

[1] 海砂を用いたコンクリート中の塩分の移動

正会員 岸谷孝一 (東京大学工学部)

正会員 ○ 樫野紀元 (建設省建築研究所)

1 塩分を含む鉄筋コンクリートの耐久性

海砂使用鉄筋コンクリートの耐久性に対するもっとも大きな要因は、言うまでもなく海砂に含まれる塩分による内部鉄筋の腐食である。コンクリート中に塩分が存在しても、作り方によっては内部鉄筋が腐食しない構造物をつくるのが可能であると考えられている。この場合、まず混入塩分量、水セメント比、かぶり厚さが最初に考慮すべき問題であるとされている。塩分量については、その上限をGLCなどでは0.1%、オランダでは0.08% (いずれも細骨材に対するNaCl量)、DINでは0.1% (同Cl量) などと決めている。これらは主として水酸化カルシウム飽和水溶液による試験を基にして決められたものである。コンクリート中では0.04% (細骨材に対するNaCl量; 以下同) 以下ならばまず耐久性に期待できようとする報告が多い。また水セメント比は50%以下であればまず問題なし、55%位が耐久性上の限界、60%以上では耐久性に期待できない場合が多い、と言われている。一方、内部鉄筋を腐食させないコンクリートのかぶり厚さについては、塩分を含む場合は、3~13cmと非常にばらついている。

このように、塩分を含む鉄筋コンクリートの耐久性に関しては、許容混入塩分量や推奨水セメント比についての見解は各報告共に概ね一致しているようであるが、かぶり厚さについては大変ばらつきが大きい。これらは、いずれも内部鉄筋が腐食する限界を対象として検討された結果に基づいたものと考えてよいだろう。

一般に、鉄筋腐食の観点から耐久性について論ずる場合は、まず、鉄筋が腐食科学的にみて進行性と考えられる腐食形態に腐食する限界を把握することが重要であると思われる。通常は、一度腐食を生じると、その鉄筋の腐食量は、海砂使用によりもたらされる程度の塩分量の範囲では、塩分混入量が増す程腐食量が増加するものと単に考えてよいと思われる。問題は、進行性の腐食が生じる条件を把握することである。

さて、塩分を含む場合、鉄筋保護機能に期待できるかぶり厚さは3cm位あれば良いとする報告もあれば、13cmは必要であるとする報告もあり大変ばらついている。このようにかぶり厚さの推奨値が大きくばらついているのは、それぞれの報告の基となっている実験条件に相違があることが原因していることもあろうが、とりもなおさず、コンクリート表面からの塩分濃度に差があることがこれらから示唆されるように思われる。

一般に、塩分が混入される場合は、コンクリート打設後、強制乾燥の場合24時間で、自然乾燥の場合約2週間で混入塩化物がセメントクリンカー中の鉱物と結合すると言われている。(塩化物濃度が1gCl/100mlまでの場合トリカルシウムアルミネート、アルミノフェライトと結合しフリーデル氏塩 $C_3A \cdot 3CaCl_2 \cdot H_{32}$ と思われる塩化物を生成する。)この時、乾燥に伴い、コンクリート表面近くへ塩分が移動することが確認されている。コンクリート表面からの塩分濃度に差があるとすれば、このコンクリート硬化時の塩分の移動挙動が大きく影響しているものと考えられる。

さて、筆者らの調査では、塩分を含む場合必ずしもかぶり厚さが少ない程鉄筋腐食量が多くなる傾向を示すとは限らないこと、表面から30mm位の部分の鉄筋が20mm位の部分にある鉄筋よりも進行性の形態に腐食する例が多く腐食量も多いことなどが分った。この点について詳細に確認するため、筆者らが実施した実験ならびに既存の海砂使用建物における調査の結果等を以下に印し、検討する。

2 コンクリート中における塩分の移動挙動把握のための一実験

(1) 試験体

①形状：20×20×26 cm ②使用材料；普通ポルトランドセメント，川砂利（比重2.66 吸水率2.09％），川砂（比重2.63 吸水率2.46％），塩分は人工海水を所定量調整して使用し混入，SR2413のみがき丸網，③コンクリートの調合を表1に示す。④試験体の作成；コンクリート打ち込み後24時間で脱型，14日間恒温恒湿室で養生後一般環境

水セメント比 (%)	スランブ (cm)	S/A (%)	単位水量 (kg/m ³)	空気量 (%)	絶対容積(L/m ³)			重量 (kg/m ³)			4週圧縮強度 (kg/cm ²)
					C	S	G	C	S	G	
59	18	42	177	3.0	95	292	408	300	760	1.061	282

下の自然暴露に供する。

(2) 試験方法

自然暴露開始後1.5年目に打ち込み面 底面 側面 2面

の4面についてコンクリート表面から1cm間隔で試料をはつり取り，ホルバルト法により試料中の塩分量を分析する。これを集計してコンクリート表面からの塩分勾配を求める。

(3) 試験結果および考察

コンクリート表面からの塩分勾配の実測結果を図1に示す。これは試験体4面の計測結果の総合である。塩分の固定化等がコンクリート打ち込み後比較的若材令で終了すること等を加味して考えると，図1は，打ち込み後1.5年を経たものであるから，この程度の大きさでこの程度の塩分を含む場合の代表的な塩分勾配パターンと考えてもよさそうである。これによれば，混入塩分量が多く普通の建物に用いる部材の場合には，表面から約30mm位のところに，表面から40～50mm位の部分にある塩分が移動し塩分量が多くなる傾向がみられる。60mm以深は当初混入量である。

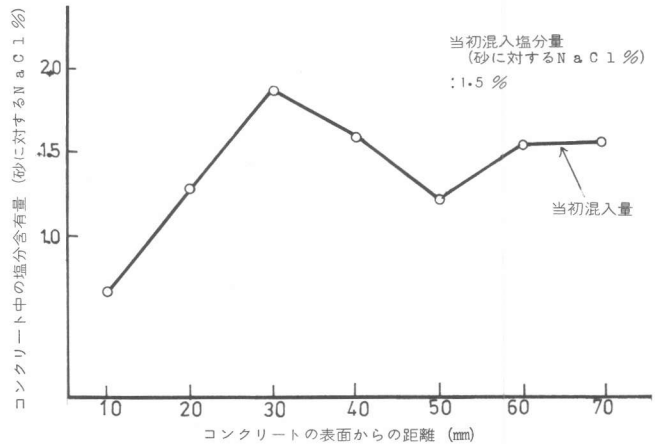


図1 混入塩分量が絶乾砂に対し1.5％の場合の塩分勾配実測結果

一方，混入塩分量がこれより少ない場合についても同様に実験したがこの時は図1にみられるような顕著な傾向が見られない。(図2)尚，打ち込み面では，他の面におけるより，塩分量が総じて多いという結果が得られたがこれはブリージングの影響が加味されたものと考えられる。底面にあつては，外気に触れない条件になっているが，この面についても塩分勾配は，他の面におけると同様の傾向を示す。したがって，ここで述べたコンクリートの表面からの塩分勾配は，実際の建物の場合，建物の内側外側を問わず同様の傾向を示すものと考えることができよう。これらの点については，既存建物で実態調査し，確認する必要がある。

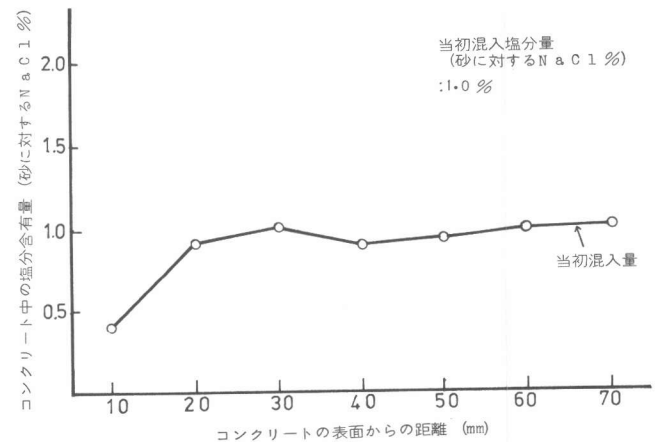


図2 同 1.0％の場合の塩分勾配実測結果

3 塩分の移動挙動把握のための実態調査

(1) 調査対象建物

調査対象建物は，表2に示す3件16棟の鉄筋コンクリート造建物であり，いずれも沖繩

県那覇市に位置する。

(2) 調査方法

各調査箇所において、コンクリート表層部分および鉄筋周辺部分から試料を100～200g手ばつりで採取し、この試料中の含有塩分量を2と同様の方法により求める。これらを総合しそれぞれの場合におけるコンクリート表面からの塩分勾配を求める。

尚、試料中の含有塩分量は、NaCl換算重量百分率で求める訳であるが、水セメント比、砂量等が分れば、絶乾砂中の塩分量が推定できる。

〇マンションの場合は調合が明らかであるので絶乾砂に対する塩分量がほぼ正確に算定し得る。

W一団地、Y一小学校の場合については推定値を求めた。

また、各調査箇所においては、塩分量の分析以外に仕上材の種類・厚さ、コンクリートの圧縮強度・中性化深さ、鉄筋に対するコンクリートのかぶり厚さ、鉄筋の腐食状況などの調査も実施しているが、ここでは省略する。

表2 調査対象の海砂使用鉄筋コンクリート造建物の概要

建物名称 (内経過年数)	構造規模	コンクリートの 推定圧縮強度	立地条件等	調査棟数	塩分勾配実測 調査箇所数
W一団地 (20年)	平屋住宅 柱、中央はりが鉄筋 コンクリート造 1戸建1階	平均 200kg/cm ² 仕上げ: モルタル12mm	中層住宅より内陸に あり、陸側面は、海 塩粒子の飛来量等が 少ない	6棟	塩分勾配 海側・陸側合せて 建物外側を中心とし て:36箇所 塩分と腐食:36箇所
	中層住宅 鉄筋コンクリート造 3階建て (1棟24戸)	平均 170kg/cm ² 仕上げ: モルタル12mm	海岸に近接している (約30m位) 台風時には波しぶき をかぶる。	4棟 (1棟24戸)	
Y一小学校 (23年)	鉄筋コンクリート造 2階建て (1棟平均8教室)	200～250kg/cm ² 仕上げ: モルタル10mm	外部から新たに海塩 粒子等の侵入を受け ることはない。	4棟 (1棟平均 8教室)	塩分勾配 主として建物内側: 15箇所 塩分と腐食:15箇所
〇マンション (4年)	鉄筋コンクリート 6階建て (本棟とピロティ) 棟からなる。	平均 220kg/cm ² 仕上げ: リシン吹付け	那覇市郊外の丘陵地 にあり、海岸から数 km内側に位置する。	2棟	塩分勾配 建物内側外側共に合 計:24箇所 塩分と腐食:24箇所

(3) 調査結果および考察

図3に実態調査における場合のコンクリート表面からの塩分勾配実測結果を示す。

① W一団地の場合；海塩粒子の影響を受けないと考えられる平屋住宅の陸側にあつては、塩分勾配は、ほぼ図1と同様の傾向を示す。中層住宅海側では、コンクリート表面からの深さにあまり関係なく、1.0～1.5%の塩分が含まれている。この部分は、海塩粒子が蓄積したものと推察する。② Y一小学校の場合；図1と同様の傾向を示す。尚塩分量が0.1%を超える部分では鉄筋腐食が著しい。③ D一マンションの場合；平均0.52%の塩分を含んでいる。建物内側の部材において、コンクリート表面から30mm付近までは、漸時塩分量

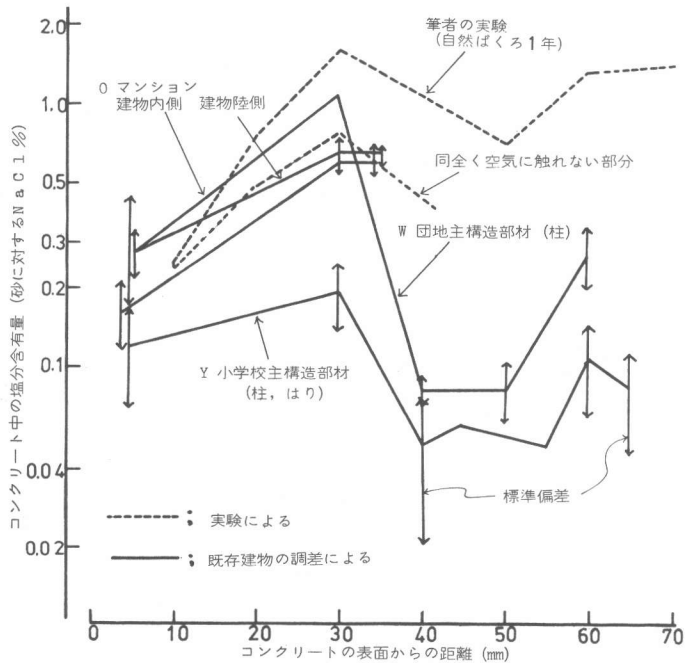


図3 実態調査における場合のコンクリート表面からの塩分勾配実測結果

が増加する傾向を示す。

4 むすび

図4に 実験および実態調査から得られるコンクリート表面からの塩分勾配の傾向を総合し、パターン化して示す。コンクリート中にある程度の塩分が含まれる場合、通常の建物の柱・はり等の部材においては、コンクリート表面から30mm付近へ40～50mm付近にある塩分が移動し、この部分の濃度が非常に高くなる傾向がみられる。この時表面から50～60mm以深では当初混入量と同程度の塩分が存在する。

柱・はり等の主構造部材では、鉄筋がコンクリート表面から30mm付近に位置する設計とする場合が多いが、塩分を多く含むコンクリート中では、丁度この位置で塩分量が最大となるので腐食の危険が大きいものとなることがこれにより明らかとなった。

海砂使用等により塩分がコンクリートに混入される恐れがある場合は、鉄筋の防食対策を種々講ずることは当然必要であるが、特にかぶり厚さを40～50mmとすることが耐久性上有利となることがこれにより推察されよう。

しかるに、何故塩分勾配が構成されるのであろうか、今後更に化学的考察等を加え検討する事項は多い。

<参考文献>

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> 1) 海砂に関する調査研究委員会 2) Spellman D. L. 他 3) 烏田専右・森永繁他 4) 狩野春一・大島久次他 5) 川村満紀他 6) Shalon 7) Griffin D. F. 8) 岸谷孝一・櫻野紀元 9) 岸谷孝一 10) 大島久次・池永博威 11) 大島久次・池永博威 12) 関博・小野寺幸夫 13) 小柳治・宮川豊章 14) 森永繁・成田一徳他 16) 戸川一夫 他 17) M. H. Roberts 18) 岸谷孝一・櫻野紀元 19) 岸谷孝一 20) 小林清周・飯塚裕他 21) W. Richarty 22) 岸谷孝一・櫻野紀元 | <ol style="list-style-type: none"> "海砂に関する調査研究報告書" 日本コンクリート会議 1974年3月 "Chlorides and Bridge Deck Deterioration" Highway Research Report №328 1970年 "海砂を使用した構造物の調査" コンクリートジャーナル Vol. 12 №10 1974年10月 "海砂の鉄筋コンクリート工事への利用に関する研究" 建築学会論文報告集 54号 1956年9月 "海砂使用モルタル中の鉄筋の発錆に関する実験的研究" 土木学会 年次発表会資料 1975年度 "Influence of Sea Water on Corrosion of Reinforcement" ACI Journal July 1959年 "Corrosion of Reinforced Concrete in Marine Environment" Materiale Protection Nov. 1965年 "鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋の通気差腐食に関する実験的考察" 建築学会関東支部講演梗概集 昭和51年7月 "海砂による鉄筋の腐食とその対策" コンクリートジャーナル Vol. 10 №8 1972年8月 "セメント水和物による塩化物の結合に関する研究" 建築学会大会講演梗概集 昭和48年10月 昭和51年10月 "鉄筋コンクリートにおける海砂利用に関する研究" 鉄筋コンクリートにおける塩化物の影響に関するシンポジウム 昭和50年3月10日 "海岸コンクリート構造物の劣化" セメントコンクリート №312 Feb. 1973年 "塩分環境下におけるモルタル中の鋼材の発錆過程に関する実験研究" 土木学会年次発表会資料 1975年度 "コンクリートの中性化および鉄筋の発錆に関する研究 その1～その5" 建築学会大会講演梗概集 昭和46年11月 昭和48年10月、昭和49年10月 "海砂コンクリートの配合と鉄筋の発錆" 土木学会年次発表会資料 1975年度 "Sea-Dredged Aggregates for Concrete" Proc. of Symp. Bucking ham Dec. 1968年 "コンクリート中の鉄筋に発生するマクロセルに関する実験的考察" 建築学会大会講演梗概集 昭和51年10月 "鉄筋コンクリートの耐久性" 鹿島出版会 1963年 "鉄筋コンクリートの塩分浸透に関する実験的研究" 建築学会論文報告集 159号 1966年 "Die Bindung von Chlorid bei Zementehärtung" Z. K. G. 22 Nr. 10 1969年 "耐久性に関する一般検査——建築——" セメントコンクリート №267 1977年9月 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

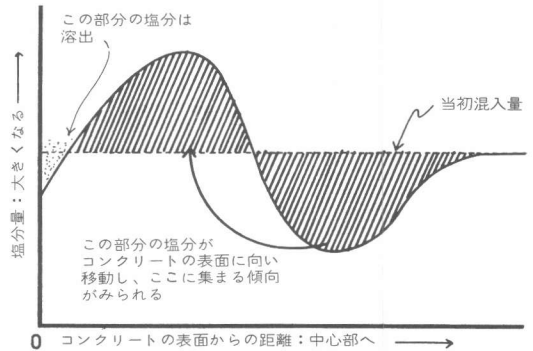


図4 通常の建物に用いる部材におけるコンクリート表面からの塩分勾配モデル

以上