

4) 材料研究グループ

4) - 2 建築物の供用期間中におけるコンクリートの CO₂ 固定量評価に関する研究【持続可能】

Evaluation of CO₂ uptake for structural concrete during use stage

(研究開発期間 令和4～6年度)

材料研究グループ

Department of Building Materials and Components

中田 清史

NAKADA Kiyofumi

松沢 晃一

MATSUZAWA Koichi

鹿毛 忠継

KAGE Tadatsugu

Carbonation of concrete has contradictory aspects. one is deterioration phenomena leading to rebar corrosion, the other is CO₂ uptake which contributes to reduce CO₂ emission. In this study, an existing RC building was investigated to obtain fundamental data on CO₂ uptake of structural concrete during use stage. Corrosion resistance property of carbonated concrete was also examined based on internal temperature and humidity.

【研究開発の目的及び経過】

コンクリートの中性化は、鉄筋コンクリート造（以下、RC 造）建築物において鉄筋腐食を引き起こす劣化現象であるとともに、大気中の CO₂ を固定化するという側面を持つ。後者の側面については、建築物の供用期間中に一定の固定化の効果があることが試算されているが¹⁾、実建築物における固定量に関する知見（固定量に与える環境条件の影響等）は現状十分とは言えない。本研究では、供用期間中におけるコンクリートの CO₂ 固定量の評価手法に資する技術資料を示すことを目的として、実建築物における CO₂ 固定量について実態調査等を行った。また、CO₂ を固定化した後のコンクリートの防錆性能低下が懸念されることからこれについても検討を行った。

【研究開発の内容】

築後 25 年を経過した RC 造建築物（表 1 建物 A、図 1 左）において CO₂ 固定量に関する実態調査を行った。表に示すとおり、調査建築物は構造体コンクリートに再生骨材コンクリートを用いている。東西南北面の外壁からコアを採取し、それぞれ割裂したうえでフェノールフタレイン法により中性化深さを測定した。割裂したもう一方の試料は、CO₂ 固定量の測定を行うため熱重量分析および無機炭素量測定に供した。測定方法の詳細は、文献²⁾に示すとおりである。上記のコア供試体による測定に加えて、躯体内部に小型の温湿度データロガーを設置し、内部の温度、相対湿度を測定した。かぶり厚さは、屋外側から 10～50mm、中央部、屋内側から 30mm の部分である。

防錆性能の検討として、中性化後の鉄筋腐食グレードの推移について分析した。分析は、築後 46 年を経過した RC 造建築物の調査データ（表 1 建物 B、図 1 右）を用

いて行った。データの概要は図 2 に示すとおりであり、中性化後の鉄筋腐食を検討するため、赤い点線の枠内のデータを用いた。なお、鉄筋腐食グレードは表 2 に示す基準により評価した。

表 1 調査建物の概要

諸元	建物 A	建物 B
階数	2 階建	5 階建
所在/竣工年	東京都八王子市/1997 年	茨城県取手市/1975 年
コンクリート	再生骨材コンクリート	普通コンクリート
設計基準強度	21N/mm ²	コア強度 46.3N/mm ²
仕上げ・屋外	打放し仕上げ	弾性タイル、ウレタン防水等
・屋内	断熱材および内装仕上げ	内装仕上げ



図 1 調査建物 A および調査建物 B の外観

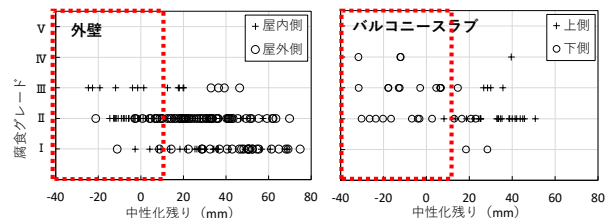


図 2 調査建物 B の鉄筋腐食データ

表 2 鉄筋腐食グレードの評価基準

I	腐食がない状態、または表面に僅かな点さびが生じている状態
II	表面に点さびが広がっている状態
III	点錆が広がって面さびとなり、部分的に浮きさびが生じている状態
IV	浮き錆が広がって生じ、コンクリートに錆が付着し、断面積で 20% 以下の欠損を生じている箇所がある状態
V	厚い層状のさびが広がって生じ、断面積で 20% を超える著しい欠損を生じている箇所がある状態

【研究開発の結果】

表3に中性化深さの測定結果を示す。屋内側は2~3mm程度、屋外側は20~30mm程度であり、屋外側の方が中性化が進んでいる。一般的には、屋内側の方が乾燥するため中性化の進行が速いと考えられるが、本建築物は屋外側が打放仕上であるのに対し、室内側は仕上が施工されていたため上記のような結果になったと考えられる。

図3に熱重量分析、無機体炭素量測定、中性化深さの測定結果の比較を示す。ここでは、CO₂固定量としてCaCO₃量を示している。まず、熱重量分析と無機体炭素量測定を比較すると、概ね同程度の結果になっていることが分かる。ただし、無機体炭素量測定の結果の方がわずかに大きい値を示す結果であった。また、中性化深さとCaCO₃量（無機体炭素量測定）を比較すると、中性化深さが大きいほど、CaCO₃量も多くなることが分かる。これは、中性化の進行によりコンクリート中の水和生成物が炭酸化しCaCO₃が生成していることを表していると考えられる。また、中性化深さが0~3mmの部位でもCaCO₃量が15%前後含まれている。この原因として、再生骨材の付着モルタルが炭酸化していた可能性や石灰石骨材を使用していた可能性等が考えられる。

図4に躯体内部の相対湿度の測定結果を示す。図では南面、北面、西面の測定結果を示し、併せて最寄りの気象台の降雨データも示している。なお、測定は東西南北面すべてで実施したが、東面のデータは測定不良のため掲載していない。この結果から、かぶり厚さ10mm部の相対湿度は降雨のたびに急激に上昇していることが分かる。ここで得られたような、内部相対湿度の変動特性は、炭酸化度や鉄筋腐食速度に関わる基礎的知見になると考えられる。

図5に中性化後の鉄筋腐食グレードの割合の推移を示す。なお、図の横軸は以下の式を用いて算出したものであり、中性化深さが鉄筋の手前10mmまで進行するまでの時点から調査時点までの推定年数を示している。

$$\bar{t}_{10} = (\bar{D} - 10)^2 / \bar{A}^2 \quad (1)$$

ここに、 $\bar{t}_{10}$ ：中性化残りが10mmを下回るまでの年数、 $\bar{D}$ 、 $\bar{A}$ ：実建築物の調査結果から推定したかぶり厚さ（mm）および中性化速度係数（mm/√年）。

また、縦軸は調査時点で中性化が鉄筋の手前10mmまで進行していたデータのうち、年数の経過に伴ってグレードⅢ未満の割合がどの程度残るかを示している。この図から、外壁とバルコニーの年推移を比較した場合に、両者には明確な違いがあることが分かる。バルコニーは水平部材であることや仕上種類が異なること等から、コンクリート中の温湿度特性が異なると考えられる。この

結果は建築物1棟分の結果であるため、今後更なる検討が必要である。

【まとめ】

実際のRC造建築物の調査を通して、供用期間中における構造体コンクリートのCO₂固定量に関する基礎的知見をまとめた。併せて、中性化後の鉄筋腐食に関する分析を行い、腐食進行に関わる基礎的知見を示した。

【参考文献】

- 1) 兵頭 彦次ほか、ライフサイクルを通じたコンクリートのCO₂吸収量算定に関する研究、セメント・コンクリート論文集、2020、vol. 74、p. 333-340
- 2) 中田清史ほか：再生骨材コンクリートを用いたモデル建物における築後25年調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、ROMBUNNO. 1190、2023

表3 コア試料の中性化深さ

	東	西	南	北
屋内	2.3	2.0	3.4	1.8
屋外	21.3	29.1	24.5	20.0

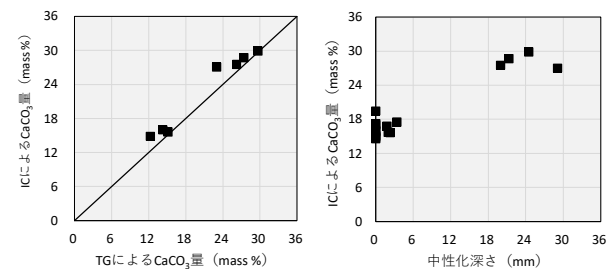


図3 各種測定結果の比較（IC：無機体炭素量測定、TG：熱重量分析）

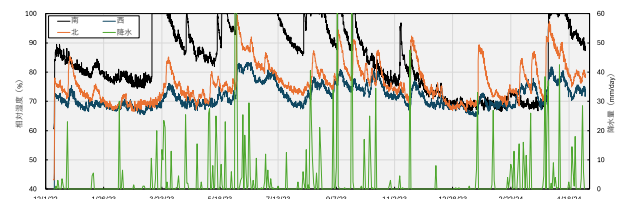


図4 躯体内部（屋外側かぶり厚さ10mm）の相対湿度

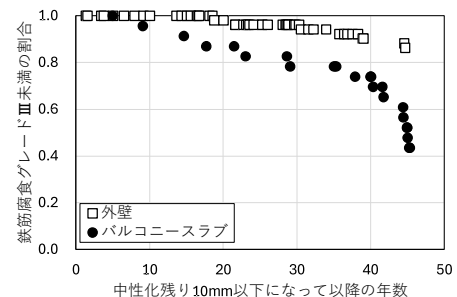


図5 鉄筋腐食グレードの割合の年推移