

# 「建築材料の状態・挙動に基づくRC造建築物の耐久性評価に関する研究」

## (平成31年度～平成33年度) 評価書 (事前)

平成31年2月26日(火)  
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) 背景等

##### 1) 背景及び目的・必要性

RC造建築物の長寿命化あるいは延命化の技術的検討が、国あるいは関連学会等において積極的に取り組まれている。これら社会的要請に対する建築材料側の対応として、今後その使用が期待される様々な材料及び建築物の様々な環境条件に基づく劣化の進行状況の推定精度の向上、及び社会実装が可能な評価手法の検証や評価基準の提案等の広範囲な検討が必要となる。

RC造建築物の性能確保、特に構造性能や防耐火性能等の確保にも影響を及ぼすと考えられる耐久性確保の基本は、その構成材料の状態・挙動、すなわち鉄筋腐食とそれに伴うひび割れ発生抑制であり、これらは、RC造建築物の耐久性等関連規定、すなわち、コンクリートの中性化・塩分浸透の評価と鉄筋のかぶり厚さの確保により実現されている。一方、中性化や塩分等の鉄筋への到達と鉄筋腐食の開始とは必ずしも同時ではないことが実RC造建築物では散見され、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十分には整理されていないといえる。さらに、今後その使用が期待される様々なコンクリートおよびその構成材料に対しても、現行のRC造建築物に関する耐久性等関連規定は、十分に対応できていないこと等が指摘されている。

そのため、今後RC造建築物における鉄筋腐食をより具体的・実用的かつ早期に推定・診断及び評価する手法の開発が必要である。そのためには、コンクリートの各種混和材等の構成材料の影響、及び中性化・塩害・含水率等の影響を、時間的スケールで複合的に検討することが重要である。また、最近のAI、VR/AR、ドローン等の技術の実用化・高度化に伴い、建築材料や建築物の環境条件を踏まえた新築時の最適な材料設計の実施から早期の既存建築物の耐久性診断に至るまで、これらの技術は耐久性に関わる推定精度の向上や診断の効率化に寄与すると考えられ、今後、広範囲な活用が期待されている。例えば、建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こと等から、ドローン等が活用され始めている。

本研究では、RC造建築物を長期に継続使用する上で必要となる、建築材料の状態・挙動に基づく耐久性確保の方法、すなわち、鉄筋腐食とひび割れの抑制に関わる評価手法(設計・施工・品管・診断)を整備することを目的とし、①中性化や塩害による鉄筋腐食評価手法、②鉄筋コンクリートの耐久性に及ぼす構成材料の影響評価手法、③建築物の変状・損傷の早期確認と診断支援技術、の社会実装について検討し、その成果を技術資料として提供する。

##### 2) 前課題における成果との関係

- ・ 課題名：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
- ・ 成果の概要：

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、学会発表や報告書等で報告した。

## (2) 研究開発の概要

本研究では、RC 造建築物を長期に継続使用する上で必要となる、建築材料の状態・挙動に基づく耐久性確保の方法、すなわち、鉄筋腐食とびびり割れの抑制に関わる評価手法（設計・施工・品管・診断）を整備することを目的とし、①中性化や塩害による鉄筋腐食評価手法、②鉄筋コンクリートの耐久性に及ぼす構成材料の影響評価手法、③建築物の変状・損傷の早期確認と診断支援技術、について検討し、これら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：中性化や塩分浸透による鉄筋の腐食からコンクリートの劣化（ひび割れ）までを対象とした鉄筋腐食評価手法に関する技術資料
  - ・中性化や塩分が鉄筋到達、鉄筋腐食の開始、その後の腐食進行・ひび割れ発生まで、一連の建築材料の状態・挙動を整理する。
  - ・鉄筋腐食が及ぼす RC 建築物の性能評価方法を提案する。
- ②：RC 造建築物の耐久性評価に及ぼす各種混和材料の影響評価に関する技術資料
  - ・各種混和材料を用いたコンクリート内部の鉄筋の腐食条件を整理し、その評価基準を提案する。
  - ・最適化手法を用いた材料（調合）設計手法に関する技術資料を提示する。
- ③：建築物の変状・損傷を容易に点検調査する技術支援システムを社会実装可能な水準で構築
  - ・3次元空間上で、建築物の変状・損傷を安全かつ効率的に点検調査可能なドローン技術を構築し、技術資料として提示する。
  - ・ドローン等を活用して、建築物の変状・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開発し、技術資料として提示する。

## 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研究開発の「背景・目的・必要性」は十分に説明されているか。

以下に6名の評価委員の所見を示す。

- ・RC 造建築物における鉄筋腐食をより具体的・実用的かつ早期に推定・診断や評価する手法の開発及び AI、VR/AR、ドローン等を応用した建築物の材料設計から耐久性診断に至るまでの精度向上や診断の効率化に関する研究開発の背景・目的・必要性は十分に理解できる。
- ・研究開発は非常に重要な内容であり、必要性も認められる。
- ・十分に説明されていると評価する。
- ・背景・目的・必要性はよく説明されている。
- ・RC 造建築物における鉄筋腐食による劣化をより具体的・実用的かつ早期に診断・評価し残存性能を推定する手法の開発に取り組もうとする本研究開発の背景・目的・必要性は、十分に説明されている。
- ・研究開発の「背景・目的・必要性」は十分に説明されている。

### ②研究開発の「具体的計画」は適切に立案されているか。

以下に6名の評価委員の所見を示す。

- ・本研究開発に含まれる①中性化や塩害による鉄筋腐食評価手法 ②RC の耐久性に及ぼす構成材料の影響評価手法 ③建築物の変状・損傷の早期確認と診断支援技術の社会実装 に対して、各々具

体的な計画が適切に立案されており、十分な成果が得られることを期待できる。

- ・研究計画は具体的であり、一定の成果が達成できると判断される。
- ・これまでの研究を基盤とし、社会に貢献できるアウトプットを得られる内容として立案できていると評価する。
- ・前研究課題との相違点等を含め、適切に説明がなされている。
- ・「鉄筋発錆状況の評価法」に関する研究で、評価法 2 種類の比較検討を実施することは理解できた。コンクリート(混和材をも含めて用いられた材料と調合)と microclimate を含む環境の条件に加えて、促進劣化と自然暴露劣化の条件の違いが中性化の進行速度や鉄筋発錆・腐食進展速度に影響を及ぼすことは、既往の研究でもわかっている。しかしながら、それぞれの因子の作用機構や複合作用の程度が不明で定量化ができず、既往の実験データは実験条件や測定精度がバラバラなので、直接それらから実験式を導き出すことができない。そこで例えば AI 手法の導入が期待される。
- ・研究開発の「具体的計画」は適切に立案されている。

③研究開発の「体制」は適切に計画されているか。

以下に 6 名の評価委員の所見を示す。

- ・建築研究所内においては材料研究 G と構造研究 G に所属する研究者が適切に配置されており、研究開発コンソーシアム(次世代鉄筋コンクリー造に関する研究)、関連する学協会、企業等の連携が適切に計画されていると判断できる。
- ・この分野は大学や民間の技術研究所でも実施しているので、これらを調査し、先導的な役割を果たして欲しい。
- ・建築物を対象とした研究として適切に計画されていると評価する。必要に応じて土木との情報交換の場はあってもよいと思う。
- ・前課題と同様に外部関連機関等との連携を含め、研究体制は適切に計画されている。
- ・表記観点から見て、建築研究所に相応しい研究開発課題と認められる。
- ・研究開発の「体制」は適切に計画されている。

④以下の観点から見て建築研究所に相応しい研究開発課題と認められるか。

- ・本研究開発の独自性・新規性
- ・他機関では必ずしも実施されない又は他機関との重複が無いこと
- ・国の行政施策の立案や技術基準の作成又は国際地震工学研修の実施に資すること

以下に 6 名の評価委員の所見を示す。

- ・RC 造建築物の耐久性は関連法令等で求められる基本性能であり、定期報告が義務付けられており、本研究開発の成果は建築行政に対する技術的支援及び標準仕様書や監理指針等の改定資料として活用されることから、建築研究所に相応しい課題であると判断できる。
- ・建築研究所が実施すべき課題である。
- ・UAV を使った建物調査を本格的に検討している唯一の研究機関(役割分担者も含めた研究グループ)と考えており、①②は認められる。また、既存建物の評価・活用に資する研究であり、③であることも認められる。
- ・建築ストックを長期的に継続使用することは持続型社会の形成に向けて重要であり、建築研究所が先導的に実施すべき課題である。
- ・3 年間という限られた期間に、何をどこまで明らかにできるのか、耐久性の実験的研究を実施する上で、重要なポイントのはず。限られた促進試験の結果のみから「新築時の最適な材料設計法」を樹立することは、将来の結果的目標ではあっても、それを今回の研究目標の表看板に置くことは適切とは思えない。
- ・①から③の観点から見て、建築研究所に相応しい研究開発課題と認められる。

⑤「目標とする成果」及び「成果の活用方法」は適切に設定されているか。

以下に6名の評価委員の所見を示す。

- ・本研究開発課題に含まれる各々の課題に対して、既往の研究成果を踏まえて達成すべき具体的な目標が示されており、それらの評価指針及び成果の具体的な活用方法も明確に提示されていることから、適切に設定されていると判断できる。
- ・成果を技術指針や施策等に反映する仕組みまで展開して欲しい。
- ・UAVを使った建物調査の実装を明確に掲げており、目標とする成果は適切と評価する。また、成果の活用方法も、法・仕様書・指針などへの活用を明確に計画しており、適切と評価する。
- ・各研究課題とその成果及び活用方法は、適切に設定されている。
- ・「目標とする成果」及び「成果の活用方法」は適切に設定されている。

#### ⑥総合所見

以下に6名の評価委員の所見を示す。

- ・本研究開発課題には、以下のような項目が含まれている。①コンクリートの中性化や塩害による鉄筋腐食評価手法 ②RCの耐久性に及ぼす構成材料の影響評価手法 ③建築物の変状・損傷の早期確認と診断支援技術の社会実装 これらの項目に対して、具体的な研究の計画及び推進体制が示されており、十分な成果が得られると期待できる。
- ・建築研究所が先導的に実施すべき課題である。ドローンを用いた調査を診断技術に高めることを期待する。またRC建築物の耐久性の評価についても、具体的な成果が期待でき、この分野の技術の進歩に貢献できる研究計画である。
- ・UAVを使った建物調査は、工期短縮、費用抑制などの多くの可能性を秘めており、早期の実現が望ましい。
- ・鉄筋の腐食によって鉄筋コンクリート造の劣化を評価する手法に関しては、雨のかからない内壁などにおいて、性能的に必要以上の補修費用が発生しない合理的なものになると考える。こちらも早期の実現が望ましい。
- ・本研究課題は、前課題に引き続いて実施される課題であり、前課題の研究成果等との関連性を考慮しつつ、さらなる研究開発等を実施し、RC建築物の建築ストックとしての有効利用に対応した耐久性やその評価方法、さらに、維持管理方法に関する具体的な成果が期待される。
- ・コンクリートの中性化速度に及ぼす温度と湿度の影響や室内と雨掛かり部での違いについては、既に定性的にはわかっている。それを超えるような、そして構造物の性能評価につながるような、より先進的かつ実用的な研究成果が是非期待される。
- ・本研究は、建築基準法における耐久性等関係規定、品確法及び長期優良住宅の劣化対策評価方法基準等の改正やその運用の見直しに有用な技術資料として活用されるとともに、公共建築協会「建築工事標準仕様書（建築工事編）」及び「建築工事監理指針」の改定、建築保全センター「公共建築改修工事標準仕様書（建築工事編）」及び「建築改修工事監理指針」の改定、日本建築学会「JASS5（鉄筋コンクリート工事）202X」、「建築保全標準」及び「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」等関連指針の改定、法12条第1項及びH20年国交省告示第282号（建築物の定期調査報告）において、建築物を早期かつ簡便に検査する際に利用するための技術資料として活用されることが期待されるもので、これらの活用のための評価手法や社会実装のための研究を行う意義は高い。

（参考）建築研究所としての対応内容

- ・所見「②具体的計画」への対応

「鉄筋発錆状況の評価法」に関する研究で、それぞれの因子の作用機構や複合作用の程度が不明で定量化ができず、既往の実験データは実験条件や測定精度がバラバラなので、直接それらから実験式を導き出すことができない。そこで例えばAI手法の導入が期待される。

⇒各種条件の異なる既往の実験結果の AI 手法への適用に関しては、本研究の関連研究と位置付けて、既往の実験データの整理方法ならびに使用方法について慎重に検討を進めることとする。

・ 所見「③研究開発の「体制」への対応

この分野は大学や民間の技術研究所でも実施しているので、これらを調査し、先導的な役割を果たして欲しい。また、必要に応じて土木との情報交換の場はあってもよいと思う。

⇒本研究課題の成果の最大化を図るために、産官学連携による研究体制を構築し、他分野との情報共有し、研究を推進していく予定である。

・ 所見「④建築研究所に相応しい研究開発課題と認められるか。」への対応

3年間という限られた期間に、何をどこまで明らかにできるのか、耐久性の実験的研究を実施する上で、重要なポイントのはず。限られた促進試験の結果のみから「新築時の最適な材料設計法」を樹立することは、将来の結果的目標ではあっても、それを今回の研究目標の表看板に置くことは適切とは思えない。

⇒AIによる最適化手法は、現時点で未知な研究領域である一方で、社会的にも極めて要求が大きい分野でもある。当該研究項目については、3年間で材料設計法の樹立にまで至るとは考えておらず、将来的な調合設計手法の樹立に向けた研究の初期段階と位置付けて、取得データの形式および機械学習の方法から検証を開始する予定である。このため、達成目標としては「最適化手法を用いた材料（調合）設計手法に関する技術資料を提示する。」との内容に止め、研究を進める予定である。

・ 所見「⑤「目標とする成果」及び「成果の活用方法」への対応

成果を技術指針や施策等に反映する仕組みまで展開して欲しい。

⇒RC造建築物の耐久性に関するテーマについては、ご指摘の通り技術指針や施策等に係る水準まで成果を反映できるように進めていく予定である。また、ドローンに関連するテーマについては、建築研究所が先導し関連団体と連携して標準仕様書等を作成し、学術及び国へのガイドライン等に反映できるようにボトムアップしていく予定である。

### 3. 評価結果

- A 新規研究開発課題として、提案の内容に沿って実施すべきである。
- ~~□ B 新規研究開発課題として、内容を一部修正のうえ実施すべきである。~~
- ~~□ C 新規研究開発課題として、実施すべきできない。~~