

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	複数の手法による LGS 間仕切り壁の振動数と減衰の同定
Title(English)	Identification of Natural Frequency and Damping Ratio of LGS Partition Walls using Multiple Methods
著者(和文)	萩原宙, 佐藤大樹, 陳引力
Authors(English)	Sora Hagiwara, Daiki Sato, Yinli Chen
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, I, , pp. 329-332
Citation(English)	, I, , pp. 329-332
発行日 / Pub. date	2026, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

複数の手法による LGS 間仕切り壁の振動数と減衰の同定

構造—振動

正会員 ○ 萩原 宙^{*1}
〃 陳 引力^{*3}正会員 佐藤大樹^{*2}軽量鉄骨下地 間仕切り壁 固有振動数
減衰定数 構造ヘルスモニタリング

1. はじめに

近年の地震災害の実例から、非構造部材に起因する被害が建物全体の機能停止や損壊拡大に影響を及ぼすことが明らかになっている。地震被害を低減するためには、建物各部の地震時挙動を把握することが重要であり、そのためには、振動特性の解明が不可欠となる。振動特性を表す指標として、固有振動数や減衰定数は基本的かつ重要なパラメータである。構造部材を対象とした既往研究では、複数の手法を用いて固有振動数や減衰定数を同定し、それらの結果を比較検討する研究が報告されている¹⁾。これらの比較検討を通じて、手法ごとの特徴や同定結果の差異が議論されている。

一方、非構造部材である間仕切り壁については、地震被害との関係が指摘されているものの、振動特性に関する知見は十分ではなく、複数手法による体系的な比較の報告例は多くない。そこで本報では、間仕切り壁の観測記録に対して、応答スペクトル比のカーブフィット法、FDD法、および RD 法を適用し、固有振動数および減衰定数の同定を行い、各手法の結果を比較する。

2. 対象の建物および観測システムの概要

対象建物は、Fig. 1 に示す東京科学大学すずかけ台キャンパスの J2-3 棟である²⁾。J2-3 棟は 20 階建ての高さ 91.4 m の超高層免震建物であり、免震層は 1 階と 2 階の間にある。本報では、J3 棟 7 階の床および間仕切り壁の X 方向 (Fig. 1~Fig. 3) の観測データを扱う。加速度計の設置場所を Fig. 2 に、設置状況を Fig. 3 に示す。加速度計 P0 は床の上に、加速度計 P1 と P2 は間仕切り壁の壁面に設置されている。加速度計 P1 と P2 は Fig. 3 のように床からそれぞれ 1960 mm、1280 mm の高さに設置され、加速度計 P0 は床に設置されており、P0 と P1、P2 は平面的には約 5 m 離れている。加速度計のサンプリング周波数は 100 Hz、カットオフ周波数は 31.25 Hz である。

対象の間仕切り壁は、下地が C65 形@303、仕上げが 12.5 mm の強化せっこうボードと 9.5 mm の硬質せっこうボードの両面 2 枚張の仕様である³⁾。

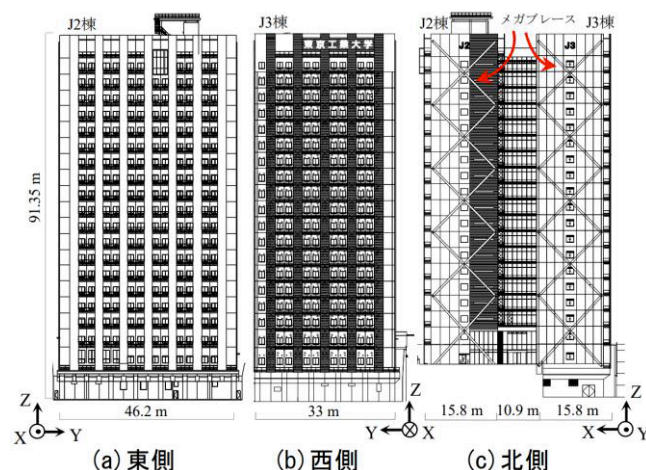


Fig. 1 J2-3 棟立面図

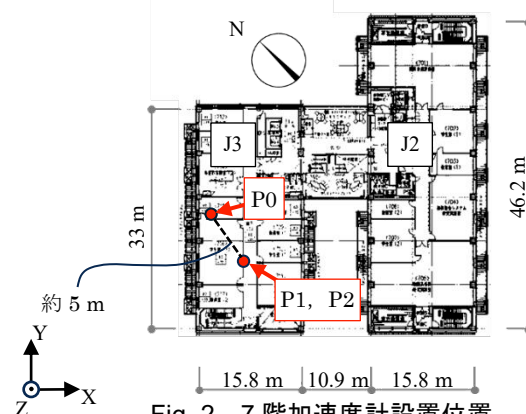


Fig. 2 7 階加速度計設置位置

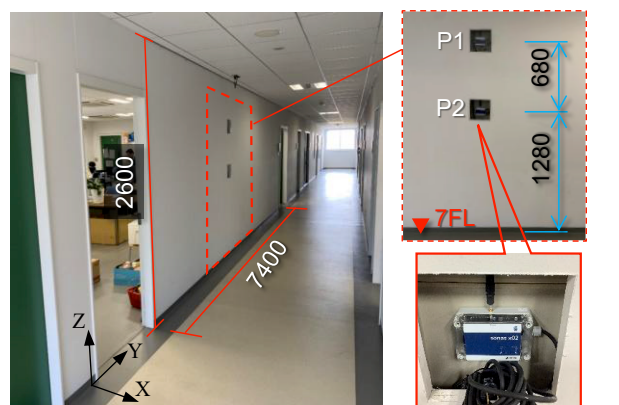


Fig. 3 加速度計 P1, P2 設置状況

単位:mm

3. 微動計測時刻の概要

Table 1 に、微動観測の対象となる時刻を示す。対象は 2024 年 7 月から 2025 年 6 月までの各月における原則 10 日、20 日、30 日の午前 0 時 00 分 00 秒から午前 0 時 08 分 00 秒までの 480 秒間である。

Table 1 対象の日時

年	月	日付	時刻
2024	7	10 日, 20 日, 30 日	0:00:00 ~ 0:08:00
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		
2025	1	10 日, 20 日, 28 日	
	2		
	3	10 日, 20 日, 30 日	
	4		
	5		
	6		

4. 各手法の同定の概要

本章では、観測データの周波数領域情報に基づき、間仕切り壁の固有振動数および減衰定数を同定する。対象とする手法は、応答スペクトル比に基づくカーブフィット法（SR 法）、FDD 法および RD 法であり、各手法の適用方法を述べる。

4.1 SR 法

本節では、応答スペクトルの絶対値比を用いてカーブフィットにより振動特性を同定する手法（Spectral Ratio method, 以下 SR 法）の概要を述べる。480 秒の観測記録を 12 秒×40 区間に分割し、各区間のフーリエ振幅スペクトルを算出し、平均することでスペクトルの平滑化処理を行う。加速度計 P1 または P2 (Fig. 3) の平均スペクトルを加速度計 P0 の平均スペクトルで除すことで、スペクトル比 H_{obs} を求める（式 (1)）。

$$H_{\text{obs}} = \frac{|F_{\text{P1}}|}{|F_{\text{P0}}|} \quad (1)$$

$|F_{\text{P1}}|$: 加速度計 P1, P2 の平均フーリエ振幅スペクトル

$|F_{\text{P0}}|$: 加速度計 P0 の平均フーリエ振幅スペクトル

本報では、式 (2) に示す 1 質点系の周波数応答関数の振幅モデルを同定に用いる。式 (2) の第 2 項は、高次モードの影響を近似的に表す定数項である。

$$H_{\text{est}} = \left| b_1 \left(\frac{1 + 2h_1 \left(\frac{f}{f_1} \right) i}{1 - \left(\frac{f}{f_1} \right)^2 + 2h_1 \left(\frac{f}{f_1} \right) i} \right) + C \right| \quad (2)$$

b_1 : 比例係数, h_1 : 減衰定数, f_1 : 固有振動数, C : 定数, f : 振動数

未知数 (b_1 , h_1 , f_1 , C) は、 H_{obs} と H_{est} の残差二乗和を f_v から f_e までの範囲で最小とするように求め、最小二乗法により同定した（式 (3)）。本報では、1 次ピーク周辺をフィットするため、 $f_v = 6.5 \text{ Hz}$, $f_e = 9.5 \text{ Hz}$ とした。

$$S = \int_{f_v}^{f_e} (H_{\text{obs}} - H_{\text{est}})^2 df \quad (3)$$

Fig. 4 に、同定の例を示す。Fig. 4 より、フィット範囲内において、 H_{est} は H_{obs} のピーク形状を良好に再現していることが確認される。

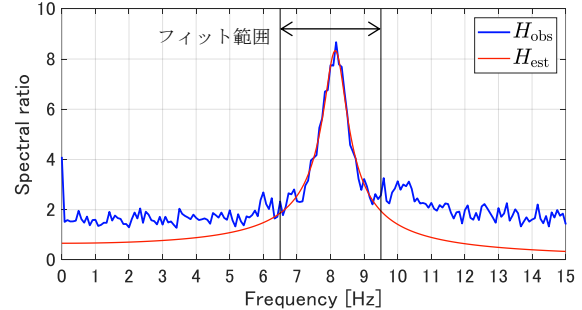


Fig. 4 スペクトル比の同定の一例（2025/01/10, P1）

4.2 FDD 法

本節では、Frequency Domain Decomposition 法⁴⁾（以降 FDD 法）による同定の概要を述べる。加速度計 P1 および P2 (Fig. 3) の 480 秒間の観測記録を 12 秒ごとに 40 区間に分割し、各区間に対して FDD 解析を行い、得られた特異値スペクトル（Singular value spectrum）を平均して、スペクトルの平滑化を行った。

次に、この特異値曲線における一次ピークについて、周辺のピーク成分の混入による包絡の変調が生じないように配慮して、観測データごとにバンド幅を適宜設定し、バンドパスフィルタ処理を施した（Fig. 5）。

フィルタ処理後の信号を逆フーリエ変換することで時刻歴波形を抽出し、これを 1 自由度系の自由減衰振動とみなして最小二乗法により減衰定数を同定した。なお、同定には、抽出波形の 2 個目の極小値から 7 個目の極小値ま

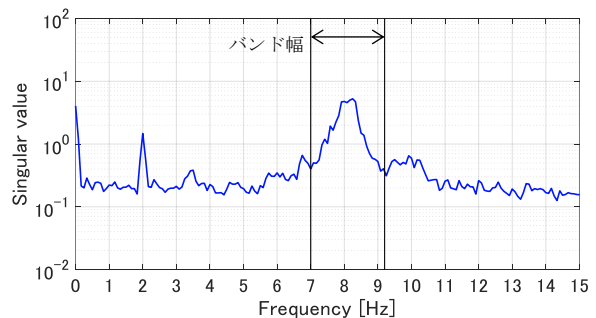


Fig. 5 特異値スペクトルの例（2025/01/10, P1）

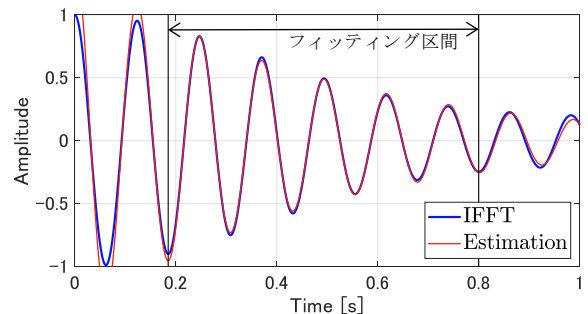


Fig. 6 FDD 法での波形の比較（2025/01/10, P1）

での区間でフィッティングをした (Fig. 6)。

Fig. 5 に、平均化して得られた特異値曲線と、設定したバンド幅の一例を示す。Fig. 6 には、Fig. 5 のバンド幅に基づいて抽出した波形 (IFFT, 青色) と、同定結果 (Estimation, 赤色) の比較例を示す。Fig. 6 より、抽出波形は単一モードが支配的な減衰振動となっており、本手法により精度よく同定できていることが確認される。

4.3 RD 法

本節では、Random Decrement 法 (以降 RD 法)⁵⁾による振動特性同定の概要を述べる。加速度計 P1 および P2 (Fig. 3) の 480 秒間の観測記録に対して、4.2 節の FDD 法と同一の周波数帯に基づいてバンドパスフィルタ処理を施した。次に、フィルタ処理後の加速度波形について、すべての極大値を起点として 1 秒間の区間波形を抽出し、これらを平均化することで RD 波形を算出した。

得られた RD 波形を 1 自由度系の自由減衰振動とみな

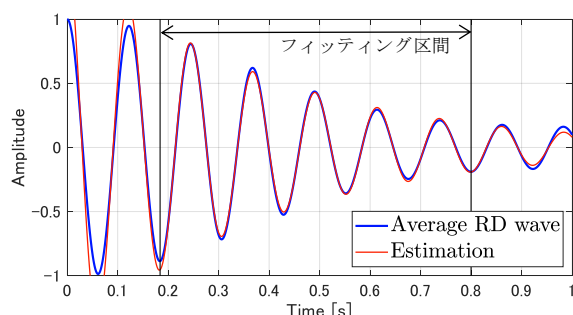


Fig. 7 RD 法での波形の比較 (2025/01/10, P1)

し、最小二乗法により減衰定数を同定した。なお、4.2 節と同様に抽出波形の 2 個目の極小値から 7 個目の極小値までの区間でフィッティングをした (Fig. 7)。

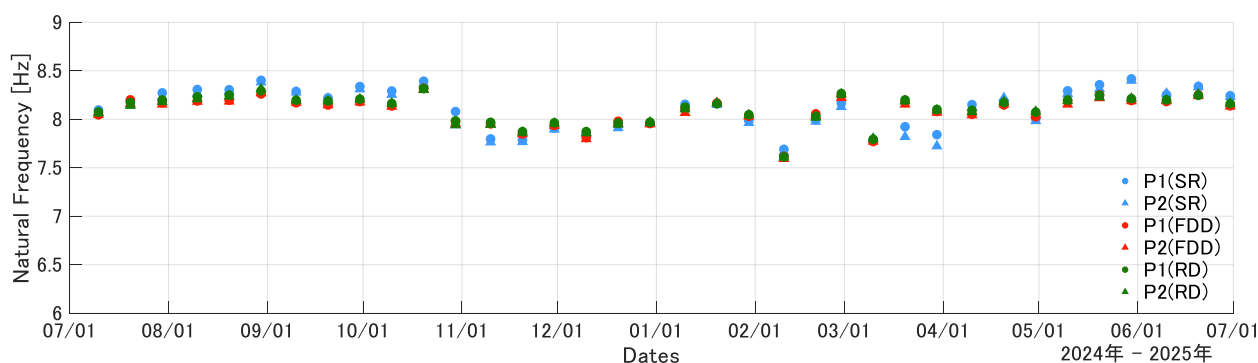
Fig. 7 に、RD 波形 (Average RD wave, 青色) と同定結果 (Estimation, 赤色) の比較例を示す。Fig. 7 より、平均化により得られた RD 波形は単一モードが支配的な滑らかな減衰振動となっており、本手法により精度よく同定できていることが確認される。

5. 同定結果

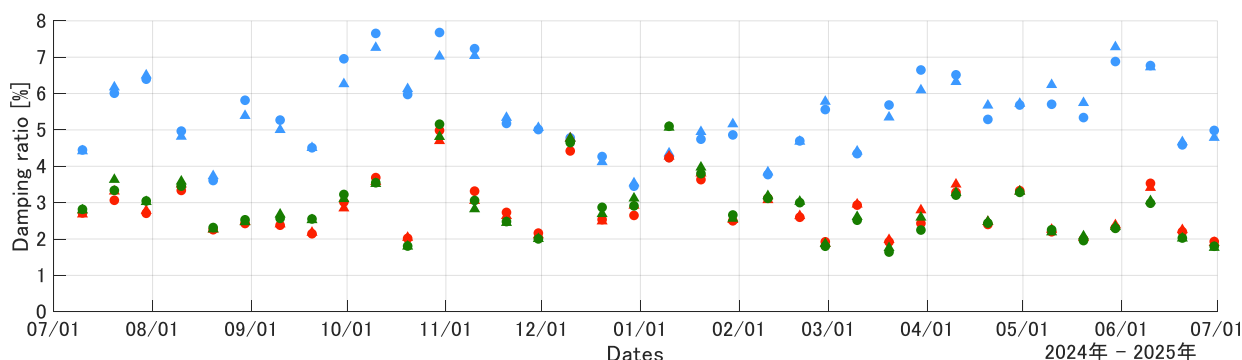
5.1 同定結果の概要

Fig. 8(a) および (b) に、各観測日における固有振動数および減衰定数の同定結果を示す。横軸は観測日、縦軸はそれぞれ固有振動数および減衰定数であり、SR 法、FDD 法、RD 法の各手法について、加速度計 P1 および P2 (Fig. 3) の結果を併せて示している。

まず、Fig. 8(a) の固有振動数の同定結果について述べる。いずれの観測日においても、各手法および両加速度計による結果は 7.5 Hz~8.5 Hz の範囲に収まり、概ね一致している。また、手法や加速度計位置による差はほとんど認められない。これは、いずれの手法においても同一のモード成分を適切に捉えており、固有振動数については安定して同定が行えていることを示している。一方、Fig. 8(b)に示す減衰定数の同定結果では、手法間で明確な系統差が認められる。FDD 法と RD 法による同定結果は互いによく一致し



(a)固有振動数



(b)減衰定数

Fig. 8 同定結果

ており、これは既往研究とも整合する結果である¹⁾。これら2手法の同定値が概ね2%～5%の範囲で推移しているのに対し、SR法は他2手法に比べて大きな値を示す傾向が認められる。この差異は、各手法における評価プロセスの違いに起因すると考えられる。SR法は応答スペクトル比のピーク付近の概形全体をカーブフィットして評価を行うため、周辺のノイズや近接モードの影響を含んで減衰が大きく評価されやすい。これに対し、FDD法およびRD法では、包絡の変調を避けるように狭いフィルタ処理によって抽出した波形に基づいて評価を行う。そのため、周辺成分の影響が抑制され、SR法と比較して減衰が小さめに同定される傾向を示したと考えられる。

5.2 振動振幅レベルと減衰定数の関係（FDD法・RD法）

4.2節および4.3節で行ったバンドパスフィルタ処理後の加速度波形の標準偏差と、FDD法およびRD法で同定された減衰定数の関係をFig.9に示す。また、標準偏差の区間ごとの減衰定数の平均値をTable2に示す。なお、SR法の分析ではバンドパスフィルタ処理を行っていないため、本節では考察の対象外とした。

Fig.9より、いずれの手法においても、加速度波形の標準偏差が増大するにつれて、同定される減衰定数も大きくなる傾向が確認された。Table2に示す通り、標準偏差0.06 cm/s²未満の区間と比較し、0.08 cm/s²以上の区間では、減衰定数の平均値が約0.6～1.0%程度上昇している。この傾向は、対象とした間仕切り壁が部材間の接触や摩擦、あるいはガタツキ等の影響を受けやすい構造特性を持つため、微小振幅領域であっても振幅の増大に伴ってこれらの非線形挙動が顕在化し、見かけの減衰性能が変動する「振幅依存性」を捉えている可能性がある。

以上より、FDD法およびRD法による同定結果は、入力波形の振幅レベルの影響を受けて変動する傾向が認められることが示された。微小振動記録を用いた評価においては、対象波形の振幅レベル（標準偏差）に留意し、適切な記録の選定を行う必要がある。

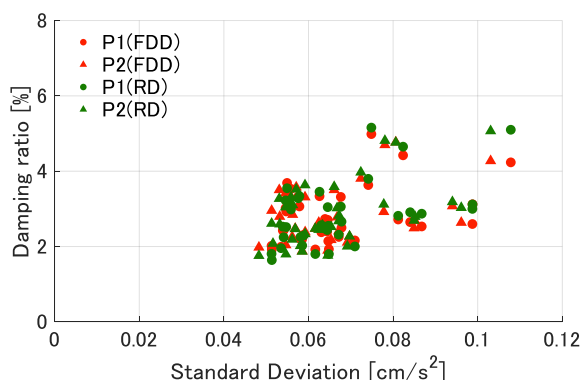


Fig.9 波形の標準偏差と同定された減衰定数の関係

Table 2 手法ごとの減衰定数の平均値

標準偏差 [cm/s ²]	0.06 未満	0.06～0.08	0.08 以上	全データ
FDD 法	2.69 [%]	2.77 [%]	3.25 [%]	2.82 [%]
RD 法	2.59 [%]	2.83 [%]	3.54 [%]	2.86 [%]
データ数	31	28	13	72

6. まとめ

本報では、間仕切り壁の観測記録に対して、複数の手法によって固有振動数・減衰定数の同定を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) SR法では応答スペクトル比によるカーブフィットを、FDD法およびRD法ではバンドパスフィルタ処理後の波形抽出を行った結果、各手法において、固有振動数と減衰定数を精度よく同定できた。
- (2) 同定結果は、固有振動数は日付や手法および加速度計に依らず7.5 Hz～8.5 Hzでほぼ一定であった一方、減衰定数は観測日や手法によって異なる結果となった。特に、FDD法・RD法は類似していたが、SR法では他2手法よりも大きな減衰定数が同定された。
- (3) FDD法およびRD法では、加速度波形の標準偏差が増大するにつれて減衰定数の同定結果も大きくなる、振幅依存性が確認された。このため、微動による減衰評価では振幅レベルに留意した記録選定が不可欠だと言える。

謝辞

本計測システムは、JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム（JPMJOP1723：代表 吉敷祥一）により設置されたものです。

参考文献

- 1) 吉田昭仁, 田村幸雄, 舛田健次, 伊藤隆文: 超高鋼製煙突の動特性評価(その2 2自由度RD法とFDDによる動特性評価), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.601-604, 2003.11
- 2) 菊地岳史, 藤森智, 竹内徹, 和田章: メガブレースを用いた超高層免震鋼構造建築物の設計, 日本建築学会技術報告集, 第22号, pp.217-222, 2005.12
- 3) 柳屋早延, 佐藤大樹, Alex Shegay, 吉敷祥一, 石原直, 元結正次郎: 超高層免震建物の複数地震観測に基づくLGS間仕切り壁の振動数の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.687-688, 2024.9
- 4) Brincker, R., Zhang, L., Andersen, P.: Output-only modal analysis by frequency domain decomposition, Proceedings of the ISMA25 Noise and Vibration Engineering, pp.717-723, 2000.9
- 5) 田村幸雄, 佐々木淳, 塚越治夫: RD法による構造物のランダム振動時の減衰評価, 日本建築学会構造系論文報告集, 第454号, pp.29-38, 1993.12

*1 東京科学大学 大学院生

*2 東京科学大学 総合研究院 准教授・博士（工学）

*3 東京科学大学 総合研究院 助教・博士（学術）

Undergraduate Student, Institute of Science Tokyo *1

Associate Professor, IIR, Institute of Science Tokyo, Dr.Eng *2

Assistant Professor, IIR, Institute of Science Tokyo, Ph.D. *3