報告　高濃度塩化物イオン含有 RC 建築物の含水率および鉄筋腐食調査

古賀　一八[*1]・林　典男[*2]・平田　延明[*3]

要旨：築 38 年経過した高濃度の塩化物を含有する壁式鉄筋コンクリート造建築物における，中性化，含水率，塩化物イオン濃度と鉄筋腐食状況の調査を行った。鉄筋の発錆限界といわれている 1.2kg/m^3 を超える高濃度塩化物イオン含有にもかかわらず，鉄筋腐食はほとんど発生していない。この理由は，コンクリートの含水率が 3.5%を下回っていたためと考えられる。屋内の場合，モルタルの中性化抑制効果は，モルタル厚さに応じた中性化速度係数比（モルタル仕上げのある場合の中性化速度係数／モルタルの厚みを 0mm とした場合の中性化速度係数）は，本調査結果では，中性化速度係数比は 1-0.033×モルタルの厚さ(mm)により表すことができる。

キーワード：塩化物イオン，鉄筋腐食，含水率，中性化, 仕上げ

1. はじめに

本報告は，築 38 年経過した壁式鉄筋コンクリート造建築物の建替えに伴う劣化調査の結果を報告するものである。調査過程で高濃度の塩化物を含有していると判断された為，中性化に加え含水率，塩化物イオン濃度と鉄筋腐食状況の調査を実施したので報告する。

2. 調査概要

本建築物は，関西の内陸部に位置し，1968 年に竣工した, 壁式鉄筋コンクリート造 4 階建 (24 住戸) である (**写真—1**)。

維持管理記録や現地調査の結果から 1982 年(築 14 年)に外壁のセメントリシン仕上げの上に複層仕上塗材 E を重ね塗りしている。

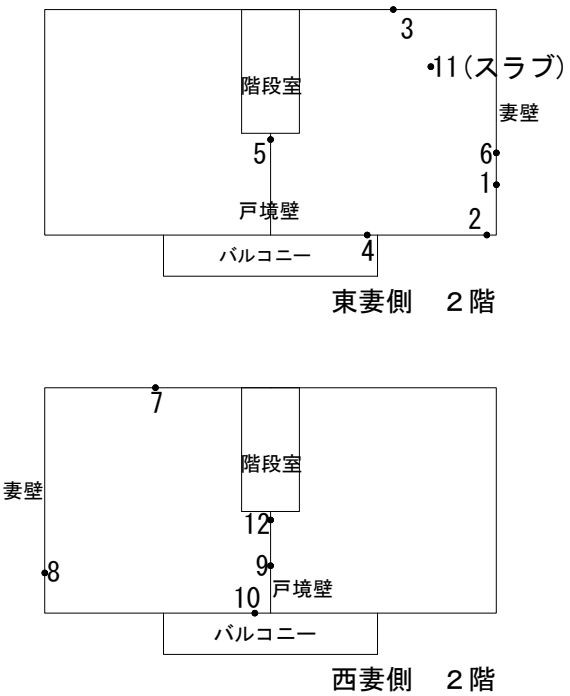
調査項目は中性化深さ, 全塩化物イオン量，含水率および鉄筋腐食状況観察とした。中性化深さ,塩化物イオンおよび含水率の調査箇所は，主として**図—1** に示した東西妻側 2 階で，竣工当時のままの内装の箇所とした。中性化深さは直径 10cm のコア抜き取り供試体を用いて行った。

コンクリートの中性化深さを調査中，コア供試体中の鉄筋が，コア抜き取り直後には腐食していなかった(**写真－2** 上部)のが，コア抜き取り翌日に錆汁を伴う腐食にまで進行していたことから，塩化物含有量が高いと判断し，塩化物イオン量および含水率の調査を行った。

コンクリートの壁厚は 175～200㎜ である。

全塩化物イオン量の試験においては，試料は，深さ 20㎜ 毎に採取したドリル粉末を用いた。塩化物イオンの試験方法は　JIS A 1154 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法により，硝酸で全塩化物イオンを抽出し，硝酸銀滴定法により定量した。

写真－１　調査建築物外観



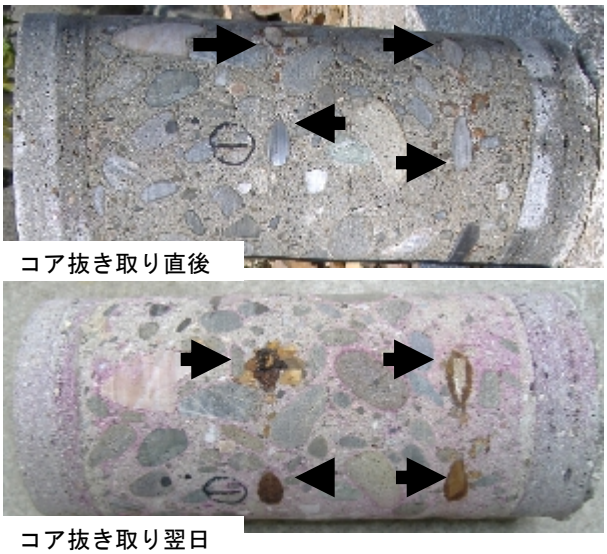
図—1　測定箇所

*1 長谷工コーポレーション　技術研究所　(正会員)
*2 長谷工コーポレーション　関西建設　技術部
*3 長谷工コーポレーション　技術研究所

コンクリートの含水率は，あらかじめ温度 20℃，湿度 60%の恒温恒湿室内に 1～6 年放置した 10×10×40cm での測定結果を，同試験体を 105℃乾燥炉内で 24 時間乾燥して求めた質量含水率を用いて校正した

表—1　仕上げの層構成

仕上げ	１層目	２層目	３層目
内装１	モルタル	—	—
内装２	モルタル	ﾄﾞﾛﾏｲﾄﾌﾟﾗｽﾀｰ	塩ビ壁紙
内装３	モルタル	ﾄﾞﾛﾏｲﾄﾌﾟﾗｽﾀｰ	内装薄塗材 W
内装４	モルタル	ｽﾀｲﾛﾌｫｰﾑ張付	合板＋ 内装薄塗材 W
内装５	ｽﾀｲﾛﾌｫｰﾑ張付	合板	内装薄塗材 W
天井	蛭石吹付け	—	—
外装	モルタル	ｾﾒﾝﾄﾘｼﾝ	複層塗材 E



コア抜き取り直後

コア抜き取り翌日

写真－２　コア断面の鉄筋腐食状況
（矢印は鉄筋位置）

写真－３　含水率測定状況

電気抵抗式含水率計（**写真－３**）を用いて深さ 10mm 毎にドリルで孔を開け質量含水率を測定した。

鉄筋腐食は，コア抜き取り断面および解体中に目視観察を行った。コアコンクリート平均圧縮強度は 13.2N/mm^2 (No.5:12.0,No.6:9.0,No.8:18.6 N/mm^2) である。なお，鉄筋を含んだコアの圧縮試験は行っていない。

内側から，コンクリート，モルタル，ﾄﾞﾛﾏｲﾄﾌﾟﾗｽﾀｰ，内装薄塗材 W

写真－４　内装３の仕上げ構成

中央はｽﾀｲﾛﾌｫｰﾑ除去後，右側は打放し

写真－５　内装５の仕上げ状況

右からモルタル，ｾﾒﾝﾄﾘｼﾝ，複層仕上塗材 E

写真－６　外装の仕上げ状況

3. 調査結果

3.1 外観および仕上げ種類・厚さ調査

仕上げの種類を**表—１**および**写真４～６**に示した。中性化深さ測定位置の仕上げ材の厚さを**表—２**に示した。

スタイロフォームは GL 工法で，接着剤により点付けで張り付けられていた。

表—２　仕上げ厚さと中性化深さ

コア採種位置	測定面	中性化深さ (mm) モルタル	中性化深さ (mm) コンクリート	備考（仕上げ種類，厚さ mm）
1	屋外側	5	6	ﾓﾙﾀﾙ 28,ﾘｼﾝ,複層 E
	屋内側	20	7	ﾓﾙﾀﾙ 28
2	屋外側	15	8	ﾓﾙﾀﾙ 20,ﾘｼﾝ,複層 E
	屋内側	4	43	ﾓﾙﾀﾙ 19,ﾄﾞﾛﾌﾟﾗ 16,複層 E
3	屋外側	7	8	ﾓﾙﾀﾙ 20,ﾘｼﾝ,複層 E
	屋内側	2	17	ﾓﾙﾀﾙ 22,ｽﾀｲﾛ 12GL 張り
4	屋外側	12	11	ﾓﾙﾀﾙ 20,ﾘｼﾝ,複層 E
	屋内側	3	12	ﾓﾙﾀﾙ 3,ﾄﾞﾛﾌﾟﾗ 17,塩ﾋﾞｸﾛｽ
5	屋内側	—	88	打放し
	屋内側	—	67	打放し
6	屋外側	5	5	ﾓﾙﾀﾙ 20,ﾘｼﾝ,複層 E
	屋内側	4	9	ﾓﾙﾀﾙ 30,ｽﾀｲﾛ 12GL 張り
7	屋外側	7	6	ﾓﾙﾀﾙ 14,ﾘｼﾝ,複層 E
	屋内側	5	8	ﾓﾙﾀﾙ 12,ｽﾀｲﾛ 12GL 張り
8	屋外側	15	6	ﾓﾙﾀﾙ 20,ﾘｼﾝ,複層 E
	屋内側	—	4	ｽﾀｲﾛ GL 張り
9	屋外側	0	14	ﾓﾙﾀﾙ 12,ﾘｼﾝ,複層 E
	屋内側	0	20	ﾓﾙﾀﾙ 11,ﾄﾞﾛﾌﾟﾗ 12,薄塗 w
10	屋外側	10	22	ﾓﾙﾀﾙ 17,ﾘｼﾝ,複層 E
	屋内側	3	23	ﾓﾙﾀﾙ 18,ﾄﾞﾛﾌﾟﾗ 8,薄塗 w
11	床　側	—	48	打放し
	天井側	—	23	蛭石吹付け
12	屋内側	2	82	ﾓﾙﾀﾙ 5
	屋内側	—	89	打放し

3.2 中性化深さ

表—２にモルタル層およびコンクリート層の中性化深さと仕上げ材厚さとの関係を示した。

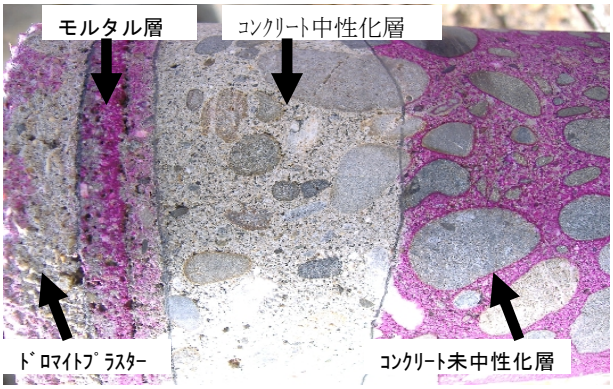
写真—７に示したようにモルタル(C:S=1:2.5)の仕上げ厚全てに渡って中性化する前にコンクリートも中性化している。

これは，一般に言われているように、モルタル層の中性化が完了した後にコンクリートが中性化し始めるのではなく，モルタル表面の炭酸ガスが炭酸化によりある程度モルタル中のアルカリ成分に吸収され，コンクリート表面の炭酸ガス濃度は減少するが，ゼロではない事を示している。

つまり，濃度が低下した炭酸ガスによりコンクリートの炭酸化が進行し，結果として PH が低下し，中性化している事を示している。

このような現象は，セメント量が少なく水セメント比が高くコンクリート中のアルカリ量が少なく透気性が高い場合，濃度の低い炭酸ガスでも内部から炭酸化が進行していることを示唆している。

セメント量が多く緻密なコンクリートであっても中性化には至らないが，炭酸化は進んでいるものと考えられる。



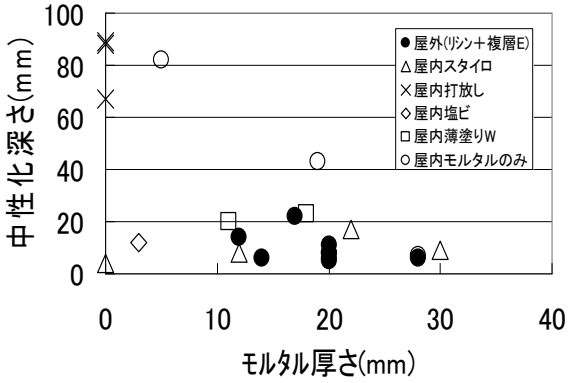
写真－７　コア断面中性化状況

3.3 モルタル厚さと中性化抑制効果

図—２にモルタルの厚さとコンクリートの中性化深さとの関係を示した。

図—２および**表－２**からドロマイトプラスターの有無および厚さにかかわらず中性化抑制効果が見られないことから，ドロマイトプラスターは無視して以下考察する。

屋内モルタルのみと屋内打放しの中性化深さを比較すると，モルタルのみは 3 点しかないが，モルタルの厚さに応じて直線的に中性化深さが減少している。



図—２　ﾓﾙﾀﾙ厚さとｺﾝｸﾘｰﾄ中性化深さ

仕上げなし（モルタル厚さが 0mm）の中性化速度係数（築 38 年であるので屋内の場合約 15mm/√年）に対する比（中性化速度係数比）とモルタル厚さとの関係として**図―３**のように表すことができる。

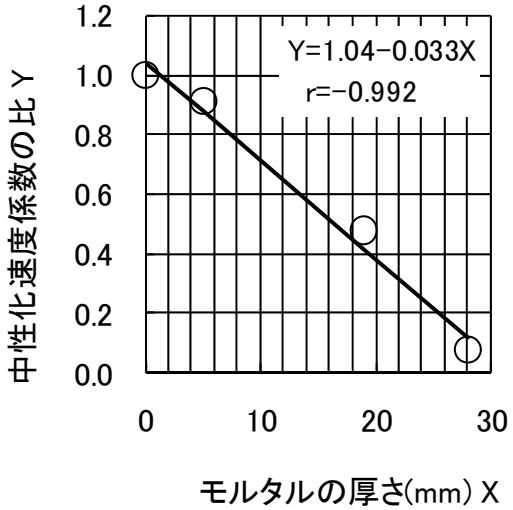
一般的にモルタルの中性化抑制効果はモルタルの厚みの 1/2 をコンクリートの厚さに置き換える「等価かぶりコンクリート厚さ」として考えている。

図―３に示したように，屋内の場合は中性化速度係数比＝1-0.033×モルタルの厚さ(mm)によって表すことができる。

本物件の場合モルタルは C:S=1:2.5 であるので，セメント量が多くなるほど中性化速度係数比は小さくなるものと思われる。

その他の仕上げ（スタイロフォーム，内装薄塗材W，塩ビクロス）の場合は，**図―２**に示したように，モルタルよりも中性化抑制効果が高いと考えられ，モルタルの厚さにかかわらず中性化速度係数比は約 0.25 以下(20mm/80mm)となっている。

屋外側については，**表―２**に示したように，モルタルよりも仕上塗材の中性化抑制効果が高いため，モルタルの厚さによらず中性化速度係数は 1.5 程度となる（平均中性化深さ 9.6mm，標準偏差 5.5mm）。



図―３　モルタルの厚さと中性化速度係数の比

3.4 コンクリート中の全塩化物イオン濃度

全塩化物イオン濃度(以下，塩化物イオン濃度)の測定結果を**図－４**に示した。図中の 6.0kg/m^3 の位置にプロットしている記号は，各々対応する記号の中性化位置を，塗り潰し記号はモルタルの塩化物イオン濃度を示している。

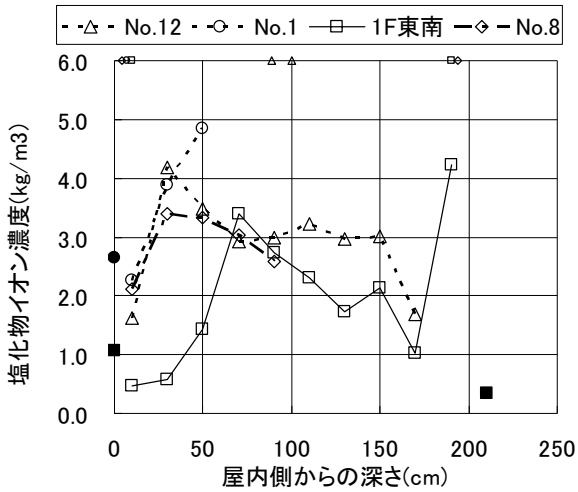
図より，塩化物イオン濃度が 3kg/m^3 を超えているものが多く存在するが，内在塩化物イオン量はおおよそ 3kg/m^3 程度であったと推測される。

海砂や塩化カルシウムなどを用いた場合，塩化物イオン濃度が高くなる事があり，単位セメント量 300kg/m^3，単位細骨材量 800kg/m^3 と仮定した場合，塩分濃度の高い海砂(NaCl0.4%)と強度増進を目的として塩化カルシウム（C×0.5%）をあわせて混合した場合に Cl^-イオン量で 2.9kg/m^3，ストックヤードの裾野の海砂(まれに NaCl0.7%)のみを用いた場合は 4.4kg/m^3 となる。

内陸部に位置することから，飛来塩分や海水の使用なども考えられない。

圧縮強度試験結果が小さいことから塩化カルシウムを混入した事による長期強度の低下の可能性もある。

図―４において中性化による塩化物イオンの濃縮は１階東南面の外壁部分において現れている（屋外側の塩化物イオン濃縮の測定は 1F 東南面のみ)。屋内側においては中性化による塩化物イオンの濃縮は見られない。.



図―４　コンクリート中の塩化物イオン濃度分布

.

3.5 コンクリートの含水率

コンクリートの深さ方向の質量含水率を**図－５**に示した。

今回用いた電気抵抗式含水率計では 1%未満は測定できないことから，**図－５**では便宜上 0.5%として表示した。

含水率は概ね 3.5%以下であり，戸境壁の含水率は 1%以下と極端に乾燥している。

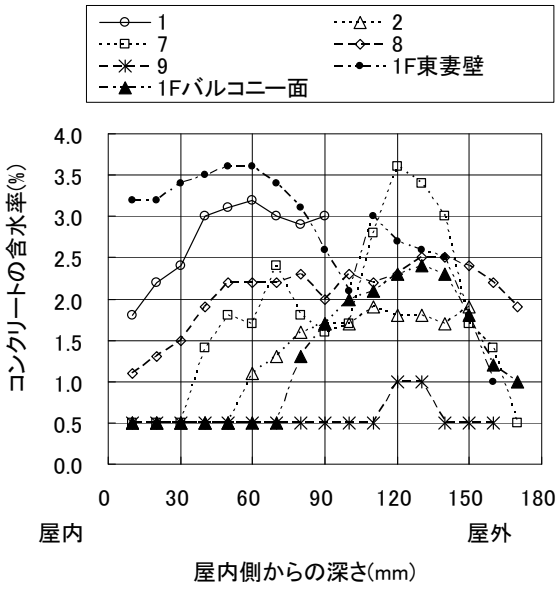
含水率のピークは外壁側の場合は約 40㎜，屋内側の場合は約 60㎜ 内側にあると思われる。

屋内においては，含水率変化の基点（乾燥側の基点）と塩化物イオン濃度のピークがほぼ一致していることから，水分移動による濃縮と考えられる。

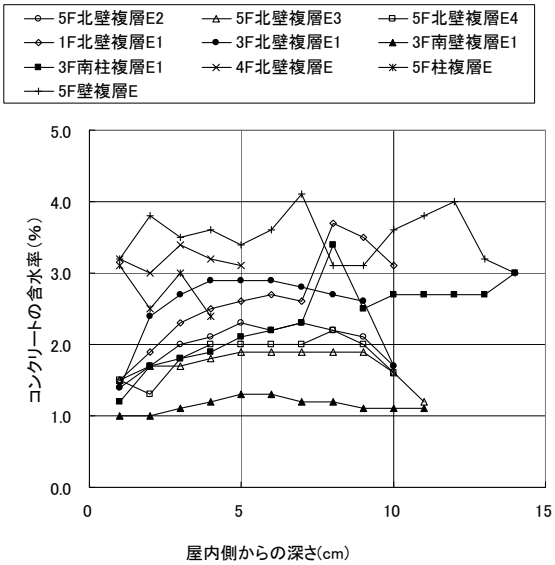
No.１および１F 東南壁において屋外側よりも屋内側の含水率が高い箇所は，内部結露によるものと考えられる。

参考として，**図―６**に関東地域内陸部に建つ築 27 年の RC 造集合住宅での外壁側の含水率分布を示した。仕上げは外壁側は複層仕上塗材 E，屋内側は木下地の上に石膏ボード＋ビニルクロスである。

本報告における含水率と同様に最も含水率の高い部位であってもおよそ 3.5%程度であり，乾燥している場所で 1%程度であることから，**図―５**の含水率の値は，特異なものではないと考えられる。



図―５　コンクリートの含水率分布



図―６　複層仕上塗材 E 外壁コンクリートの含水率

3.6 鉄筋腐食

外観調査の結果，内外壁共に鉄筋腐食・乾燥収縮およびアルカリ骨材反応によるひび割れは見られなかった。

解体中の観察においても**写真―８，９**に示すように鉄筋腐食は見られなかった。

鉄筋のかぶり厚さは，外壁側にあっては 12～50mm，内壁側にあっては 35～70mm であった。

No.1 内壁のかぶり厚さは 70mm で，その部分の含水率は 3%であり，鉄筋腐食は見られない。コアコンクリート 4 本の吸水率の平均値が 7.8%であり，含水率 3.5%は相対含水率約 45%である。文献 1)では鉄筋の腐食発生率および成長率が著しく抑制されるコンクリートの相対含水率は 55～65%未満であるとしていることとほぼ対応しているものと考えられる。

しかし，水が進入しやすい環境にある RC 手すりの鋼製手すりアンカー部には腐食が見られた(**写真―１０**)。

写真－８　外壁の鉄筋状況

写真－９　鉄筋腐食状況

写真―１１に高湿度環境にある１階床下の地中梁に埋め込まれた木床支持用アンカーボルトの腐食状況を示す。アンカーボルトはコンクリートに対し，鉛直に埋め込まれており，露出面が腐食しているため，相対的にコンクリート内部は電位的に貴な状態になっていると思われ，腐食していない。

写真－１０　鋼製手すりアンカー部および鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れ

写真－11　アンカーボルトの腐食状況

4 まとめ

下記にまとめを示す。

(1)　高濃度塩化物イオン含有にもかかわらず，ほとんど鉄筋腐食が発生していない理由は，コンクリートの含水率が 3.5%を下回っていたためと考えられる（ただし，コア抜き取り翌日には腐食していたことからも水分に対してかなり敏感な状態ではある）。

(2)　屋内側の中性化に伴う塩化物オン濃度の濃縮が見られず，含水率変化の基点（乾燥側の基点）付近と塩化物イオン濃度のピークがほぼ一致している。

(3)　屋内側においては中性化により塩化物イオンが濃縮する以前に，表面からの乾燥に伴って，含水率が大きい部分への塩化物イオンの濃縮が起こっているものと考えられる。

(4)　1F 東南外壁側においては, 中性化に伴い塩化物イオンの濃縮が見られる。

(5)　鉄筋腐食を防止するには，酸素と水の供給を断つことにある。酸素の供給を断つことは困難なので，水の供給を断つことが有効である。水の供給を断つには，複層仕上塗材などの防水性の高い仕上げ，笠木・庇の収まりさらに内部結露の防止など設計上の工夫により可能である。

(6)　モルタル仕上げ層全体が中性化した後にコンクリートが中性化するのではなく，コンクリート層の炭酸化は進行しており，モルタル層で炭酸ガス濃度が減少し，供給される炭酸ガス量とアルカリ量とのバランスによってコンクリートの中性化が進行する。

(7)　屋内の場合，モルタルの中性化抑制効果は，モルタル厚さに応じた中性化速度係数比（モルタル仕上げのある場合の中性化速度係数／モルタルの厚みを 0mm とした場合の中性化速度係数），本調査結果では，中性化速度係数比＝1-0.033×モルタルの厚さ(mm)によって表すことができる。

本報告が，高濃度の塩化物イオンが含有された RC 構造物の劣化軽減化対策の参考になれば幸いである。

参考文献

1)　山本佳城，桝田佳寛，中村成春：塩化物を混入したコンクリートの含水状態が鉄筋腐食に及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，第 568 号，27-33，2003 年 6 月