

「RC造建築物の変状・損傷の早期確認と鉄筋腐食の抑制技術等に関する研究」

（平成28年度～平成30年度）評価書（年度）

平成30年3月8日（木）

建築研究所研究評価委員会

材料分科会長 近藤 照夫

1. 研究課題の概要

（1）背景及び目的・必要性

既存RC造建築物については、持続型社会の形成に向けた利活用とそのため健全性診断と長寿命化のための維持管理技術の開発が課題であり、関連学会等においても新たな指針、仕様書の作成が検討されている。建築物の健全性診断においては法12条による定期検査報告が義務づけられているが、費用や日数等の負担が大きいため適正な検査報告が行われていない場合も多い。一方、RC造建築物の耐久性判断の基本は鉄筋腐食の有無であるが、一般にはコンクリートの中性化深さと令第79条や品確法の劣化対策評価方法基準等による鉄筋のかぶり厚さとの対比で行われている。しかし、中性化や塩分浸透等がかぶり厚さに達する事と鉄筋腐食の開始とは必ずしも同じではないため、中性化等がかぶり厚さに達した後も継続して使用する際の耐久性判断の基準がまだ十分に整理されていない。さらに、健全な継続使用のためには定期的な補修・改修が不可欠であり、施工後数十年を経た建築物の場合には繰返し実施されている場合もあるが、補修・改修した箇所が健全な状態で維持されているかの情報も十分には整理されていない。

本研究では、RC造建築物を長期継続使用する上で、不可欠な建築物外皮全面の変状・損傷を簡便に確認する技術の開発、中性化等がかぶり厚さに達した後の鉄筋腐食予測のための技術資料の整備、及び補修・改修後の劣化評価に関する技術開発を目的とする。

（2）研究開発の概要

本研究では、今後建築物を長期に継続使用する上で必要となる耐久性に関わる技術を開発することを目的とし、①建築物外皮の変状・損傷を容易に確認する技術と既存診断技術への支援システムの開発、②鉄筋腐食に関わるコンクリート中の中性化や塩分浸透に関する技術的検討、③補修・改修後の構造部材の耐久性評価に関する技術的検討を実施し、これらの成果を既存建築ストックの持続的維持管理に資する技術資料として提示し、公表する。

（3）達成すべき目標

- 1) 建築物外皮の変状・損傷を容易に確認する技術と既存診断技術への支援システムの開発
 - ・無人航空機に撮影装置等を搭載した検査機器等を用いた劣化モニタリング技術の導入・開発を行い、建築物外皮の変状・損傷を早期に全面確認できる技術を開発する。
 - ・これら技術を活用して、建築物外皮の変状・損傷の状態を整理・分析し、既存診断技術に支援可能なシステムを提案する。
- 2) 鉄筋腐食に関わるコンクリート中の中性化や塩分浸透に関する技術的検討
 - ・既存建築物の調査とともに、試験体を用いた屋外暴露試験や促進劣化試験等により、コンクリート

の使用材料や物性の影響による鉄筋腐食状態とコンクリート中の中性化や塩分浸透の進行を予測するための技術資料を作成し、評価基準を提案する。

- 3) 補修・改修後の構造部材の耐久性評価に関する技術的検討
- ・既存建築物の調査とともに、試験体を用いた屋外暴露試験や促進劣化試験等に基づいて、補修された部位の劣化状況を定量評価するための技術資料を作成し、評価基準を提案する。

(4) 平成29年度の進捗・達成状況

上記達成すべき目標の3項目について、以下の通り進捗と達成状況を示す。

1) 建物外皮の変状・損傷を容易に確認する技術と既存診断技術への支援システムの開発

① 検査機器や劣化モニタリングシステムの設計・試作

a. 非GPS環境下で建築物の点検調査が可能な建築用ドローンの開発

飛行時にGPSに依存しない2眼カメラによる飛行空間認識ドローンの開発を行った。またデジタルカメラで撮影したひび割れ画像をベクトル変換し、二次元の座標付きデジタルデータとしてマッピングする検討を行った。

b. 高解像度カメラ搭載ドローンによる建物点検調査

標準カメラ(1200万画素)と1億画素カメラを搭載したドローンの外壁・屋根を対象とした飛行実証実験により、建物の変状・損傷の検出精度の確認と測定の安全性について検証した。その結果、高解像度の精度以外の飛行安全性の優位性について提示することができた。

② 建築外皮の変状・損傷の早期・簡易確認による材料・部位劣化分析

a. 非接触方式による外壁調査の診断手法及び調査基準の検討

赤外線装置法による外壁調査技術・診断精度に関して、日本建築学会、BELCA、関連団体の各仕様をとりまとめ、赤外線装置法の適用範囲と測定条件の検討をした。また、赤外線カメラを搭載したドローンを用いて、模擬試験体による外壁タイルのはく離の検出精度の実証実験を行った。

b. 無人航空機を活用した中高層建築物の点検・維持管理技術

6階建て中高層建築物の実証実験により、通常の地上撮影点検、高所作業点検に対する、ドローンによる撮影点検のコスト、調査・分析時間、そして安全性について検証した。その結果、ドローンによりコストを削減することができたが、撮影した画像の分析に多くの時間を要し、今後の検討課題として挙げられた。

c. ドローンによる安全・安心な建物点検のための人材育成プログラム

産官学領域において、ドローンによる建物点検調査を可能とする技術者を育成・普及するために、(一社)日本建築ドローン協会を設立した。人材育成に関わる検討WGを設置し、建築ドローン人材育成マニュアルの作成を開始した。

2) 鉄筋腐食に関わるコンクリート中の中性化や塩分浸透に関する技術的検討

① 海水を被った土中における塩分堆積量の確認試験

各種土中の塩分堆積量やその経時変化について実験により確認することとなっていた。しかし、コンクリート中の鉄筋腐食を考えた場合、コンクリートへの塩分の付着、浸透量と塩分浸漬期間の関係が重要との結論に至った。本試験では、水セメント比の異なるコンクリート試験体について、塩分浸透期間とその後の暴露期間を変化させた場合の、塩分浸透量について検討を行うこととした。なお、本年度は水セメント比60%の試験体を作製し、試験を開始した。また、本検討に関しては、次年度に塩水浸漬期間13週、暴露期間6ヶ月までのデータが提示できる見込みである。

② 中性化促進と塩水浸漬試験

28年度に作製した黒皮を除去したφ13mm丸鋼鉄筋がかぶり10mmで埋設された水セメント比60%のコン

クリート試験体を用い、大気中の部材においては中性化促進試験、土中の部材においては塩水浸漬試験を開始した。

③ 鉄筋腐食に係る屋外暴露試験

②と同様のコンクリート試験体を用い、つくばにおいて屋外暴露試験を開始した。ここでは、内在塩分量の有無や、それに対して、亜硝酸塩系補修材がどの程度の効果を示すのかを検討する。また、本検討に関しては、次年度に試験期間6ヶ月までのデータが提示できる見込みである。

3) 補修・改修後の構造部材の耐久性評価に関する技術的検討

① 補修・改修された建物の劣化調査

H28年度に実構造物から採取したコンクリート補修部を含む庇および壁試験体を利用して、コンクリートや鉄筋の劣化状態の測定を行った。その結果、躯体側と比較して外側の含水率が高くなっていた。また、庇については内部の鉄筋をはつり出し、鉄筋の腐食状況を確認したところ、含水率の高かった外側の鉄筋の腐食度も高くなる傾向にあった。庇については、同一建築物内で同一材料を用いて施工され、そして、近い場所にある部材について調査を行ったが、劣化状態（ひび割れ発生など）の違いにより両方で含水状態が大きく異なる結果となった。

② 補修部における屋外暴露試験及び促進劣化試験の実施

28年度に作製した黒皮を除去したφ13mm丸鋼鉄筋がかぶり10、20、30mmで埋設された水セメント比60%のコンクリート試験体を用い、屋外暴露については、コンクリート構造物に多く用いられている仕上材（薄塗材E、防水形複層E）を施した後に屋外暴露（北海道、つくば）を開始した。その際、仕上材を施さないコンクリート試験体についても暴露し、暴露後にコンクリート表面にひび割れが発生するなどして鉄筋の腐食が確認された後に、亜硝酸塩系の補修材を施すものも準備した。なお、促進劣化試験による補修材の効果は、新規コンクリートでの検討2)②で確認することとした。なお、2月からは沖縄でも暴露を開始する予定である。ひび割れに関しては、昨年度より、乾燥による発生を検討したが、想定されたような結果とはならず、誘発目地を入れるなどして、ひび割れを発生させる方法を継続して検討中である。

2. 研究評価委員会（分科会）の所見（担当分科会名：材料分科会）

(1) 背景（目的・必要性）及び目標とする成果、成果の活用方法が国の方針や社会のニーズに適合しているか。研究開発の計画が具体的に立案されているか。

- ・ 持続型社会の形成に向けて、建築ストックを長期的に継続使用するうえで不可欠な健全性診断ならびに超寿命化をめざす維持管理に関わる重要性は十分に説明されて、具体的な研究計画が立案されている。
- ・ 研究の目的や必要性及び目標とする成果、ならびに成果の活用方法が、国の方針や社会ニーズに適合している。また、研究開発の計画が具体的に立案されている。
- ・ 本研究開発は、既存のRC造の建物を長期に継続使用するために必要な耐久性を早期に判断するために建物の外観のドローンを使用して診断する技術開発、耐久性判断の基準である鉄筋腐食に関連する各種要因の評価、補修・交換後の耐久性評価など、RC造の建築ストックを長期的に継続使用することを目標としており、国の方針や社会ニーズに適合している。
- ・ 建築物の点検技術の高度化や長寿命化は重要な社会ニーズであり、重要な課題と言える。研究計画を基に着実に検討が進められていると判断した。
- ・ 本研究は、建築物を長期に継続使用する上で必要となる耐久性に関わる技術を開発することを目的とするもので、目標とする成果、成果の活用方法は国の方針や社会のニーズに適合しており、研究開発の計画も具体的に立案されている。
- ・ 既存建築物を有効利用するという社会的なニーズに明確に適合した研究である。既存構造物の劣化調査

に関しては、UAV（ドローン）やAIといった最新技術を積極的に取り入れることで、これまでにない低価格化と省力化を達成できる可能性のある研究と考える。また、調査後の補修計画に対しても、既存建築物の劣化評価手法の検討、補修・改修後の耐久性評価に関する基礎的な研究を進めており、実用性のある研究と考える。これらの計画より、研究開発の計画は具体的に示されている。

(2) 他機関との連携等、効果的かつ効率的な研究のために必要な体制が取られているか。技術的支援や普及のための活動等、成果の最大化のための取組がなされているか。

- ・国土交通省、全国タイル業協会、日本建築学会、日本建築防災協会、大学、関連企業等との連携の下に、効果的かつ効率的な研究開発を進める体制が取られており、成果を最大化するために、論文投稿、学会報告、講演会発表、技術指導、外部委員会への出席等々の取組みが積極的になされていると判断できる。
- ・他機関との連携なども十分とれており、成果の最大化のための取組みもなされている。
- ・ドローンを用いた診断技術に関しては、センサーやドローン自体の開発、非接触・非破壊による診断方法の開発など、他機関等との連携が非常に重要となるが、積極的に産官学等の連携がなされていると判断される。また、鉄筋腐食や補修・交換後の耐久性評価に関しても、同様と思われる。
- ・一般社団法人の設立や建築学会との連携は特筆すべきものがあり、研究体制は整っている。他分野の技術者もプロジェクトに参画いただければ、さらに体制が整うものと判断する。
- ・本研究は、関連する協会、建設会社、建材会社、大学、研究所と提携し研究を推進するとともに、(一社)日本建築ドローン協会を設立し、建築分野でのドローン技術を活用するための人材育成、技術支援、標準化を行っており、効果的かつ効率的な研究のために必要な体制が取られており、技術的支援や普及のための活動等、成果の最大化のための取組がなされている。
- ・機械のような他分野との連携が重要となる研究課題において、大学や関係する協会などと様々な連携をしながら研究を進めており、効果的かつ効率的と評価できる。また、(一社)日本建築ドローン協会を設立し、様々な分野の方たちと交流をはかりながら研究を推進していることは、普及活動において極めて高い評価の取り組みと考える。

(3) 研究開発が目標に向けて順調に進捗しているか。

- ・研究開発計画に基づいて、目標に向かって順調に進捗していると考えられる。一方で、既往の文献調査や技術に対する適切な評価に基づいた研究開発の進め方も考慮することが重要であると思われる。
- ・研究開発が、目標に向けて順調に進捗している。
- ・ドローンを用いた検査技術に関しては、非接触式検査技術の開発が必須であり、既存の診断技術手法との比較から適用可能性を検討する必要があるだろう。鉄筋腐食に関しては、かぶり厚さと中性化との関係以外に、実態調査の結果から水分の影響という新たな要因が認められていることから、既存の資料等の分析を含め精査する必要があるだろう。さらに、補修・交換後の耐久性評価に関しては、既存資料の分析を含め研究を進める必要があるだろう。順調に進捗していると判断される。
- ・研究計画に対して着実に検討が進められている。
- ・研究の推進および研究成果の活用体制も整備されており、研究開発は目標に向けて順調に進捗している。
- ・順調に進捗していると考えられる。

(4) 総合所見

- ・建築ストックを長期的に継続使用するうえで、健全性診断や劣化・損傷に対する補修・交換技術の効果確認に関わる重要な研究開発課題であり、国家政策や技術基準へ早期に反映させるためには、建築研究所による推進が不可欠である。建築研究所材料研究グループの人材には限りがあるため、既往の研究成果を活用するとともに、関連する建築基準整備促進事業や総プロとの連携によって、最大限の研究成果をあげられることを期待する。ひび割れのような表面目視可能な変状や損傷に対しては、仮設足場や作

業者を必要としないドローンによる外観撮影は関連装置や機器の研究開発との連携が重要である。また、建築基準法12条による定期報告制度の主対象である目視できない浮きについては、打音検査の自動化技術を取り込んで、外皮の定量的評価を可能にすることが重要である。RCの中性化や塩分浸透については、限られた実験や調査のみでなく、既往の研究成果を活用することが有効である。

- ・RC造建物を長期継続使用する上で不可欠な建物外皮表面の変状・損傷を確認して、余寿命診断や補修計画を立案する取り組みは従来から行われてきたが、これまでは目視観察とエキスパートジャッジメントに頼らざるを得ない状況にあった。本研究で進められている、ドローンを用いた変状・損傷観察と一種のAIの応用による大量データの分析、更にはそれに基づく適切な判断ができるようになることを期待している。
- ・本研究開発は、建物の耐久性判断の一手法として、外観を非接触方式のセンサーを搭載したドローンを用いて診断する技術開発が実施されており、その成果が期待される。一方、鉄筋の腐食や補修・交換後の耐久性評価に関しては、既存の資料分析や実態調査等を基に、新たな知見を得られることが期待される。
- ・ドローン技術の活用は社会的にもインパクトがあり、建築研究所として相応しい技術開発テーマと感じている。成果への期待も大きいため、今後も着実に検討を進めていただきたい。建築研究所として建築材料研究グループの人員を増員したり、他グループの研究者に参画してもらい、本テーマに携わる研究者が増えることが必要と感じた。
- ・2年度目の研究であるが、研究は順調に進んでおり、研究成果は論文発表、講演会、シンポジウム等での発表などにより公表されており、技術指導など、成果の最大化に向けた取組等も行われており、最終成果が期待される。
- ・建築産業の省人化などを推進できる極めて重要な研究と考える。UAV（ドローン）やAI自体の研究開発が急速に進展しているため、他分野の最新技術を本技術に反映させ続けることは極めて難しいと考えるが、他分野との密な情報交換を推進できる環境を整え、既存建築物の維持管理に必須な技術となることを期待する。

参考：建築研究所としての対応内容

<材料分科会での回答>

(1) ドローンに関連する所見への回答

① 他分野の技術者もプロジェクトに参画いただければ、さらに体制が整うものと判断する。

⇒ ドローンは様々な業種に関わる技術であるため、産官学の3つの領域で体制を整えている段階であり、建築研究所のプロジェクトに関わる形で進めていく予定である。他分野については、H29年に設立した(一社)日本建築ドローン協会を通して、日本UAS産業振興協議会、日本ドローンコンソーシアム、日本ドローン無線協会等と連携する予定である。さらに、日本建築ドローン協会に各種委員会を設置し、建築分野でドローンを安全かつ効率的に活用するための技術的検討を行っている。また、協会の各種セミナーを通して会員間の異分野技術交流により、社会のニーズの把握や先端技術情報の収集も行っている。今後も継続して産官学及び異分野との連携を強化するとともに、ドローン先進国である中国や米国における先端技術情報も収集することで、研究成果の最大化の実現に向けて取り組む予定である。

② 非接触式検査技術の開発が必須であり、既存の診断技術手法との比較から適用可能性を検討する必要がある。

⇒ ドローン技術は既存技術の下で成立するものであると認識しており、その条件下で非接触式検査技術の開発を行うことが必要と考えられる。これについては、関連する団体と連携することで、ドローンのプラットフォーム上で活用できる技術の開発を行う予定である。また、建築研究所を中心に日本建築ドローン協会等の関係団体のサポートにより、来年度中に既存診断技術と比較することでドローンにおける適用範囲を検討し、安全かつ合理的なドローンによる建物点検調査に関する技術マニュアルを作成する予定で

ある。

③ 他分野の最新技術を本技術に反映させ続けることは極めて難しいと考えるが、他分野との密な情報交換を推進できる環境を整え、既存建築物の維持管理に必須な技術となることを期待する。

⇒ 他分野の最新技術は建築技術の開発スピードと比べて桁違いに早いため、ドローン、AI、IoT分野の先端研究者における最新技術情報の収集と連携を積極的に行うとともに、産官学領域を網羅する全方位的取り組みを行う予定である。

(2) コンクリートに関連する所見への回答

① 既往の文献調査や実態調査に基づいた研究の遂行（鉄筋腐食に関しては、かぶり厚さと中性化との関係以外に、実態調査の結果から水分の影響という新たな要因が認められていることから、既存の資料等の分析を含め精査する必要がある。さらに、補修・交換後の耐久性評価に関しては、既存資料の分析を含め研究を進める必要がある。）

⇒ これまでの既往の文献調査や実態調査に関する情報を収集・整理し、統計的かつ客観的に考察を加え、技術基準の提案を行う予定である。また、関連する団体の委員会へ参画し、本研究の成果の妥当性についても検証する予定である。そのうえで、本年度まで実施してきた成果を活用し次年度の計画に反映したい。

3. 評価結果

A 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができる。

B ~~研究開発課題として、目標の達成を概ね見込むことができる。~~

C ~~研究開発課題として、目標の達成を見込むことができない。~~