

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	堅剛な地盤に建つ中層建物の地震観測記録を用いた固有周期と減衰定数 (その1 建物概要ならびに解析方法)
Title(English)	Natural Period and Damping Factor of Medium-Rise Buildings using Seismic Observation Records Part 1: Building Overview and Analysis Methods
著者(和文)	白山敦子, 伊藤真二, 佐藤大樹, 山下忠道
Authors(English)	Atsuko Shirayama, Shinji Ito, Daiki Sato, Tadamichi Yamashita
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, , pp. 167-168
Citation(English)	, 構造II, , pp. 167-168
発行日 / Pub. date	2024, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

堅剛な地盤に建つ中層建物の地震観測記録を用いた固有周期と減衰定数 (その1 建物概要ならびに解析方法)

地震観測記録	部分空間法	東北地方太平洋沖地震	正会員	○白山 敦子 ^{*1}	同	伊藤 真二 ^{*2}
固有周期	減衰定数	加速度波形	同	佐藤 大樹 ^{*3}	同	山下 忠道 ^{*4}

1. はじめに

建物の内部粘性減衰については、多くの観測記録の検討などによって、大まかな傾向などは示されつつあるが、その原因や大きさ、特性などは今も明らかになっておらず、引き続きの検討が必要である。また、建築物の減衰を観測記録により推定する方法としては、最下層の記録を入力、他の層を出力としてシステム同定を行い、減衰定数と固有周期(または固有振動数)を算出する方法がある。

そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震において建物内で得られた加速度データを用いてシステム同定を行い、建物の減衰定数を検討する。本報その1では、建物概要と観測システムならびにシステム同定の解析方法を説明する。

2. 建物概要

対象建物は、東京工業大学すずかけ台キャンパス(横浜市緑区)にある、主な用途を研究室とした2棟: J1棟とS2棟とする。写真1に建物の外観を示す。



(a) J1 棟

(b) S2 棟

写真1 建物の外観

J1棟は、地上9階、地下1階、塔屋2階の鉄筋鉄骨コンクリート造で、長辺方向が42.4m、短辺方向が15.5mの整形な建物である。

S2棟は、地上7階、塔屋1階の鉄骨造で、長辺方向が約61.7m、短辺方向が17mの比較的整形な建物である。

これらの建物は、2005年より地震観測を行っており、2011年東北地方太平洋沖地震の本震(M9.0、震源深さ24km)において、加速度記録が得られている。気象庁から発表されている近隣の震度は5弱である。

3. 観測記録の概要

J1棟の加速度計は、地下1階と9階に、それぞれ2か所に設けており(図1(a))、同定の際、X方向の加速度記録について、2地点の平均値を重心位置の値と仮定し検討する。

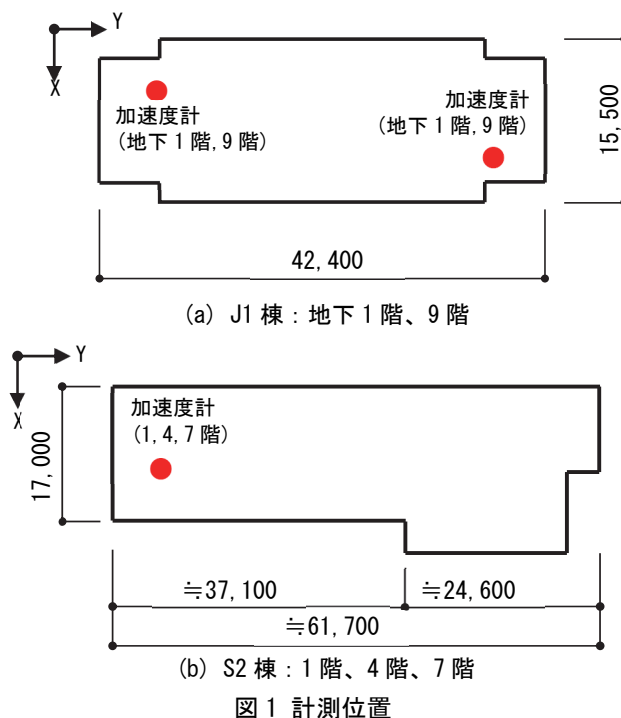
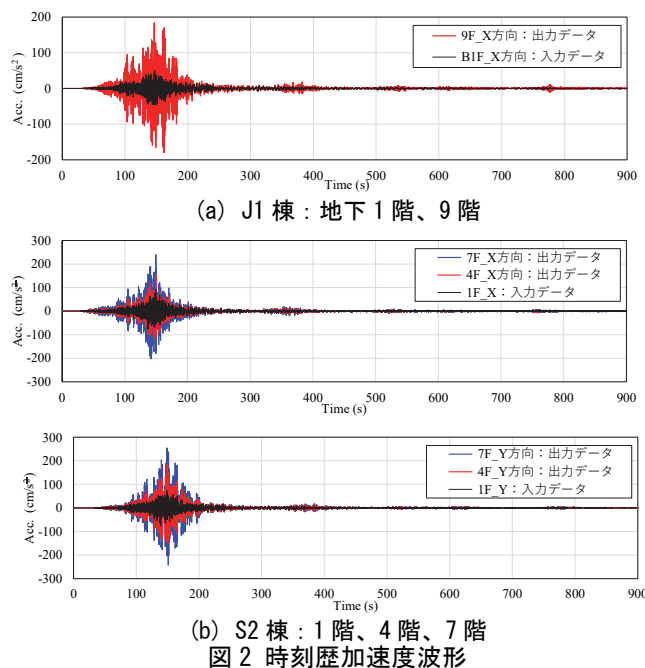


図1 計測位置

S2棟の加速度計は、1階、4階、7階の1か所に設置されており(図1(b))、同定はX、Yの2方向について行う。

検討に用いる観測記録は、計測開始から100個のデータの平均値を全体から引き、初期値の補正を行っている。観測された加速度時刻歴波形を図2に示す。



(a) J1 棟 : 地下1階、9階

(b) S2 棟 : 1階、4階、7階

図2 時刻歴加速度波形

4. 解析方法の概要

本研究では、観測記録の加速度時刻歴を入出力データとして使用する。部分空間法では、設定した次数の状態空間モデルを推定しており、状態空間モデルは次式で表される。

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{H}\mathbf{e}(t) \quad (1)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t) + \mathbf{e}(t) \quad (2)$$

ここに、 \mathbf{A} 、 \mathbf{B} 、 \mathbf{C} 、 \mathbf{D} および \mathbf{H} は状態空間行列であり、 $\mathbf{u}(t)$ 、 $\mathbf{y}(t)$ 、 $\mathbf{e}(t)$ および $\mathbf{x}(t)$ は、それぞれ時刻 t における入力ベクトル、出力ベクトル、外乱ベクトルおよび状態ベクトルである。

次に、構造物の固有振動数と減衰定数の同定方法について、外乱を受ける構造物の運動方程式は次式で表される。

$$\mathbf{M}\ddot{\boldsymbol{\xi}}(t) + \mathbf{C}\dot{\boldsymbol{\xi}}(t) + \mathbf{K}\boldsymbol{\xi}(t) = \mathbf{f}(t) \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{\boldsymbol{\xi}}(t) \\ \dot{\boldsymbol{\xi}}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} & -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\xi}(t) \\ \dot{\boldsymbol{\xi}}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{M}^{-1} \end{bmatrix} \mathbf{f}(t) \quad (4)$$

ここに、 \mathbf{M} は質量マトリクス、 \mathbf{C} は減衰マトリクス、 \mathbf{K} は剛性マトリクス、 $\boldsymbol{\xi}(t)$ および $\mathbf{f}(t)$ は、それぞれ時刻 t における変位ベクトルおよび外力ベクトル、 \mathbf{I} は単位マトリクスである。式(5)、式(6)を用いれば、式(7)のように書ける。

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\xi}(t) \\ \dot{\boldsymbol{\xi}}(t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{f}(t) \quad (6)$$

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} & -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{C} \end{bmatrix} \mathbf{x}(t) + \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{M}^{-1} \end{bmatrix} \mathbf{u}(t) \quad (7)$$

式(7)と式(1)に示した状態方程式から、行列 \mathbf{A} が式(8)のように与えられる。

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} & -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{C} \end{bmatrix} \quad (8)$$

行列 \mathbf{A} の j 次の固有値 λ_j は、構造物の j 次モードの固有円振動数 ω_j (rad/s) と減衰定数 h_j を用いて次式で表される。

$$\lambda_j = -\omega_j h_j \pm i\omega_j \sqrt{1 - h_j^2} \quad (9)$$

なお、 i は虚数単位である。

式(9)より、構造物の固有周期と減衰定数を求める¹⁾。

5. 全時間を対象とした同定結果

J1 棟においては、地下1階のデータを入力、9階のデータを出力とし、S2 棟は、X、Y 方向のそれぞれについて、1階を入力、4階と7階を出力としたケースと1階を入力、7階を出力としたケースの2つの解析を行う。なお、システム次数は最適なものを採用した。

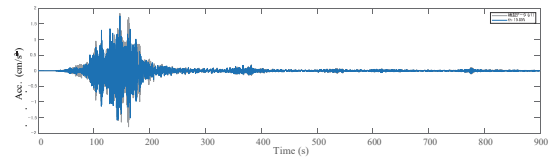
図3に部分空間法により、全時間(900秒)を用いて同定した状況を示す。また、表1に各建物における固有周期と減衰定数を示す。

*1 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 講師・博士(工学)

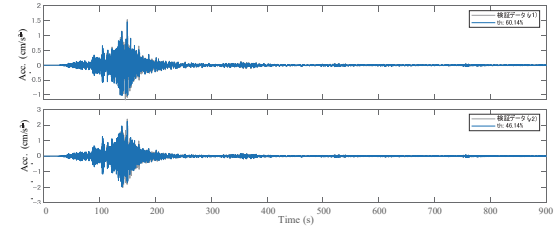
*2 大和ハウス工業(株) 東京構造設計部・博士(工学)

*3 東京工業大学 科学技術創成研究院 准教授・博士(工学)

*4 ダイナミック コントロール デザイン オフィス 代表・博士(工学)



(a) J1 棟 入力：地下1階・出力：9階



(b) S2 棟 X 方向 入力：1階・出力：4階、7階

図3 加速度応答の同定状況

表1 固有周期と減衰定数

(a) J1 棟

	固有周期(s)	減衰定数
1次	0.6587	0.0355
2次	0.4089	0.3074
3次	0.1778	0.0526

(b) S2 棟 X 方向入力

	入力：1階・出力：4階、7階		入力：1階・出力：7階	
	固有周期(s)	減衰定数	固有周期(s)	減衰定数
1次	0.3991	0.2156	0.3790	0.0525
2次	0.3635	0.0440	0.3765	0.3334
3次	0.3216	0.5907	0.3289	0.0565

(c) S2 棟 Y 方向入力

	入力：1階・出力：4階、7階		入力：1階・出力：7階	
	固有周期(s)	減衰定数	固有周期(s)	減衰定数
1次	0.8033	0.0483	0.7605	0.0620
2次	0.6694	0.0612	0.5967	0.0383
3次	0.2777	0.3923	0.2235	0.0998

これらの結果より、J1 棟の固有周期は約 0.66 秒となった。また、S2 棟の X 方向は約 0.38 秒、Y 方向は約 0.78 秒となり、Y 方向のほうが固有周期は長い結果となった。

6. まとめ

本報その1では、建物概要と観測システムならびに解析方法について説明するとともに、全時間を対象とした部分空間法による同定を行い、各建物の固有周期ならびに減衰定数を算定した。

参考文献

- 1) 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79号, pp.923-932, 2014.6

*1 Assoc. Prof., Graduate School of Tokushima Univ., Dr. Eng.

*2 Daiwa house Industry Co., Ltd., Dr. Eng.

*3 Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*4 Dynamic Control Design Office, Dr. Eng.