

## 免震工法により耐震改修された RC 造 5 層建物の振動性状変化

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 ○本村 友一\*<sup>1</sup> 同 高橋 典之\*<sup>2</sup>  
同 崔 琥\*<sup>2</sup> 同 中埜 良昭\*<sup>3</sup>

## 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、工事中及び工事後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）。

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、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工事途中の状態（免震装置、オイルダンパー未設置）、及び地下 1 階の免震装置、オイルダンパー設置工事が完了した状態（ただし外構部及び内装等の非構造材工事は未完）での計測結果を比較した。



写真 1 対象建物全景

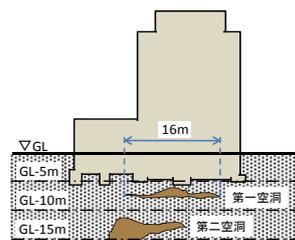


図 1 地下空洞の位置

## 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、工事後の 2011 年 7 月に計測を行った。測定機器は 2008 年に GEODAS-10-24HS、2010 年及び 2011 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、0.43 秒と変化し、張間方向では 0.25 秒から 0.29 秒、0.38 秒となり、地下 1 階の壁の撤去の後それぞれ 0.03 秒程度延び、免震装置設置の後それぞれ 0.1 秒程度延びた。

## (2)減衰特性

減衰定数の評価を RD 法<sup>[1][2]</sup>により試みた。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 4）。地下 1 階の壁の撤去の後、張間方向については減衰定数は減少し、桁行方向については同程度であった。免震装置の設置の後、梁間方向、桁行方向ともに減衰定数は増加の傾向が見られた。

## (3)スウェイ率、ロッキング率

スウェイ率とロッキング率の検討にあたり、図 5(a)に示すような波形に対し、5 階の常時微動水平成分のピークと地下 1 階の常時微動水平成分のピークを選択し、そのピーク発生時刻の差（ピーク時差と呼ぶことにする）が、『ある程度小さい』時、それぞれのピーク振幅を候補として採用し、それらのピーク振幅の平均値の比から、スウェイ率・ロッキング率を算出することとした。

まず、図 5(a)に示すようなピーク時差が、『ある程度小さい』とは具体的にどの程度が望ましいのか検討するために、ピーク時差を 0.05 秒から 0.001 秒まで徐々に低減したときに求まるスウェイ率の変化を図 5(b)に示す。図 5(b)から、ピーク時差を 0.01 秒より小さな値としたときに、結果が安定する傾向が見られたので、以後の計算では、許容するピーク時差は 0.01 秒として計算を行った。

以上の算出方法により計測ケース 1 のスウェイ率・ロッキング率を算出したところ、地下 1 階の壁の撤去後、桁行方向、張間方向のスウェイ率、ロッキング率いずれも増加し、免震装置設置後、桁行方向、張間方向のスウェイ率、ロッキング率いずれも増加した。（図 6）

## (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。伝達関数の卓越周期は桁行方向成分では0.34秒から0.36秒、0.42秒、張間方向成分では0.25秒から0.29秒、0.39秒にピークが見られた。地下1階のRC壁の撤去の後、桁行方向では増幅が生じ、桁行方向、張間方向ともに増幅する周波数帯が長周期化した。免震装置の設置の後、桁行方向、張間方向ともに増幅が生じ、増幅する周波数帯もそれぞれ長周期化した。なお、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、工事後にかかわらず、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(a)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、図8(b)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

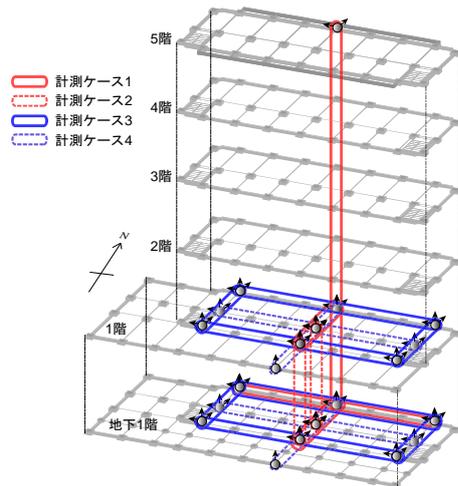


図2 計測ケース一覧

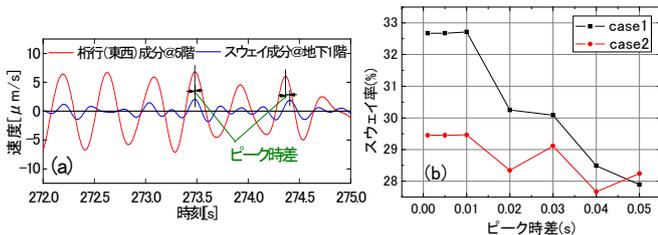


図5 スウェイ・ロッキング率算定方法

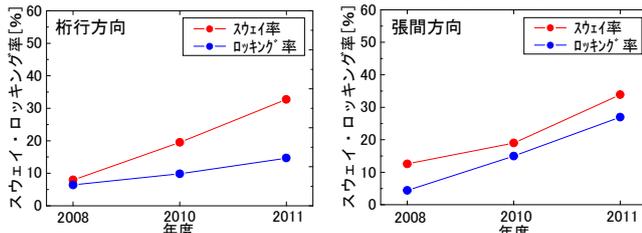


図6 スウェイ・ロッキング率評価結果

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。

**5. まとめ**

耐震改修工事前と工事中、工事後の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、地下階の壁撤去の後、卓越周期が0.03秒程度長周期化し、減衰定数は張間方向で低下、地下1階に対する1階の振動が桁行方向で増幅するなどの変化が見られた。免震装置の設置の後、卓越周期が0.1秒程度長周期化し、減衰定数は桁行方向、張間方向ともに増加が見られ、地下1階に対する1階の振動が増幅するなどの変化が見られた。

**【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。ここに謝意を表する。

**【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

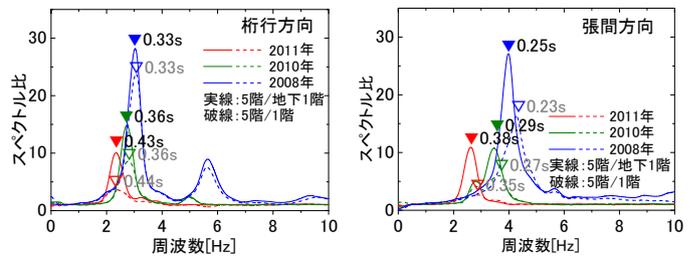


図3 周波数スペクトルの比較

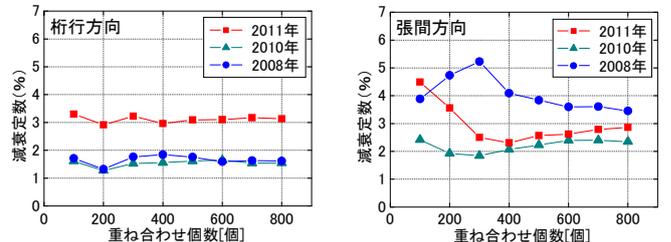


図4 減衰定数の評価結果

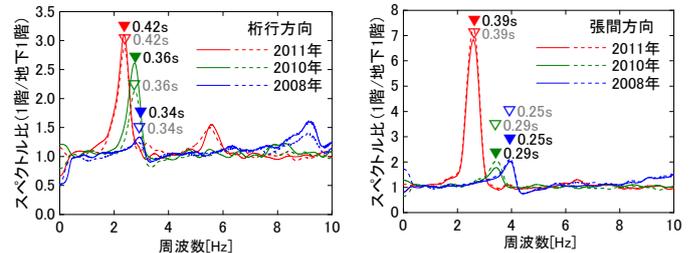


図7 地下1階床面に対する1階床面のスペクトル比

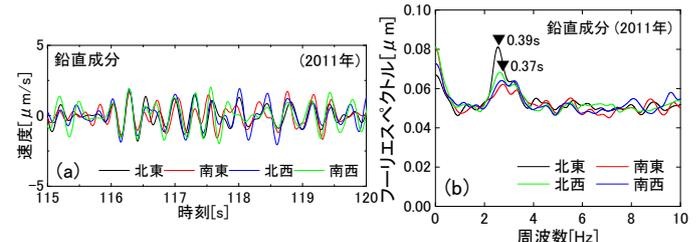


図8 床面四隅の波形とフーリエスペクトル

\*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.