

## 4) - 5 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【持続可能】

### Evaluation of durability for RC structures based on the behavior of building materials

(研究開発期間 令和元～3年度)

|  |   |  |   |                         |
|--|---|--|---|-------------------------|
| 材料研究グループ<br>Dept. of Building Materials and Components | 宮内 博之<br>MIYAUCHI Hiroyuki<br>福田 眞太郎 *2<br>FUKUDA Shintaro<br>眞方山美穂 *1<br>MAKATAYAMA Miho | 松沢 晃一<br>MATSUZAWA Koichi<br>鹿毛 忠継<br>KAGE Tadatsugu | 三島 直生 *1<br>MISHIMA Naoki<br>棚野 博之<br>TANANO Hiroyuki | 中田 清史<br>NAKADA Kiyofum |
| 建築生産研究グループ<br>Dept. of Production Engineering          | 向井 智久 *1<br>MUKAI Tomohisa  | 有木 克良<br>ARIKI Katsuyoshi                            |   |                         |
| 構造研究グループ<br>Dept. of Structural Engineering            |   |  |   |                         |

\*1 現 国土技術政策総合研究所 \*2 現 東京工業大学

In this research, for preservation and maintenance of reinforced concrete buildings, the purpose of our research is to develop a durability evaluation method related to the suppression of reinforcing bar corrosion or concrete cracking based on the behavior of building materials, and to create a drone technology platform for building inspection.

#### 【研究開発の目的及び経過】

RC造建築物の性能確保の上で、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が重要となる。しかし、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く、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。一方、AI、ドローン等の技術を応用することで建築材料や建築物の環境条件を踏まえた材料設計から建築物の耐久性診断に至るまでの精度の向上や診断の効率化が期待されている。

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鉄筋腐食とびひび割れの抑制に関わる評価手法、並びにドローン等を利用した新たな調査技術の開発を通して、建築材料の状態・挙動に基づく耐久性確保の方法を整備することを目的とする。

#### 【研究開発の内容】

以下の3つのサブテーマに分けて研究を実施した。

#### 1) 中性化や塩害による鉄筋腐食評価手法

①中性化や塩分の作用による鉄筋コンクリートへの影響に関する検証、②中性化および塩分の複合劣化作用による鉄筋コンクリートへの影響に関する検証、③鉄筋発錆状況の評価法に関する検証 について検討した。

#### 2) RCの耐久性に及ぼす構成材料の影響評価手法

①鉄筋発錆状況の評価法に関する検証、②最適手法を用いた材料(調査)設計に関する検討 について検討した。

#### 3) 建築物の変状・損傷の早期確認と診断支援技術

①建築物の点検調査用ドローンプラットフォームの開発と普及、②建築物の変状・損傷に関わる3次元空間情報取得管理システムの開発 について検討した。

#### 【研究開発の結果】

#### 1) 中性化や塩害による鉄筋腐食評価手法

①中性化や塩分の作用による鉄筋コンクリートへの影響に関する検証では、津波被害等を想定し、コンクリート供試体を塩水に最長1年間浸漬させた後に屋内、屋外(雨掛かりあり)、屋外(雨掛かりなし)でばくろを行った。ばくろ1年までの結果からは、一時的に塩水を被ったRC造建築物に関して、その後、すぐに鉄筋が腐食するような状況にはならないと考えられる。

仕上塗材について新設および促進耐候性試験後に二酸化炭素透過度試験を実施し、促進中性化試験結果との関係から、仕上塗材の性能評価に基づいたRC造建築物の劣化対策に関する評価方法基準(案)を検討した(図-1)。

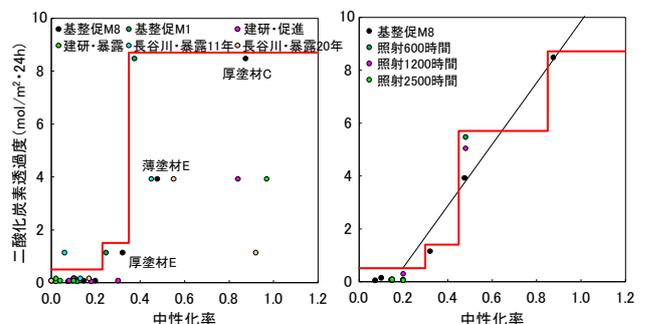


図-1 二酸化炭素透過度と中性化率の関係

(左: 促進試験およびばくろ試験による検討, 右: 促進劣化後による検討)

②中性化および塩分の複合劣化作用による鉄筋コンクリートへの影響に関する検証では中性化や塩害、それらの複合等により劣化、老朽化が進み維持修繕が困難なマンションの建替え等の円滑化を図るため、鉄筋腐食グレードと目視調査結果との関係などを検討した(図-2)。

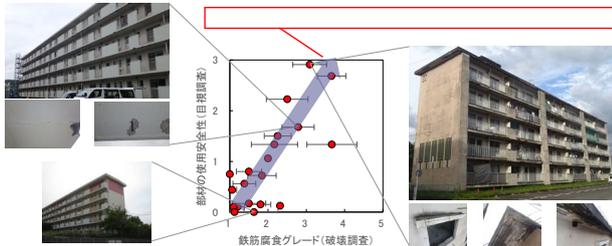


図-2 使用安全性と鉄筋腐食グレードの関係

③鉄筋発錆状況の評価法に関する検証では、モルタル仕上げが施された壁試験体を用い、鉄筋腐食から表面における変状の顕在化までを電食により行い、目視や打診によるひび割れや浮き、剥離、剥落と鉄筋腐食の関係に関する検討を行った。

2) RCの耐久性に及ぼす構成材料の影響評価手法

①鉄筋発錆状況の評価法に関する検証では、全断面が促進中性化により中性化した後にばくろを開始して、約1.5年経過時の自然電位を測定し、一部の供試体について鉄筋の腐食状況を確認した。

②最適化手法を用いた材料(調合)設計に関する検討では、環境負荷低減の観点から、混合セメントを用いた鉄筋コンクリート造建築物の物理的耐用年数と環境負荷量に関するシミュレーションを行った(図-3)。

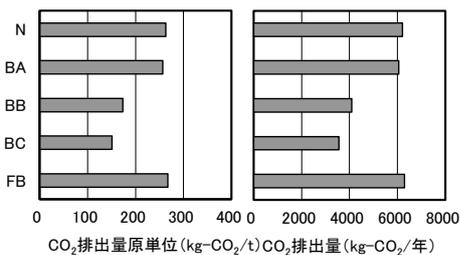


図-3 環境負荷量算出結果

3) 建築物の変状・損傷の早期確認と診断支援技術

点検調査、災害調査、デジタル技術について研究を進め、国の事業にも参画した(表-1)。点検調査(表-1①)では、高層マンション壁面を利用した係留式ドローンによる実証実験と変状・ひび割れの撮影精度の比較検討を行い、ドローンによる外壁全面撮影が可能である等の優位性が確認できた(図-4)。詐災害調査(表-1④)では、つくば市との包括共同研究の一環として、災害状況を想定し、つくば市役所屋上から開発した複合ドロー

ン(親機+子機)を離陸させ、親機から離脱した子機が被災建物内部の調査を行う実証実験を行った。屋内でのVTX子機による探索は成功した(図-5)。デジタル技術(表-1⑤)では、MRによる外壁点検のドローン操縦管理技術開発に関わる実証実験を実施した。ドローンに搭載したVisual SLAM情報により得た位置情報を直感的に分かりやすく表示するMRシステムを開発し、比較的遠距離からもドローンの飛行位置を認識しやすくなることが可能となった(図-6)。最後に、平成20年国土交通省告示第282号の一部改正に関わる建築物の定期調査報告関連告示改正に関わるガイドラインを作成した。

表-1 ドローンによる建物調査技術の課題名

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| 建 研<br>指 定<br>課 題 | 点検調査  | ①ドローンを用いた超高層建物外壁点検調査<br>②建研・中野区・JADA・JUIDAによる共同研究<br>③狭所空間の調査におけるマイクロドローン技術開発 |
|                   | 災害調査  | ④建物被害状況把握のための災害支援ドローンシステム開発   |
|                   | デジタル技術  | ⑤ドローン飛行管理用MRシステムの開発<br>⑥建設作業ロボットハンド×AI×ドローンシステムの開発<br>⑦市販AIドローンの活用の検討         |
| 国の事業(本課題に関連)      | ⑧定期報告制度における赤外線調査(無人航空機による赤外線調査を含む)による外壁調査 ガイドライン(案)<br>⑨赤外線+ドローンによる建物外壁点検教育映像制作 |   |

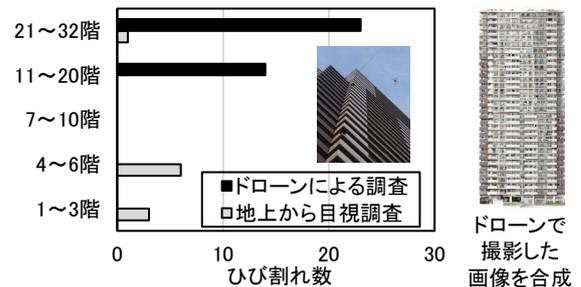


図-4 ①ドローンによる建物外壁調査結果



図-5 ④複合機による建物内部探索実験状況

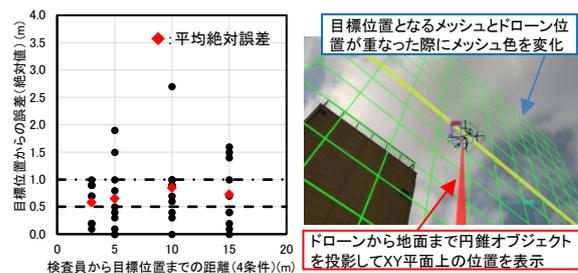


図-6 ⑤MR ドローンの距離感把実験結果