、次式で表される。

$$\lambda_1^* = -\omega h + i\sqrt{1 - h^2}\omega$$
  

$$\lambda_2^* = -\omega h - i\sqrt{1 - h^2}\omega$$
(11)

固有円振動数:
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

減衰定数:
$$h = \frac{d}{2\sqrt{mk}}$$
 (12)

ところで、振動系の状態空間表現は状態の正則変換の個数だけ無限の自由度がある。すなわち、任意の正則マトリクス[*T*]を用いて状態変数を

$$\{\hat{x}(k)\} = [T]^{-1}\{x(k)\}$$
(13)

のように変換すると、状態方程式と出力方程式は、 次のようになる。

$$\{\hat{x}(k+1)\} = [\hat{A}]\{\hat{x}(k)\} + [\hat{B}]\ddot{z}_0(k) ,$$

$$y(k) = [\hat{C}]\{\hat{x}(k)\}$$
(14)

ここで、

$$\begin{bmatrix} \hat{A} \end{bmatrix} = [T]^{-1}[A][T] , \begin{bmatrix} \hat{B} \end{bmatrix} = [T]^{-1}[B] ,$$
 (15)  
 
$$\begin{bmatrix} \hat{C} \end{bmatrix} = [C][T]$$

同定問題においては、([A]、[B]、[C])ではなく、 ([Â]、[B]、[Ĉ])が同定される。

マトリクス[Â] の固有値問題

$$[\hat{A}]\{\hat{x}\} = [T]^{-1}[A][T]\{\hat{x}\} = \hat{\lambda}\{\hat{x}\}$$
 (16)  
では、式(13)から

$$[A]\{x\} = \hat{\lambda}\{x\} \tag{17}$$

となる。すなわちマトリクス[Â]とマトリクス[A]は 固有モードが異なっても、同一の固有値えを有する。 このことから、入出力データの違いによってどのよ うなマトリクス[Â]が同定されても、固有値は同一な ので、算定される固有円振動数や減衰定数の値は変 わらない。

### 4. 建物の動特性指標

建物の動特性を表す基本的な指標は固有円振動数 ωまたは固有周期Tと、減衰定数hである。ここでは、 これらを式(6)の第1式から求める方法を文献[2]に 従って述べる。

マトリクス[A] (実際には[ $\hat{A}$ ]) はその固有値 $\lambda_i$ を対 角に並べた固有値マトリクス[ $\Lambda$ ]と固有モードの列 ベクトル{ $x_i$ }を並べた固有マトリクス[U]によって、 次のように表すことができる。

$$[A] = [U][\Lambda][U]^{-1}$$
(18)

連続時間表現された状態方程式の[A\*]も同様に固 有値解析することができたとすれば、

$$[A^*] = [U^*][\Lambda^*][U^*]^{-1}$$
(19)

と表せる。このとき、次式が成立する。

$$e^{[A^*]\Delta t} = [U^*]e^{[\Lambda^*]\Delta t}[U^*]^{-1}$$
(20)

式(6)の第1式より、上の式(18)と式(20)は倒置できる。

$$\begin{bmatrix} U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} U^* \end{bmatrix} e^{\begin{bmatrix} \Lambda^* \end{bmatrix} \Delta t} \begin{bmatrix} U^* \end{bmatrix}^{-1}$$
(21)  
ところで、線形時不変システムでの状態変数の固

有ベクトルは連続時間の時刻にかかわらず不変であるから、離散時間のいかなる時刻においても不変である。したがって、 $[U] \propto [U^*]$ とすることができるので、次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} \Lambda \end{bmatrix} = e^{[\Lambda^*]\Delta t}$$

$$\downarrow$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{\lambda_1^*\Delta t} \\ e^{\lambda_2^*\Delta t} \end{bmatrix}$$
(22)

これより、

$$|\ln \lambda_{1}| = |\lambda_{1}^{*}\Delta t|$$

$$= \sqrt{\omega h + (1 - h)\omega}\Delta t$$

$$= \omega \Delta t$$

$$\downarrow$$
(23)

$$\ln|\lambda_{1}| = -\omega h\Delta t$$

$$\downarrow$$

$$h = -\frac{\ln|\lambda_{1}|}{\omega\Delta t} = -\frac{\ln|\lambda_{1}|}{|\ln\lambda_{1}|}$$
(25)

以上から、マトリクス[A](または [ $\hat{A}$ ])の固有値か ら建物の固有円振動数と減衰定数を抽出することが できる。

#### 5. MOESP 法を用いた構造の同定

式(14)の状態方程式と出力方程式に含まれる各マ トリクスが未知であるとする。入出力データからこ れら未知のマトリクスを推定することを同定という。 近年、同定法として部分空間法が開発され、各分野 で活発な研究が行われている。その中でも、基本的 な方法であるMOESP法に注目し、これを利用するこ とにより微動観測機器から得られる入出力データか ら建物構造を同定する方法を検討する。以下に、マ トリクス[Â]と[Ĉ]を同定する手順を要約して示す。

(1) 入力データとして水平地動加速度u(k) =
 *ż*<sub>0</sub>(k)、*k* = 0, 1, 2, …, *q*-1、出力データとして建物の任意高さにおける水平絶対加速度
 *y*(*k*) = *x*(*k*) + *ż*<sub>0</sub>(*k*)、*k* = 0, 1, 2, …, *q*-1がこのように各q個ずつ得られているとする。ここで、次のような入力データマトリクスと出力データマトリクスを定義する。
 [*U*]

$$= \begin{bmatrix} u(0) & u(1) & \cdots & u(L-1) \\ u(1) & u(2) & \cdots & u(L) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ u(r-1) & u(r) & \cdots & u(L+r-1) \end{bmatrix}$$
(26)  
$$\in R^{r \times L}$$

$$[Y] = \begin{bmatrix} y(0) & y(1) & \cdots & y(L-1) \\ y(1) & y(2) & \cdots & y(L) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y(r-1) & y(r) & \cdots & y(L+r-1) \end{bmatrix} (27) \\ \in R^{r \cdot 1 \times L}$$

このようにデータ列を一つずつ左にずらして 各行に一定個数(*L*)並べたマトリクスをハンケ ル・マトリクスという。*r*はブロックハンケル・ マトリクスのブロック行数である。ブロック1行 のデータ数は時間幅(*L* - 1) $\Delta t$ の両端とその内点 時刻にサンプリングされたデータの総数である。 これがブロック行にして*r*(=*q* - (*r* - 1))行配置 されたハンケル・マトリクスが入出力データマト リクスである。このとき、*r*、*L*の大きさは不定で ある。

(2) ここで、入力データマトリクスと出力データマ トリクスを縦に並べたデータマトリクス

$$[G] = \begin{bmatrix} [U] \\ [Y] \end{bmatrix} \in R^{(r+r\cdot 1) \times L}$$
(28)

$$\begin{bmatrix} [U]\\[Y]\\[Y]\\[L_{21}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [L_{11}] & \cdot \\ [L_{21}] & [L_{22}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q_1]\\[Q_2] \end{bmatrix}$$
(29)

$$[L_{12}] \in \mathbb{R}^{r \times r}, \ [L_{21}] \in \mathbb{R}^{r \cdot 1 \times r},$$

 $[L_{22}] \in \mathbb{R}^{r \cdot 1 \times r \cdot 1},$ 

 $[Q_1] \in R^{r \times L}, \ [Q_2] \in R^{r \cdot 1 \times L}$ 

上式右辺は、実際にはデータマトリクスの転置 マトリクス $[G]^T$ をQR分解し、これを再度転置して 得られる。

(3) [L<sub>22</sub>]を特異値分解する

 $[L_{22}]$ 

Copyright © 2018 Hosei University

$$= \begin{bmatrix} [U_n] & [\overline{U}_n] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [\Sigma_n] & \cdot \\ \cdot & [\overline{\Sigma}_n] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [V_n]^T \\ [\overline{V}_n]^T \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} U_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \end{bmatrix}^T + \begin{bmatrix} \overline{U}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{\Sigma}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{V}_n \end{bmatrix}^T$$

$$\cong \begin{bmatrix} U_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \end{bmatrix}^T$$

$$\exists \begin{bmatrix} U_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \end{bmatrix}^T$$

$$\exists \begin{bmatrix} U_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \end{bmatrix}^T$$

$$\exists \begin{bmatrix} U_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Sigma_n \end{bmatrix} = diag \{ \sigma_1, \cdots, \sigma_n \}$$

$$\begin{bmatrix} \overline{\Sigma}_n \end{bmatrix} = diag \{ \sigma_{n+1}, \sigma_{n+2}, \cdots, \sigma_r \}$$

$$(\sigma_j \cong 0, j \ge n+1)$$

$$(\sigma_j \ge n+1)$$

となる。このような特異値の分布が得られた場合 は、観測対象の自由度を*n* = 2と判定する(解析結 果から*n* = 2と判定できる場合は、観測対象の自 由度を1と推定する)。

(4) 
$$[U_n]$$
はr行×n列のマトリクスである。その第i  
行から第j行まで取り出した部分マトリクスを  
 $[_{i:j}U_n]$ と表記すると、第1行を取り出して  
 $[\hat{C}] = [_{1:1}U_n]$  (32)  
とすることができる。

(5) このとき、最終第r行を取り除いた
$$\begin{bmatrix} 1:r-1 U_n \end{bmatrix}$$
と第  
1 行を取り除いた $\begin{bmatrix} 2:r U_n \end{bmatrix}$ とは次の関係  
 $\begin{bmatrix} 1:r-1 U_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{A} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2:r U_n \end{bmatrix}$  (33)  
があるので  $\begin{bmatrix} \hat{A} \end{bmatrix}$ は最小二乗法によって次のように  
求められる。

$$\begin{bmatrix} \hat{A} \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}^{T} \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}^{T} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}^{T} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}^{T}$$

(6)  $[\hat{A}]$ の固有値問題:式(34)、または固有方程式  $|[\hat{A}] - \lambda[I]|$ を解いて固有値 $\lambda_i$ (i = 1, ..., n/2)を 求め、各モードの固有円振動数 $\omega_i$ または固有周期  $T_i = 2\pi/\omega_i$ および減衰定数 $h_i$ を算定する<sup>[1]</sup>。

#### 6. 多質点系モデルへの拡張

これまでの記述では、理解しやすいように1質点 系モデルを対象とした。一般の多質点系モデルでは、 式(1)が次式に代わる。

$$[M]\{\ddot{z}\} + [D]\{\dot{z}\} + [K]\{z\} \qquad (= -[M]\{1\}\ddot{z}_0 \qquad 35)$$

式(3)と式(4)で示した状態方程式と出力方程式の 各マトリクスやベクトルも以下のように代わる。

$$\begin{bmatrix} A^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_3 & I_3 \\ -M^{-1}K & -M^{-1}D \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} B^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{0\} \\ -\{1\} \end{bmatrix}$$

$$\{x(t)\} = \begin{cases} \{z(t)\} \\ \{\dot{z}(t)\} \end{cases}$$
(36)

 $\begin{bmatrix} C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[M]^{-1}[K] & -[M]^{-1}[D] \end{bmatrix}$  (37) そして、N 質点系の場合はn = 2Nとなるが、前節

までの記述はそのまま有効である。

これまでは、絶対加速度応答の観測点数  $\ell$  は 1 で あるとして論じてきた。複数点 $\ell > 1$ の観測データを 用いる場合では、式(27)のマトリクス内のスカラー 量は以下のようにベクトル量となり、表記 $r \cdot 1$ は表 記 $r \cdot \ell$ に変わる。

[Y]

$$= \begin{bmatrix} \{y(0)\} & \{y(1)\} & \cdots & \{y(L-1)\} \\ \{y(1)\} & \{y(2)\} & \cdots & \{y(L)\} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \{y(r-1)\} & \{y(r)\} & \cdots & \{y(L+r-1)\} \end{bmatrix}$$
(38)  
$$\in R^{r \cdot \ell \times L}$$
  
$$\equiv \Xi \mathfrak{S},$$
$$\{y(k)\} = \begin{cases} y_1(k) \\ y_2(k) \\ \vdots \\ y_\ell(k) \end{cases}$$
(39)

#### 7. 模擬微動加速度

微動は本来観測量であるが、観測量からの有意義 なデータを抽出する手法の開発研究に用いるため模 擬微動加速度**z**<sub>0</sub>を作成する<sup>[3]</sup>。

模擬微動を定常不規則過程とすると次のように定 式化できる。

$$\ddot{y}_0(t) = g(t) \cdot \ddot{z}_0(t_j) \tag{40}$$

$$\ddot{z}_0(t_j) = \sum_{i=1}^{N} \sqrt{\frac{2S(\omega_i)\Delta\omega}{\pi}} \cos(\omega_i t + \varphi_i) \qquad (41)$$
$$j = 1, \cdots, n^p$$

ここで、

$$S(\omega): \frac{1+4h_g^2\omega^2/\omega_g^2}{(1-\omega^2/\omega_g^2)+4h_g^2\omega^2/\omega_g^2}$$
(42)

 $\omega_g$ :地盤の1次固有振動数

$$\Delta \omega = \frac{\omega_{Upper} - \omega_{Lower}}{N}$$
(43)  
$$1 < \frac{\omega}{N} < 100,$$

$$\pi$$
  
N·重合個粉(300 程度)

$$\omega_{i} = \omega_{L} + \left(l - \frac{1}{2}\right)\Delta\omega \tag{44}$$

$$\varphi_i: 0~2\pi$$
の一様乱数 (45)

Copyright © 2018 Hosei University

重合した後、加速度波形の最大値が所要の数値にな るよう調整する。

変位の振幅がaの場合、加速度波形は $a(2\pi/T)^2$ となる。 $a = 1\mu m$ とし、Tを最小で $0.02s(= 2\Delta t)$ とすると、加速度振幅はおよそ $0.1m/s^2$ である。

地盤の固有周期 $T_c = 2\pi/\omega_g$ は表1によって与える。

表 1 地盤の種類と固有周期T<sub>c</sub>(s)

Table 1 Type of ground and Natural Period $T_c(s)$					
第1種地盤	岩盤、硬質砂礫層、主として	0.4			
	第3紀以前の地層など				
第2種地盤	第1、3種地盤以外のもの	0.6			
第3種地盤	軟弱な沖積層が30m以上のも	0.8			
	の、または、泥沼、泥海岸を				
	3m 以上埋め立てた後 30 年未				
	満のもの等				

#### 8. 解析結果

#### 8.1 1質点モデルによる検証解析結果

単純な1質点系モデルを対象に、以上に述べた MOESP 法を用いた固有周期と減衰定数の抽出手法 について検討する<sup>[4][5][6]</sup>。

また、式(26)(27)におけるデータマトリクスの縦横 比についても検討を行う。質点モデルを図.1 に示す。



Fig.1 Single-Degree-of-Freedom Model.

表2のように、入力データ・出力データ数がそれ ぞれ50もあれば高い精度で固有周期と減衰定数を 抽出することができた。

作成するデータマトリクスの形状は3通りで検証 したが、結果に大きな差は見られなかったため、建 物と地盤の入出力データ数に応じて任意で構わない と考えられる。

Copyright © 2018 Hosei University

データ数/解析時間(s)	縦横比	固有周期(t)	減衰定数
作成した モデル	_	0.4	0.05
10 (0.1s)	$m \times m$	0.3209295	0.06267000
	$m \times 2m$	0.3358009	0.07902643
	$m \times 3m$	0.0028194	0.99990000
50 (0.5s)	$m \times m$	0.4007251	0.04920188
	$m \times 2m$	0.4003544	0.04943078
	$m \times 3m$	0.4000680	0.04996341
500 (5s)	$m \times m$	0.3999954	0.05000024
	$m \times 2m$	0.3999995	0.04999714
	$m \times 3m$	0.3999941	0.04999702

# 8.2 2質点モデル及び雑音に対する精度の検証

次に、対象建物を多質点構造物へ拡張するため、 図.2のような2質点モデルでの検証を行う。また、 1質点において十分な精度が確認できたため、以下 のような雑音の混入を仮定し結果の比較を行う。

- ・計測器誤差・・・各時刻の加速度*x*(*t*)において
   |*x*(*t*)| × α(%)のノイズを加える。
- ・環境誤差・・・加速度データの最大値|**x**|<sub>max</sub>のα(%) を最大振幅とするホワイトノイズを加える。

$$T_1 = 0.5(s)$$
  
 $T_2 = 0.2(s)$   
 $h_1 = 0.05$   
 $h_2 = 0.08$ 

図.2 2質点系モデル Fig.2 2-Degree-of-Freedom Model.

表	3	雑音の割合による比較
~	-	

Table 3 Comparison of the Noise Ratio

		1			
導入し た雑音	データ数/ 解析時間	1次モード		2 次モード	
割合 (%)	(s)	固有周期(t)	減衰定数	固有周期(t)	減衰定数
モデル	I	0.5	0.05	0.2	0.08
なし	500(5)	0.49999849	0.04999723	0.20020135	0.07998501
1	1000(10)	0.50001824	0.05008015	0.20035986	0.07701294
5	1000(10)	0.49992202	0.04998565	0.20377790	0.06104071
	1000(10)	0.49989092	0.05008231	0.02816362	0.00025840
10	3000(30)	0.49989761	0.05029855	0.02269004	0.00121618
	6000(60)	0.49964426	0.05006224	0.52015925	0.00236592

表3に環境誤差雑音を加えた入出力データによる 解析結果を示す。雑音が5%程度の場合、1000程の データが得られていれば1次モードの固有周期と減

表 2 データマトリクスの縦横比による比較 Table 2 Comparison of the Data Matrix Aspect Ratio.

衰定数、2次モードの固有周期まで精度よく算出が 可能であった。一方で10%を超す雑音の場合、1次 モードでの精度は維持しているが、2次モードでは 数値の乱れが見られた。

#### 9. 結論

本研究では解析対象として模擬微動を受ける1質 点及び2質点系モデルを作成し、部分空間システム 同定法の中でも基本的な方法である MOESP 法を基 に、建物の動特性を抽出する手法について検討した。 ・入力加速度及び応答加速度から作成するデータマ トリクスは形状によらず解析を行うことができる。 ・雑音が現実的な割合で含まれる場合においても、 1次モードについては精度よく抽出でき、部分空間 システム同定法はその有効性を保持している。

#### 参考文献

- [1] 大住晃, "構造物のシステム制御", 森北出版, 2013 年
- [2] 肥田剛典,永野正行,"部分空間法に基づくシ ステム同定による建物の固有振動数と減衰定 数の推定精度",日本建築学会構造系論文集,第 701号,pp.923-932,2014.7
- [3] 柴田明徳, "最新耐震構造解析", 第3版, 第7章, 森北出版, 2014 年
- [4] 川口健一,"一般逆行列と構造工学への応用", コロナ社,2011 年
- [5] 大崎順彦, "建築振動理論", 彰国社, 1996 年
- [6] 牛島省, "数値計算のための Fortran90/95 プロ グラミング入門", 森北出版, 2007 年