

BCJ 技研レポート Vol.8 2026.4.

第8号：アニュアル・レポート 2026

一般財団法人日本建築センターの建築技術研究所は45年ほど前に設立され、一時活動を休止していましたが、2018年に再開され、この6月で、再開後8年となります。

昨年度は次の3つの課題に取り組んでまいりました。一つ目は「既存建築物のリノベーション等の円滑化に資する取り組み」であり、自治体等と連携し、耐用年数評価などに取り組んでおります。二つ目は「BIMを活用した建築確認の課題検討」であり、日本建築センターの本体業務とも深くかかわるものです。この二つは、一定の成果をあげてこれたと考えております。三つめは、昨年からスタートさせた「中・高層及び大規模木質系建築物の評価・評定に対応する課題」です。大規模木質系建築物は、欧州などでも盛んに建設が進められており、我が国でもその動きは加速しております。ただ、この課題は、極めて広範囲に日本の建築物のあり方や評価に変革を求めるものであり、当研究所としては、今年度からは少し焦点を絞って取り組みたいと思っております。建築技術研究所の活動に、これまで以上のご支援をお願いいたします。

2026年4月

一般財団法人 日本建築センター
建築技術研究所 所長 深尾 精一
(首都大学東京名誉教授)

目次

I. 建築技術研究所 2025年度の成果報告

- | | |
|-------------------------------|----|
| 1. 既存建築物のリノベーション等の円滑化に資する取り組み | p2 |
| 2. BIMを活用した建築確認の課題検討 | p4 |
| 3. 中・高層木質系建築物の評価・評定に対応する課題 | p5 |

II. BCJ研究支援(2025年度)による成果報告

- | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-----|
| 1. 耐震性能評価法のあり方に関する調査と展開(2) | 東京大学大学院准教授 田尻 清太郎 | p6 |
| 2. 実構造物の応力モニタリングによる風圧力の実態把握 | 横浜国立大学大学院教授 松本 由香 | p9 |
| 3. 伝統構法を用いた大型木造建築の構造ヘルスマニタリングの実践と要件整理 | 東京大学大学院教授 藤田 香織 | p11 |

■BCJ 技研レポートに関するお問い合わせ

(一財)日本建築センター 建築技術研究所 〒101-8986 東京都千代田区神田錦町1-9 東京天理ビル
Tel 03-5577-7884 URL <https://www.bcj.or.jp/> email btri@bcj.or.jp

I. 建築技術研究所 2025 年度の成果報告

1. 既存建築物のリノベーション等の円滑化に資する取り組み

■調査研究の概要

これまで、わが国では老朽化への懸念や税務上の法定耐用年数が強く意識されてきたことから、数十年という比較的短い築年数でのスクラップ・アンド・ビルドが繰り返されてきた。

日本建築センターでは、既存建築物の長期活用を支援するため、2019 年より、中性化進行状況に基づく既存鉄筋コンクリート造建築物の耐用年数評価業務を実施し、2026 年 3 月末で 488 棟の評価が完了している。これらの評価を通じて得られたデータを基に、評価の精度や効率を高めることを目指した研究活動に取り組んでいる。

■2025 年度の成果概要

(1) 湿式コアによる含水率測定の可能性検討（新規）

- ・目的：湿式で採取したコンクリートコア供試体から得られる含水率の活用可能性の検討
- ・実施状況：解体前の大学校舎の外壁面から、乾式と湿式により複数のコンクリートコアを採取し、含水率を測定・比較した。
- ・結果：湿式コアの含水率は、乾式コアより0.5～0.7%程度高い傾向があること、コア径が大きいほど含水率の差が小さいことが確認された。

(2) コンクリートの中性化域での pH 変化と評価（新規）

- ・目的：中性化域の判定について、フェノールフタレイン溶液の呈色度に基づく従来の手法に対し、より精緻な判定を可能とする手法の検討
- ・実施状況：フェノールフタレイン溶液の噴霧による呈色が全長無色又は薄紫色のコアについて、各断面の pH 変化を確認した。
- ・結果：屋外側表層部で pH 値がやや高いのは、降雨により仕上げモルタルの $\text{Ca}(\text{OH})_2$ がコンクリート表層部へ供給されているためと考えられること、一方、屋内側からの中性化は表層からの深さにかかわらず pH 値が低位で一定であることが確認された。

(3) 乾式仕上げに外壁改修した後の含水率と中性化深さ

- ・目的：乾式仕上げ外壁の鉄筋腐食抑制効果の検証
- ・実施状況：実建築物の既存の外壁、および既存の外壁を空気層を介してアルミパネルやセラミックタイルで被覆した外壁について、中性化深さと含水率を調査した。

- ・結果：乾式仕上げの外壁について、中性化の進行は早い、含水率は1～3%と低く室内環境と同レベルであり、鉄筋腐食の抑制に効果的であることが確認された。

(4) 施設マネジメントへの活用

公共施設の長期活用について、耐用年数評価の活用が以下の自治体の計画に盛り込まれた。

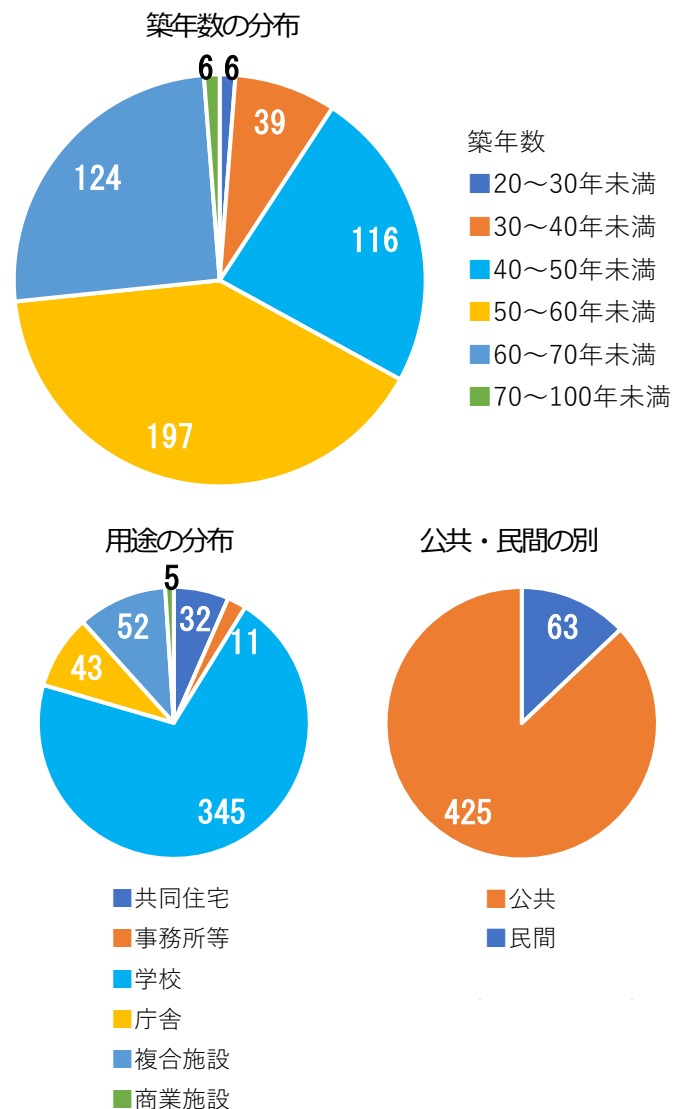
- ・[滋賀県公共施設等マネジメント基本方針（R8.3 策定）](#)
- ・[足立区学校施設の個別計画【令和8年一部改訂版】](#)
- ・[渋谷区一般建物施設長寿命化計画 2026～2035 年度](#)

■今後の予定

2026 年度も引き続き評価データの分析を進め、評価精度の向上と長期活用に向けた支援の充実に取り組む。

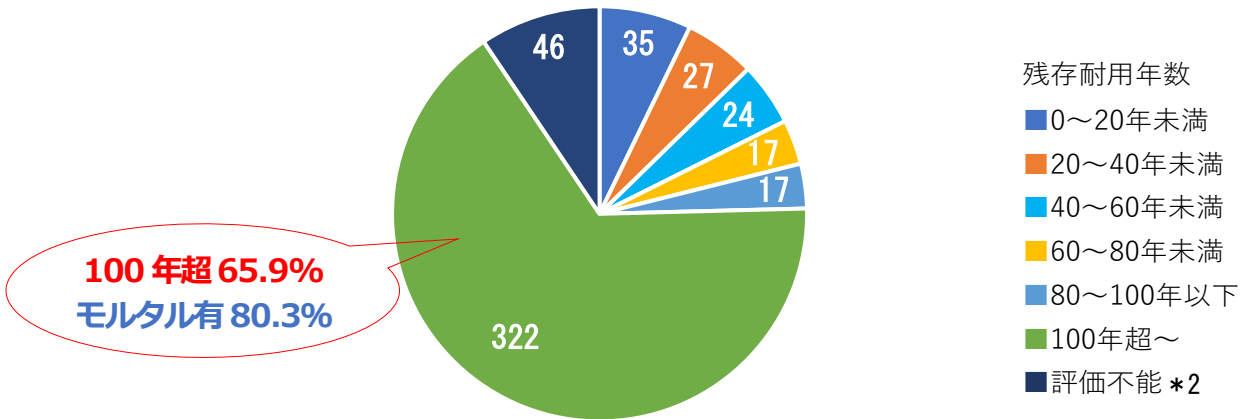
【参考】耐用年数評価結果の概要

(2026 年 3 月末現在、評価完了棟数：488 棟)

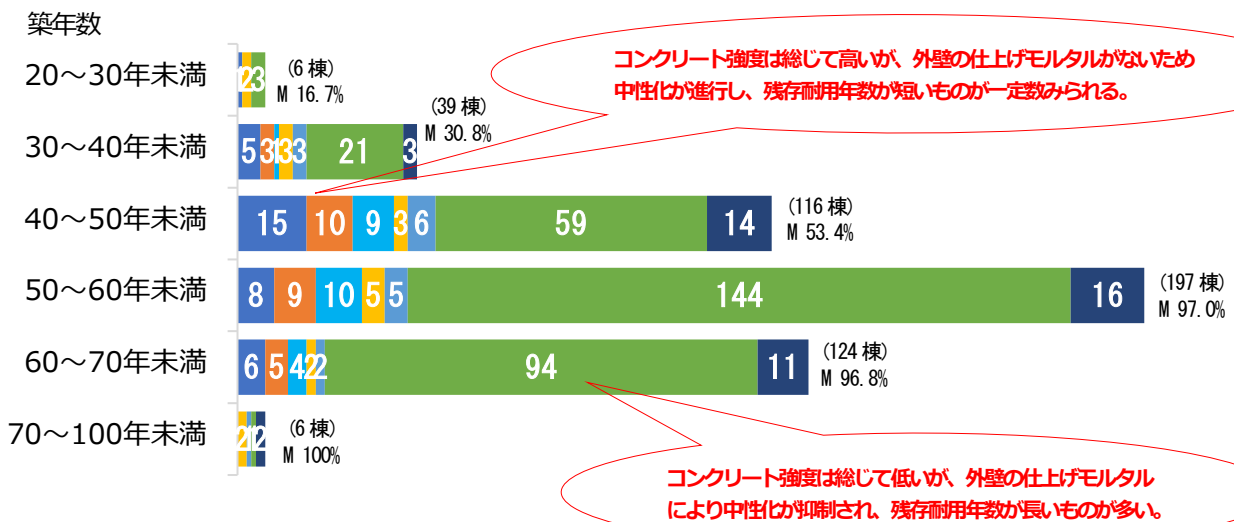


○残存耐用年数*1の分布

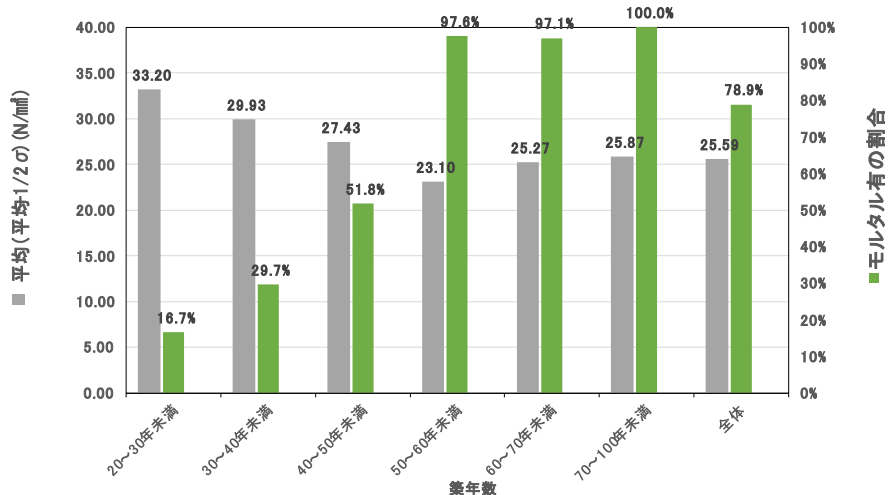
*1 評価した残存耐用年数は、調査時点から起算した耐用年数であり、新築時から起算したものではない。
 *2 「評価不能」とは、中性化がすでに外壁屋外側の最外側鉄筋に達しており、残存耐用年数 (= 中性化到達年数) の計算ができない状態



○築年数別の残存耐用年数の分布状況



参考) 築年数と圧縮強度及びモルタル仕上げ有の関係



I. 建築技術研究所 2025 年度の成果報告

2. BIM を活用した建築確認の課題検討

■ 調査研究の概要

BIM (Building Information Modeling) は、コンピュータ上に作成した3次元形状情報に加え、総合的な建物情報モデルを構築するシステムであり、建築分野の各プロセスにおいて広く活用されるようになってきている。2026年春にBIM図面審査が開始された。また、2029年春にはBIMデータ審査の開始が予定されている。

建築確認におけるBIM活用推進協議会* (以下、協議会) では、2019年度より、建築確認におけるBIM活用推進に向けた活動を行っている。なお、協議会は、国土交通省「建築BIM推進会議」の部会3「BIMを活用した建築確認検査の実施検討部会」に位置づけられている。以下に、2025年度の協議会での成果概要を示す。

*会長：松村秀一 (神戸芸術工科大学学長)、事務局：日本建築行政会議 指定機関委員会 (日本ERI(株)と(一財)日本建築センターが共同で実施)

■ 2025年度の成果概要

(1) 「BIM図面審査」における手続・審査方法の整理、環境整備

1) 「BIM図面審査」の実施に向けた検討

BIM図面審査運用に向けた準備として、ガイドライン・マニュアル類の整備、初版のとりまとめを行った。

2) 「BIM図面審査WG」での2回の試行・検証

本年度実施した2回の試行・検証を通じ、入出力基準に基づく整合性確認の妥当性とCDE(共通データ環境)を用いた申請手続きの実効性を評価した。

第1回検証では、ヒューマンエラーや設計・審査者間の認識相違による不整合が確認された。第2回検証では、CDEのフィールドテストを実施したが、CDEのUI不備や運用ルールの不足といった運用上の課題も見られた。

上記を踏まえ、意見交換会を実施し、その結果を反映した「入出力基準の解説」を策定した。また、ガイドライン類の「事前公表版」の提示やマニュアルの修正・改訂を行った。

3) 今年度、協議会が中心となって検討を行った成果物

- ・ 建築確認におけるBIM図面審査ガイドライン
- ・ 別紙1：入出力基準
- ・ 別紙2：BIM図面審査における入出力基準適合誓約書
- ・ 別紙3：BIM図面審査における確認申請図書表現標準
- ・ BIM図面審査 申請・審査マニュアル
- ・ 建築確認における入出力基準の解説

OBIM図面審査の開始に向けて必要となる成果について

- ・ [建築確認におけるBIM図面審査ガイドライン\(初版 令和8年3月24日版\)](#)
- ・ [別紙1：BIM図面審査における入出力基準\(初版 令和8年3月24日版\)](#)
- ・ [別紙2：BIM図面審査における入出力基準適合誓約書\(初版 令和8年3月24日版\)](#)
- ※上記についてExcel版は[こちら](#)
- ・ [別紙3：BIM図面審査における確認申請図書表現標準\(初版 令和8年3月24日版\)](#)
- ・ [BIM図面審査 申請・審査マニュアル\(初版 令和8年3月24日版\)](#)

前回公表時点(令和8年2月・初版)からの変更点を示したのも作成しております。

- ・ [建築確認におけるBIM図面審査ガイドライン\(初版 令和8年3月24日版・変更箇所表示\)](#)
- ・ [別紙1：BIM図面審査における入出力基準\(初版 令和8年3月24日版・変更箇所表示\)](#)
- ・ [別紙2：BIM図面審査における入出力基準適合誓約書\(初版 令和8年3月24日版・変更箇所表示\)](#)
- ・ [別紙3：BIM図面審査における確認申請図書表現標準\(初版 令和8年3月24日版・変更箇所表示\)](#)
- ・ [BIM図面審査 申請・審査マニュアル\(初版 令和8年3月24日版・変更箇所表示\)](#)

図1 今年度の成果物(国交省HPより)

(2) 「BIMデータ審査」の実施に向けた環境整備

1) 仕組み等の検討

IFCデータを確認申請図書として扱う場合の法的要件を整理した。また、IFCの正確性・完全性の保証、真正性の保証、長期見読性とセキュリティ確保やIFCデータを申請図書等と扱う場合の申請者(建築主)への有用性についても検討した。

2) 必要となる環境整備の検討

実施に向けた要件整理と審査項目の整理のため、BIMモデル情報をデータ審査対象と整理し、一部条文をBIM入力やIFC定義に繋げるため『カテゴリー、属性情報項目、属性情報値』へと置換・構造化した。また、条文間の参照・従属関係の紐づけや分節単位の分類を行った。

3) BIMデータ審査開始に向けたロードマップの検討

2029年春のデータ審査開始に向けた検討のたたき台を整理し、これに対応したスケジュール等について、協議・検討を進めている。

(3) 国土交通省建築BIM推進会議及び各部会との連携した取組み、BIM活用に係る課題検討等

部会3として、国土交通省建築BIM推進会議のロードマップに基づいたタスクの実施を、各部会と連携して行った。

(4) BIM講習会支援を通じ協議会成果の普及を推進

建築確認におけるBIM知識の普及を目指して日本建築行政会議が実施する正会員(特定行政庁、指定確認検査機関)向けのBIM操作講習会(全国7箇所、計10回を参加費無料で実施)を支援した。

(5) (1)~(4)の成果を踏まえた報告書の作成・公開

検討成果は報告書にとりまとめ、協議会WEBサイトへ掲載・公開する予定である。

【協議会WEBサイト：<https://www.kakunin-bim.org>】

■ 今後の予定

協議会は、建築BIM推進会議での部会3としての部会間連携を図ると共に、国土交通省の検討の方向性を踏まえ2025年度の検討を継続し、2026年度も建築確認におけるBIMの活用推進へ向けて一層の検討を行う予定である。

I. 建築技術研究所 2025 年度の成果報告

3. 中・高層及び大規模木質系建築物の 評価・評定に対応する課題

■調査研究の概要

中・高層及び大規模木質系建築物での木材の利用拡大の動向を踏まえ、木質系建築物の普及に向けた構造及び防火・防災性能・耐久性それぞれの観点から調査及び情報収集を行った。現状と課題等を整理することを目的に、今年度は、各分野の学識経験者や実務者へのヒアリングを実施した。

■2025 年度の成果概要

(1) ヒアリングの概要

対象者

長谷見 雄二 早稲田大学名誉教授

安井 昇 桜設計集団一級建築士事務所代表

五十田 博 京大大学生存圏研究所教授

青木 謙治 東京大学大学院農学生命科学研究科教授

山田 憲明 株式会社山田憲明構造設計事務所代表取締役

(2) ヒアリングの項目

特に、普及に向けた課題（一つ目の項目）を中心に伺った。

- ・中・高層及び大規模木質系建築物が普及、一般化するにあたっての課題など
- ・他からよく受ける相談や聞きする困りごとなど
- ・今後発生しそうな/大きくなりそうな問題/懸念
- ・各業界（行政、設計、施工、木材業界、研究機関等）が優先して対応/検討すべきこと
- ・BCJ がやるべき取組みや審査機関が担うべきこと
- ・事例や主体による計画・技術・品質等のレベルの差
- ・注目している事例、展望など

(3) ヒアリングの結果

1) コストの削減と経済的合理性の追求

- ・合理的な設計（柱を追加してスパンを抑えるなどの）によってコストを下げる工夫が求められている。
- ・材料の価格、耐火被覆、特許料が普及の障壁となっており、技術的に可能であっても経済的に成立する（2 棟目が建つ）仕組みを作ることが不可欠。

2) 標準化の推進と情報の公開・共有

- ・木造は自由度が高い一方で標準化が進みにくいため、特許のオープン化、告示仕様化、標準仕様の整備が必要。
- ・技術者等が持つ高度な知見を、標準的なディテール集やマニュアル、ガイドラインとして公開し、業界全体の技術レベルを底上げすることが期待されている。

- ・設計者が適切な材料や接合部を選択できるよう、AI チャットボットの活用や Q&A の整理など、情報にアクセスしやすい環境づくりが重要。

3) 設計・施工における技術的課題への対応

- ・材料と接合方法が多様で複雑。特に接合部設計が難しい。
- ・組織的知見を有する大手と、個人の建築士や実務者の間にある、知見や習熟度の差を埋める情報共有が必要。

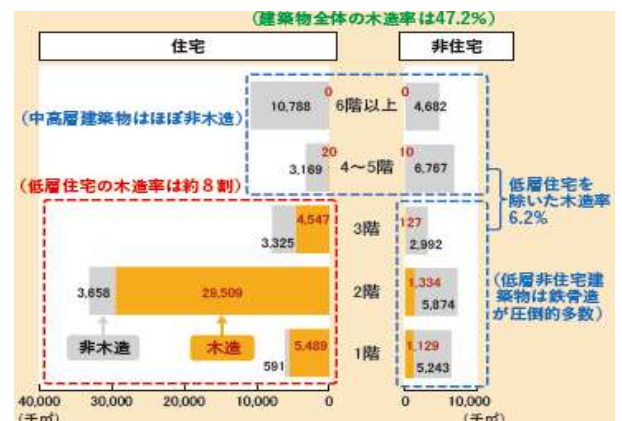
4) 長期的視点での耐久性確保と資源循環

- ・建てて終わりではなく、外部への木材使用の抑制や屋根の防水、経年調査の公開など、長期利用を見据えた維持管理計画の構築が重要。
- ・現状の木造建築は大量の釘やビスの使用により解体・リサイクルが困難なため、将来の廃棄・再利用を考慮した計画の検討が必要。
- ・再利用材の耐久性評価や強度評価基準の確立が課題。

(4) まとめ

中・高層及び大規模木質系建築物が特許技術や特殊工法による「特別なもの」から、一般流通材の活用や合理的な設計（適材適所のハイブリッド構法など）による経済的合理性が確保された「一般的な選択肢」となるには、今後は、設計・施工に関わる関係者間の知識格差を埋めるための情報共有や標準化を推進するとともに、耐久性・腐朽対策や将来の解体・再利用を見据えた長期的視点での維持管理計画を構築することが重要と思われる。

業界内においては、技術評価等で得られた高度な知見を標準的なディテール集やガイドラインとして公開・発信し、業界全体の技術レベルの底上げを牽引していく役割を担う機関や団体が求められていることが分かった。



資料：国土交通省「建築着工統計調査」に基づいて林野庁木材産業課作成

図 用途別・階層別・構造別の新築着工建築物の床面積(2024年)

■今後の予定

2026 年度も中・高層及び大規模木質系建築物の建築界における状況、課題等を把握し、知識・情報の蓄積を継続して行う予定である。

II.BCJ 研究支援（2025 年度）による成果報告

1. 耐震性能評価法のあり方に関する調査と展開 (2)

東京大学大学院准教授 田尻清太郎

■調査研究の概要

日本では稀、極稀に起こる地震に対して、損傷、倒壊防止を目指した耐震設計が規定されているが、これに則って設計された建物の実際の耐震性能は定量的に評価、明示されておらず、構造種別や構法によっても性能は異なる。このような状況において、既存の構造システムの建物と同等の耐震性能を保証する新しい構造システムの建物の耐震設計法を開発することは難しい。

例えば、米国では FEMA P-695¹⁾にて、耐震設計法の定量的評価法が開発され、既存の耐震設計法による建物の耐震性能を定量的に評価できるだけでなく、新しい構造システムの耐震設計法にも適用できる。これによれば、新構法の設計法の開発、評価の場面で、個人の判断に依拠しない公平性を担保することが可能である。

ここでは、米国のこれらの取り組みについて調査を行い、日本への応用について可能性を探る。昨年度は米国の手法の詳細を把握し、実設計への活用状況について調査を行った²⁾。今年度は、日本の設計法を対象に本手法による評価を試みながら、本評価法を日本に展開する場合の課題や実現可能性について検討したので、その結果について概説する。

■評価対象

鉄筋コンクリート造の純ラーメン構造に対する保有水平耐力計算を対象として FEMA P-695 に準じた評価を試みた。①靱性型 ($D_s=0.3$) の建物と②強度型 ($D_s=0.45$) の建物について評価を行い比較した。

■適用例（靱性型建物の保有水平耐力計算）

(1) 構造システム情報

設計要件の品質を、安全性や信頼性の観点から 4 段階で評価する。建築基準法で定められた保有水平耐力計算は、予期しない破壊形式に対する保証設計など安全性に対する包括的な設計要件を兼ね備えており、また長年の積み重ねにより設計法の信頼性も高く、(A)優 ($\beta_{DR}=0.1$) と評価される。

次に、設計法開発の根拠となる実験データの品質を、完全性や信頼性の観点から 4 段階で評価する。今回の評価対象設計法は数多くの信頼性の高い実験結果に基づき構築されているものの、載荷履歴による影響、耐力低下の系統的な検討は不十分であり、実大実験も限定的であることから、(B)良 ($\beta_{TD}=0.2$) と評価される。

(2) アーキタイプ構成

評価対象の代表モデルであるインデックスアーキタイプとして、図1のような2次元魚骨フレームを設定した。実際の

評価では多スパンモデルなどより精緻なモデルを用いる方がよい。

表1は建物性能によって類型化した評価グループの構成を示す。内、外構面ではそれぞれ直交スパンの0.5, 1倍の領域の重量を考慮する。

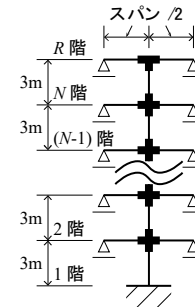


図1 インデックスアーキタイプ

表1 性能グループ

グループ番号	グルーピング基準				原型数
	スパン	構面	地域係数 地盤種別	固有周期	
PG-1	6m	内	1.0, 3種	短	2+1
PG-2	6m	内	1.0, 3種	長	4
PG-3	6m	内	0.7, 1種	短	2+1
PG-4	6m	内	0.7, 1種	長	4
PG-5	6m	外	1.0, 3種	短	2+1
PG-6	6m	外	1.0, 3種	長	4
PG-7	6m	外	0.7, 1種	短	2+1
PG-8	6m	外	0.7, 1種	長	4
PG-9	9m	内	1.0, 3種	短	2+1
PG-10	9m	内	1.0, 3種	長	4
PG-11	9m	内	0.7, 1種	短	2+1
PG-12	9m	内	0.7, 1種	長	4
PG-13	9m	外	1.0, 3種	短	2+1
PG-14	9m	外	1.0, 3種	長	4
PG-15	9m	外	0.7, 1種	短	2+1
PG-16	9m	外	0.7, 1種	長	4

各 PG を構成するアーキタイプとして、短周期の場合 1, 2, 3 階建て、長周期の場合 4, 8, 12, 20 階建て建物を選定した。各アーキタイプは保有水平耐力計算を必要最低限満足するよう設計した。

(3) 非線形解析モデル

保有水平耐力計算で一般に用いられる材端ばねモデルを用いた。FEMA P-695 では建物の崩壊を追跡可能な解析モデルを用いることを基本としているが、国内では知見が不十分のため、ここでは、いずれかの部材が塑性率 6 に達した時点而建物の崩壊と定義した。

インデックスアーキタイプモデルの品質を、4段階で評価する。インデックスアーキタイプモデルは、設計可能な広範囲をカバーしているものの網羅的ではなく、また、前述の通り崩壊挙動を精度よく追跡する解析モデルを用いていないことから、(C)普通 ($\beta_{MDL}=0.35$) と評価された。

(4) 非線形解析

① 静的荷重増分解析

静的荷重増分解析から降伏変位、終局変位、塑性率 μ_T (= 終局変位/降伏変位) を求める。

降伏変位は次式で定義されており、ここでもそれによった。ただし、 T は建築基準法に従い $0.02H$ (H : 建物全高さ) とした (より精緻には初期剛性ではなく降伏時剛性に対応した周期とする方がよい)。

$$\delta_{y,eff} = C_0 \frac{V_{max}}{W} \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) (\max(T, T_1))^2$$

$$C_0 = \phi_{1,r} \frac{\sum_1^N m_x \phi_{1,x}}{\sum_1^N m_x \phi_{1,x}^2}, \quad V_{max}: \text{最大ベースシア}, \quad W:$$

全重量, g : 重力加速度, T : ASCE7 による固有周期, T_1 : 固有値解析による1次固有周期, m_x : x 階の質量, $\phi_{1,x}$ ($\phi_{L,x}$): 1次モードの x 階 (最上階) 成分

② 漸増動的解析

動的解析においては、FEMA P-695 で示された地震動セット (ただし、現在入手不可の1地震動を除いた21地震動42波³⁾) を基準化して用いた。これらの波を定数倍増幅させていき、半数の地震波で崩壊するときのスペクトル加速度 \hat{S}_{CT} を求めた (表2)。

最大想定地震動による要求加速度 S_{MT} に対する \hat{S}_{CT} の比から崩壊余裕率 CMR を求める。FEMA P-695 では最大想定地震動として再現期間約2500年程度のもを考慮しているが、本検討では建築基準法の加速度スペクトル (R_s 曲線, 再現期間は500年程度相当と想定) から S_{MT} を求めた (表2)。

(5) 性能評価

① 調整後崩壊余裕率

(4)で求めた崩壊余裕率 CMR に対して、地震動のスペクトル形状の影響を加味した調整係数 SSF を乗じて調整後崩壊余裕率 $ACMR$ を計算した (表2)。 SSF は地震動セットや建設地域等によって変動する係数であるが、本検討では SDC D_{max} に対する値を用いた。

② 許容崩壊余裕率

崩壊余裕率のばらつきに関する係数 β_{TOT} (次式) から許容 $ACMR$ (許容値) を求める (表2)。許容 $ACMR$ は各アーキタイプについては許容崩壊率20%, PG平均については許容

崩壊率10%に対応している。

$$\beta_{TOT} = \sqrt{\beta_{RTR}^2 + \beta_{DR}^2 + \beta_{TD}^2 + \beta_{MDL}^2}$$

ここで、 $\beta_{RTR}=0.1+0.1\mu_T(0.1\sim 0.4)$

③ 判定

表2に最終判定結果の例 (PG-1~4の例) を示している。各アーキタイプおよび各PG平均のすべてについて $ACMR$ が許容 $ACMR$ を上回ればその設計法は適切と判定される。NGがある場合には、設計要件の追加や適用範囲を限定していき再評価を行いながらすべてOKとなるよう改善を図っていくことになる。例えば、今回の事例では、低層の短周期建物 (PG-1, 3など) で大幅に性能が不足していることが明らかとなったため、低層建物は要求強度を増大させるなどの対応が必要と判断される。また、要求スペクトルが小さい建物 (PG-3, 4など) で相対的に性能が不足していることから、要求スペクトルの低減率は現状より控えめにする必要があるので示唆される。

表2 最終評価結果の例 (靱性型)

ID	階数	S_{MT}	S_{CT}	CMR	$ACMR$	許容値	判定
PG-1 (スパン6m, 内構面, Z=1 (第3種), 短周期)							
1011	1	1.00	0.40	0.40	0.53	1.62	NG
1012	2	1.00	0.90	0.90	1.20	1.62	NG
1013	3	-	-	-	1.51	-	-
PG平均					1.08	2.09	NG
PG-2 (スパン6m, 内構面, Z=1 (第3種), 長周期)							
1021	4	1.00	1.37	1.37	1.82	1.62	OK
1022	8	1.00	2.00	2.00	2.66	1.62	OK
1023	12	1.00	1.67	1.67	2.32	1.62	OK
1024	20	0.95	1.06	1.12	1.66	1.62	OK
PG平均					2.11	2.09	OK
PG-3 (スパン6m, 内構面, Z=0.7 (第1種), 短周期)							
1031	1	1.00	0.39	0.39	0.52	1.62	NG
1032	2	1.00	0.65	0.65	0.86	1.62	NG
1033	3				1.22		
PG平均					0.87	2.09	NG
PG-4 (スパン6m, 内構面, Z=0.7 (第1種), 長周期)							
1041	4	1.00	1.18	1.18	1.57	1.62	NG
1042	8	0.99	1.72	1.73	2.30	1.62	OK
1043	12	0.87	1.11	1.27	1.76	1.62	OK
1044	20	0.53	0.37	0.70	0.92	1.62	NG
PG平均					1.64	2.09	NG

■適用例 (強度型建物の保有水平耐力計算)

靱性型建物への適用事例を元に、要求強度を $D_s=0.3$ から $D_s=0.45$ に変更するとともに、建物の崩壊をいずれかの部材が塑性率3に達した時点と変更し、同様の評価を行った (表3)。靱性型と比較すると、 $ACMR$ の値や判定に若干の違いは見られるものの、大きな違いは見られないことが分かり、靱性型と強度型との間で保有水平耐力計算による崩壊防止性能

は同程度と判定される結果となった。

表3 最終評価結果の例 (強度型)

ID	階数	S_{MT}	S_{CT}	CMR	ACMR	許容値	判定
PG-1 (スパン 6m, 内構面, Z=1 (第3種), 短周期)							
2011	1	1.00	0.60	0.60	0.80	1.62	NG
2012	2	1.00	0.93	0.93	1.24	1.62	NG
2013					1.50		
PG 平均					1.18	2.09	NG
PG-2 (スパン 6m, 内構面, Z=1 (第3種), 長周期)							
2021	4	1.00	1.33	1.33	1.77	1.62	OK
2022	8	1.00	1.89	1.89	2.51	1.62	OK
2023	12	1.00	1.49	1.49	2.07	1.62	OK
2024	20	0.95	1.03	1.08	1.57	1.62	NG
PG 平均					1.98	2.09	NG
PG-3 (スパン 6m, 内構面, Z=0.7 (第1種), 短周期)							
2031	1	1.00	0.44	0.44	0.59	1.62	NG
2032	2	1.00	0.73	0.73	0.97	1.62	NG
2033					1.23		
PG 平均					0.93	2.09	NG
PG-4 (スパン 6m, 内構面, Z=0.7 (第1種), 長周期)							
2041	4	1.00	1.12	1.12	1.49	1.62	NG
2042	8	0.99	1.62	1.63	2.16	1.62	OK
2043	12	0.87	1.23	1.41	1.95	1.62	OK
2044	20	0.53	0.43	0.80	1.07	1.62	NG
PG 平均					1.67	2.09	NG

■課題の整理

本検討から、FEMA P-695 を日本に適用する際の課題や留意事項として以下のような事項が挙げられる。

- (1) 米国では再現期間 2500 年程度の最大想定地震動に対して許容倒壊率を一定以下に抑えることを耐震設計の目標としており、それに対応するように設計法の是非を評価している。一方、日本ではそのような再現期間のイベントや倒壊確率を意識した耐震設計とはなっておらず、どのようなイベントに対してどの程度の倒壊を許容するか、あるいは現行の設計法が結果としてどのような倒壊確率を許容しているのかコンセンサスを取っていく必要がある。
- (2) 本評価方法では建物の倒壊確率を評価基準としているため、倒壊を精度よく解析で追跡できる必要があるという立場をとっている。米国ではそのための解析モデル、解析方法について知見が蓄積され、本評価法でも利用されているが、日本では倒壊までの現象を精度よく追跡する解析技術は未整備の状況であり、今後の整備が求められる。
- (3) 崩壊余裕率算定に用いられる地震動セットは米国における過去の大地震を中心として一部海外の地震動を用いて検討されている。日本で適用する場合には日本を中心とした地震動セットを用いた方がより良い評価法となる。日本独自あるいは米国と同様の地震動セットのいずれを用いる場

合でも、地震動のスペクトル形状の影響を加味した調整係数 SSF には、日本の各地の状況に合わせて別途適切な値を設定する必要がある。

■まとめ

FEMA P-695 の手法を用いて、鉄筋コンクリート造建物の保有水平耐力計算の試評価を通じて、日本で適用する場合の課題をとりまとめた。

参考文献

- 1) Federal Emergency Management Agency (FEMA), Quantification of Building Seismic Performance Factors, FEMA P-695, 2009.
- 2) 田尻清太郎：耐震性能評価法のあり方に関する調査と展開、BCJ 技研レポート、Vol.7, 2025.
- 3) PEER Center, PEER Ground Motion Database, <https://ngawest2.berkeley.edu/>

II. BCJ 研究支援（2025 年度）による成果報告

2. 実建造物の応力モニタリングによる風圧力の実態把握

横浜国立大学大学院教授 松本由香

■調査研究の目的

気候変動に伴う風水害の激甚化により、建物が従来より厳しい風圧力に曝される可能性が高まっており、構造設計時における風圧力モデルについても妥当性を検証する必要がある。本研究では、文献 1) で報告した鋼管トラスの応力モニタリングを継続し、自然風による骨組応力を実測した。さらに、建築基準法で定める風力係数を用いて算定した風圧力を与えて静的弾性解析を行い、応力実測値と解析値を比較した。

■対象建造物

対象とする建造物は、横浜市にある 8 階建て SRC 建造物の屋上 (R.L.31m) に設置された鋼管トラス構造物¹⁾である。図 1 にトラス構造の軸組伏図を示す。トラス部材はいずれも STK400 円形鋼管であり、トラスに ETFE フィルムを定着して庇状の屋根を構成している。膜屋根は X1~X3 の 3 構面によって支持されている。図 2 に X2 構面の軸組図を示す。

■ひずみ計測方法概要

図 2 のように、R.L.から高さ 788mm を Lv1、高さ 1902mm を Lv2 とし、Lv1 では鉛直柱・斜め柱・ブレース、Lv2 では鉛直柱・斜め柱についてひずみを計測した。選択した 15 断面に各々 4 枚、合計 60 枚のひずみゲージを貼付した。

本研究では、文献 2) と同様のひずみゲージ値の計測システムを用いる。本システムは、チャンネル毎に unix 時間とひずみゲージ値を 85Hz で記録するものであり、計測値 60 点の同期を取るため、0.02sec 刻みで同時刻のひずみ値を線形補間によって算出した。

■温度変化によるひずみ変動成分の控除

静穏時におけるひずみと外気温の関係を検討した結果について、一例を図 3 に示す。縦軸は同一断面の平均軸ひずみ ε_{ave} であり、横軸は鋼材の線膨張係数 $\alpha=11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と外気温変化 ΔT の積である。ひずみデータを断面毎に分類すると、 ε_{ave} と $\alpha\Delta T$ には強い相関が見られた。また、熱電対による鋼材温度の実測により、曇天時などの日射の影響が少ない時間帯であれば同一断面における温度分布は概ね一様であり、温度変化による見かけ上の曲げモーメントおよびせん断力は生じないことを確認している。

本研究では、 ε_{ave} と $\alpha\Delta T$ の回帰係数を断面毎に求め、回帰係数と $\alpha\Delta T$ の積を温度変化に起因するひずみ成分とした。得られたひずみを実測値から控除した値を風圧力によるひずみ成分とし、これに基づいて骨組軸力を算出した。

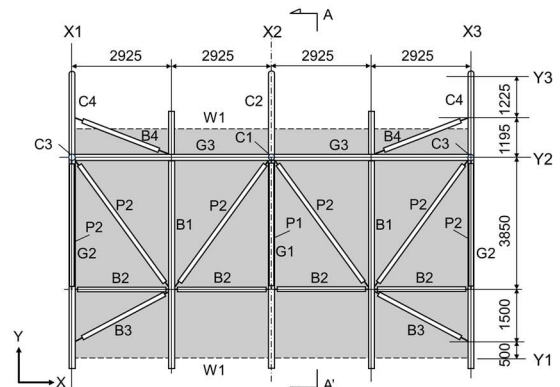


図 1 軸組伏図

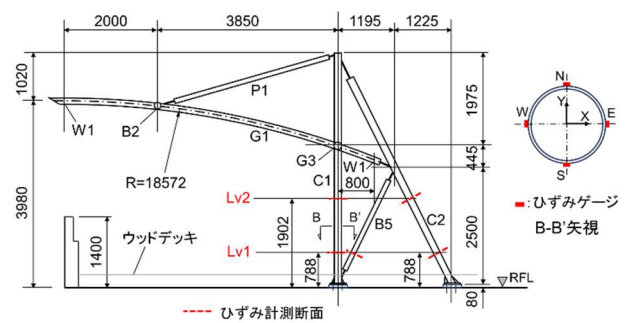


図 2 X2 構面軸組図

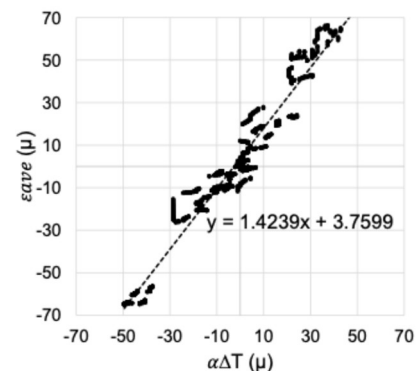


図 3 静穏時のひずみと外気温変化×線膨張係数の関係

■検討対象とする気象データ

建物屋上には高さ 4m の塔屋があり、塔屋屋上から 1.5m の高さに気象計が設置されている。気象計は 5 分間隔でデータをサンプリングしており、過去 5 分間における瞬間最大風速 V_{peak} (m/s)、平均風速 V_{ave} (m/s)、風向、外気温、湿度、空気密度 ρ (kg/m³) などが出力される。

図 1 中の +Y 方向はおおよそ風向 SSW に対応する。ここでは、風向が北寄り (NNE~NNW) または南寄り (SSW~SW) であり、曇天で $V_{peak} \geq 15\text{m/s}$ を記録した 5 分間について分析する。対象となるのは、2024 年 5 月から 2025 年 12 月に観測された 24 データである。

■解析方法概要

文献1)のようにトラスをモデル化し、弾性応力解析を行う。風向は±Y方向とし、下式のように実測風速に基づいて求めた速度圧に風力係数を乗じた風圧力を屋根面に付与する。

$$W = C_f \cdot \frac{\rho V_{ave}^2}{2}$$

式中の風力係数 C_f は建築基準法によるものとし、翼型屋根を有する独立上家の値を採用する。

■実測値と解析値の比較

本研究では、各部材の軸力に加えて、骨組全体に作用する鉛直力 P_V および転倒モーメント M_{TX} に注目して分析を行う。 P_V は、各部材に作用する応力のうち、鉛直方向成分の総和として求めた値であり、上向きを正とする。 M_{TX} は、鉛直柱図心軸上のLv1高さに対して、各部材の応力が及ぼすX軸回りモーメントの総和であり、図2中時計回りを正とする。なお、いずれも軸力による成分が卓越しているため、曲げモーメント・せん断力は無視して算定する。

ここで、図4に示す要領で実測値と解析値を比較する。図中の実線は実測値=解析値の値を示し、破線は解析値にガスト影響係数 $G_f=2.17$ を乗じた値を示す。データが図中のA領域(網掛け)にある場合は実測値が解析モデルから予測される範囲内に収まり、B領域(白抜き)にある場合は想定よりも大きな応力が作用したことを意味する。C領域(格子)にある場合は、想定と逆向きの応力が作用したことを示す。

鉛直力 P_V について、実測値と解析値を図5に示す。図中、風向が北寄りのデータを黒、南寄りのデータを赤で示す。また、マーカーの違いは観測時間5分間における代表値の違いを示し、○は平均値、×および△は各々最大値・最小値(平均値を基準とした正側・負側の極大値)を表している。北寄りの場合、解析では P_V が負の値となるのに対し、実測値の多くは正の値を示した。また、南寄りの場合、実測値のほとんどは正の値を示し、B領域にもデータが見られる。よって、風圧力は想定よりも鉛直上向きに作用し、特に北寄りの場合で顕著である。

M_{TX} について、実測値と解析値を図6に示す。 M_{TX} 実測値は負の値を示すものが多く、図2中の反時計回りに作用するものが優勢である。また、南寄りの風の場合は×と△の差が大きく、5分間における変動が大きいことが分かる。

X2構面を代表に、各部材の軸力について実測値と解析値を図7~図9に比較して示す。

風向が北寄りの場合には、いずれの部材においても軸力が引張側に作用する傾向が見られ、鉛直柱(C1)では図4のC領域に位置するものが多い。風向が南寄りの場合では、同一

時間帯における×と△の差が大きく、5分間における変動が大きいことが分かる。B領域のデータは比較的少ないが、C領域にある程度のデータが分布しており、振動する過程で想定とは逆向きに応力が作用していることを示している。

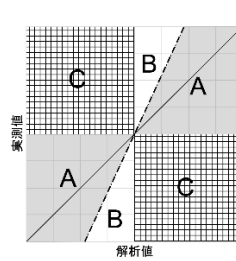


図4 実測値と解析値の比較

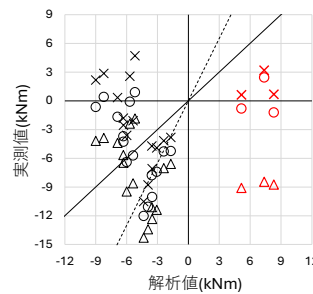


図6 転倒モーメント

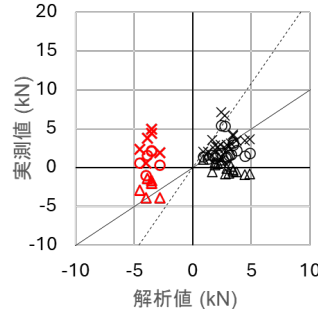


図8 斜め柱C2軸力(kN)

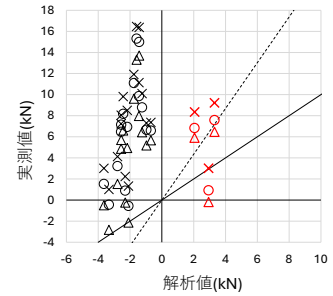


図5 トラスに作用する鉛直力

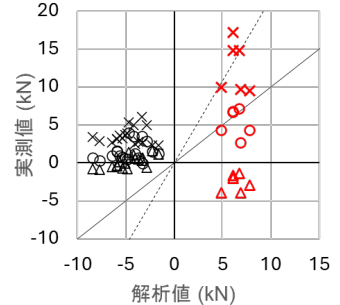


図7 鉛直柱C1軸力(kN)

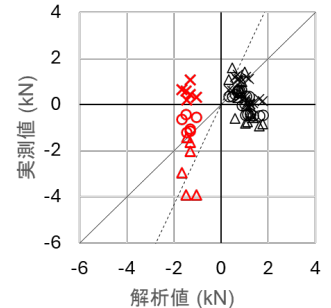


図9 ブレースB5軸力(kN)

■結論

ETFE膜屋根を有する鋼管トラス構造物を対象に、ひずみ計測による応力モニタリングを行い、自然風による骨組応力を把握した。骨組に作用する風圧力は、全般的に解析値よりも鉛直上向きに大きくなり、南寄りの風の場合は時間による変動成分が大きくなる傾向が見られた。

参考文献：

- 1) 武田帆香, 黄子霄, 松本由香, 伊山潤: 膜屋根を有する鋼管トラス構造物の風圧力による応力のモニタリング, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.318-pp.321, 2024.9
- 2) 加藤名音, 伊山潤, 小山毅, 福島佳浩, 宮崎祥太: 加速度・ひずみ応答実測による耐震補強鉄骨ブレースの挙動分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2021.9

II. BCJ 研究支援（2025 年度）による成果報告

3. 伝統構法を用いた大型木造建築の構造ヘルスマonitoringの実践と要件整理

東京大学大学院教授 藤田香織

■調査研究の概要

本研究は、伝統構法を用いた2棟の大型木造層塔建築を対象とした振動実験の結果を報告し、これに基づき振動測定による構造ヘルスマonitoringを実施するために必要な要件を検討するものである。

■研究の背景と目的

伝統構法を用いた木造建築は、文化財建造物の保存や復原建築の新築などにおいて現在も広く用いられている。これらの建築物は長期にわたり使用されることが想定されるため、地震や風などの外力による影響を継続的に把握することが重要である。近年、非破壊的に構造状態を把握する手法として構造ヘルスマonitoring（Structural Health Monitoring : SHM）の導入が期待されている。

本研究では、伝統構法による大型木造建築を対象として振動計測および環境計測を実施し、振動特性の変動要因を明らかにするとともに、伝統木造建築にSHMを適用する際の基礎的知見を得ることを目的とする。

■調査対象建築物

本研究では、築年数および構造条件の異なる二つの五重塔：興福寺五重塔と津観音五重塔を対象として計測を行っている。

■調査結果1：興福寺五重塔

国宝・興福寺五重塔（奈良県）は15世紀に建設されたもので、国内最大規模の五重塔である（塔身約30m、総高約50m）。現在、屋根葺替えを含めた改修工事が実施されている。本研究では、興福寺五重塔を対象に常時微動測定、人力で固有振動数を共振させる加振試験を実施し、修理前の塔身および心柱の振動性状を把握することを目的としている。

・測定概要

2025年6月12日~6月14日

東京大学藤田研究室教員2名+学生9名

使用機器：SPC-52、サーボ型速度計VSE-15D×9台（東京測振）

微動測定の結果より、1次：0.48Hz（塔身と心柱と相輪等）、1次：0.61Hz（塔身）、2次：1.48、3次：2.59、4次：3.17、心柱：2.21（Hz）を同定した。平面振動の詳細分析から、建物の平面は正方形をほぼ保って振動する様子が確認された。

塔の基本的な振動特性を把握することができ、今後の長期モニタリングを検討する上での基礎データを取得することができた。

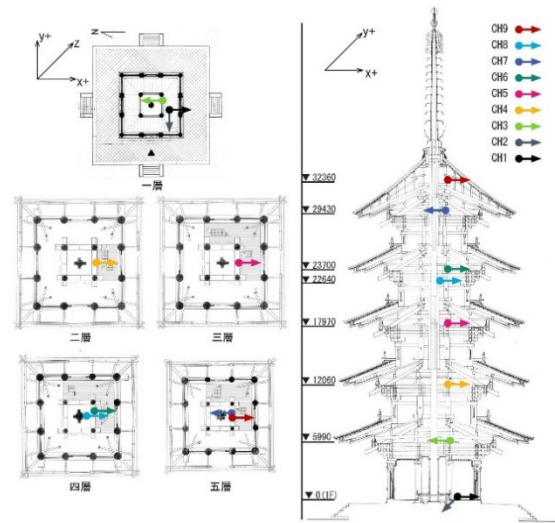


図1 興福寺五重塔の平面・断面図

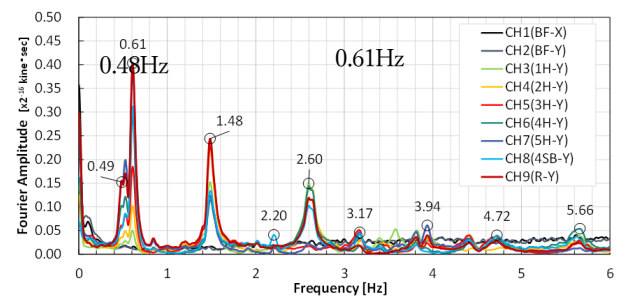


図2 フーリエスペクトル（興福寺・配置1-Ya）

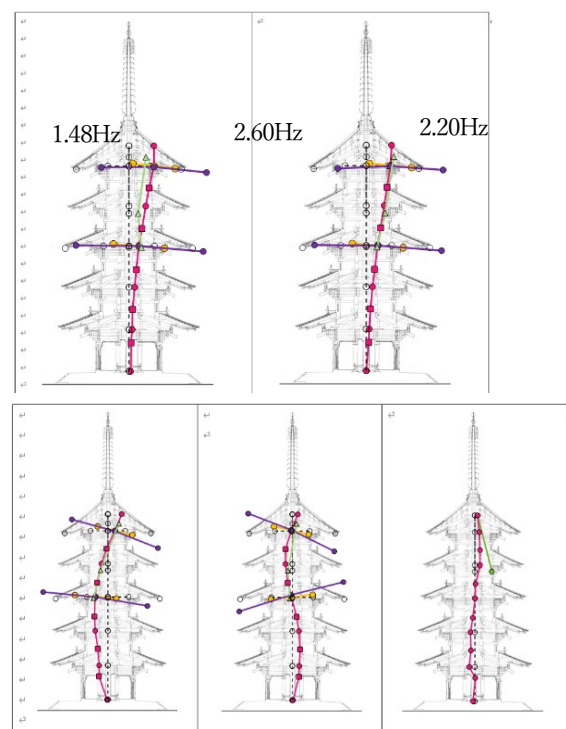


図3 振動モード図（興福寺）

■調査結果 2：津観音五重塔

三重県津市の津観音五重塔は、2001年5月に新築された伝統構法による木造五重塔であり、塔頂まで約30mの規模を有する(図4)。本塔では2002年7月から振動計測および環境計測を継続して実施しており、伝統木造塔の振動特性を把握するための基礎データを蓄積してきた。

2002年9月に実施した微動測定から得られた塔の一次固有振動数はNS方向1.35Hz、EW方向1.45Hzであった。EW方向は1.45Hzだけでなく1.73Hzに卓越が見られるが(図5)、振動モードから前者を塔身一次とし、後者は心柱の影響を含め今後さらに検討する。

2007年4月15日に発生した三重県北部の地震(M5.5)では、基壇での最大加速度は約103gal、塔上部では最大約168galの応答が確認され、4重の最大相対変位は約1.57cmであった。フーリエスペクトルから、本塔の主要な固有振動数は約1.1Hz(1次)、約2.7Hz(2次)、約5.5Hz(3次)であることが確認された。振動モードは微動では曲げ変形が卓越し、振幅の増加に伴いせん断変形の寄与が増加する傾向が認められた(図6)。

2026年2月に再度微動測定を実施した。その結果、一次固有振動数はNS方向1.28Hz、EW方向1.36Hzであった。建設直後から24年を経過し、固有振動数は10%ほど低下していることがわかる。図7に最大水平変位と固有振動数の関係を示す。変位依存性が大きいのが、微動測定では同程度の変位であるため比較することで、経年の影響を確認することができる。一方、近年の研究から木造建築の場合、季節変動(温湿度)の影響も認められることが知られているため、変位と温湿度(主に含水率)により基準化することで経年や外力による損傷の影響を定量的に評価することが期待できる。

■まとめ

伝統構法を用いた大型木造層塔建築2棟の振動測定の結果を報告した。興福寺五重塔では微動測定により基礎的な振動特性を詳細に検討した。津観音五重塔の計測結果については、今後長期地震観測結果と併せて分析を実施する。伝統構法による大型木造建築の長期的な振動特性の変動について明らかにするとともに、構造ヘルスマモニタリングを適用する際の技術的要件を定量的に示すことを目標としている。

■謝辞

本研究を実施するにあたり、興福寺、奈良県文化財保存事務所興福寺出張所、清水建設の関係者の皆様に大変お世話になりました。本支援金により、以下の研究を実施させていただきました：川島遼也「興福寺五重塔の振動性状に関する研究—微動測定と人力加振による塔身と屋根の挙動の考察」東京大学卒業論文、2025年12月。

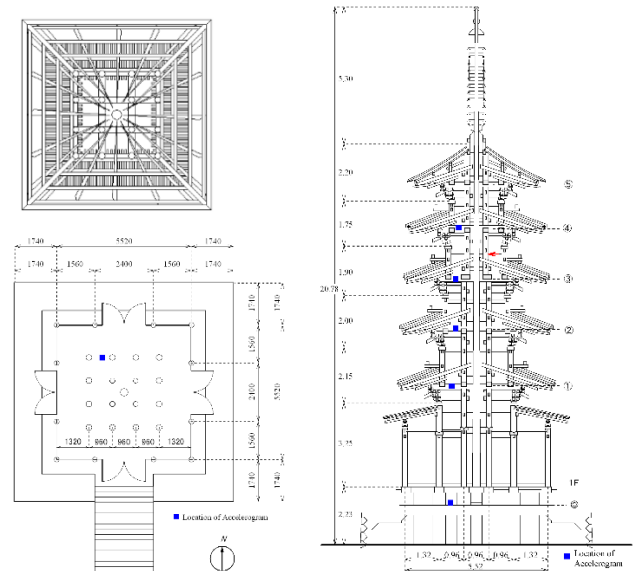


図4 津観音五重塔平面・断面図と地震計設置位置

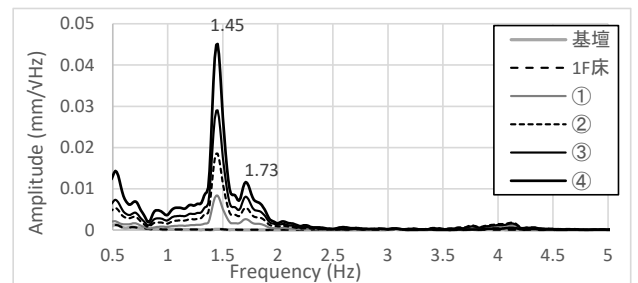


図5 伝達関数(津観音常時微動EW方向:2002年9月)

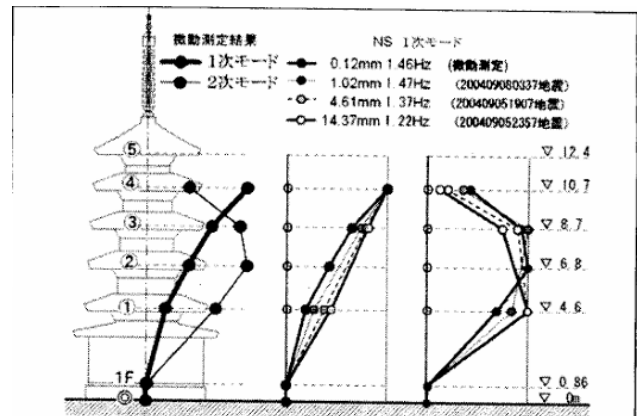


図6 振動モード(津観音)

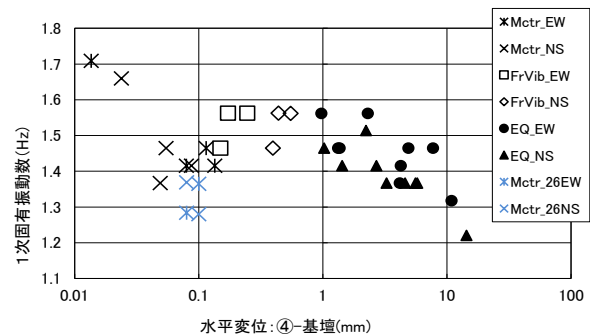


図7 一次固有振動数と最大変位(津観音)