

[46] 鉄筋コンクリート建物の環境塩害

正会員 川上英男 (福井大学 工学部)

1. まえがき

先に筆者は越前海岸に建つ材齢7年の鉄筋コンクリート建物が外部より塩害を受けた例を報告した。¹⁾本報告では、北陸地方日本海沿岸地域における材齢45年の体育館のコンクリートの中性化と環境塩害による損傷、ならびに同地域の材齢11年の打放しコンクリート建物の含有塩分の調査結果を報告し、併せて、外部より浸透する塩分量に関与する要因について考察するものである。

2. 調査例1 (小学校体育館, 材齢45年)

体育館は海岸より250m東にあり、建物周辺は平坦地である。北陸の気候の特徴の一つに冬期の西からの季節風がある。このため体育館も荒れた海からの潮風を受ける環境にある。

2. 1 建物概要

体育館は鉄筋コンクリート造平家建で、小屋組は鉄骨トラスである。外観を写真1に、平面図を図1に示す。屋根は日本瓦葺き、外装は柱と桁は洗い出し仕上げ、壁はモルタル塗りにエマルジョン吹付け仕上げとなっている。壁の内装はモルタル塗りペンキ仕上げである。昭和10年に竣工、昭和37年に外壁の吹付けを行ない、昭和47年に窓サッシを取り替えた上、内装をやり直している。そのため建物内部には損傷は見当たらない。

2. 2 建物外部の損傷

最も顕著な損傷は、大多数の柱に生じている縦方向のひびわれである。これらは柱の正面及び側面に生じており、かぶりコンクリートが剥落寸前のもも認められる。ひびわれ幅は極端な場合には10mmに開口している場合さえある。写真2,3に南側の柱の例を示す。写真3の部分を研って見ると、かぶりコンクリートは容易に剥離し、4本の柱主筋(22mm ϕ)はいずれも腐食し、表面1~2mm厚は木炭状にボロボロになっている。帯筋(9mm ϕ)は腐食のため断面が全く消滅している部分も見られる(写真4参照)。これらと同種のひびわれは、桁、破風、軒にも分布している。損傷範囲は建物全面に及んでいる。壁体にはところどころ局所的にかぶりコンクリートが剥落し、9mm ϕ 鉄筋が露出し、腐食している部分がある。腐食のため5mmに細っている例もある。柱に見られる損傷は建物の南面と東面が著しい。後述のように、コンクリートの中性化と塩分の浸透がこれらの損傷の原因とみなされるものである。柱(1・E)の脚部では隅筋の一部が数年間露出しているが、錆は認められない。建物内部に位置し、雨露と潮風に曝されることが少ないためと思われる。

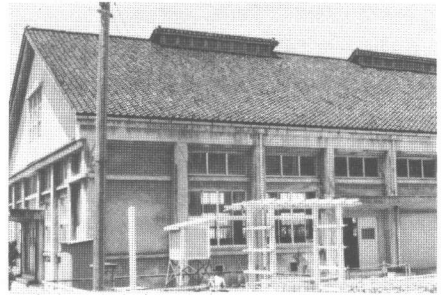


写真1 体育館南東部



写真2 柱(D・11)のひびわれ

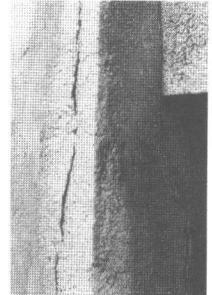


写真3 柱(E・11)のひびわれ

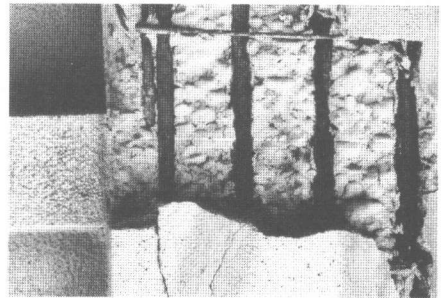


写真4 柱の主筋及び帯筋の腐食

写真3の部分を研る。鉄筋の腐食は著しく、帯筋は左端では消失。

2. 3 コンクリートの中性化

図1に示す8ヶ所で採取したコア及び外部の削り9ヶ所に対し、フェノールフタレン1%アルコール溶液を散布し、その赤変反応によって中性化深さを調査した。結果を表1に示す。コアでは壁外部の仕上げモルタル(2~8mm厚)が中性化している上に、躯体コンクリートの中性化厚は4~8.5cm、平均7.9cmに及んでいる。建物内部からの中性化厚もほぼこれと同程度で、そのため壁厚中央部に残るアルカリ反応部厚が減少しており、8ヶ所中3ヶ所では壁厚全部にわたって赤変が認められなかった。

表1 中性化試験の結果

| | 仕上げ* | | コンクリート | | | | 備考 |
|-------|--------------|--------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------|-------------------------------|
| | 洗い出し (mm) | モルタル (mm) | 外部 中性化厚 (mm) | 中央部 赤変部厚 (mm) | 内部 中性化厚 (mm) | 仕上げ厚 (mm) | |
| コ | 1-外壁 | 2 | 80 | 0 | 80 | ※ | 鉄筋表面サビ 鉄筋0.5mm腐蝕 鉄筋径径健全 |
| | 2- " | 4 | 85 | 0 | 85 | ※ | |
| | 3- " | 5 | 83 | 0 | 83 | 16※ | |
| | 4- " | 5 | 80 | 15 | 70 | 25※ | |
| | 5- " | 8 | 67 | 35 | 78 | ※ | |
| ア | 6- " | 3 | 82 | 7 | 88 | ※ | 鉄筋表面サビ |
| | 7- " | 6 | 50 | 80 | — | ※ | |
| | 8-基礎壁 | — | 40 | 95 | 45 | — | |
| A・9 | 柱角 | 7 | 5+10 | 0 | | | ※15~25mm厚の補修モルタルは赤変 |
| A・6 | 柱角 | 10 | 7 | 赤変 | | | |
| H・9-8 | 基礎ばり | 赤変 | — | | | | |
| 11・D | 東柱 | 6 | 3 | 70以上 | | | |
| " | 南柱 | 10 | 3 | 90以上 | | | |
| 11・E | 柱 | 8 | 8 | 114以上 | | | |
| A・8-9 | 壁 | — | 8 | 22以上 | | | |
| A・7 | 柱 | 7 | 8 | 50以上 | | | |
| H・8 | 柱 | 4 | 0 | 70以上 | | | |

*: 赤変と記したものは仕上げ厚全部にわたって中性化

洗い出し仕上げ部3ヶ所においては、中性化は極めて少なく、せいぜい仕上げ材のみに止まっている。一方同じ洗い出し仕上げであっても、柱のひびわれ部5ヶ所ではいずれも削り深さ全部に中性化が及んでいる。使用中の建物故に、削りを差し控えたので、中性化深さを確定するに至らず、表1には“以上”と表示してある。

2. 4 塩分量

コアを3cm厚に輪切りにし、壁厚の外側部をはじめ、中央と内側部についても塩分量を試験した。まず試料を金槌で丹念に破碎し、粗骨材とモルタル部に分離する。次にモルタル部を粉砕機にかけて0.15mm以下に微粉碎し、これを80℃水中に1時間以上保った後、その上澄水に対してJASS 5T 202(普通細骨材中の塩分試験方法)に準じて試験を行なったものである。結果を図1に記入した。コアの外壁側には4~8mm厚の仕上げモルタルがあるがこれを除いたコンクリートの外側部5試料では、そのモルタル分に対する塩分量は0.06~0.41%、平均0.17%に及ぶ。この値は後述の調査分析結果を参考に砂に対する比率に換算すると0.22%となり、JASS 5の普通コンクリートに対する許容値0.04%の5倍を越える。

コア内の分析試料採取範囲とその塩分量を図2に示す。全般的傾向として塩分の壁厚内の分布は建物の内側に向う程少なくなっており、今までの調査結果¹⁾と一致している。また床下壁体(1・D~E)では打放しのままであるにも拘わらず、塩分は検出されなかった。建物周壁に囲まれ海風に曝されないためと思われる。これらの結果は検出された塩分が外部環境からのものであることを示している。

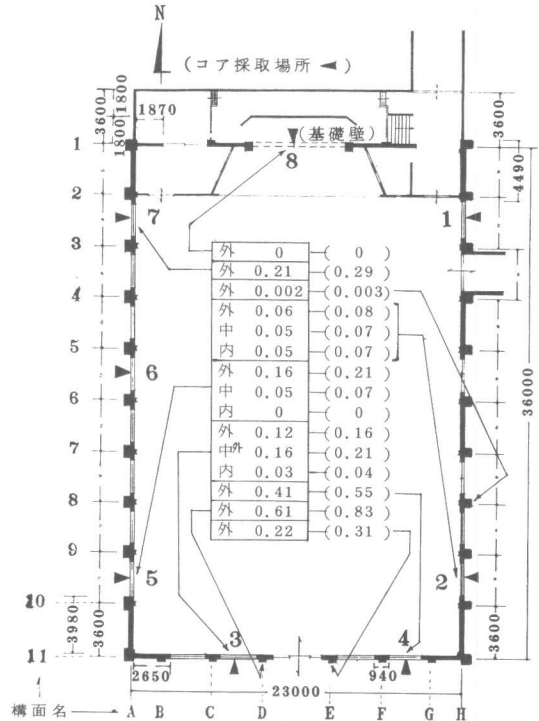


図1 体育館平面図、コア採取場所、塩分量

角枠内はモルタル分に対する塩分の重量%、砂に対する換算値を()内に示す。

一方、洗い出し仕上げとなっている柱(H・8)では、コンクリート中の塩分は0.002% (対モルタル分)と極めて少なく、仕上げ材の有効性を示している。また同じ洗い出し仕上げであっても柱のひびわれ部2例では0.6%、0.2%と極めて大きく、ひびわれが塩分蓄積を著しく助長することを示している。

2. 5 コンクリートの材質

コンクリートコアの圧縮強度と比重を表2に示しておく。また6試料についてコンクリートをハンマーで破碎して粗骨材とモルタル部に分離し、このモルタルを電気炉で700℃に2時間以上灼熱後、希塩酸で処理し、溶出分をセメントとみなす方法で調査推定を行なった。調査は表3に示すように比較的砂利が多いのが特徴である。砂利は大粒のものを多く含み、最大寸法は40mmとみなされる。

3. 調査例2 (福祉会館, 材齢11年6月)

会館は鉄筋コンクリート造3階建て上記体育館と同じ町にあり、海からの距離は約800mである。

3. 1 建物概要及びコンクリートの調査, その他

会館は昭和44年10月に竣工, レディミクストコンクリートを用いた打放し仕上げである。当時の配合報告書より本調査対象である1階壁体に該当するものを示すと次のようである。A種, 設計基準強度180kg/cm², 気温補正值40kg/cm², 指定強度225kg/cm², スランプ18cm。

| (配合) | W/C | セメント | 水 | 細骨材 | 粗骨材 |
|------|-----|------|-----|-----|---------------------------|
| | 60% | 325 | 195 | 788 | 1045 (kg/m ³) |

特にコンクリートかぶりが少ない部分数箇所、局部的に鉄筋が露出している他には損傷は見当たらない。

3. 2 中性化及び塩分量

図3に示す8ヶ所から直径5cmのコアを採取し、調査例1と同様に中性化と塩分量を調査した。結果を表3に示す。中性化深さの平均は10mmである。塩分量は表層3cm厚では平均0.008% (対モルタル分)でこれを砂に対する値に換算すると0.012%となる。表面より3.3cm~6cmの層では8試料とも塩分は検出されなかった。

表3 中性化深さと塩分量

| コア No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 平均 |
|-----------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 中性化深さ(mm) | 5 | 13 | 13 | 8 | 10 | 11 | 7 | 13 | 10 |
| 塩分含有量(%)* | 0.006 | 0.008 | 0.011 | 0 | 0.006 | 0.017 | 0.006 | 0.007 | 0.008 |

*:モルタルに対する値

4. 考察

本報告と前報¹⁾の調査結果から、その塩分分布を図4にまとめた。この塩分分布に関与する因子としては次の項目が挙げられる。

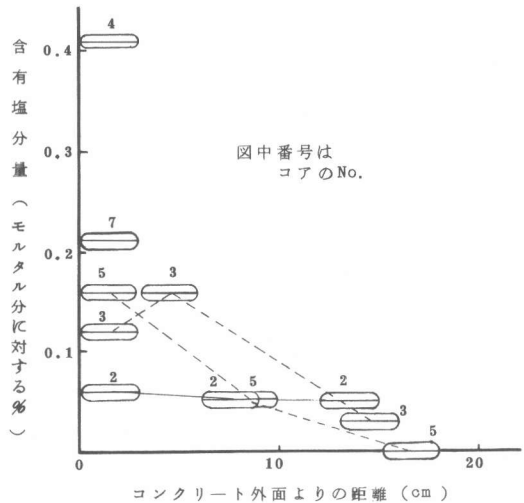


図2 コンクリート内 塩分分布

表2 圧縮強度, 比重, 調合比

| | 試料数 | 範囲 | 平均 |
|----------------------------|-----|--|------|
| 圧縮強度 (kg/cm ²) | 9 | 56 ~ 158 | 97 |
| 表乾比重 | 4 | 2.32 ~ 2.40 | 2.36 |
| 絶乾比重 | | 2.19 ~ 2.29 | 2.23 |
| 吸水率 (%) | | 4.83 ~ 6.64 | 5.81 |
| 重量調合比 | 6 | セメント: 砂: 砂利 1 3.7 7.8 (3.1~4.3) (5.7~12.8) | |

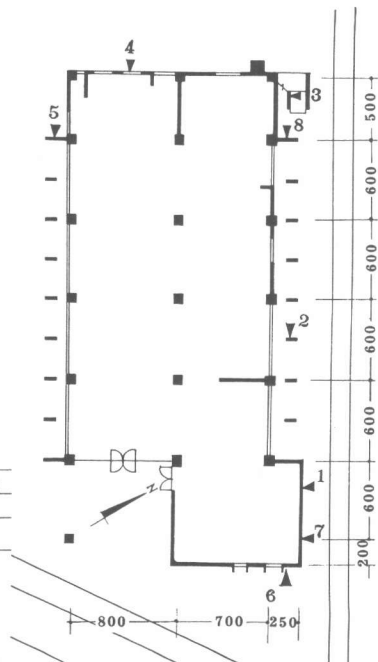


図3 1階平面図

(▶ コア採取箇所)

4. 1 環境条件と経過年数

図5に示すBazantの理論²⁾で表層部塩分量を一定値としているのは海水に接する場合を対象としているからである。海岸のコンクリートではこの境界値は環境条件と経過年数によって異なるとして、筆者は図6を前報で提示した。図4はその境界値の実例を示すものであり、例えば海岸からの距離によって、塩分分布図は上又は下に移るものと考えることができる。

また本調査例2(図4・C)では今後50年程は鉄筋位置での塩分がJASS 5の許容値を超える可能性は少ないと思われる。これは環境塩害の対象範囲の目安を与えるものとも言えよう。

4. 2 コンクリートの材質

前報¹⁾では水セメント比を取り上げて図7を提示した。図4のA, Bを比較すれば、これには経過年数という因子が含まれているとは言え、水セメント比によって塩分分布の勾配が図7の傾向を持つことを裏づけている。また本調査とは別途にこのことを実証する資料が図8のように得られている。これは原田・秋葉・須藤による実験結果³⁾を用いて、水セメント比の観点から筆者が整理し直したものである。水セメント比によって塩分分布勾配の差が認められる。

4. 3 表面よりの深さ

かぶり厚の増加は鉄筋位置での塩分量制限に役立つ。その効果は水セメント比が小さい程大きい。図4の例ではその勾配から、かぶり厚1cmの増加によって低下を期待できる塩分量はAでは0.026%, Bでは0.01%(いずれも対モルタル比)ということになる。

4. 4 仕上げ材料

中性化と同様、環境塩害に対しても、モルタル仕上げよりも洗い出し仕上げの方がはるかに有効であることが本調査で明らかとなった。不透水性、気密性の仕上げ材料が海岸の建物には望ましい。

5. あとがき

鉄筋コンクリートの環境塩害に対してはコンクリート内の塩分分布の実態把握が重要である。本報告は実態調査にもとづいて、塩分分布の性状に考察を加えたものであるが、今後さらに基礎研究や実態調査資料の蓄積が望まれる。海砂使用による先んずく塩分に対する同様に環境塩害に対する注意も必要である。

謝辞

文献3に関する筆者の見解に対し、秩父セメント(株)原田氏より貴重な御意見と実験資料を戴いた。ここに厚く御礼申し上げます。

文献

- 1) 川上英男 "環境塩害と鉄筋コンクリートの耐久性" 第2回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1980, p.p.21~24.
- 2) Z.P.Basant "Physical model for steel corrosion in concrete sea structures - Theory" Proceedings, ASCE, V.105, ST6, June 1979, pp.1137-1153
- 3) 秋葉・原田・須藤 "コンクリートの海水による浸蝕に関する研究" 第34回セメント技術大会講演要旨, 昭和55年5月, p.p.172~173.

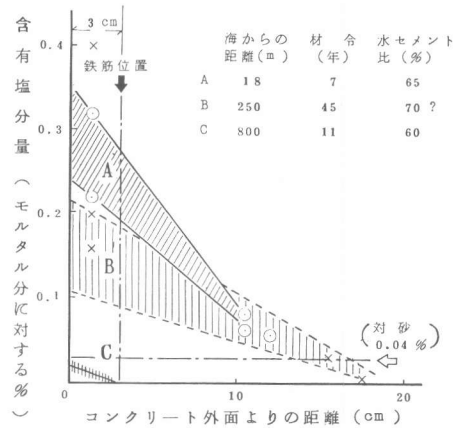


図4 各種条件下の塩分分布

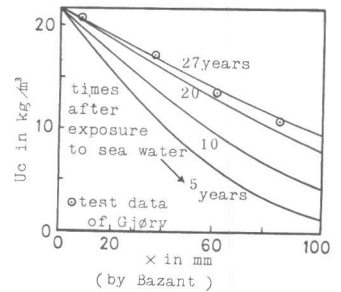


図5 海水に接する場合の塩分分布

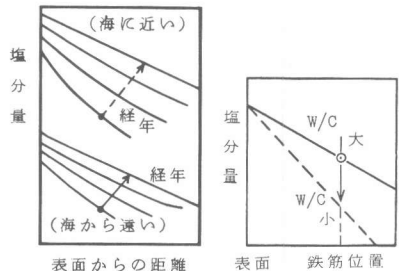


図6 海岸コンクリートの塩分分布 図7 W/Cと塩分分布

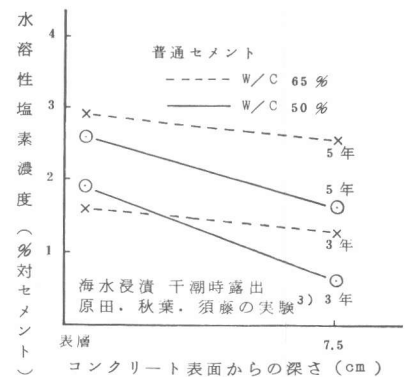


図8 塩素濃度分布