

# 鉄骨住宅の固有振動特性に関する研究

## その3 近接固有値による連成うなり振動を考慮した分析

正会員 ○ 西畠 尚\*  
 同 福和 伸夫\*\*  
 同 飛田 潤\*\*\*

近接固有値	連成うなり振動	固有振動数
減衰定数	伝達関数	鉄骨住宅

### 1.はじめに

高層ビル等の地震応答解析に用いる減衰定数は、常時微動記録や強震観測記録の分析結果に基づいて評価されている。そのため、実建物の観測や振動実験に基づき、正確な減衰定数を評価することは重要である。しかし、水平2方向の固有振動数が近接すると、モード間カップリングに伴う連成うなり振動が生じ<sup>1)</sup>、通常の1自由度系モデルを用いた減衰評価では、減衰定数を過大、過小評価する可能性が高い。固有振動数の近接は純ラーメン構造ではよく見られる。著者らは、実在の鉄骨住宅の振動実験において、水平2方向の固有振動数が互いに近接する場合、並進連成振動系となり、うなり振動が励起され、減衰定数を過大評価する可能性があることを確認した<sup>2)</sup>。また、モデルによる数値解析からも同様の現象が生じることを示した<sup>3)</sup>。これを回避するには、並進連成振動系を考慮に入れて減衰定数を評価することが必要になる。そこで、連成うなり振動が生じる2軸剛性偏心が存在する1質点3自由度系モデルを考え、並進連成振動系を考慮に入れた減衰評価手法を提案し、応答解析によりその有効性を検討した<sup>4)</sup>。本論では、実際の振動実験データ<sup>2)</sup>に提案する手法を用いて、並進連成振動系を考慮に入れた分析を行い、1自由度系の分析方法による振動実験結果と比較検討を行う。

### 2.振動実験の概要

図1に振動実験対象建物(NF邸)の平面図を示す。図中には、センサー(微動計、地震計)の設置位置も併せて示す。2階建ての戸建専用住宅で、基礎構造は鉄筋コンクリートの連続ブ基礎である。上部構造は防錆処理された角柱とH型鋼で構成されており、ブリース状の耐震パネルが各所に設置されている。さらに、外壁・床にはALC版、内装壁には石膏ボードが用いられている。振動実験は4回の建設段階に分けて行った。表1に各建設段階の状況を示す。実験内容は常時微動、起振機を用いた周波数スウェープ加振実験、自由振動実験であり、動コイル型微動計とサーボ型加速度計を用いて記録した。これらの実験結果に基づき、連成振動を考慮に入れて固有振動数・減衰定数を評価し振動特性の把握を試みた。

### 3.並進連成うなり振動を考慮した減衰推定手法

図2に並進連成うなり振動が生じる2軸剛性偏心の1質点3自由度系モデルを示す。このモデルを用いて導いた、2方向の固有値が近接する並進連成うなり振動を考慮に入れた減衰評価手法を以下に示す。

#### (1)伝達関数曲線適合法

並進連成振動系の動的応答倍率をフィッティング関数とし、観測記録から求めた伝達関数に対して非線形最小2乗法を用いて減衰定数を推定する。

$$\frac{A_y}{\delta_y} = \sqrt{\left[ \sum_{k=1}^3 C_{l,k} \frac{1}{\lambda_k^2} \frac{1 - \left( \frac{\omega_0}{\omega_k} \right)^2}{\left\{ 1 - \left( \frac{\omega_0}{\omega_k} \right)^2 + 4h_k^2 \left( \frac{\omega_0}{\omega_k} \right)^2 \right\}^2} \right]^2 + \left[ \sum_{k=1}^3 C_{l,k} \frac{1}{\lambda_k^2} \frac{2h_k \left( \frac{\omega_0}{\omega_k} \right)}{\left\{ 1 - \left( \frac{\omega_0}{\omega_k} \right)^2 \right\}^2 + 4h_k^2 \left( \frac{\omega_0}{\omega_k} \right)^2} \right]^2}$$

ただし、 $k=1,2,3$ において、

パラメータは $h_1, h_2, h_3, \omega_1, \omega_2, \omega_3, c_1, c_2, c_3$  の計9個である。

$h_k$ : k次の減衰定数、 $\omega_k$ : k次の固有円振動数、 $C_k = c_k : k$ 次の重み

$l = x, y, \theta : x, y$ 方向並進変位および振れ回転角

#### (2)自由度RD法

連成うなり振動が現れた自由振動波形、或いはRD波形を2つの1自由度系の自由振動波形に分解できると仮定し、式(3)の2自由度系の自由振動をフィッティング関数とし、非線形最小2乗法を用いて減衰定数を推定する<sup>5)</sup>。

$$x_k(t) = \frac{x_{0k}}{\sqrt{1-h_k^2}} e^{-h_k \omega_k t} \cos(\sqrt{1-h_k^2} \omega_k t - \phi_k)$$

$$x(t) = \sum_{k=1}^2 x_k \quad \dots \dots \dots (3)$$

$x$ : フィッティング関数  $x_k$ : k次の自由振動波形

$x_{0k}$ : k次の自由振動波形の初期値  $h_k$ : k次の減衰定数

$\omega_k$ : k次の固有円振動数  $\phi_k$ : k次の初期位相  $t$ : 時間

パラメータは $x_{01}, x_{02}, h_1, h_2, \omega_1, \omega_2, \phi_1, \phi_2$ の計8個である。

表1 建設段階の推移

単位(kN)

建設段階	建物概要	総重量	備考
1	鉄骨フレーム+床板	181	
2	外壁取り付け後	277	R階のみ床モルタル、外壁目地シーリング前
3	屋根設置後	344	床モルタル充填完了、一部外壁シーリング
4	内装中	577	
	竣工後	624	積載荷重を含む

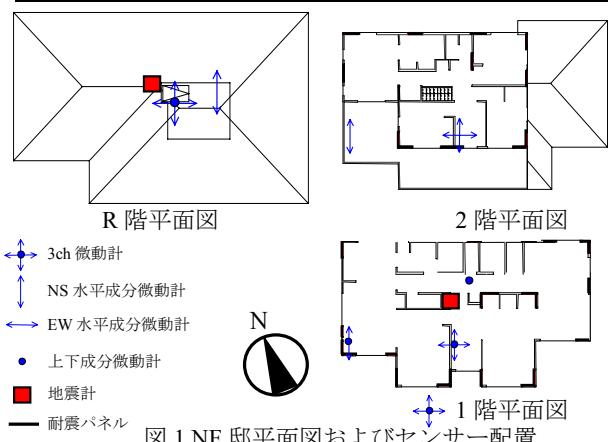


図1 NF邸平面図およびセンサー配置

#### 4. 分析方法が評価値に与える影響

NF邸の常時微動記録と強制加振実験記録に基づき、従来の1自由度系の推定手法と並進連成振動系を考慮にいれた推定手法を用いて固有振動数及び減衰定数を推定し、分析方法の違いによる固有振動数と減衰定数の差について述べる。表2に分析した内容を示す。水平2方向の固有振動数が互いに近接し、連成うなり振動が励起された常時微動について、各方向のRD波形及び常時微動から求めた伝達関数と、それに対するカーブフィット曲線を図3に示す。また、図4、図5に実験方法・分析方法別の固有振動数・減衰定数の差異を建設段階ごとにまとめて示す。

図3より、連成うなり振動が励起された場合についても、連成振動を考慮した①、⑥の方法では、ともによくフィッティングできていることがわかる。また、図4、5より、固有振動数の推定値は連成振動の考慮の有無に関わらず、安定した値を得ることができた。減衰定数については、連成振動を考慮した分析方法による推定値は安定した値を得ることができて、連成振動を考慮していない従来の1自由度系の分析方法による推定値は大きなばらつきを示していることがわかる。また、第二建設段階と第三建設段階のNS方向において、3自由度系伝達関数カーブフィット法と2自由度系RD波形カーブフィット法の推定値に差がある原因是、水平2方向の固有振動数と捩れの固有振動数が非常に近接しており、捩れを考慮していない2自由度系RD波形カーブフィット法では、捩れ成分も含んだRD波形に対してフィッティングしきれなかつたためと考えられる。

#### 5. 結論

本論では、水平2方向の固有振動数の近接による連成うなり振動が励起された場合における減衰定数の評価について検

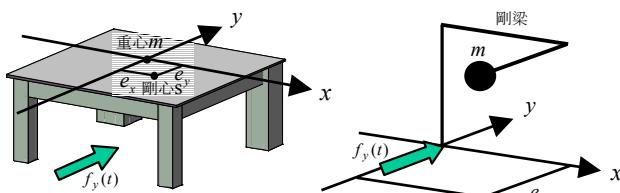


図2 モデル概念

表2 分析内容

計測種別	分析種別	連成振動考慮
常時微動	伝達関数	① 3自由度系カーブフィット
	伝達関数	② ピーク振動数+1/2h法
	伝達関数	③ 位相差+位相勾配法
	伝達関数	④ 1自由度系カーブフィット
	パワースペクトル	⑤ ピーク振動数+ハーフパワー法
	RD波形	⑥ 2自由度系カーブフィット
	RD波形	⑦ ゼロクロッシング法+対数減衰率
強制加振	共振曲線	⑧ ピーク振動数+1/√2法
	共振曲線	⑨ 1自由度系カーブフィット
	自由振動波形	⑩ 2自由度系カーブフィット
	自由振動波形	⑪ ゼロクロッシング法+対数減衰率

\* 中部電力・工修

\*\* 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博

\*\*\* 名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター・助教授・工博

討をした。連成うなり振動が励起された場合でも、連成振動を考慮した減衰推定を行えば、安定した固有振動特性の推定が可能であった。今後、水平2方向の固有振動数が近接した場合には、減衰の正確な推定の為に、連成振動を考慮に入れた分析を行う必要がある。

#### 5. 参考文献

- 坂本順、曲華、服部匠: 2軸剛性偏心骨組みの動特性と並進-捩れ連成うなり振動についての解析的考察,日本建築学会構造系論文報告集,No420,pp.143-152,1991.2
- 西畠尚、中田信治、福和伸夫、飛田潤:鉄骨住宅の固有振動特性に関する研究(その1),日本建築学会大会学術講演梗概集,B2,pp.875-876,2002.8
- 西畠尚、福和伸夫、飛田潤、中田信治: 近接固有値による連成うなり振動に関する考察, 日本建築学会東海支部研究報告集,第41号,pp.237-240,2003.2
- 西畠尚、福和伸夫、飛田潤:近接固有値による連成うなり振動を考慮した減衰推定手法, 日本建築学会東海支部研究報告集,第42号,pp.165-168,2004.2
- 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),日本建築学会大会学術講演梗概集,B2,pp.887-888,2002.8

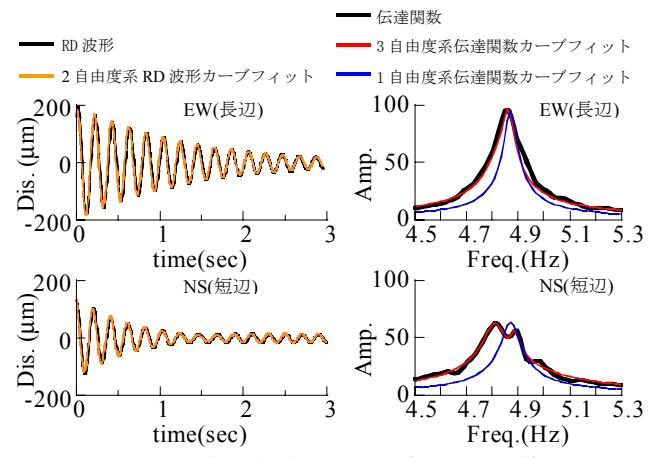


図3 常時微動記録に基づく分析結果

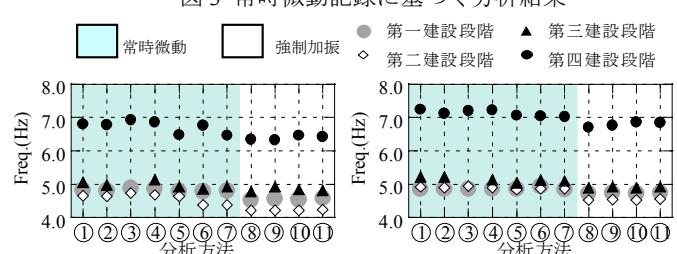


図4 分析方法別の固有振動数の分布

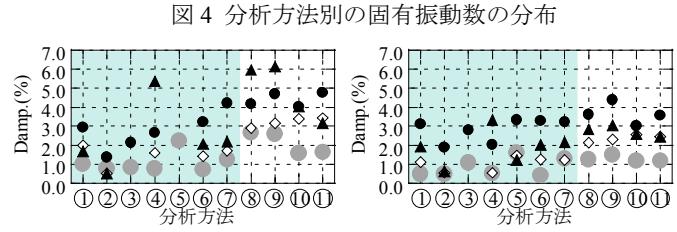


図5 分析方法別の減衰定数の分布

Chubu Electric Power Co.,Inc.,M.Eng

Prof.,Grad.School of Environmental Studies,Nagoya Univ.,Dr.Eng.

Assoc.Prof.,Research Center for Seismology,Volcanology and Disaster Mitigation, Grad.School of Environmental Studies, Nagoya Univ.,Dr.Eng.