

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成31年度（2019年度）研究進捗評価用〕

平成28年度採択分  
平成31年3月19日現在

歴史的建造物のオーセンティシティと耐震性確保のための  
保存再生技術の開発

Development of Preservation/Renovation Techniques for Seismic  
Performance Improvement and Authenticity of Historical Buildings

課題番号：16H06363

青木 孝義（AOKI, TAKAYOSHI）

名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科・教授



研究の概要

本研究は、国内外の建築（文化財保存、構造系、材料系、環境系）と土木（維持管理工学）の各分野の研究成果を統合・発展させて、文化財・近代化遺産建造物のオーセンティシティを確保した上での耐震性・耐久性確保のための保存再生技術の開発を行う。さらに、歴史的建造物の保存再生のためのガイドラインを提案し、歴史的建造物の保存再生を目指す。

研究分野：建築学、建築構造・材料、建築環境・設備、建築史・意匠、維持管理工学

キーワード：歴史的建造物、オーセンティシティ、耐震性、保全技術、保存・再生

1. 研究開始当初の背景

国内外で大規模地震が頻発しており、文化財・近代化遺産建造物を含む歴史的建造物が被災し、その修復・補強が急務となる一方、有効な対策・方法は確立されていない。また、経年に伴う劣化も顕著になってきている。そのため、組積造や鉄筋コンクリート造（RC造）の歴史的建造物の修復・補強は、その良否の判断基準が不明確なものも含め、専ら個別対応されてきたため、歴史的建造物の保存再生技術の確立が世界的に望まれている。

2. 研究の目的

組積造や今後増大するRC造の登録有形文化財の保存活用に対応するため、個別対応から普遍的な課題を抽出するとともに、各国が蓄積してきたノウハウを統合し、実験的・解析的に検証することで、歴史的建造物の調査・診断・修復・補強方法に関する技術を確立することを目的とする。また、文化財・近代化遺産建造物の保全に資する高度な資料・ガイドラインを提案し、オーセンティシティを確保しつつ耐震性・耐久性を確保するための保存再生技術の開発を目的とする。

3. 研究の方法

国内外の組積造とRC造の文化財・近代化遺産建造物の調査研究を実施して、文化財保護、材料、構造と環境の視点から、1)過去になされた調査・診断・修復・補強事例の系統的整理、2)国内外の歴史的建造物の劣化現象と補修方法の整理、3)微動観測や光学的計測技術を含む非破壊・微破壊検査による劣化調

査・診断と補修・補強後の効果検証、4)環境実験、5)材料実験による劣化抑制や表面保護方法を含む有効な補修方法の提案、6)構造実験による補強方法の提案、7)モニタリングによる補修・補強効果の検証、8)オーセンティシティを確保した上での具体的な材料の補修や構造補強方法の提案（開発）とガイドラインの提案（作成）、で進められる。

4. これまでの成果

1)、2)：歴史的建造物の保存すべき価値の所在を見いだすとともに、調査・診断・修復・補修・補強事例を整理してデータベース化し、各方法の特徴の点数化と、エキスパートシステムによる歴史的建造物の調査・診断・補修・補強方法の提案システムを作成した。

3)：3Dレーザースキャナ、SfMを用いて既設建造物の3次元維持管理システムを構築するとともに、サンプリングモアレカメラやレーザードップラー速度計などの光学的計測装置を用いて変位や振動計測を実施し、既往の計測結果と比較検討した。また、多視点画像計測などにより小規模橋梁、両面焚倒焰式角窯の構造解析モデル作成し、振動計測結果との比較を行った。コンクリート、石、煉瓦および仕上げモルタル等の寸法、強度および劣化度を非破壊および微破壊試験により評価する方法を国内外の歴史的建造物等に適用させ、試験方法の整備、検証を行った。この一環として、微破壊試験（ドリル削孔）によるコンクリート中の塩化物イオン量の試験方法を標準化し、非破壊検査協会規格NDIS 3433としてとりまとめた。

4)：環境モニタリング結果と現地の塩類析出画像調査結果の関係分析を行い、大型放射光施設にて材料の吸水、乾燥過程の X 線 CT 画像撮影を行って、内部構造での塩水移動と塩析出の様子を明らかにした。また、煉瓦の塩類風化の促進試験方法を検討し、メカニズム解明のための実験を行っている。

5)：亜硝酸リチウム等を適用した、外観変化を抑制した鉄筋コンクリート構造物の補修工法を検討し、潜伏期までの、歴史的 RC 構造物の補修工法・仕様の方針を得ることができた。進展期以降についても検証のための屋外暴露試験を開始した。RC 部材の構造性能評価として、乾燥とそれによって生ずるコンクリートの変化を考慮できる剛体バネモデルを提案した。乾燥によって生ずるひび割れや剛性低下を考慮でき、最大耐力までの挙動をおおむね良好にとらえることができる(図 1)。今後は構造レベルの応答を検討する。

6)：せん断補強筋の付着劣化が梁部材の曲げせん断性状に影響することを明らかにし、腐食劣化した RC 部材の性能評価のためのデータを蓄積した。耐震性能評価のための数値解析技術として、不連続変形法に基づいた 2 次元静的解析法を開発した。また、最適な構造補強方法を選択する手法として、経年劣化が構造性能に与える影響についての分析を進めるとともに、ライフサイクルを通じた損傷累積を考慮した経済性能評価に基づく地震リスク解析手法を開発した。

7)：中国常州にある木・煉瓦混合構造、国内外の煉瓦造や RC 造の微動計測を行い、構造形式ごとの構造性能評価に貴重な基礎データを蓄積した。また、灯台の設計用一次固有周期の推定式を提案し、国内外の煉瓦造、RC 造のモニタリングを継続しており、固有振動数の季節変動(図 2)、地震時の加速度応答倍率、補強効果の検証を行っている。

8)：「オーセンティシティを考慮した歴史的建造物の保存・修復ガイドライン(案)」の提案のため、煉瓦造、RC 系の歴史的建造物の保存・修復事例を調査・分析し、保

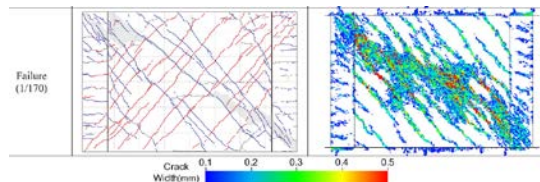


図 1 実験による乾燥下 RC 壁亀裂状況(左)と剛体バネモデルによる亀裂再現(右)

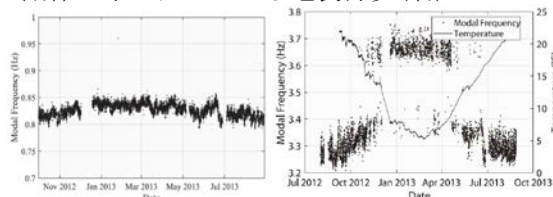


図 2 ギルランディエナの曲げモード(左)とねじれモード(右：アーチの影響)の季節変動

存修復のための調査項目・手法の実態把握、オーセンティシティの観点からの補修・補強事例の評価を行い、目次・構成案を検討し、本課題の技術開発項目との調整を行った。

## 5. 今後の計画

3D 計測データに劣化情報を組み込み、劣化を考慮した FEM 解析モデルを構築し、劣化状態を考慮した歴史的建造物の耐震性能評価法を確立する。実験と FEM 解析により鉄筋腐食が力学性能に及ぼす影響程度を定量的に検討し、補修・補強を考える場合の基本フローをまとめる。各種構造形式の歴史的建物に対して、振動計測データの詳細分析を行い、各構造形式の性能同定法を開発し、耐震性能及び補強効果を評価するための解析手法を確立する。データベースの充実、AI の導入により、より良い歴史的建造物の調査・診断・補修・補強方法の提案システムの構築を図り、オーセンティシティを考慮した歴史的建造物の保存・修復ガイドラインを完成させる。

## 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- 1) 松田浩 ほか: PC 構造物の現有応力を測定するスリット応力解放法の開発, **国土技術開発賞二〇周年記念創意開発技術大賞**, 2018.7
- 2) 澁井雄斗, 濱崎仁 ほか: 塩害環境下における亜硝酸リチウムを用いた補修工法の腐食抑制効果の評価, 日本建築学会技術報告集, 24(57), 529-534, 2018.6
- 3) H. Sasano, I. Maruyama, et al., “Impact of Drying on Structural Performance of Reinforced Concrete Shear Walls”, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 16(2018), 210-232, 2018.5 (**Outstanding papers of the year**)
- 4) F. Lorenzoni, M. Caldon, F. da Porto, C. Modena, T. Aoki, “Post-earthquake controls and damage detection through structural health monitoring: applications in l’Aquila”, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 8(2), 217-236, 2018.4
- 5) 川瀬みなみ, 青木孝義, 張景耀, 佐藤大輔: 灯台の構造諸元と一次固有周期との関係に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 83(745), 397-407, 2018.3
- 6) 木本啓介, 松田浩: 中小橋梁の点検における SfM の活用方法の比較・検証, *実験力学*, 17(4), 290-297, 2017.12 (**実験力学学会技術賞**)
- 7) 野中英, 湯浅昇 ほか: エコーチップを用いたコンクリートの圧縮強度推定試験方法の提案, エコーチップを用いたコンクリートの圧縮強度推定試験方法の提案, 日本建築学会技術報告集, 23(54), 397-402, 2017.6

## 7. ホームページ等

<http://www.kaken-authenticity.jp/>