

免震工法により改修計画された RC 造 5 層建物の振動性状の変化に関する検討

鉄筋コンクリート構造物 常時微動 耐震改修
固有周期 減衰定数

正会員 ○浅井 竜也*¹ 同 高橋 典之*²
同 崔 琥*² 同 中埜 良昭*³

1. はじめに

免震工法により改修計画された RC 造庁舎建物の工事前及び工事中の常時微動を計測し、振動性状の変化を分析した結果を報告する。

2. 対象建物及び耐震改修工事の概要

対象建物は、静岡県裾野市に建つ地下 1 階、地上 5 階建ての RC 造庁舎（裾野市役所、写真 1）であり、高さ 24.95m、地下 1 階は張間方向が 4 スパン（27.8m）／桁行方向が 10 スパン（56.6m）、1 階は張間方向が 3 スパン（27.8m）／桁行方向が 10 スパン（56.6m）、2 階～5 階は張間方向が 2 スパン（16.8m）／桁行方向が 8 スパン（44.6m）である。基礎下には、約 1 万年前の富士山の噴火により流出した溶岩が冷え固まる際に形成された空洞（第一・第二）が通る特異な地盤に建つ（図 1、写真 2）。

本建物では、2010 年より耐震改修工事が行われている。改修計画内容は、二つの地下空洞のうち地上に近い第一空洞へのエアミルクの充填、柱梁の補強、地下 1 階柱頭部への免震装置の設置、地下 1 階へのオイルダンパー 5 基の設置である。本報では、耐震改修工事の着工以前に行った常時微動計測の結果と、第一空洞の充填後、写真 3 のように地下 1 階にある RC 壁の多くを撤去し、柱の補強が一部終了した状態（免震装置、オイルダンパー未設置）での計測結果を比較した。



写真 1 対象建物全景

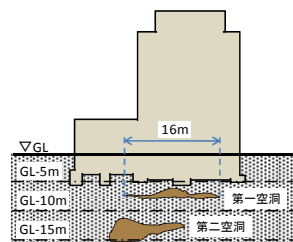


図 1 地下空洞の位置



写真 2 第一空洞の様子 写真 3 耐震改修工事の様子

3. 常時微動計測概要

耐震改修工事前の 2008 年 11 月と、工事中の 2010 年 12 月に計測を行った。測定機器は 2008 年に GEODAS-10-24HS、2010 年に GEODAS-15-HS を使用し

た。また、ピックアップはムービングコイル型速度計 CR4.5-2 型を使用し、サンプリング周波数は 100Hz、収録時間は 300 秒間とした。以上の条件のもと、図 2 に示す 4 つの計測ケースについて多点同時計測を実施した。

4. 計測結果

(1)卓越周期

計測ケース 1 より求めた、地下 1 階及び 1 階の常時微動水平成分のフーリエスペクトルに対する 5 階の常時微動水平成分のフーリエスペクトルの比を、バンド幅 0.5Hz の Parzen Window を用いて平滑化して（以下、全てのフーリエスペクトルを同様に平滑化して示す）図 3 に示す。5 階/地下 1 階の伝達関数による卓越周期は、桁行方向では 0.33 秒から 0.36 秒、張間方向では 0.25 秒から 0.28 秒となり、共に 0.03 秒程度延びた。

(2)スウェイ率、ロッキング率

計測ケース 1 より、スウェイ率については、桁行方向では固有周期及び位相が地下 1 階と 5 階で対応せず、振幅も小さいため算定できなかった。張間方向では、位相が一致する区間で振幅比をスウェイ率として求めたところ、2008 年は 14.2%・13.2%、2010 年は 13.8%・14.4% となり、スウェイ率の変化は見られなかった。一方、ロッキング率については固有周期及び位相が地下 1 階と 5 階で対応せず、振幅も小さいため算定できなかった。

(3)減衰特性

減衰定数の評価を RD 法^{[1][2]}により試みた。5 階の常時微動水平成分に 2～5Hz の周波数帯域を透過するバンドパスフィルターをかけ、微動波形正側のピークを抽出した（図 4）。各ピークから 2 秒間の波を抽出し、それらを重ね合わせた。図 5 のように重ね合わせた波の正負両側のピーク値を算定し、以下の式から減衰定数 ξ を求めた。

$$\xi = \frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{3} \times \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2\pi} \ln \frac{P_{2i-1}}{P_{2i+1}} + \frac{1}{3} \times \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2\pi} \ln \frac{P_{2i}}{P_{2i+2}} \right) \quad (1)$$

得られた減衰定数は重ね合わせ個数 600 個程度を超えると安定する傾向にある（図 6）。耐震改修工事中の値は、工事前に比べ 1% 程度低下した。

(4)地下 1 階に対する 1 階の振動増幅

計測ケース 2 より求めた、地下 1 階床面に対する 1 階床面のスペクトル比を図 7 に示す。桁行方向のスペクトル比は、耐震改修工事前は全周波数帯域において 1.0 程度であったが工事中は振動の増幅が見られ、張間方向では増幅する周波数帯が若干長周期化した。どちらも地下

1階でのRC壁撤去による影響と考えられる。鉛直方向に増幅は見られなかった。

(5)地下1階及び1階床面の挙動

計測ケース3により床面のねじれ挙動の有無を調べたところ、耐震改修工事前、工事中にかかわらず、両階ともにおいて水平成分の振幅・位相が概ね一致した。鉛直成分は図8左のように位相が一致せず、フーリエスペクトルにおいても、同図右のように卓越周期がピックアップ設置点によって異なっている。以上から、地下1階及び1階床面は水平方向には一体となって並進するが、鉛直方向には面外にねじれ挙動を示す場合があると考えられる。

計測ケース4により床面の中折れ挙動の有無を検討したところ、耐震改修工事前、工事中の地下1階及び1階床面において、波形は測定点同士で概ね一致しており、中折れ挙動は生じないと考えられる。

(6)第一空洞充填による振動性状への影響

空洞充填による影響を検討するため、空洞上にある地下1階床面（床面東端と中央）の振動性状を、耐震改修

工事前と工事中とで比較した。空洞を充填すると地盤が安定し杭基礎が固定されるため、地下1階床面において卓越周期の短周期化が想定されるが、既存地盤が溶岩質で十分堅固であったため、そのような傾向は見られなかった(図9)。

5. まとめ

耐震改修工事前と工事中のRC造5層建物の常時微動を計測し、振動性状の変化を分析した結果、卓越周期が0.03秒程度長周期化し、減衰定数が低下、地下1階に対する1階の振動が増幅するなど、地下1階のRC壁撤去による影響が表れていた。一方、地下空洞を充填したことによる振動性状の変化は見られなかった。

【謝辞】

本調査の実施にあたり、静岡県、裾野市、戸田建設株式会社に協力を得た。ここに謝意を表す。

【参考文献】

- [1] 日本建築学会：建築物の減衰，2000.10
- [2] 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，日本建築学会論文報告集，第454号，pp.29-38，1993.12

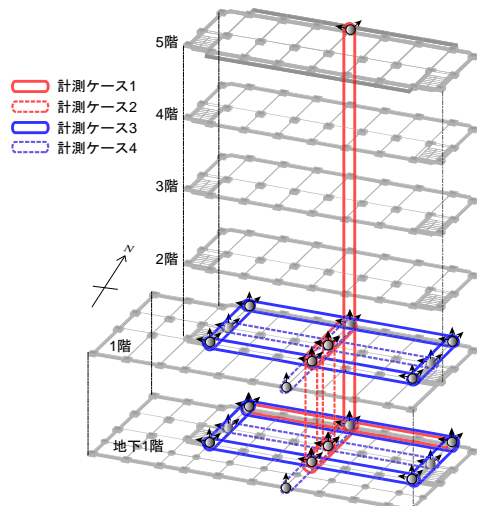


図2 計測ケース一覧

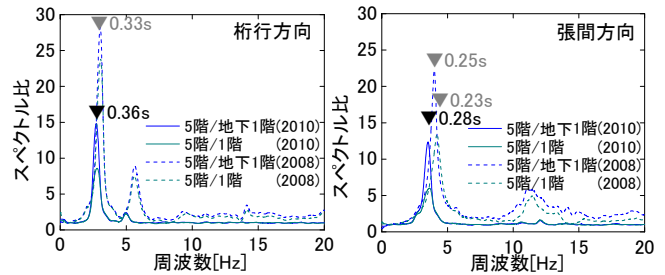


図3 周波数スペクトルの比較

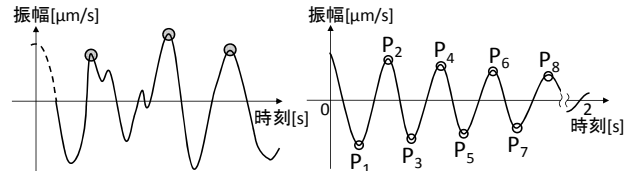


図4 ピーク選定方法

図5 減衰定数算定方法

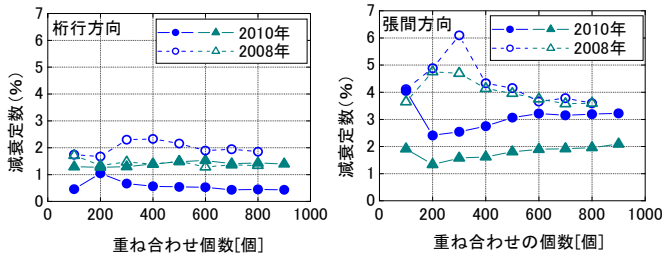


図6 減衰定数の評価結果

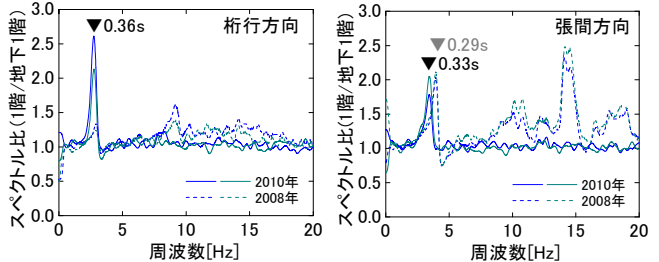


図7 地下1階床面に対する1階床面のスペクトル比

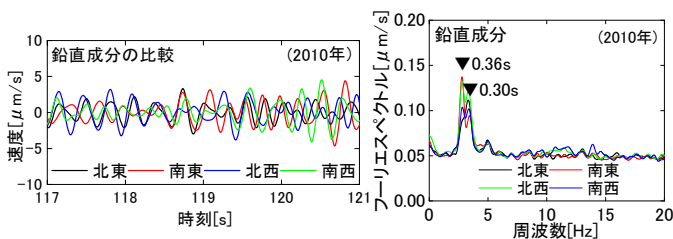


図8 床面四隅の波形とフーリエスペクトル

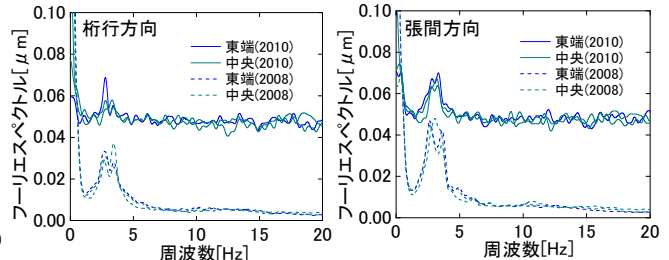


図9 地下1階床面のフーリエスペクトル

*1 東京大学大学院 大学院生 修(工)
 *2 東京大学 生産技術研究所 助教・博(工)
 *3 東京大学 生産技術研究所 教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Engineering, The Univ. of Tokyo, M.Eng.
 Research Associate, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr.Eng.
 Professor, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr.Eng.