

# 「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29年2月27日（月）

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28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 建築外皮の変状・損傷の早期・簡易確認技術のニーズ調査と課題分析

日本建築学会耐久保全運営委員会の傘下にUAVを活用した建築保全技術開発WGを設置して、既存の劣化診断技術の問題点と建築分野において無人航空機（以下、UAVと記す。）を活用するための条件について検討した。また、UAVに関連する団体・委員会への参画やセミナーへの出席をし、建築物の変状や損傷を簡易かつ効率的に診断するために必要となる技術的情報の収集を行った。

#### ② 既存装置の導入と建築外皮の変状・損傷の早期・簡易確認のための予備試験

市販のUAVを活用してRC造建築物の外壁劣化の調査を行い、外壁のひび割れや劣化による損傷の測定精度について検討し、撮影画像から3次元マッピング画像の分析を行った。これら結果より、外壁全面においては既存のUAVを活用し、建物劣化の詳細調査をするには近接してひび割れや劣化を検出するための機器が必要と判断され、近接撮影用UAVの選定・購入、並びに実施する計測方法の検討を行った。H29年度はH28年度の情報収集と予備試験の結果を踏まえて、UAVによる劣化モニタリングシステムを試作し、建築外皮における劣化測定と評価を行う。

### 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 鉄筋腐食と塩害に関する文献調査

鉄筋腐食に係る文献調査（建築物耐震診断報告書、学会論文等）により、鉄筋の腐食を軸に、地域特性、供用期間、材料強度、中性化深さの関係について情報収集を行った。また、津波等による泥水・土中におけるコンクリートに対する塩分浸透の影響を含む塩害についても文献調査を行った。東日本大震災に関わる文献調査により、建物に乾燥収縮等によりひび割れが発生している箇所では、塩分が深くまで浸透していることが確認された。これら調査から、RC造建築物の劣化に係る物理量を抽出し、本研究で取り扱う実験変数の検討を行った。

#### ② 鉄筋腐食に関する現地調査

築後53年が経過した実建物1棟について鉄筋の腐食状態に関する詳細調査を実施した。現在、本調査により、建物部位、コンクリート強度、かぶり厚さ、雨がかりの有無、温湿度、含水率等の因子に着目して、中性化深さと鉄筋腐食度の関係、含水率に対しては、建物部位、天候、季節による差異や変動の影響について検討している段階である。

#### ③ 促進試験用RC造を模擬した試験体の作製

RC造建築物の塩分浸透の影響及び鉄筋腐食抑制効果が期待される補修材を選定するために、かぶり厚さを変数とした鉄筋を挿入した150mm角の試験体を作製した。塩害の影響については、内在塩分、塩水噴霧、塩水浸漬の3水準を設定し、鉄筋腐食状況、並びに亜硝酸塩系の補修材を塗布した場合の鉄筋腐食抑制効果について検討する。

#### ④ 塩分浸透促進試験装置の設計と作製

建築研究所所有の塩分浸透促進試験装置を改良して試験を実施する予定である。本装置は、上部水槽に試験体を設置し、一定時間ごとにNaCl3%水溶液を上部水槽から下部水槽に、下部水槽から上部水槽

に移動させ、試験体をNaCl3%水溶液に浸漬、乾燥させるものである。現在の計画では、1日浸漬、2日乾燥（20°C・60%R.H.）の条件で実験を予定している。

### 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

補修・改修されたRC造建築物の劣化・損傷の現状を確認するために、実建物から鉄筋腐食によるコンクリート補修部を含む庇および壁を切り出した。H29年度には、コンクリートや鉄筋の劣化状態について調査し、耐久性評価に必要な条件を抽出する。また、鉄筋腐食状況を検知する非破壊検査方法の精度についても検証を行う。

#### ②コンクリートひび割れ部の鉄筋腐食度の検討

当初の計画では、熱膨張等によるひび割れ部での変形による補修材等の繰返し疲労特性の低下を確認するために、微小変形繰返し試験装置を設計も含めた耐疲労性試験の検討を行う予定であった。しかし、文献調査の結果を踏まえ、ひび割れ部における鉄筋腐食の影響について研究計画を変更することとした。コンクリート部材表面にひび割れを発生させる方法として、乾燥収縮によりひび割れを発生させることとした。現在、かぶり厚さ10mmおよび30mmで鉄筋を挿入した試験体を20°C、11%R.H.環境下で乾燥させて、ひび割れ発生の有無を確認している段階である。

#### ③屋外暴露試験及び促進劣化試験のためのコンクリート母材試験体の製作

屋外暴露試験用として幅300×奥行150×高さ200mmの試験体、促進劣化試験用として幅150×奥行150×高さ150mmの試験体を作製している段階である。屋外暴露試験体はかぶりが10、20、30mmとなるようにφ13mm丸鋼が配置され、促進劣化試験体はかぶりが10mmまたは30mmで配置されている。屋外暴露試験体について、H29年度に試験体に建築用仕上塗材や含浸系塗付材料（亜硝酸塩等）を施工し、中性化促進試験あるいは塩水浸漬試験（気中・土中の条件を想定）を実施した後、屋外暴露試験場（北海道、つくば、沖縄を想定）にて暴露試験を開始する。また、鉄筋腐食は雨掛かりの有無による影響が大きいと考えられるため、H29年度は屋外暴露試験において、雨掛かりの有り無しの条件で実験を行う予定である。

## 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。

- ・ 建築ストックを長期的に継続使用するうえで不可欠な耐久性や維持保全に関わる研究の背景や目標、成果の活用方法は適切であり、研究計画を追加変更しながら、的確な検討がされていると判断できる。
- ・ 鉄筋コンクリート造建築物の長寿命化に寄与する重要な課題である。ドローンを使った検査手法の確立やセンシング技術を用いた劣化のメカニズム解明については社会ニーズに適合した重要なテーマである。
- ・ 本研究は建築物の耐久性に係る技術を開発することにより、建築物の長期継続使用に資することを目標としたもので、社会ニーズに適合するものである。研究開発の課題は、その目的にそって絞られており、具体的に立案されている。
- ・ 適合していると判断される。計画は具体的に立案されているが、抑制技術や劣化対策目標の現象に及ぼす影響因子が多いので、計画されている有限個の現地調査や実験でその成果が十分に上げられるか心配は残る。

(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。

- ・ 研究内容に関連する全国タイル業協会、国土技術総合政策研究所、日本建築学会等と連携がされており、

支援や普及のための活動が十分になされていると判断できる。

- ・ 建築学会等での活動は評価できる。センサ技術やドローンの開発技術者と積極的な連携を行うことにより、更に有益な成果が得られるものと判断される。
- ・ 研究成果は、技術基準、学会規準などの技術資料として活用の活用が予定されている。

(3) 研究開発が目標に向けて順調に進捗しているか。

- ・ 担当者の変更等があり、進捗に対する支障がある中で、多くの成果が得られていると評価できる。
- ・ 1年間の成果としては、重要な成果が得られている。
- ・ それぞれの研究課題について、研究開発が目標に向けてほぼ順調に進捗している。

(4) 総合所見

- ・ UAV活用による建築外皮の変状・損傷の早期・簡易確認技術に関しては社会的な注目や期待が大きく、速やかな情報提供が重要であると思われる。鉄筋腐食に関するコンクリートの中性化や塩分浸透に関しては、既往の研究を活用することが有効であると考えられる。また、補修・改修後の構造部材の耐久性評価については、実態調査では要因が複雑で結果のバラツキが大きいことから、実験的評価との相関を検討することが重要になると思われる。
- ・ 順調に研究が進められており、研究成果が期待できる。劣化メカニズムについてはこれまでに多くの研究者が取り組んでいるため、他分野の技術者と連携し、建築研究所らしい先導的な成果を期待する。ドローン技術を用いた検査技術の確立も同様に、実構造物での適用性を考慮した成果が期待される。
- ・ 本研究課題に関しては、既往の多くの研究が実施されているが、まだ解決されていない技術も多い。新たな技術の活用等による診断技術手法、システムの開発、評価基準の作成が期待される。
- ・ 建物外皮の変状・損傷を容易に確認する技術の開発については、新たな試みであり、これまでにない成果が期待される。一方の耐久性判断に関しては、鉄筋腐食に関する現地調査は、これまでもいろいろなとされてきた。耐久性総プロや住宅性能表示制度に関連した調査で、データの蓄積がなされ、室内にあっては「かぶり厚さ+20mm」、屋外にあっては「かぶり厚さ」まで中性化が進んだ段階を耐久性限界としてきた。この知見を超える成果を上げられるか、注目したい。ビッグデータの処理方法やばらつきが多い現地調査のデータの取り扱いに関しても、新しい知見が得られることを期待したい。

**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 背景及び目的とする成果「目標とする成果を上げられるか」について

鉄筋腐食に関わる影響因子が多いため、既往文献の調査並びに現地調査の結果を勘案して鉄筋腐食に大きな影響を及ぼす因子を抽出し、屋外暴露試験や促進劣化試験により汎用性のある研究成果を出していけるように研究計画を立て、結果の定期的な確認と見直しを行っていく予定である。

② 総合所見「実態調査のバラツキと実験との相関性」について

実態調査結果のバラツキが大きく、中性化と鉄筋腐食の関係を平均化して単一的に評価することは難しい。そのため、安全側～危険側の領域というクライテリアで検討し、促進試験等により実態調査の再現性と相関性について検討していく予定である。

③ 総合所見「かぶり厚さと中性化の関係」、「データの取り扱い」について

かぶり厚さを尺度として中性化が進んだ段階での鉄筋腐食との関係を定量的に分析し、総プロや住宅性能表示制度の成果と比較しながら、建物の耐久性限界について考察していく予定である。また、これまでの膨大な文献調査や現地調査を有効活用することで、データの信頼性を高めていけるように研究を進めていく。

### 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。~~