

地震記録に基づく高層鉄骨造建物の固有振動数とモード減衰比の相関性
Correlation between Natural Frequencies and Modal Damping Ratios
in High-rise Steel Buildings Based on Earthquake Records

○池田芳樹・倉田真宏・和田拓也

○Yoshiki IKEDA, Masahiro KURATA, Takuya WADA

Modal system identification is applied to many earthquake responses recorded in five high-rise steel buildings to understand correlations among their natural frequencies, the corresponding damping ratios and peak structural responses. For each building, these correlations before and after the 2011 Great Tohoku Earthquake are compared. The natural frequency-damping ratio relation provides a new viewpoint to analyze variance in modal property independently of seismic response. In each low vibration mode, the damping ratio is approximated as a quadratic equation of natural frequency and it has a peak value at a certain frequency.

1. はじめに

実建物は、設計で構造部材が弾性範囲内にあると仮定する大きさの地震でも非線形性を示す。2011年東北地方太平洋沖地震では、余震を含めた多くの振動データが同一建物で記録され、その分析から等価線形系として評価した固有振動数とモード減衰比の振幅依存性が確認されている^{1),2)}。

既往の研究は、固有振動数とモード減衰比を互いに独立に応答振幅と関連付けてきた。等価線形系として動特性を評価し易い高層鉄骨造建物では、固有振動数が地震応答振幅の対数の1次関数と高い相関性を示す一方、モード減衰比は単純な関数で表現できない複雑な振幅依存性をもっていることが報告されている。著者らは、固有振動数が応答振幅と高い相関を有することを利用して、本震データから余震時の固有振動数を予測する方法を提案している³⁾。しかしながら、モード減衰比の振幅依存性は複雑であるため、その予測には従来とは異なるアプローチが必要である。

ここでは、東北地方太平洋沖地震を受けた高層鉄骨造建物5棟で、固有振動数とモード減衰比の相関性を調べ、モード減衰比が固有振動数の2次式で近似できる傾向を有することを示す⁴⁾。この性質を利用すると、建物応答を介さずに、固有振動数からモード減衰比を大まかに推測できる。

2. 対象建物、分析データおよび同定法

対象建物は、工学院大学新宿校舎と建築研究所が地震応答記録を公開している庁舎4棟である

(表1)。東北地方太平洋沖地震による構造的被害は確認されていない。表の分析記録数は、最初の数字が東北地方太平洋沖地震本震より前の数、2番目が本震以降の数である。モード同定では、入力を建物1階または地階の加速度、出力を最上階近くの加速度とする1入力1出力ARXモデルを用いた。

表1 分析対象建物

建物	所在地	階数	利用計測階	分析記録数
A	新宿区	29F+B6F	29F, 1F	0, 94
B	仙台市	15F+B2F	15F, B2F	57, 164
C	千代田区	20F+B3F	19F, 1F	24, 93
D	千代田区	21F+B4F	21F, B4F	132, 234
E	横浜市	23F+B3F	21F, B2F	57, 113

3. 固有振動数とモード減衰比の振幅依存性

図1に、建物Bの短辺方向における固有振動数とモード減衰比の振幅依存性を示す。図2は建物Dの短辺方向における同様の図である。図1では15階の最大加速度を、図2では21階の最大加速度を横軸としている。●は東北地方太平洋沖地震前の分析、△は本震以降の分析である。すでに指摘されているように、モード減衰比の振幅依存性は固有振動数に比較して複雑であり、値の変動も大きい。減衰はある振幅までは増加し、その後に低下または一定になる傾向が見られる。減衰では、本震前後の明確な振幅依存性の変化は見られない。この現象は、残る3棟にも共通していた。

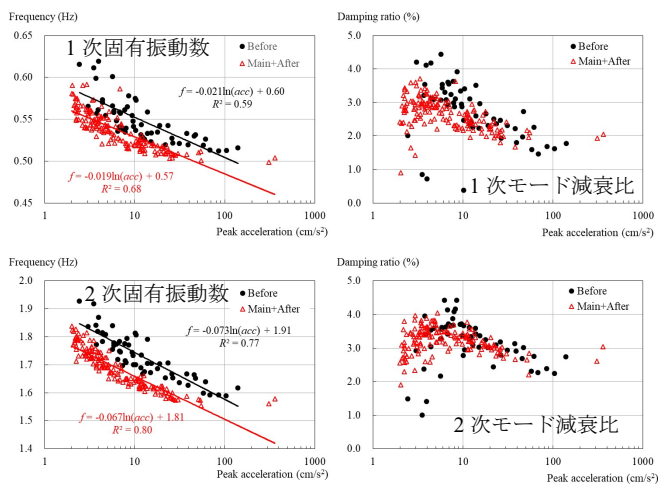


図1 モード特性の振幅依存性 (建物 B 短辺方向)

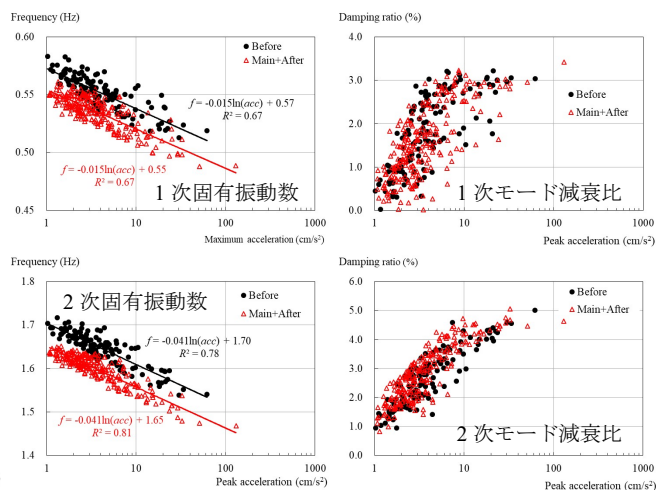


図2 モード特性の振幅依存性 (建物 D 短辺方向)

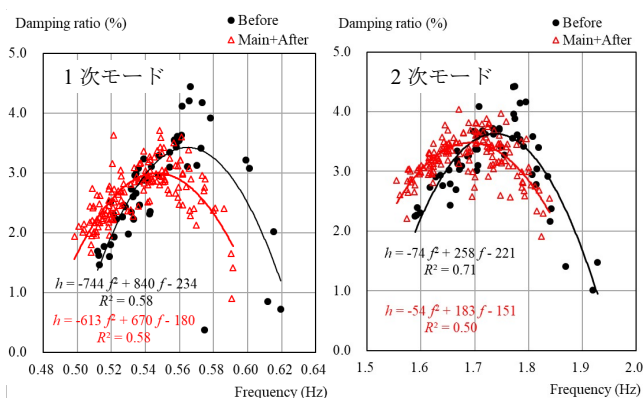


図3 固有振動数とモード減衰の関係 (図1に対応)

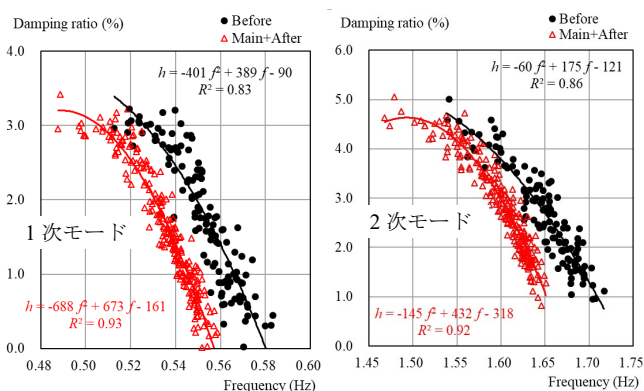


図4 固有振動数とモード減衰の関係 (図2に対応)

4. 固有振動数とモード減衰比の相関性

振幅依存性は、用いる応答の種類 (加速度/速度/変位, 最大値/平均値など) の影響を受ける。そして、線形系では固有振動数とモード減衰比は系の極として表現される。そこで固有振動数と減衰比を図3と4で直接比較する。図1と2と同じく本震の前後を区別している。固有振動数を変数とした2次回帰式は相関関係を大まかに捉えている。上に凸である形状は、減衰が極大となる固有振動数が存在することを意味する。図1と2に比較して、モード減衰比の変動は抑えられる傾向にある。

5. まとめ

高層鉄骨造建物5棟で固有振動数とモード減衰比の相関性を調べた結果、モード減衰比は固有振動数の2次式で回帰できる可能性を示した。利用データの応答振幅の範囲では、ある固有振動数で減衰比は極大値をもっていた。この回帰式を用いれば、固有振動数から応答を介さずにモード減衰比を推測できる可能性が示された。

謝辞

本研究は、公益財団法人・鹿島学術振興財団から研究助成金を受けました。国立研究開発法人・建築研究所からは、建物4棟で長年記録された地震時の加速度記録をご提供頂きました。また、工学院大学・久田研究室が公開している工学院大学新宿校舎の地震記録も使わせて頂きました。研究助成と地震記録の提供に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 篠原, 風間: 2011年東北地方太平洋沖地震を受けた日建設計東京ビルの地震記録 (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II: 1151-1152, 2012
- 2) Kashima T.: Study on changes in dynamic characteristics of high-rise steel-framed buildings based on strong motion data, *Procedia Engineering*, 199: 194-199, 2017
- 3) 和田, 池田, 倉田, 鹿嶋: 振幅依存性をもつ鉄骨造建物の固有振動数を本震応答のみで評価する方法の検証, 構造工学論文集, 65B: 17-30, 2019
- 4) 和田, 池田, 倉田: 地震観測記録に基づく高層鉄骨造建物の固有振動数とモード減衰の相関性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II: 733-734, 2019