

常時微動測定に基づく講堂建築物の振動性状評価

鉄筋コンクリート造 常時微動 固有周期
減衰定数 モード形状

正会員 ○板倉 正英*¹ 同 崔 琥*²
同 松川 和人*² 同 中埜 良昭*³

1. はじめに

東京大学本郷キャンパス内に立地する大講堂（安田講堂）は、耐震補強を含めた全面改修が進められている。そこで本研究では、耐震補強前後の振動性状の変化を把握することを目的に、まず耐震補強前の常時微動測定を行った。本稿では、対象建物の常時微動測定結果とその振動性状について報告する。

2. 対象建物および微動測定方法

2.1 対象建物の概要

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、図1に示すように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と、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。

2.2 測定方法と測定位置

測定方法は、収録器（GEODAS-15-HS）およびピックアップ（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を100Hz、収録時間を300秒間とし、全12ケースを計測した。ここではそれらのうち、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報告する。各計測ケースにおける測定位置を図1に示す。多点同時計測を行い、各測定点について3成分（水平2成分、鉛直1成分）を計測した。

計測ケース1は本館の固有周期および南北方向のスウェイ・ロッキング動を調べることを目的とした計測で、本館1階床レベル西側隅角部2点および中央1点、中央高さ方向の3、5、6、9階床レベルで1点ずつ計測した。計測ケース2は本館の東西方向のスウェイ・ロッキング動を調べることを目的とした計測で、本館1階床レベル東西方向両端2点およびその2点間に1点、高さ方向の地下1、3、5階床レベルで1点ずつ計測した。計測ケース3は講堂の固有周期および東西方向のスウェイ・ロッキング動を調べることを目的とした計測で、1階床レベルの本館西側1点および講堂東西方向両端2点、東端高さ方向の3、4階床レベル、屋根面で1点ずつ計測した。

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）を図2

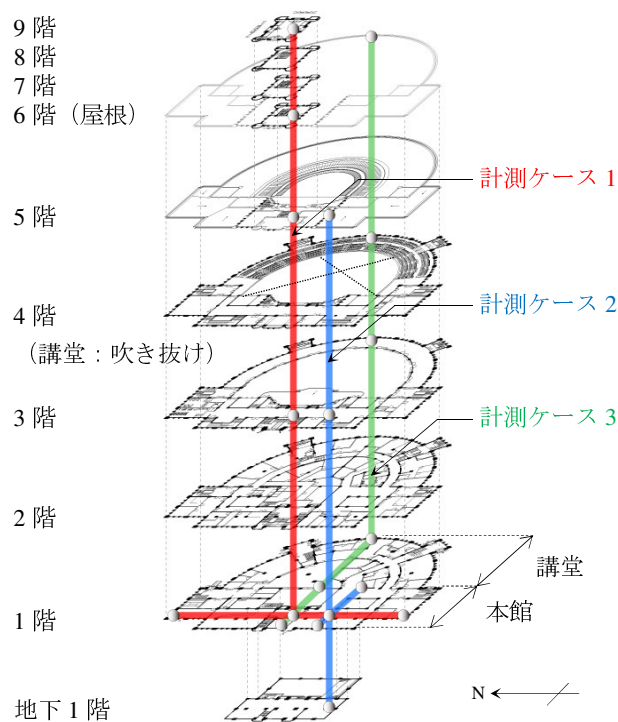


図1 各計測ケースの常時微動測定点

に示す。9階/1階および屋根面/1階の伝達関数（図2の(a)および(c)より、本館と講堂の1次固有周期は南北方向でそれぞれ0.28s、0.21sとなり、東西方向でともに0.32sとなった。講堂の南北方向の周期が短くなった要因として、4階に大きな吹き抜けがあることにより質量、剛性が共に小さくなり、両者の比率から決定される固有周期に何らかの影響を与えたものと考えられるが、原因は特定できていない。一方、東西方向は本館、講堂が0.32sの周期で一体に挙動している。また、伝達関数の評価においては地下1階あるいは1階のどちらを基準としても固有周期に大きな差は生じない（図2の(b)）。

3.2 スウェイ率およびロッキング率

スウェイ率とロッキング率の検討にあたり、計測ケース1を例として図3に示す微動波形を用いた。微動波形には2~5Hzの周波数帯を透過するバンドパスフィルタで平滑化した。比較的定常的な振動を示した区間において、1階水平波形から得た振幅（スウェイ成分）と1階鉛直波形から求めた最上階水平振幅（ロッキング成分）のそれぞれ最上階水平振幅に対する比として定義したスウェイ率Sとロッキング率Rを表1に示す。これらの値と3.1節で評価したスウェイ・ロッキング動を含む固有周期

$T_{FIX+S+R}$ を用いて下式から基礎固定時の固有周期 T_{FIX} を算定した。なお講堂の東西方向の R は微動波形の位相の大きなずれにより算定できなかったため、 $R=0$ とした参考値として求めた。

$$T_{FIX} = T_{FIX+S+R} \times \sqrt{(100 - S - R)/100}$$

3.3 減衰特性

計測ケース 1, 3 の微動波形を用いて、減衰定数の評価を RD 法^[2]により試みた。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みられた (図 4)。本館では南北、東西方向共に 7~8%程度、講堂では南北方向で 4~6%、東西方向で 6~8%と推定された。

3.4 建物高さ方向の 1 次モード形状

基礎固定時の本館および講堂の高さ方向の 1 次モード形状を図 5 に示す。ここで、1 次固有周期に対応する各階の波形成分のピークは位相ずれが生じていることから、最大振幅が発生した階のピーク時における他階の振幅を以下の手順で補正し、モード形状を評価した。すなわち、

- ① 各階の振幅スペクトルから 3.1 節で評価した 1 次固有周期 T 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 では屋根面) を特定する。
- ② 周期 T における①の階とその他の階のフーリエ位相の差 $\Delta\theta$ をそれぞれ求める。

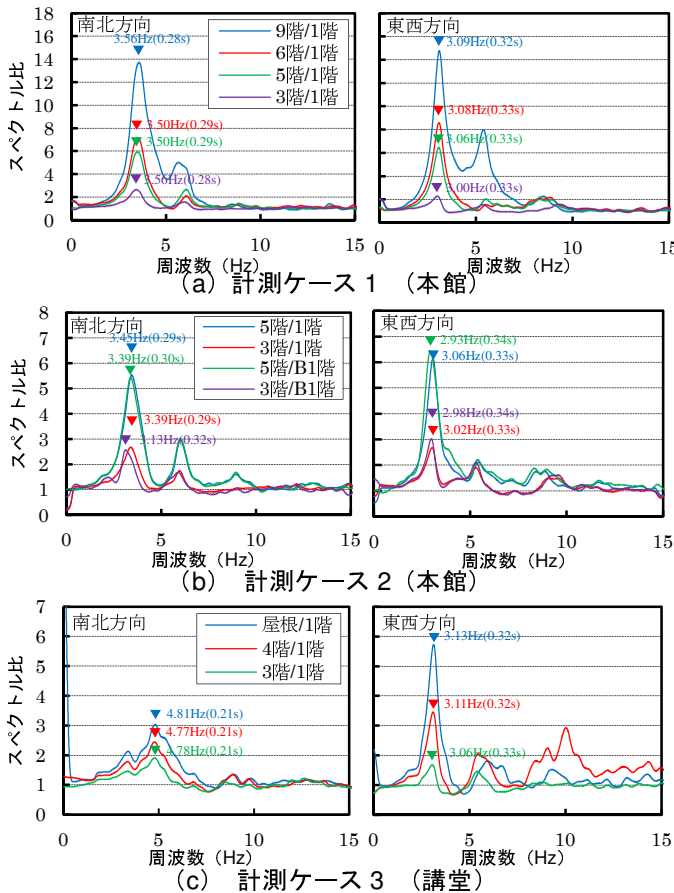


図 2 各計測ケースにおける伝達関数

- ③ 周期 T における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 (①の階では $\Delta\theta=0$)。

これらを図 5 にプロットする。本館、講堂ともに 3 階付近にモード形状の不連続が見られる。これは講堂 4 階が吹き抜けのため、1~3 階と比較して急激に剛性が減少することが要因として考えられる。

4. まとめ

常時微動測定に基づく安田講堂の振動性状を推定した。今後、全面改修終了後に再度測定を実施し、補強による振動性状の変化を比較検討する予定である。

[謝辞]

今回行った計測では、(有)万建築設計事務所 梅園雅一 設計課長より多大なるご協力を賜りました。ここに、感謝の意を記します。

[参考文献]

- [1]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 [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

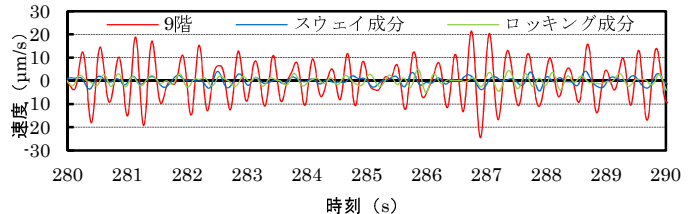


図 3 スウェイ率とロッキング率の算定に用いた微動波形

表 1 スウェイ率と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	NS	17.4%	19.0%	0.28s	0.22s
	EW	28.5%	17.2%	0.32s	0.24s
講堂	NS	本計測対象外			
	EW	60.2%	—	0.32s	0.20s*

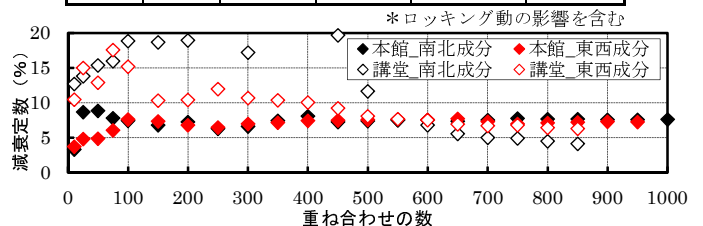
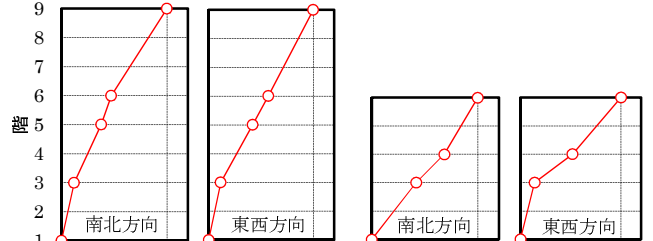


図 4 減衰定数と重ね合わせ数



(a) 計測ケース 1 (本館) (b) 計測ケース 3 (講堂)

図 5 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.