外装仕上げとしてモルタル塗りを施した鉄筋コンクリート造建築物の中性化進行

CARBONATION PROGRESS OF ACTUAL RC BUILDINGS COVERED WITH OUTSIDE FINISHING MORTAR

田沼毅彦 — *1 杉山 央 — *2
栢田佳寛 — *3

Takehiko TANUMA — *1 Hisashi SUGIYAMA — *2
Yoshihiro MASUDA — *3

キーワード：
コンクリート, モルタル仕上げ, 中性化, 中性化抑制効果,
実建築物

Keywords:
Concrete, Finishing mortar, Carbonation, Carbonation inhabitation
effect, Actual buildings

We have investigated three actual RC buildings, which were built about 50 years ago, to clarify the carbonation inhabitation effect of the finishing mortar on the progress of concrete carbonation. It is found from this investigation that the differences of carbonation progress between the concrete outside wall in one orientation and that in other orientations can be evaluated in carbonation rate coefficient. The investigation of durability of other actual RC buildings should become more accurate with the simplified analytical method described in this paper.

1. はじめに

鉄筋コンクリート造（以下、RC造と略記）建築物の外装仕上げとして、現場調合のセメントモルタル塗りが施される（以下、モルタル仕上げという）場合がある。このモルタル仕上げによりコンクリートの中性化が抑制されることは既往の研究^{例えば, 1)}でも報告されている。しかし、実建築物のコンクリート調査において、モルタル仕上げの塗厚と中性化抑制効果の関係を明らかにし、モルタルとコンクリートの中性化進行を別個に評価した報告事例は少ない。そこで、これらを確認するために、本調査では、築後50年前後経過しているRC造建築物3棟からコア供試体を採取して、中性化深さやモルタル仕上げの塗厚などを測定し、その結果の評価を行った。

2. 調査概要

2.1 調査対象建築物

調査対象建築物の概要を表1に示す。調査対象建築物は、1960年代に建設された現場打ち壁式RC造集合住宅3棟（建築物A、建築物B、建築物C）であり、調査時点では築後48～53年であった。平面形状はほぼ長方形で、余裕のある隣棟間隔を確保して配置された団地内の建築物である。外壁面のコンクリートにはモルタル仕上げの上に、表層仕上げとして色モルタル（着色したモルタルで、仕様書上の塗厚は3mm以上）もしくはリシン吹付が施されている。

これらの建築物において、外部環境に曝される打放し仕上げの部位は限られており、図1の模式図で示すような地盤面+500mm程度の高さがある基礎立上り部の1階床下側の側面が該当する。日射は受けず雨がかりはないが、換気口を介して外気の流入があり、CO₂濃度は屋外と同等と考えられる。本論文において、打放し仕上げの部位とは、この部分のことを指す。一方、基礎立上り部の屋外側の側面は、外壁と連続した立面になっており、モルタル仕上げが施されている。

使用されたコンクリートは、普通ポルトランドセメントによる普通コンクリートで、部位により設計基準強度や仕様に違いはない。

2.2 試験・測定内容

調査対象建築物の外壁および基礎立上り部から、直径100mm（一部、75mm）の貫通コア状の供試体を採取し、コンクリートの圧縮強度試験、中性化深さの測定およびモルタル仕上げの塗厚の測定を行った。圧縮強度試験は、仕上げ部分をカットして行い、JISA1107に準拠した、中性化深さの測定はJISA1152に準拠し、フェノールフタレイン1%溶液を割裂面に噴霧して測定した。なお、コア供試体は、1本で圧縮強度試験と中性化深さの測定を兼用したものと、中性化深さのみを測定したものがある。圧縮強度試験と中性化深さの測定を兼用したコアについては、圧縮強度試験後にコアを割裂させて、中性化深さを測定した。色モルタルを含めたモルタル仕上げの塗厚は、最大と最小と思われる2点の厚さをノギスで測定し、その平均値を測定結果とした。なお、本論文におけるコンクリートの中性化深さの数値には、モルタル仕上げおよび色モルタルの厚さは含まれていない。

試験・測定項目とその実施数量を表2に、コア採取位置の例を図2～4に示す。コア採取高さは外壁で各階の床レベル+1,000mm程度、基礎立上り部で地盤面+300～500mmの位置である。貫通コアのため、コアの両端面で中性化深さを測定したが、本報告では、外壁については、屋外側のデータのみを検討対象とする。基礎立上り部については、屋外側と床下側の両データを検討対象とする。なお、一部コアは貫通ができずに途中で折取ったため、屋外側に比べて床下側のデータが少ない場合がある。また、建築物Aでは、1階外壁の南北各面と南面の基礎立上り部床下側の躯体表面付近で温度・相対湿度を測定した。

2.3 試験・測定結果

各建築物の圧縮強度試験結果、中性化深さおよびモルタル仕上げの塗厚の測定結果について、階数・方位別に整理したものを図5～13

*1 宇都宮大学大学院工学研究科 大学院生・工修
(〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2)

国立研究開発法人建築研究所 主任研究員

*2 宇都宮大学大学院工学研究科 教授・工博

*3 日本大学理工学部 特任教授・工博

*1 Graduate Student, Dept. of Architecture, Utsunomiya Univ., M. Eng.
Senior Research Engineer, Building Research Institute

*2 Prof., Dept. of Architecture, Utsunomiya Univ., Dr. Eng.

*3 Project Prof., Dept. of Architecture, Nihon Univ., Dr. Eng.

表 1 調査対象建築物の概要

項目	建築物 A	建築物 B	建築物 C
所在地	埼玉県草加市	東京都足立区	東京都清瀬市
外 観
基準階平面図
構造種別・階数・用途	現場打ち壁式 RC 造・4 階・集合住宅	現場打ち壁式 RC 造・5 階・集合住宅	現場打ち壁式 RC 造・5 階・集合住宅
竣工年	1963 年	1964 年	1967 年
調査年（経過期間 t）	2016 年（53 年）	2013 年（49 年）	2015 年（48 年）
コンクリートの種類	普通コンクリート	普通コンクリート	普通コンクリート
セメントの種類	普通ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント
設計基準強度 F_c	15N/mm^2 （建設時： 150kg/cm^2 ）	15N/mm^2 （建設時： 150kg/cm^2 ）	16.5N/mm^2 （建設時： 165kg/cm^2 ）
調査強度 F の定め方 ／適用された工事共通 仕様書 ²⁾³⁾ による	$F=F_c+\sigma$ σ ：標準偏差の標準値で $2.0\sim 3.5\text{N/mm}^2$	$F=F_c+\sigma$ σ ：標準偏差の標準値で $2.0\sim 3.5\text{N/mm}^2$	$F=F_c+\sigma+t$ σ ：標準偏差の標準値で $2.5\sim 4.5\text{N/mm}^2$ t ：温度補正値の標準値で $1.5\sim 4.0\text{N/mm}^2$
RC 壁厚さ	耐力壁：150 mm（4 階），180 mm（1～3 階）， 非耐力壁：100～120 mm	耐力壁：150 mm（5 階），180 mm（1～4 階）， 非耐力壁：100～120 mm	耐力壁：150 mm（5 階），180 mm（1～4 階）， 非耐力壁：100～120 mm
外壁仕上げ	モルタル仕上げの上に色モルタル吹付	モルタル仕上げの上にリシン吹付	モルタル仕上げの上にリシン吹付
外壁改修仕上げ（年）	リシン吹付（1983 年）	リシン吹付（1981 年）	リシン吹付（不明）
基礎立上り部厚さ	230 mm	200 mm	200 mm
基礎立上り部仕上げ	モルタル仕上げ（屋外），打放し（床下）	モルタル仕上げ（屋外），打放し（床下）	モルタル仕上げ（屋外），打放し（床下）

表 2 調査対象建築物における測定・試験項目と方位別の実施数量

部位	建築物・方位 測定・試験項目	建築物 A					建築物 B			建築物 C			備考
		南	北	東	西	計	南	北	計	南	北	計	
外 壁	採取コア	5 階					1	1	2	—	—	—	・建築物 A の西側 4 階は コンクリート全断面が中 性化していたため，検討 対象外とした ・建築物 B は中性化の測 定のみ実施したコアが一 部ある ・建築物 C は 3 階および 基礎立上りからのみコア 採取した
		4 階	4	6	2	—	12	1	1	2	—	—	
		3 階	4	9	3	3	19	1	2	3	4	4	
		2 階	5	9	3	2	19	1	1	2	—	—	
		1 階	6	9	3	3	21	6	6	12	—	—	
		計	19	33	11	8	71	10	11	21	4	4	
	圧縮強度試験	19	33	11	8	71	5	7	12	4	4	8	
	中性化深さ（屋外側）	19	33	11	8	71	10	11	21	4	4	8	
基 礎 立 上 り	モルタルの塗厚（屋外側）	19	33	11	8	71	10	11	21	4	4	8	・建築物 A は折取ったコ アがあるため，屋外側と 床下側で中性化深さ測定 の数量が一致しない ・床下側の基礎立上り部 側面は打放し仕上げ 1 時間ごとに自動計測
	温度・相対湿度	1	1	—	—	2	—	—	—	—	—	—	
	採取コア	6	3	3	3	15	1	1	2	2	1	3	
	圧縮強度試験	6	3	3	3	15	1	1	2	2	1	3	
	中性化深さ（屋外側）	6	3	3	3	15	1	1	2	2	1	3	
	中性化深さ（床下側）	5	3	2	3	13	1	1	2	2	1	3	
	モルタルの塗厚（屋外側）	6	3	3	3	15	1	1	2	2	1	3	
	温度・相対湿度（床下側）	1	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—

図 1 基礎立上り部の模式図

図 2 建築物 A のコア採取位置（1 階と基礎立上り部の例）

図 3 建築物 B のコア採取位置（1 階と基礎立上り部の例）

図 4 建築物 C のコア採取位置（3 階と基礎立上り部の例）

※下図の各棒グラフにおける、採取コアの各方位における並び順は、右図の矢印に示すような建築物平面における採取位置の並び順による。

図5 建築物Aの採取コアの圧縮強度

*1...図中の「基礎」における白抜き棒グラフは、その左隣の黒棒グラフのコアにおける床下側(打放し仕上げ)のデータを示す。

図6 建築物Aの採取コアの中性化深さ*1

図7 建築物Aの採取コアのモルタルの塗厚

図8 建築物Bの採取コアの圧縮強度

*1...図中の「基礎」における白抜き棒グラフは、その左隣の黒棒グラフのコアにおける床下側(打放し仕上げ)のデータを示す。

図9 建築物Bの採取コアの中性化深さ*1

図10 建築物Bの採取コアのモルタルの塗厚

図11 建築物Cの採取コアの圧縮強度

*1...図中の「基礎」における白抜き棒グラフは、その左隣の黒棒グラフのコアにおける床下側(打放し仕上げ)のデータを示す。

図12 建築物Cの採取コアの中性化深さ*1

図13 建築物Cの採取コアのモルタルの塗厚

表3 試験・測定結果の平均値・標準偏差・変動係数

試験・測定項目		建築物 A	建築物 B	建築物 C
圧縮強度 (N/mm ²)	データ数	n=86	n=14	n=11
	平均値	22.1	24.0	36.8
	標準偏差	7.6	5.6	6.5
	変動係数	34.3%	23.3%	17.7%
中性化深さ (mm)	データ数	n=99	n=25	n=14
	平均値	45.6	24.6	8.6
	標準偏差	25.9	15.8	6.2
	変動係数	56.8%	64.2%	72.0%
モルタル仕 上げの塗厚 (mm)	データ数	n=86	n=23	n=11
	平均値	17.4	19.0	23.2
	標準偏差	8.7	8.9	11.0
	変動係数	50.0%	46.8%	47.4%

に、全体の平均値・標準偏差・変動係数を表3に示す。なお、各建築物で階数別に分類したデータ数が5以上ある場合は、その平均値・標準偏差を図5～13の図中に示した。

2.3.1 圧縮強度

建築物AおよびBの圧縮強度の全体平均値は、設計基準強度の1.5倍程度あるが、変動係数が大きい。特に建築物Aでは変動係数が34.3%で、全86データ中の10データが設計基準強度を下回っていた。建築物Aの建設年では、コンクリートは現場練りで製造されていた可能性が高い。一方、建築物Cの圧縮強度の全体平均値は36.8N/mm²で、建築物AおよびBとの設計基準強度の差以上に圧縮強度が高く出ており、ばらつきも少ない。この違いは、表1に示すように調合強度の定め方による違いや生コンによるポンプ工法の導入によって打設されていたことによる影響が大きいと考えられる。なお、いずれの建築物も方位による圧縮強度の違いは明瞭には表れなかった。

2.3.2 中性化深さ

各建築物の全コアでコンクリート部分が中性化していたが、中性化深さは建築物ごとおよびコアごとにばらつきが大きい。全体の平均値は、建築物Aが45.6mm、建築物Bが24.6mm、建築物Cが8.6mmで、建築物Aの進行が特に著しいが、変動係数はいずれの建築物においても50%を超えている。

本測定結果について、中性化深さが経過期間の平方根に比例するいわゆる $\sqrt{t}$ 則に従った式(1)により求めた中性化速度係数とその中性化深さを測定したコア供試体の圧縮強度との関係について、全データを図14に、基礎立上り部床下側の打放し仕上げのみ抽出したデータを図15に示す。また、図15には、参考として、式(2)に示す長谷川らの式⁹⁾を併せて示す。なお、式(2)は、仕上げ材が施されていないコンクリート供試体による屋外暴露試験のデータに基づいている。

$$x = A\sqrt{t} \quad (1)$$

ただし、 x ：中性化深さ (mm)、 A ：中性化速度係数 (mm/ $\sqrt{\text{年}}$)、 t ：経過期間 (年)

$$A = 23.8(1/\sqrt{\sigma_c} - 0.13) \quad (2)$$

ただし、 σ_c ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

図14では、同一圧縮強度付近における中性化速度係数の範囲の幅が非常に大きい。これはモルタル仕上げの塗厚の差異に起因しており、塗厚の違いによってモルタル仕上げの中性化抑制効果が異なることが影響していると考えられる。一方、図15は、図14からモルタル仕上げのデータを除外した打放し仕上げのデータのみを示したものであるため、同一圧縮強度における中性化速度係数の範囲の幅が

図14 圧縮強度と中性化速度係数の関係 (全データ)

図15 圧縮強度と中性化速度係数の関係 (基礎床下の打放し仕上げのみ)

図16 外壁の中性化深さ平均値 (方位別)

図17 建築物Aの外壁におけるモルタルの塗厚の度数分布

図14に比べて小さい。図15では、実建築物の中性化速度係数の方が、式(2)の中性化速度係数よりも大きくなった。これは、他の調査結果⁹⁾と同様である。

外壁における方位別の中性化深さの平均値を図16に示す。方位別の中性化深さについては、コアごとにモルタル仕上げの塗厚にばらつきがあり同一条件での比較にはならないが、全体的な傾向として北面より南面が進行している。方位による日射や温度・湿度などの違いの影響が伺える。特に建築物Bではその違いが顕著である。

打放し仕上げの基礎立上り部床下側(図6、図9、図12で白抜きの棒グラフ)は、モルタル仕上げの屋外側に比べて、全体的に中性化が進行している。基礎立上り部において、床下側の中性化深さから屋外側の中性化深さを引いた値は、建築物Aでは-5～45mmの範囲にあり平均で18mm、建築物Bでは2～21mmの範囲にあり平均で12mm、建築物Cでは8～18mm程度の範囲にあり平均で13mm程度である。

2.3.3 モルタル仕上げの塗厚

外壁におけるモルタル仕上げの塗厚の平均値はいずれの建築物も18mm前後であるが、標準偏差が9mm程度あり、変動係数は大きい。基礎立上り部の屋外側のモルタル仕上げの塗厚は、建築物AおよびBでは外壁に比べて薄い、建築物Cでは大幅に厚いなど、建築物ごとに違いが見られた。データ数が多い建築物Aについて、外壁のモルタル仕上げの塗厚の度数分布を図17に示す。調査対象建築物の建設年代では、現場打ちコンクリートの外壁にモルタル仕上げを施す場合には、型枠の施工精度などに起因する躯体表面の不陸調整も兼ねられていたため、塗厚が厚くなる方向側に幅広く分布している。

2.3.4 温度・湿度

建築物Aでは、2016年2月3日から1階外壁の南北各面と南面の基礎立上り部床下側で、躯体表面近傍の気中の温度・相対湿度を1時間ごとに計測した。同年5月29日までの日平均温度および日平均相対湿度を図18および図19に示す。当該期間における全平均温度は南面で15.2℃、北面で13.2℃、全平均相対湿度は南面で59.9%、北面

で 64.1%であり、南面の温度が高く、相対湿度が低い。屋外床下は全平均温度で 13.6℃、全平均相対湿度で 78.5%であり、屋外に比べ相対湿度が高いが、日変動の幅が小さく相対的に安定している。

図 18 建築物 A における日平均温度の推移 (2016/2/3～5/29)

図 19 建築物 A における日平均相対湿度の推移 (2016/2/3～5/29)

図 20 CO₂の拡散の模式図

3. 中性化進行の評価

3.1 適用した中性化進行モデルの考え方

モルタル仕上げが施されたコンクリートの中性化進行は、モルタル仕上げおよびコンクリートの中を CO₂ が近似的に Fick の第一法則に従って定常拡散し、モルタル仕上げもしくはコンクリートの中性化領域と未中性化領域との境界で CO₂ がそこに存在する Ca(OH)₂ と瞬時に反応して、境界が順次移動するという現象を表す方程式による解によって理論的に説明され、図 20 のようにモルタル仕上げが全て中性化しコンクリートが中性化進行しているときは式(3)によって表されるモデルが李・樹田によって提案されている⁷⁾。

$$x = A_c \left\{ \sqrt{(t-T) + R^2} - R \right\} \quad (3)$$

ここで、 A_c : コンクリートの中性化速度係数 (mm/√年) で、 A_c , R , T は次のように表される。

$$A_c = \sqrt{\frac{2D \cdot C_0}{H}}, \quad R = \sqrt{\frac{H \cdot D \cdot d^2}{2D_m^2 \cdot C_0}}, \quad T = \frac{H_m \cdot d^2}{2D_m \cdot C_0}$$

D : コンクリートの拡散係数 (mm²/年), H : コンクリートの単位体積あたりの Ca(OH)₂ 濃度 (mol/mm³), C_0 : モルタル仕上げ表面の CO₂ 濃度 (mol/mm³), D_m : モルタル仕上げの拡散係数 (mm²/年), d : モルタル仕上げの塗厚 (mm), H_m : モルタル仕上げの単位体積あたりの Ca(OH)₂ 濃度 (mol/mm³)

また、 A_c と R の間には次の式が成立する。

$$A_c \cdot R = \frac{D \cdot d}{D_m} \quad (4)$$

本モデルを実建築物の調査結果に適用し、評価を行う。調査により

既知である t , d , x を用いて、 A_c およびモルタル仕上げの中性化速度係数 A_m (mm/√年) を求めるために式(3)を以下のように整理する。

$$B = \frac{H}{2D_m \cdot C_0} \left(\frac{D}{D_m} - \frac{H_m}{H} \right), \quad E = \frac{D}{D_m}$$

とおくと、式(3)は次のようにまとめられる。

$$x = A_c \sqrt{t + B \cdot d^2} - E \cdot d \quad (5)$$

式(5)において、モルタル仕上げが全て中性化し、コンクリートの中性化が進行しているデータについて、モルタル仕上げの塗厚を d_i ($i=1,2,3,\dots$) とし、その時のコンクリートの中性化深さを x_i ($i=1,2,3,\dots$) とすると、 A_c , B , E は最小二乗法を用いて求まる。

また、

$$A_m = \sqrt{\frac{2D_m \cdot C_0}{H_m}} \quad (6)$$

であるから、 B を次式のように置換えて、 A_m が求められる。

$$\begin{aligned} \frac{H}{2D_m \cdot C_0} &= \frac{H_m}{2D_m \cdot C_0} \cdot \frac{H}{H_m} = \left(\frac{1}{A_m} \right)^2 \cdot E \cdot \left(\frac{A_m}{A_c} \right)^2 = \left(\frac{1}{A_c} \right)^2 \cdot E \\ B &= \frac{H}{2D_m \cdot C_0} \left(\frac{D}{D_m} - \frac{H_m}{H} \right) = \left(\frac{1}{A_c} \right)^2 \cdot E \cdot \left\{ E - \frac{1}{E} \left(\frac{A_c}{A_m} \right)^2 \right\} = \left(\frac{E}{A_c} \right)^2 - \left(\frac{1}{A_m} \right)^2 \\ A_m &= \frac{A_c}{\sqrt{E^2 - B A_c^2}} \end{aligned} \quad (7)$$

なお、調査対象建築物はモルタル仕上げ表層にリシン吹付がされているが、リシン吹付の中性化抑制効果は低く⁹⁾、モルタル仕上げの効果が支配的であると見なして、ここでは無視することにした。

3.2 評価結果

前節の方法により求めた A_c および A_m ならびに基礎立上り部床下側で測定した x から式(1)で求めた打放し仕上げのコンクリートの中性化速度係数 A_f を表 4 に、 d および x の各測定結果ならびに式(5)の回帰式を図 21～28 に、各建築物の方位別にそれぞれ示す。なお、 A_c の算出において、基礎立上り部床下側のデータは含めていない。また、 A_f は、各コア算定値の平均とした。評価結果を以下にまとめる。

- (1) 最小二乗法で求めた式(5)の回帰式の各係数のうち、全ての建築物・方位で $B \approx 0$ となった。これは、式(3)において $T=R^2$ 、すなわち $H_m \cdot D_m = H \cdot D$ であり、このときには、セメント系の仕上げ材が施されたコンクリートの中性化進行として馬場らが提案した式⁸⁾と結果として同じになる。また、式(7)は $A_m \approx A_c/E$ になる。
- (2) 図 21～28 に示すように、本調査におけるモルタル仕上げの中性化抑制効果は、コンクリートとモルタルの拡散係数の比 E として表され、塗厚の増加幅に対するコンクリートの中性化深さの減少幅の比としてほぼ直線的に評価された。モルタル仕上げの塗厚に応じた効果を $E \cdot d$ 、すなわちコンクリートに対する等価かぶり厚さとみなして x に加算すると、 A_c が簡易的に算出可能である。
- (3) E は 0.09～1.98, A_m は 5.5～17.7 (mm/√年) と非常に幅がある結果になった。コンクリートに施されるモルタル仕上げは、仕様や調合に特に定めがなく、またひび割れやコンクリートとの離れなどの劣化の影響があることがその要因と考えられる。図 24, 図 25 のように d が厚いが、そのときの x が大きいデータがある場合に A_m は特に大きな値として評価される。
- (4) 建築物の方位による中性化進行の違いについても、比較的明瞭に評価することができた。 A_c は、全般的に、北面に比べて南面が大きい傾向にある。方位による日射や図 18 および図 19 に例とし

図 21 建築物 A (t=53 年)・南面における式 (5) の回帰式^{*1}

図 22 建築物 A (t=53 年)・北面における式 (5) の回帰式^{*1}

図 23 建築物 A (t=53 年)・東面における式 (5) の回帰式^{*1}

図 24 建築物 A (t=53 年)・西面における式 (5) の回帰式^{*1}

図 25 建築物 B (t=49 年)・南面における式 (5) の回帰式^{*1}

図 26 建築物 B (t=49 年)・北面における式 (5) の回帰式^{*1}

図 27 建築物 C (t=48 年)・南面における式 (5) の回帰式^{*1}

図 28 建築物 C (t=48 年)・北面における式 (5) の回帰式^{*1}

*1 最小二乗法で求めた回帰式に、▲基礎床下（打放し仕上げ）のデータは含めていない

表 4 中酸化速度係数 (mm/√年) の比較

	建築物 A				建築物 B		建築物 C		
	南	北	東	西	南	北	南	北	
A_m^{*1}	6.3	6.2	6.6	16.5	17.7	5.5	9.1	10.2	
A_c^{*2}	12.4	8.6	7.3	7.0	6.5	2.9	2.1	0.9	
A_f^{*3}	9.9	8.5	5.0	6.7	5.3	3.4	2.7	1.4	

*1 A_m : 式(7)から求めたモルタル仕上げの中酸化速度係数

*2 A_c : 式(5)から求めたモルタル仕上げが施されたコンクリートの中酸化速度係数

*3 A_f : 式(1)から求めた打放し仕上げのコンクリートの中酸化速度係数

て示すような温度・相対湿度などの違いの影響が伺える。しかし、建築物 A において、北面の A_c が東面および西面に比べて大きかったのは、既往の調査結果（例えば、10）とは異なる結果であった。図 22 に示すように、北面では、 d が 20 mm 超では x が 10 mm 以下に収まっており、他の方位と比べて中酸化が全体的に抑制されていたにも関わらず、 d が 10~20 mm 程度の範囲では x が 10~80 mm に幅広く分布していた。これは、重ね塗りされたモルタルの層ごとの品質に違いがあったことが理由の一つとして推測されるが、このようにモルタル仕上げの拡散係数が厚さ方向に一律でないと考えられるような場合には、実態に即した評価結果が得られなかった。

(5) 本解析方法で求めた各建築物の A_c はばらつきがある中での平均的な数値であるが、検証目的で採取した A_f と傾向は概ね一致しており、モルタル仕上げによる中酸化抑制効果とコンクリートの中酸化進行をある程度適切に評価できたと考えられる。ただし、 A_f は日射を受けず、図 19 に示すように相対湿度が高い条件でのデータのため、屋外側に比べると中酸化が抑制される傾向にあり¹¹⁾、 A_f に比べて A_c が大きめの結果になった理由の一つと推定される。なお、中酸化進行が遅い建築物 B の北面や建築物 C の南面および北面の結果では、 A_c と A_f はほぼ同じ結果であった。

4. まとめ

調査時点で築後 50 年前後経過した、外装にモルタル仕上げを施し

た RC 造建築物 3 棟で行った調査において、モルタル仕上げの中酸化抑制効果を定量的に明らかにした。建築物の方位によるコンクリートの中酸化進行の違いについても、比較的明瞭に評価することができた。実建築物のコンクリート調査結果について、簡易的な解析方法を用いることで、より詳細な評価が可能になる一例を示した。

参考文献

- 1) 川西泰一郎ほか 2 名：実建物調査に基づくコンクリートの中酸化進行に関する分析，日本建築学会構造系論文集，第 608 号，pp.9-14，2006.10
- 2) 日本住宅公団：建築工事共通仕様書（昭和 38 年版），pp.21-22，1963
- 3) 日本住宅公団：建築工事共通仕様書（昭和 41 年版），pp.28-29，1966
- 4) 岸谷幸一：鉄筋コンクリートの耐久性，鹿島建設技術研究所出版部，1963.2
- 5) 長谷川拓哉ほか 1 名：文献調査に基づく屋外の中酸化進行予測，コンクリート工学年次論文集，vol.28，No.1，pp.665-670，2006
- 6) 春畑仁一ほか 2 名：既存鉄筋コンクリート造建築物のコンクリート材料調査における圧縮強度と中酸化深さの統計，その 1，その 2，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp.549-552，2011.8
- 7) 李榮蘭ほか 1 名：表層コンクリートの品質と中酸化進行に関する解析的検討，日本建築学会構造系論文集，第 649 号，pp.499-504，2010.3
- 8) 馬場明生ほか 1 名：各種の表層面をもつコンクリートの中酸化深さ推定方法に関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.9，No.1，pp.333-338，1987
- 9) 高山勝行ほか 7 名：躯体コンクリートの中酸化抑制効果に寄与する各種仕上げ材の評価，その 3，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp.1127-1128，2007.8
- 10) 和泉登志ほか 1 名：経年建築物におけるコンクリートの中酸化と鉄筋の腐食，日本建築学会構造系論文集，第 406 号，pp.1-12，1989.12
- 11) 田沼毅彦ほか 1 名：実建築物におけるコンクリートの中酸化進行の分析およびその予測手法の提案，日本建築学会構造系論文集，第 720 号，pp.167-176，2016.2

[2016 年 6 月 1 日原稿受理 2016 年 7 月 12 日採用決定]