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	

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

Vibrational Characteristics on a Five Stories Reinforced Concrete Building during the Seismic Retrofit

正会員	〇浅井	竜也* ¹	同	高橋	典之* ²
司	崔	琥* ²	同	中埜	良昭* ³

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をを求めた.

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

30 30 70.33s 桁行方向 張間方向 25 25 5階 **V**0.25s スペクトル比 15 10 -20 **0.23**s ⊃ 計測ケース1 궈 0.36s 計測ケース2 ▼0.28s 15 5階/地下1階(2010)-I L 4階 5階/地下1階(2010) ▶ 計測ケース3 5階/1階 (2010) 5階/1階 (2010) 5階/地下1階(2008) スペクト 10 5階/地下1階(2008) 5階/1階 (2008) 🗅 計測ケース4 5階/1階 (2008)5 3階 0 ٥ 5 10 周波数[Hz] 15 20 20 0 15 10 周波数[Hz] 周波数スペクトルの比較 図 3 振幅[μm/s] 振幅[μm/s] 時刻[s] 時刻[s] $\widetilde{\mathsf{P}_3}$ 地下1階 \tilde{P}_1 図 4 ピーク選定方法 図 5 減衰定数算定方法 3.0 3.0 図 2 計測ケ ス 一覧 ▼0.36s 桁行方向 張間方向 階 2.5 **V**0 29s ⁻⁻ ⁻⁻ ⁻⁻ ⁻⁻ 2.5 ⁻⁻ ⁻⁻ 2.5 Ě 張間方向 桁行方向 ▼0.33s ▲- 2010年 **對**2.0 6 6 - - - - 2008年 -_-- 2008年 響 1.5 5 些1.5 5 % % 4 4 0) 光 1.0 ੱ ^{1.0} 減衰定数(减衰定数 3 3 F11.0 F1146.5 ± 0.5 -0--0 2 2 2010年 2010年 2008年 2008年 -1 ر 0.0 کم 0.0 Ń • . 0 L 0 0 · 0 5 10 15 20 5 10 15 20 200 400 600 800 1000 200 400 600 800 1000 周波数[Hz] 周波数[H₂] 重ね合わせの個数[個] 重ね合わせ個数[個] 図 7 地下1階床面に対する1階床面のスペクトル比 図 6 減衰定数の評価結果 0.10 0.10 張間方向 桁行方向 ٦ μ 東端(2010) ົ້ 0.20 東端(2010) 0.08 0.08 中央(2010) 東端(2008) 中央(2008) 鉛直成分 Ξ (2010年) 中央(2010) 東端(2008) 中央(2008) 10 (2010年) 鉛直成分の比較 1 リエスペクトル 0.15 **▼**0.36s 0.06 0.06 5 [m/s] 2% **7**0.30s イ く 0.10 ペ 0.04 0.04 0 速度 H Ќ Н 0.05 0.02 0.02 -10∟ 117 南西 南東南西 北東 北西 南東 北西 Γ 0.00 0.00 118 119 120 121 5 10 15 20 10 15 20 10 15 周波数[Hz] 5 20 時刻[s] 。 周波数[Hz] 周波数[Hz] 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 図 8

*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.

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