

[20] コンクリート構造物の塩害の実態調査

正会員 ○和美広喜(鹿島建設技術研究所)

木村敬三(鹿島建設技術研究所)

吉信正弘(鹿島建設建築工務部)

小泉博義(鹿島建設建築工務部)

1. まえがき

最近、海岸地域などのコンクリート構造物において、コンクリート中の塩分により鉄筋が腐食し、かぶりコンクリートにひび割れが生じたり、はく離するなどの損傷が報道され社会問題となっている。

これは、海砂などの使用材料の塩分によるものと、海岸地域における海塩粒子により外部から浸入する塩分の影響によるといわれている。前者の場合は、昭和52年10月に建設省住宅局より「0.04%を超える塩分を含んだ細骨材を原則として使用しない」という通達が出されて以来、各方面で海砂の除塩対策が検討され効果を上げている。後者については、許容塩分をはるかに超える塩分がコンクリート中に浸入するもので、しかも環境条件、設計条件、経過年数及びコンクリートの品質等が鉄筋の腐食に対して複雑に影響するため未解決な点が多いといわれている。¹⁾

このようなことから、実際の構造物について実態調査を行うことが短期間に劣化要因を把握できる一つの方法と考え、鹿児島県、愛知県で海砂を用いたと思われるもの及び海岸地域に建つものを対象に調査を行った。

本報告は、調査結果に基づき塩害環境条件下に建つ建物の維持管理に必要な資料を得ることを目的として、主に鉄筋の腐食に対するコンクリート中の塩分量、かぶり厚さ及び中性化等の影響について検討したものである。

2. 調査概要

2.1 調査対象構造物

表-1に調査対象構造物の概要を示す。

表-1 調査対象構造物の概要

建物 No.	建設場所	経過年数 (年)	外部仕上	設計基準強度 (kg/cm ²)	鉄筋	海からの距離 (m)
1	鹿児島県	15	打放し	180	13φ	250
2	//	15	リシン	180	9φ	500
3	//	11	打放し	180	D10, D13	600
4	//	11	//	180	D13	400
5	//	10	//	210	D10, D22	200
6	//	10	//	180	D10	700
7	//	9	//	—	D19	400
8	//	8	//	210	9φ, D10, D19	300
9	//	8	//	210	D10	800
10	//	10・5	//	210	D10	300
11	//	4	//	210	D10	300
12	//	15	モルタル・リシン	—	9φ	300
13	//	5	弾性吹付材	—	—	600
14	愛知県	22	打放し	180	φ13, φ19	20

調査対象構造物は、昭和37～55年に建設されたもので調査時点で4～22年経過しており、海からの距離が20～800mの所に建つRC構造物である。

建物用途は、通信施設(鹿児島県)及び穀物倉庫(愛知県)である。

2.2 調査方針

調査対象構造物は、ひび割れが多発しているとかはく離しているなど外観からは損傷が認められず機能上の問題も発生していない。しかし、当該地域では、以前より海砂を使用していること、海岸地域であることから塩害の可能性がある。

従って、このような環境条件下におけるコンクリート構造物の劣化度を評価するためには、コンクリート中の鉄筋の腐食程度を調査することが重要と考え、鉄筋をはつり出し腐食の程度を測定し、これと対応させてコンクリート中の塩分量、かぶり厚さ及び中性化深さなどを測定した。

2.3 調査項目及び方法

2.3.1 鉄筋の腐食

コンクリートの中性化及び塩分量測定箇所において鉄筋をはつり出し、目視により腐食を観察し、表-2に示すように鉄筋の腐食の程度に応じて4段階にグレード分けした。

2.3.2 コンクリート中の塩分量

調査対象構造物よりコンクリートコア及びはつり片を採取し、それぞれ所定の深さ別に0.15mm以下に微粉碎して塩分分析の試料とした。

塩分分析は、鉄筋の腐食に影響を与えるといわれている可溶性塩分を主とし、一部コンクリートの硬化過程で固定される塩分量を知る目的で全塩分量についても行った。

可溶性塩分の分析は、塩分の抽出条件によって異なるが²⁾50gの微粉碎試料に200mlの蒸留水を加え、30℃の室温で24時間密封保存して塩分を抽出し、二点較正式イオン電極塩分計(一部電位差滴定法を用いた)で塩分を測定した。なお、今回使用したイオン電極塩分計は、当該コンクリートについて事前に塩分測定を行った結果、可溶性塩分を測定する限りでは電位差滴定法と大差がないことを確認している。

全塩分量の分析は、日本コンクリート工学協会の「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法(案)³⁾」の電位差滴定法によった。

2.3.3 コンクリートの中性化深さ

鉄筋が露出するまでコンクリートをはつり、鉄筋の腐食を観察した後フェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧して中性化深さを測定した。

3. 調査結果及び考察

3.1 コンクリート中の塩分量

図-1及び図-2に全調査構造物の壁体のコンクリート中の可溶性塩分量の分布を示す。

可溶性塩分量は、ほとんどの建物においてコンクリート表面部分が多く、内部になるに従い少なくなりほぼ一定値になっている。

これは、いずれの建物も当初よりコンクリート中に塩分が混入されていたこと、乾燥によりコンクリート表面に塩分が移動したこと⁴⁾海塩粒子により外部から塩分が浸入したことなどが考えられる。

図-1におけるNo.1の建物は、三方が海に囲まれており、海からの距離も250mと近いので、海塩粒子の影響を大きく受けているものと思われる。図-1に示す他の建物からは海塩粒子の影響によって表面部分の塩分量が高くなっていることは読めない。また、仕上材の塩分浸透防止効果についても明らかではない。

図-2に22年経過した建物の壁全断面のコンクリート中の可溶性塩分量の分布を示す。

この場合、外気に直接接しているコンクリート表面部分の塩分量は、外気の影響を受けない室内側の面に対して海側壁面で平均約2倍、陸側壁面で平均約4倍となっており、明らかに海塩粒子による塩分がコンクリート中に浸入しているといえる。

コンクリート中に混入された塩分は、その一部が複塩として固定され、残りが鉄筋の腐食に影響を与える可溶性の塩分となるといわれている。

これまでの研究によると、使用材料から塩分が混入された場合の固定塩分量は、研究者によ

表-2 鉄筋の腐食程度の表示

腐食表示	鉄筋の腐食状態
I	錆がほとんど認められない
II	部分的な点食を認める
III	全面腐食している
IV	層状の錆、断面欠損、かぶりコンクリート剝離

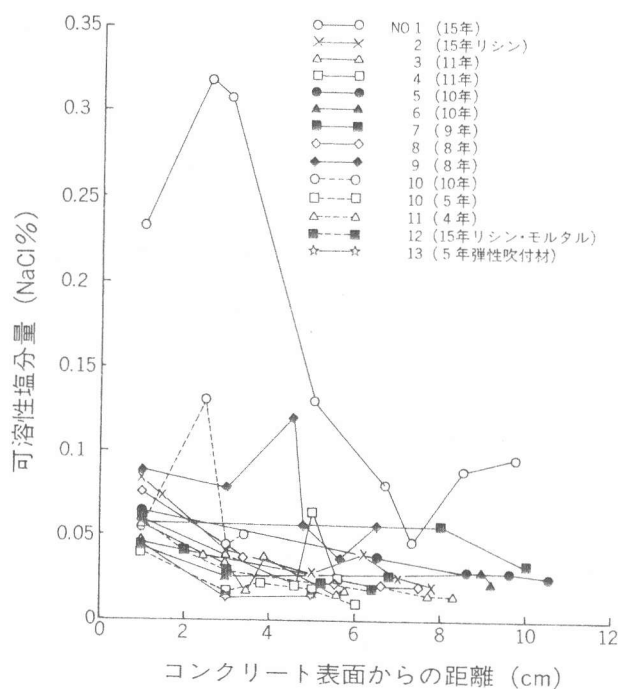


図-1 コンクリート中の可溶性塩分量分布

って異なるが30～70%の範囲のものが多く、またコンクリートが硬化後外部より塩分が浸入した場合には、約30%の塩分が固定されるという研究⁸⁾もある。

図-3は、調査対象構造物の一部のコンクリートについて可溶性塩分量及び全塩分量(電位差滴定法による)を測定し、固定塩分量(Friedel氏塩かどうかは確認していない)を求めたものである。

これより、中性化していない健全なコンクリートでは、約50%前後の塩分が固定され、既往の研究の使用材料から塩分が混入される場合の中間値を示した。中性化したコンクリートでは、固定化される塩分が10%前後と極めて少なかった。しかし今回の調査では、中性化部分のコンクリートについて塩分分析を行っているが、外部より浸入した塩分や硫酸塩等の影響も考えられるため、単に中性化の影響によるものとはいえない。

以上の結果、コンクリート中に混入された塩分のうちある程度の塩分が固定化されることがわかった。しかし今回のように海岸地域に建つRC構造物の場合には、使用材料から混入される塩分よりもはるかに多くの塩分が外部より浸透しており、塩分の固定化現象のみで鉄筋の防食効果を期待することは難しいものと考えられる。

3.2 コンクリートの中性化深さ

図-4に建物の経過年数と中性化深さの関係を示す。

中性化深さは、ばらつきが大きい、経過年数とともに大きくなる傾向であり、岸谷式 $x = 0.224t^{0.5}$ ⁹⁾(普通コンクリートで水セメント比60%、AE剤使用と仮定)から求めた値と比較するとやや大きい傾向である。

また、建物内部の中性化深さは、外部に対して1.5～2.0倍大きく、既往の研究¹⁰⁾とほぼ同様である。

なお、外壁にアクリルゴム系の弾性吹付材を施工した建物では、経過年数5年でも全く中性化していなかったが、セメント系リシンを施工した建物では、打放しの建物とほぼ同じ程度の中性化深さであった。

これまでにも、気密性のある表面仕上材

でコンクリートを被覆することは、中性化防止上有効とされていたが、海岸地域の建物の仕上材の評価にあたっては、塩分の浸透性も考慮して検討する必要がある。

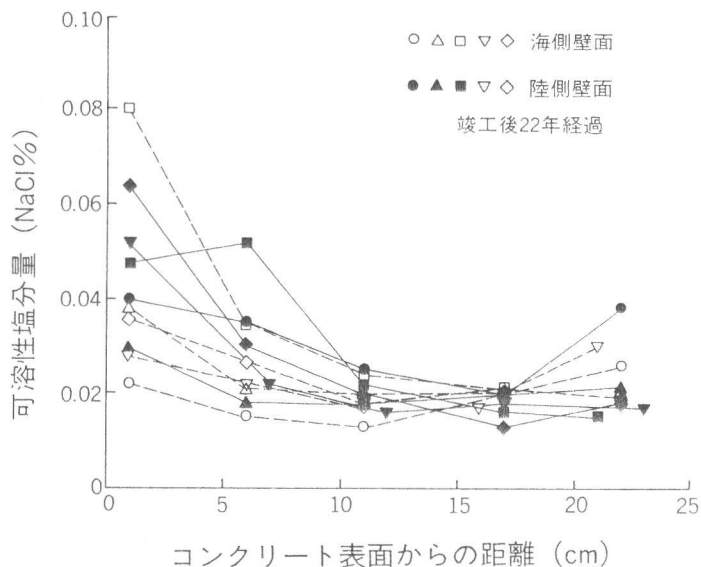


図-2 コンクリート中の可溶性塩分量分布

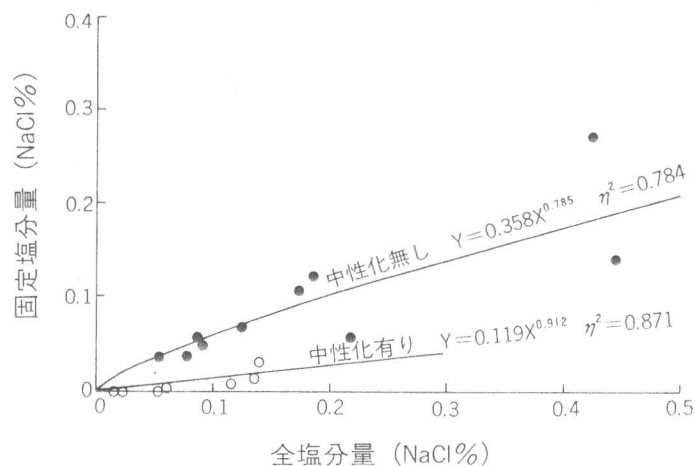


図-3 全塩分量と固定塩分量の関係

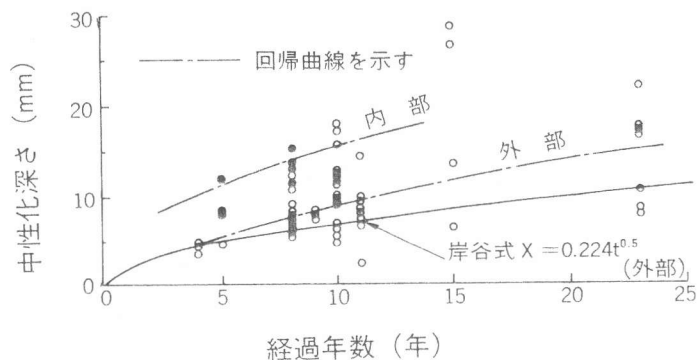


図-4 経過年数と中性化深さの関係

3.3 鉄筋の腐食

図-5に打放し建物における鉄筋の腐食程度とかぶり厚さ及び可溶性塩分量との関係を示す。図中の点線は、点食程度の腐食を鉄筋の腐食の初期の段階と考えた場合の鉄筋の腐食限界線である。ただし、かぶり厚さがなく場合には、塩分がなくても通常の外気条件では必ず鉄筋が腐食するので腐食限界線は図の原点の延長線となるようにした。

一方、点食程度の腐食の場合には、構造物の構造性能や美観及び居住性能などに及ぼす影響が全くないことからこれを腐食限界とすることは実用的でないかもしれない。

しかし、今回の調査結果を見ると経過年数が短い場合や低塩分量で、ある程度のかぶり厚さがあるにもかかわらず全面腐食しているものもある。また、打放し建物の場合は、中性化の進行、水、酸素の影響を受けて腐食が短期間のうちに進行することとも予想される。従って、被害が顕在化しないうちに対策を講ずることが効果的であると考え、腐食限界を点食と定めた。

この結果、鉄筋のかぶり厚さが3 cmの場合は、コンクリート中の可溶性塩分量が0.007%を超えると鉄筋が腐食する。これは、細骨材に換算すると0.04%（固定塩分量を50%，細骨材量を800 kg/m³コンクリートの単位容積質量を2200 kg/m³と仮定）に相当し、これまでの研究結果¹¹⁾と一致する。

また、0.1%の塩分を含んだ細骨材を使用した場合には、コンクリート中の可溶性塩分量が0.018%（仮定条件は上述と同じ）となり、鉄筋のかぶり厚さを8 cm程度以上にしなければ鉄筋が腐食することになる。

図-6は、鉄筋の腐食程度と中性化深さ及びかぶり厚さの関係を示したものである。

これより、中性化深さがかぶり厚さより大きい鉄筋は、全て全面腐食となっている。また、中性化深さがかぶり厚さよりも小さい場合でも、全面腐食や点食のものもある。

4. ま と め

今回調査した建物は、塩害による劣化が顕在化していなかったが、コンクリートの使用材料から混入される塩分や海塩粒子の影響で内部の鉄筋がある程度腐食していることがわかった。海塩粒子の影響を受けない構造物では、細骨材換算の塩分量を0.04%以下とすべきであり、海岸地域の建物では、鉄筋腐食の許容限度をはるかに超える塩分が外部より侵入するので、塩分の浸入防止対策や耐塩性鉄筋の使用などを検討する必要がある。なお本調査研究は、鹿島建設における塩害対策研究会の一環として実施したものである。

〔参考文献〕

- 1) 森永;セメントコンクリート, 1984.9
- 2) 近藤, 森永;日本コンクリート会議シンポジウム報文集, 昭和50年3月
- 3) 腐食防食委員会;コンクリート工学, 昭和59年12月
- 4) 大島, 池永;日本コンクリート会議シンポジウム発表報文集, 昭和50年3月
- 5) 大島, 森, 坂本;土木技術資料 15-4, 1973
- 6) 渡辺, 高山, 助清;第4回コンクリート工学年次講演会論文集, 1982.4
- 7) 佐治, 松藤, 中武;日本建築学会大会梗概集, 昭和55年9月
- 8) 武若, 松本;土木学会第39回年次学術講演会, 昭和59年
- 9) 岸谷;鹿島建設技術研究所出版部 1963.2
- 10) 和泉, 嵩, 友沢, 福士;第6回コンクリート工学年次講演会論文集, 1984
- 11) 岸谷;コンクリートジャーナル 1974.10

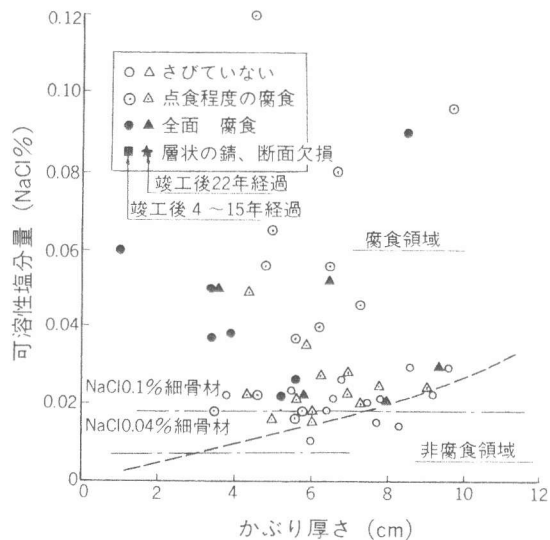


図-5 鉄筋の腐食程度とかぶり厚さ及び塩分量の関係

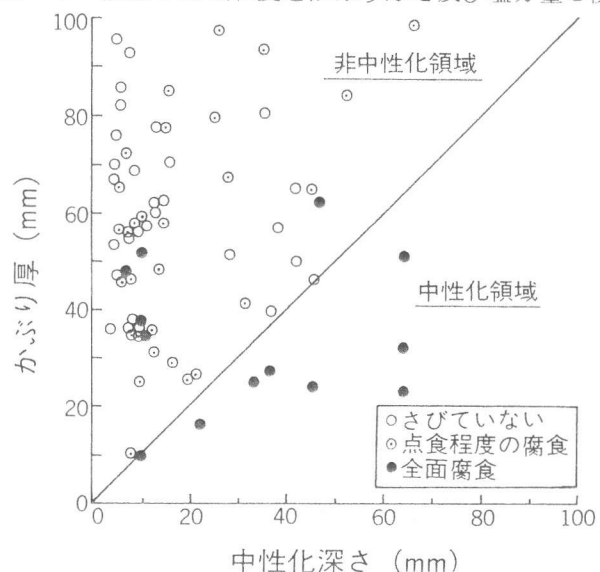


図-6 鉄筋の腐食程度と中性化深さ及びかぶり厚さの関係