

耐震改修された講堂建築物の振動性状変化に関する検討

正会員 ○鈴木 彩夏*¹ 同 崔 琥*²
同 松川 和人*² 同 中埜 良昭*³

鉄筋コンクリート造 常時微動 耐震改修
固有周期 減衰定数 モード形状

1 はじめに

耐震補強を含めた全面改修が行われた東京大学本郷キャンパス内に立地する大講堂（安田講堂）の耐震補強前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 対象建物および測定方法

2.1 対象建物および耐震改修工事の概要

本対象建物および耐震改修工事の概要を図1に示す。

対象建物は、地下1階、地上5階（一部9階）建ての鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）建物であり、最高高さは39.5m、建物西側の矩形平面部（以下、本館）と建物東側の半円形平面部（以下、講堂）からなる。本館3階にエントランスをもつこと、および大講堂を有する講堂は4階が吹き抜けとなっていることが大きな特徴である。

2010年より行われた主な耐震改修計画は、①本館・講堂の1, 2階におけるRC壁の新設・増設（写真1）、②3階回廊および塔屋における鉄骨パネル・鉄骨ブレースの増設、③天井地下材の軽量化、鉄骨架構増築による天井吊り材の強化、および鉄骨ブレースによる下地面の水平補剛（写真2）、④3階エントランス前の小屋と本館間のエキスパンションジョイントによる分断などが挙げられる。

2.2 常時微動計測概要

計測方法および測定位置は改修前の検討と同様である^[1]。

本報では、計測した全12種の計測ケースのうち、高さ方向に現れる振動性状の把握を目的とした3種の計測ケースについて（図1参照）、耐震改修前（2013年）および改修後（2015年）の比較・検討を行う。

3 測定結果

3.1 1次固有周期

計測ケース1, 3の測定結果より求めた、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各階の常時微動水平成分のフーリエスペクトルの比（伝達関数）を、バンド幅0.5HzのParzen Windowを用いて平滑化し、図2, 図3に示す。耐震改修前後の卓越周期 $T_{FIX+S+R}$ は、本館の南北方向では0.28秒から0.23秒、東西方向では0.32秒から0.27秒と変化した。一方、講堂の南北方向では0.21秒から0.16秒、東西方向では0.32秒から0.29秒と変化した。すなわち、改修後の1次固有周期は、本館・講堂の南北・東西方向ともに0.03~0.05秒程度短周期化した。

3.2 スウェイ率およびロッキング率

スウェイ率 S およびロッキング率 R の検討^[2]にあたり、図1に示すように、本対象建物では地下1階平面が他階と比較して極端に小さいため、正確にスウェイ率およびロッキング

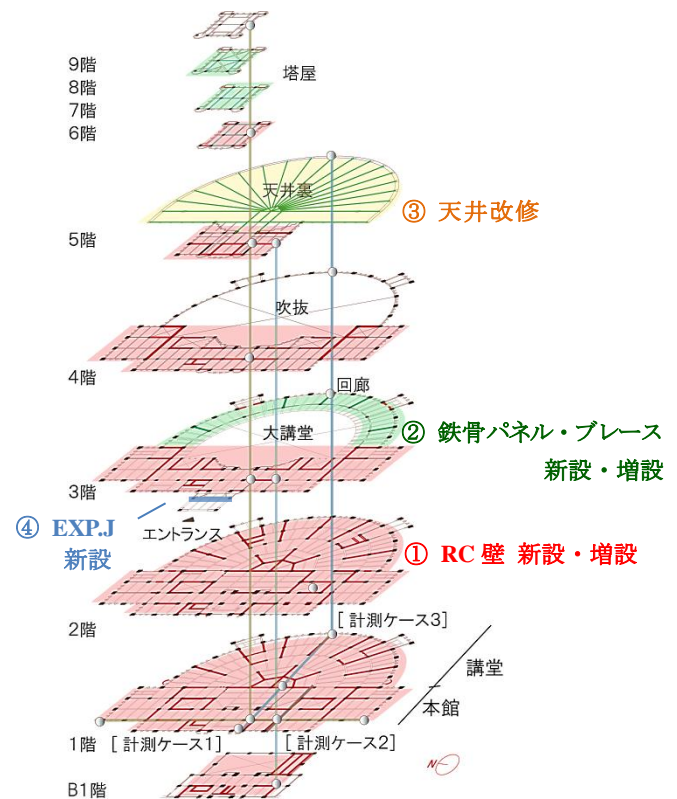


図1 耐震改修工事概要



写真1 RC壁増設
(アーチ開口)

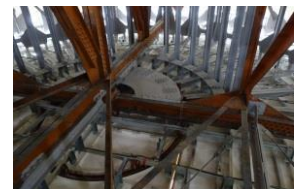


写真2 天井の鉄骨架構
(オレンジ:既存 灰色:新設)

率を算定することが困難であると考え、耐震改修前と同様に1階および地下1階それぞれを H/H スペクトルの分母として算定したときの固有周期が相違ないことを確認したのち、1階の計測データを用いてスウェイ率とロッキング率の算定を行った。ただし、改修前の結果については、安定した微動波形計測部分を取り出し再度検討を行った（以下の検討においても同様）。算定結果を表1に示す。改修後のスウェイ率とロッキング率は、本館および講堂の南北・東西方向ともに概ね増加した。これは、耐震改修により基礎固定時の上部構造応答成分の割合が減少したことに起因すると考えられる。

3.3 減衰特性

減衰定数の評価をRD法^[3]により試みた結果を図4, 図5

に示す。尚、微動波形は 1~10Hz のバンドパスフィルタをかけ平滑化したものを用いた。ただし、講堂の南北方向では改修前後ともに微動波形が不安定であったため、参考値として算出している。得られた減衰定数は、波の重ね合わせ数 500 程度を超えると安定する傾向がある。また、耐震改修後の減衰定数は、本館・講堂ともに南北方向では減少、東西方向では増加する傾向が見られた。本館については、RC 壁の増設・新設といった補強により減衰定数は小さくなるものの、東西方向ではロッキング率が大きく増加した(表 1 参照) ことにより減衰定数が大きくなったと考えられる。一方、講堂については、原因は特定できていない。

3.4 建物高さ方向の 1 次モード形状

基礎固定時の本館・講堂の高さ方向の 1 次モード形状推定にあたり、3.1 節より推定された 1 次固有周期 $T_{FIX+S+R}$ に対応する各階の波形成分のピークの位相ずれの補正、およびスウェイ成分とロッキング成分を除外し基礎固定時の建物応答成分のみを抽出するため、以下の手順で評価を行った。

- ① 各階の振幅スペクトルから 1 次固有周期 $T_{FIX+S+R}$ における振幅スペクトル最大の階(計測ケース 1 では 9 階、計測ケース 3 では 5 階)を特定する。
- ② $T_{FIX+S+R}$ における①の階とその他の階のフーリエ位相の差 $\Delta\theta$ をそれぞれ求め、各階のフーリエ振幅に $\cos\Delta\theta$ を乗じたものを補正後の振幅とする。
- ③ 各階補正後の振幅からスウェイ成分およびロッキング成分の振幅を引いたものを基礎固定時の振幅とする。

得られたモード形状を図 6 に示す。耐震改修前には本館および講堂 3 階付近に不連続的な節が見られたが、改修後にはその影響は小さくなったことが確認された。

4 まとめ

耐震改修工事前後の講堂建物の常時微動を計測し振動性状

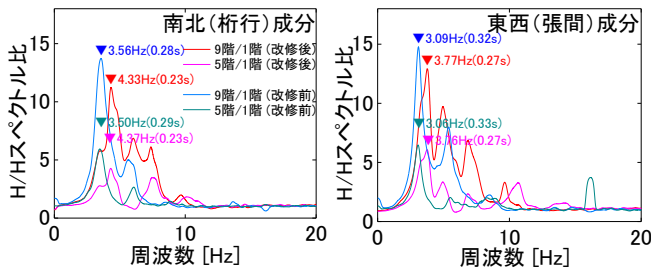


図 2 周波数スペクトルの比較(本館)

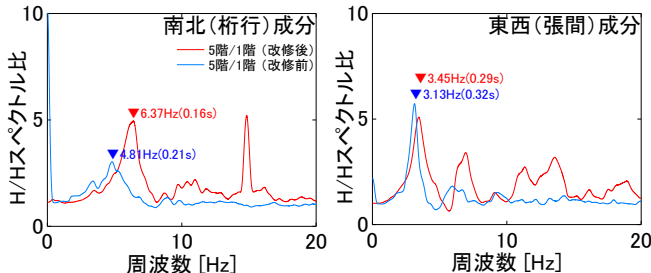


図 3 周波数スペクトルの比較(講堂)

変化を分析した結果、卓越周期の短周期化、スウェイ率およびロッキング率の増加、減衰定数の変化、そして高さ方向の振動モード形状が直線に近づくといった変化が見られた。

【謝辞】

本調査の実施に際し、(有)万建築設計事務所 梅園雅一 設計課長より多大なご協力を賜りました。ここに、感謝の意を表します。

【参考文献】[1]板倉正英, 崔號, 松川和人, 中埜良昭: 常時微動測定に基づく講堂建築物の振動性状評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2014.9

[2]高橋典之, 中埜良昭, 青木 孝義: 歴史的建築物の常時微動測定に基づく振動特性評価 その 1 ヴィコフォルテ教会堂(組積造建築)の振動特性評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2007.8

[3]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

表 1 スウェイ率・ロッキング率および固有周期

	方向	S	R	$T_{FIX+S+R}$	T_{FIX}
本館	南北	16.8% (17.4%)	25.1% (19.0%)	0.23s (0.28s)	0.18s (0.22s)
	東西	35.3% (28.5%)	34.2% (17.2%)	0.27s (0.33s)	0.15s (0.24s)
講堂	南北	本計測対象外			
	東西	44.1% (41.8%)	—* (—*)	0.29s (0.32s)	0.22s** (0.24s**)

表中では、『改修後の結果(改修前の結果)』を記載

*固有周期および位相ずれにより算定不能

**ロッキング動の影響を含む

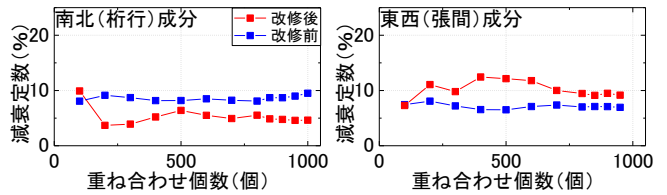


図 4 減衰定数の評価結果(本館)

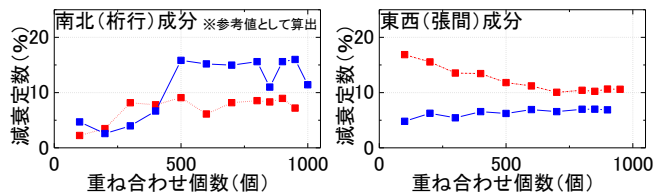
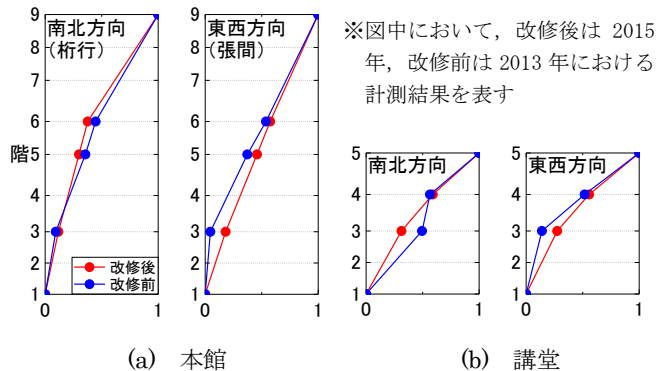


図 5 減衰定数の評価結果(講堂)



(a) 本館

(b) 講堂

図 6 高さ方向の 1 次モード形状

*1 東京大学大学院工学系研究科 大学院生

*2 東京大学 生産技術研究所 助教・博士(工学)

*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
Research Associate, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Ph. D.
Professor, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.