

塩化物含有モルタルにおけるアルカリ・シリカ反応と鉄筋の腐食

川村満紀*・竹本邦夫**・市瀬 誠***

本研究は、塩化物及び反応性骨材含有モルタルにおけるアルカリ・シリカ反応の鉄筋腐食に及ぼす影響について実験的に検討したものである。塩化物として NaCl 及び CaCl₂ を添加した反応性骨材混入モルタル中の鉄筋の腐食は、アルカリ・シリカ反応の発生によって著しく促進される。しかし、その促進の程度は塩化物の種類によって異なる。とくにモルタルの細孔溶液中の Cl⁻/OH⁻ 比と鉄筋の腐食との関係は塩化物の種類によって相違する。

Keywords : chloride-induced corrosion, alkali-silica reaction, CaCl₂, NaCl, pore solution composition, Cl⁻/OH⁻ ratio, electrochemical measurements

1. ま え が き

一般に、塩化物を含有するコンクリート中の鉄筋の腐食に影響する主要因として鉄筋周囲の細孔溶液中における腐食促進性の塩化物イオンと腐食の抑制作用をもつ水酸化物イオンの濃度比 (Cl⁻/OH⁻ 比) 及び腐食性物質の移動度が指摘されている¹⁾。したがって、アルカリ反応性骨材を含んだコンクリートではアルカリ・シリカ反応の進展にともなう細孔溶液中の Cl⁻/OH⁻ 比の変化およびひびわれの発生によって、鉄筋が腐食する危険性がより高くなることが推測される。

塩化物の鉄筋腐食に及ぼす影響は塩化物の種類によっても異なるようである。例えば、コンクリート構造物において塩害の原因となることの多い NaCl および CaCl₂ がコンクリート中に侵入した場合の鉄筋の腐食の程度は CaCl₂ の方がより著しいことが報告されている^{1), 2)}。一方、NaCl および CaCl₂ はアルカリ・シリカ反応を促進することが知られている^{3), 4)}。しかし、NaCl を添加したことによるモルタルのアルカリ・シリカ膨張量の増加割合は、CaCl₂ が添加されたモルタルより大きいようである⁵⁾。このように、NaCl および CaCl₂ のアルカリ・シリカ反応および鉄筋腐食に及ぼす影響が相違するので、反応性骨材含有コンクリートにおける塩化物の鉄筋腐食に及ぼす影響は一層複雑になることが予想される。

反応性骨材が混入しているある種の鉄筋コンクリート構造物の耐久性を考えたとき、アルカリ・シリカ反応の発生それ自体だけでなく、反応の進展によってかぶりコンクリートにひびわれが生じることによっても鉄筋の腐食が進行する危険性が高くなること⁶⁾を考慮すると、塩

化物の存在下における反応性骨材含有コンクリートにおけるアルカリ・シリカ反応と鉄筋腐食との関係を明らかにすることは、アルカリ・シリカ反応によって損傷しているコンクリート構造物の維持・管理上からも重要なことである。

本研究は塩化物および反応性骨材含有モルタルにおけるアルカリ・シリカ反応と鉄筋腐食の関係を明らかにすることを目的とし、塩化物と反応性骨材を含有するモルタル中の細孔溶液の組成と電気化学的測定法によって評価される鉄筋の腐食特性との関係を実験的に検討するとともに、塩化物の種類がアルカリ・シリカ反応と鉄筋腐食との関係に及ぼす影響についても一考察を加えたものである。

2. 実験概要

(1) 材 料

使用したセメントは、等価 Na₂O 量 0.93% の普通ポルトランドセメントであり、その化学組成は表-1 に示す通りである。使用したアルカリ反応性骨材は、粒径範囲 1.2~0.6 mm の Beltane オパール岩石 (米国産) であり、その ASTM C-289 (化学法) による溶解シリカ量およびアルカリ濃度の減少量は、それぞれ 1200 mmol/l および 225 mmol/l である。非反応性骨材として豊浦標準砂を用いた。使用した塩化物は、前述したようにコンクリート構造物において塩害の原因となることの多い NaCl および CaCl₂ (特級試薬) である。また、本実験では各種モルタル中の鉄筋の腐食特性を実際の構造用異形鉄筋を用いて評価した。供試体の寸法および所要のかぶり厚さを確保するとともに用いる鉄筋の表面形状が本実験において採用した電気化学的測定に及ぼす影響をなくするために、D 13 mm の異形棒鋼の表面部分を削り取り φ 10 mm の円形断面としたものを使用した。

* 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科
(〒920 金沢市小立野 2-40-20)

** 工博 石川高専助教授 土木工学科

*** 工修 北陸電力 KK (元金沢大学大学院生)

Table 1 Chemical composition of cement (%)

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. Loss
64.0	21.8	5.0	3.2	2.1	1.6	0.59	0.51	0.5

(2) 方法

a) 膨張試験および細孔溶液の抽出

モルタルの配合は、セメント：水：骨材=1.0：0.55：2.0（重量比）である。モルタル中の反応性骨材混入量は、本実験と同一の使用材料および配合によって作成したモルタルにおける膨張量-反応性骨材混入量の関係から確認されたベシマム量とし、実際には全骨材重量の3%となるように標準砂の一部を反応性骨材によって置換した。塩化物は、モルタル中のCl⁻量がセメント重量に対して0.25, 0.5, 1.0および2.0%となるように、それぞれに対応する量を予め練り混ぜ水に加えた。

膨張試験については、モルタル角柱供試体（4×4×16 cm）を38℃の湿気槽内に貯蔵し、所定材令ごとにJIS A 1125に従ってそれらの長さ変化を測定した。

細孔溶液は、ビニール袋中に密封した状態で38℃の湿気槽内に所定期間貯蔵されたモルタル円柱供試体（φ5.6×10 cm）より高压装置によって抽出されたものである（各供試体に負荷した最大圧力は、約400 MPaである）。細孔溶液中のCl⁻およびOH⁻イオン濃度は、それぞれ電量滴定法による塩分分析計および塩酸による直接滴定（指示薬：フェノールフタレイン）により求めた。また、各種モルタルの細孔溶液の組成に及ぼすアルカリ・シリカ反応の影響をより明確にするために、以下に示される細孔溶液中のイオン濃度はそれぞれセメントの水和によって消費される水量（結合水量）に対して次式によって補正されたものである⁷⁾。

$$\text{補正濃度 (mol/l)} = \text{測定濃度 (mol/l)}$$

$$\times \frac{\text{練り混ぜ水量(g)} - \text{強熱減量試験による結合水量(g)}}{\text{練り混ぜ水量(g)}}$$

b) 各種モルタル中の鉄筋の腐食挙動のモニタリング

本実験では、各種モルタル中の鉄筋の腐食特性のモニタリングは、電気化学的測定による自然電位（参照電極電位：飽和カロメル電極電位（SCE））および分極抵抗（直線分極法）によった。電気化学的測定用のモルタル供試体は、膨張試験および細孔溶液抽出用モルタルと同配合のモルタル中に作用極および分極抵抗測定時における対極としてそれぞれφ10 mmの鉄筋およびステンレス鋼棒を埋め込んだものであり、その概要はFig.1に示す通りである。各種モルタル供試体は、38℃の湿気槽内に貯蔵しながら所定材令時において電気化学的測定に供された。所定材令において直線分極法によって求めた分極抵抗（ΔE/ΔI）は、実際には各材令時におけるそれぞれの鉄筋の自然電位から±20 mVの偏差電位を1

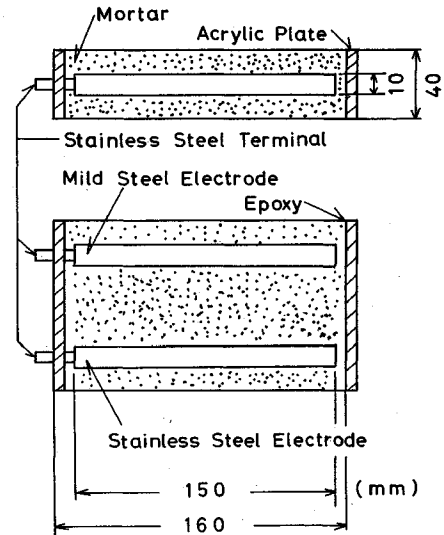


Fig.1 Schematic diagram of the specimens for electrochemical measurements.

mV/secの割合で負荷し、その時の電位（ΔE）と電流（ΔI）の関係（分極曲線）を求め、その得られた分極曲線の勾配から計算されたものである。また、各種電気化学的測定用供試体中の鉄筋の実際の腐食量を評価するために、材令6ヶ月に達した供試体を破壊することによって取り出した鉄筋の腐食状況を透明紙に写しとり、腐食部分の面積をプランメーターで計測し、その鉄筋の全表面積に対する百分率で表す腐食面積率も求めた。各測定値は2本の供試体の平均値である。

3. 結果および考察

(1) 塩化物を添加した Beltane オパール含有モルタルの膨張曲線

Fig.2は、各種モルタルの膨張量曲線を示す。いずれのモルタルも材令1ヶ月程度まで急速に膨張しているが、それ以後の膨張量の変化は小さい。また、塩化物を添加することによって材令6ヶ月までの全膨張量は無添加モルタルのものより大きい。また、それらの増加割合は添加された塩化物の種類および量によって異なることがわかる。すなわち、NaCl添加モルタルでは添加量の増加とともに膨張量は大きくなっている。一方、CaCl₂添加モルタルでは膨張量と添加量との間には一定の関係がみられず、その差異も小さい。さらに、Cl⁻添加量が多い場合、NaCl添加モルタルはCaCl₂添加モルタルよりも

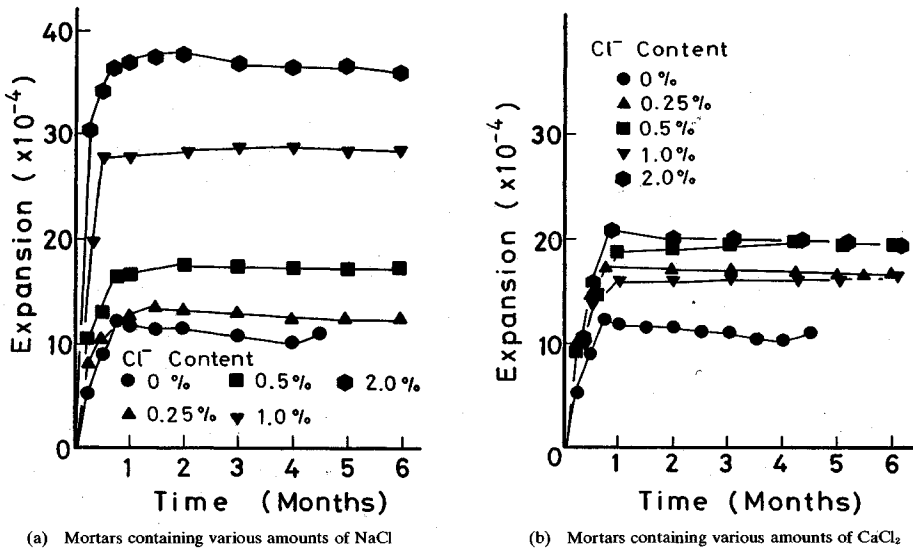


Fig.2 Expansion curves for various mortars.

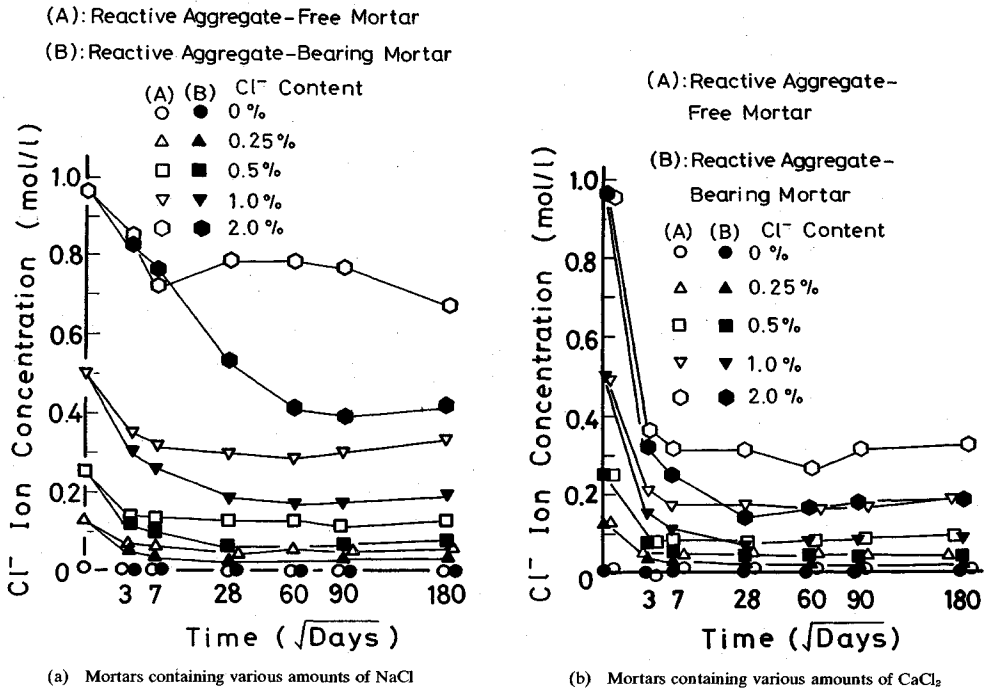


Fig.3 Cl⁻ ion concentration in pore solutions expressed from mortars with and without the reactive aggregate at various ages.

かなり大きな膨張量を示す。

このように、本実験においても Cl⁻ 添加量が 2% までの範囲の Beltane オパール含有モルタルにおいては、NaCl および CaCl₂ の添加はともにアルカリ・シリカ反応による膨張を促進することが認められるとともに、Cl⁻ 添加量が多くなると CaCl₂ よりも NaCl の方が膨張を助長する程度は大きい。

(2) 塩化物を添加したモルタルの細孔溶液中の各種イオン濃度の変化

Fig.3 は、各種モルタルの細孔溶液中の Cl⁻ イオン濃度の経時変化を示す。Fig.3 (a) に示されるように、NaCl 添加モルタルの細孔溶液中の Cl⁻ イオン濃度は添加量および反応性骨材の有無にかかわらず初期材令において急激に減少した後それぞれほぼ一定値に収束しているが、反応性骨材混入モルタルでは収束するまでの期間

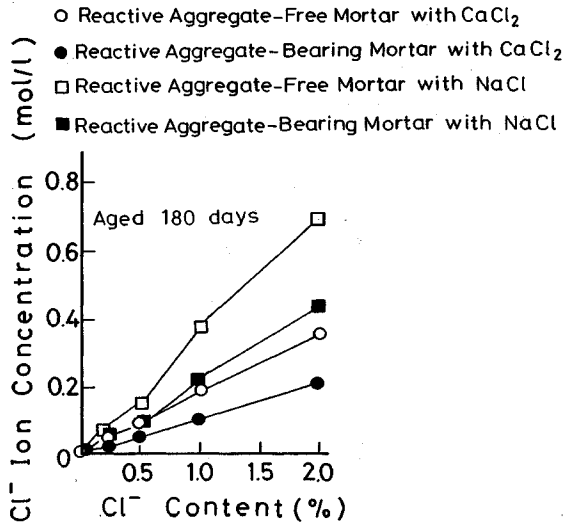
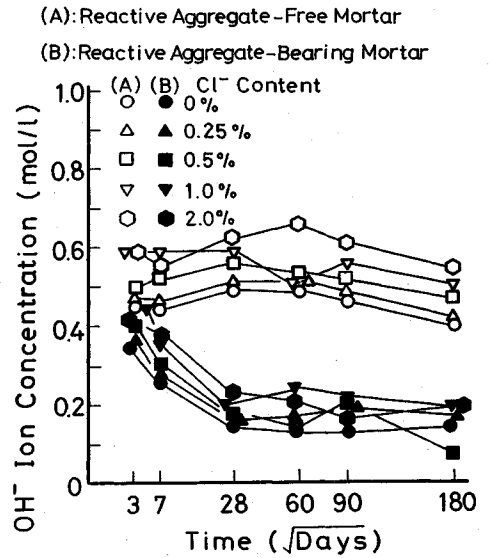


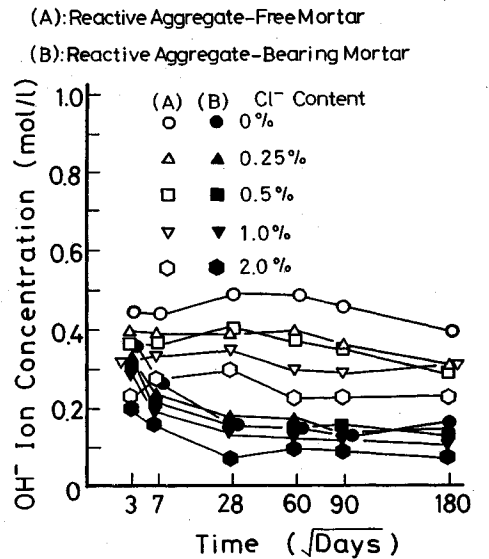
Fig. 4 Relationship between Cl^- ion concentration in pore solutions and Cl^- content in various mortars.

が若干長い。とくに、 Cl^- 含有量2.0%のNaClを添加したオパール含有モルタルにおいては、細孔溶液中の Cl^- イオン濃度は約60日まで減少し続ける。このことは、NaCl添加量が高いとき、反応性骨材の存在によって Cl^- イオンを消費するような反応がかなり長期にわたって生じていることを示す。一方、 CaCl_2 添加モルタルにおいても細孔溶液中の Cl^- イオン濃度の経時変化はNaCl添加モルタルの場合と同様の傾向を示すが、 Cl^- イオン濃度が一定値になるまでの期間がより短いことがわかる (Fig. 3 (b))。添加された塩化物の種類にかかわらず Cl^- 添加量が同一の場合、反応性骨材混入モルタルの細孔溶液中の Cl^- イオン濃度は無混入モルタル (標準砂モルタル) の場合よりも低く、材令1ヶ月以後における反応性骨材の有無による Cl^- イオン濃度の差異は Cl^- 添加量が多いほど大きくなっている。さらに、 CaCl_2 添加モルタルの細孔溶液中の Cl^- イオン濃度はNaClを添加したものより低くなり、とくに Cl^- 添加量が多い場合その低下量は大きいことがわかる。また、Fig. 4に示される材令180日における各種モルタルの細孔溶液の Cl^- イオン濃度と Cl^- 添加量との関係から、 Cl^- 添加量と細孔溶液の Cl^- イオン濃度はそれぞれほぼ比例関係にあることがわかる。

Fig. 5は、各種モルタルの細孔溶液中の OH^- イオン濃度の経時変化を示す。当然予想されるように、これらの図より、各種モルタルの細孔溶液中の OH^- イオン濃度の経時変化は反応性骨材の有無によって際立った相違のあることがわかる。すなわち、反応性骨材混入モルタルの細孔溶液中の OH^- イオン濃度は材令28日まで大きく減少し、その後の変化は小さいが、標準砂モルタルの細孔溶液中の OH^- イオン濃度の経時変化は小さい。



(a) Mortars containing various amounts of NaCl



(b) Mortars containing various amounts of CaCl_2

Fig. 5 OH^- ion concentration in pore solutions expressed from mortars with and without the reactive aggregate at various ages.

さらに、反応性骨材混入モルタルと標準砂モルタルの細孔溶液中の OH^- イオン濃度の差異はNaCl添加モルタルにおいてより大きいことがわかる。また、 Cl^- 添加量と OH^- イオン濃度との関係は添加された塩化物の種類によって異なり、NaCl添加モルタルでは Cl^- 添加量とともに OH^- イオン濃度が上昇しているが、 CaCl_2 添加モルタルでは逆の関係を示す傾向がある。このように各種モルタルの細孔溶液中の Cl^- および OH^- イオン濃度は、添加された塩化物の種類、添加量および反応性骨材の有無によって多様に変化することがわかる。反応性骨

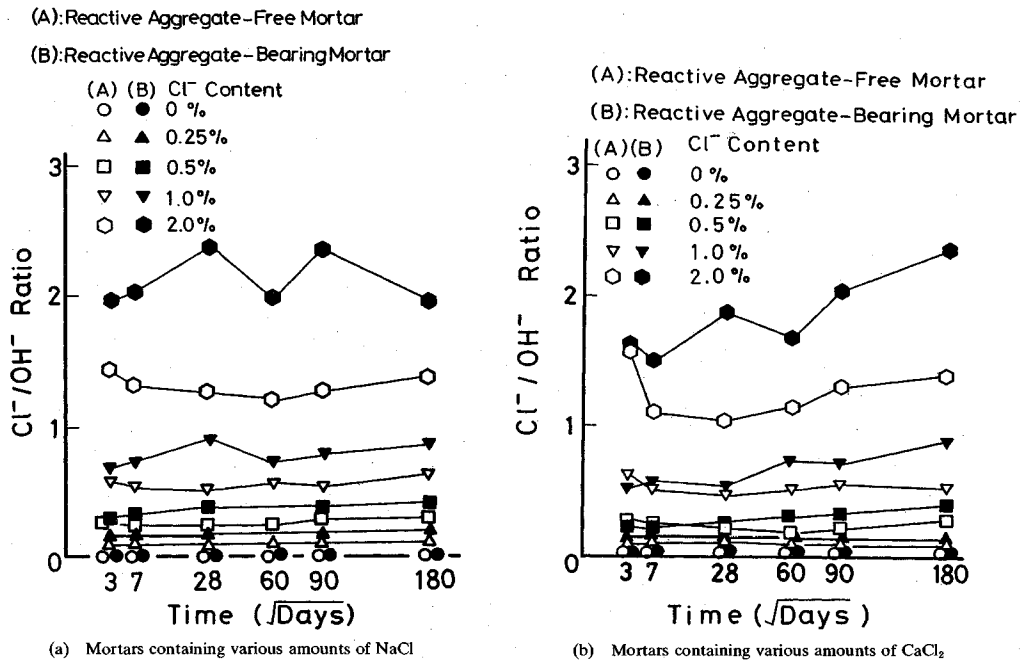


Fig.6 Cl⁻/OH⁻ ratio in pore solutions expressed from mortars with and without the reactive aggregate at various ages.

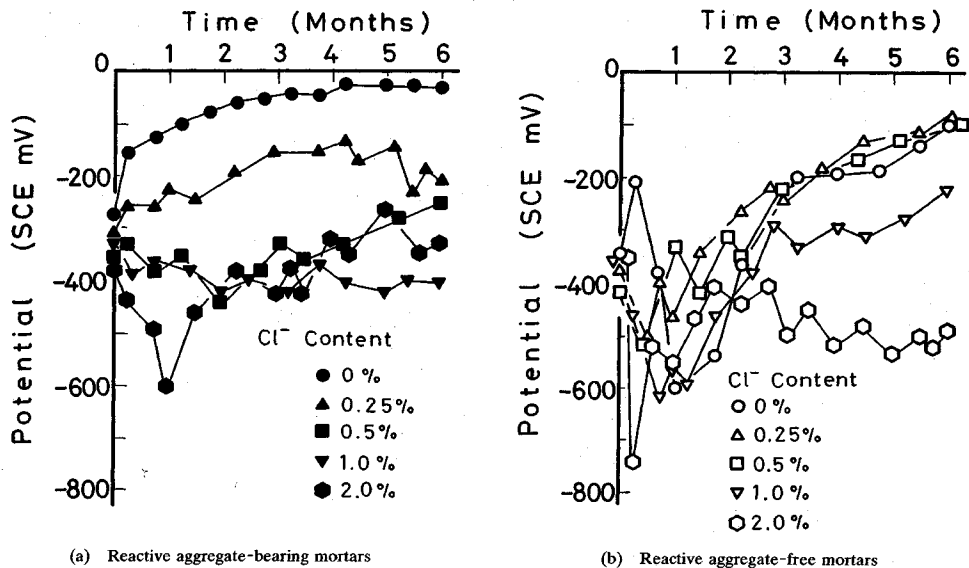


Fig.7 Corrosion potential of mild steel electrodes in mortars containing various amounts of NaCl.

材の有無による Cl⁻ イオン濃度の差異はアルカリ・シリカ反応の発生の有無によるものと考えられるが、そのメカニズムは不明である。多くの研究者によってモルタル中の鉄筋の腐食の発生と細孔溶液中の Cl⁻/OH⁻ 比との間には密接な関係があると指摘されている^{8)~10)}。各種モルタルの細孔溶液中の Cl⁻/OH⁻ 比の経時変化を Fig.6 に示す。Fig.6 (a) より、NaCl 添加モルタルでは Cl⁻ 添加量 2.0% の反応性骨材混入モルタルの場合を

除くほとんどの細孔溶液の Cl⁻/OH⁻ 比の経時変化は小さいことがわかる。また Cl⁻ 添加量の増加とともに Cl⁻/OH⁻ 比は大きくなっている。さらに、同一の Cl⁻ 添加量で比較すると、反応性骨材の混入によって Cl⁻/OH⁻ 比が大きくなる。一方、CaCl₂ 添加モルタルの細孔溶液の Cl⁻/OH⁻ 比の変化は、Cl⁻ 添加量が多いとき反応性骨材混入モルタルでは Cl⁻/OH⁻ 比が材令の経過とともに上昇傾向がみられることおよび標準砂モル

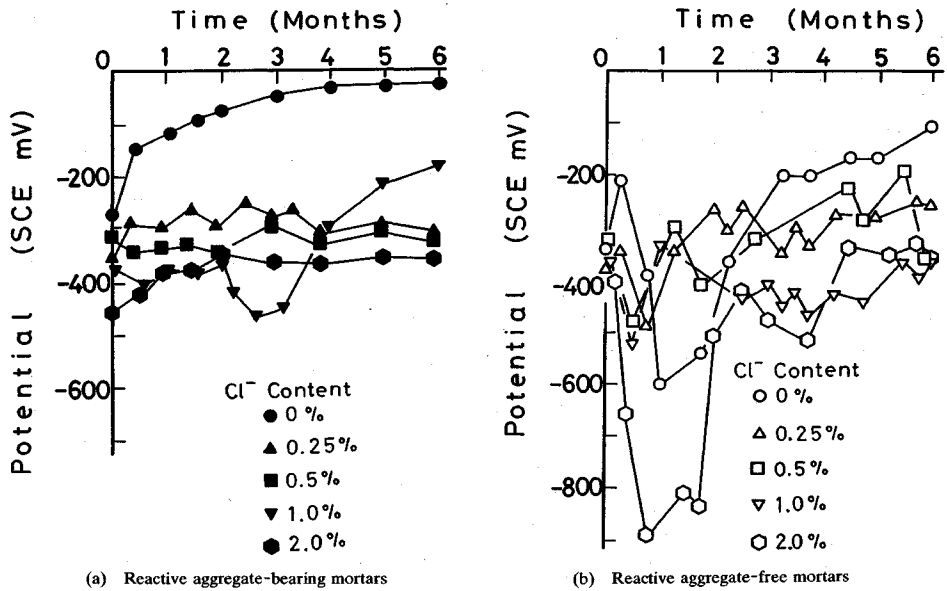


Fig.8 Corrosion potential of mild steel electrodes in mortars containing various amounts of CaCl₂.

タルでは材令3日と7日の間でCl⁻/OH⁻比が減少していること以外、NaCl添加モルタルの場合と同様の傾向を示す (Fig.6 (b)). このように反応性骨材の混入にともない細孔溶液中のCl⁻, OH⁻イオン濃度はともにアルカリ・シリカ反応の発生によって低下するにもかかわらず (Fig.3およびFig.5), Cl⁻/OH⁻比が上昇していることは、Cl⁻イオンに比べてより多くのOH⁻イオンがアルカリ・シリカ反応によって消費されることを示している。

(3) 電気化学的測定による各種モルタル中の鉄筋の腐食特性

a) 自然電位

Fig.7およびFig.8は、それぞれNaClおよびCaCl₂添加モルタル中の鉄筋の自然電位の経時変化を示す。NaCl添加モルタルにおいては、反応性骨材が混入されていない場合、材令1ヶ月まで自然電位は急激に低下した後、上昇および下降を繰り返しながら全体として徐々に回復している。Cl⁻添加量が少ない場合、自然電位の経時変化におけるこのような上昇及び下降の繰り返しにおいて上昇期が卓越し、材令6ヶ月におけるそれらの自然電位は測定開始時のものより大きい。しかし、反応性骨材を混入した場合、Cl⁻添加量2.0%のモルタルを除いて自然電位の変化は比較的小さい。添加量0および0.25%のモルタルにおける自然電位は約3ヶ月迄は上昇するが、それ以後における自然電位の材令にともなう変化は小さい。また、材令6ヶ月程度においてほぼ平衡状態にある各種モルタル中の鉄筋の自然電位の反応性骨材の有無にともなう差異はみられるが、その大小関係はNaClの添加率によって異なり一様ではない。Cl⁻添加

量の増加とともに自然電位が低下していることは確かである。一方、CaCl₂添加モルタルにおいてもNaCl添加モルタルの場合と同様な自然電位の経時変化を示す。CaCl₂を添加した標準砂モルタルにおいて顕著に認められる自然電位の経時変化における上昇および下降の大きな繰り返しは、Cl⁻イオンによる孔食と鉄筋界面におけるCa(OH)₂結晶の溶解による緩衝作用によってOH⁻イオンが供給されることによる再不動態化を示すもの⁽¹⁾と考えられる。しかし、反応性骨材含有モルタルでそのような現象がみられないのは、S. Diamond⁽²⁾が指摘しているように、反応性骨材含有モルタルにおいてはアルカリ・シリカ反応の発生によってセメントペースト相のCa(OH)₂結晶が消費された可能性が大きい。したがって、反応性骨材含有モルタルにおいては、標準砂モルタルの場合のようにCa(OH)₂結晶の緩衝作用による鉄筋の再不動態化が生じなかったものと考えられる。さらに、平衡状態の自然電位についてASTM C-876に示される分類によって鉄筋の腐食状態を評価するとNaCl添加モルタルでは、反応性骨材混入の場合Cl⁻添加量0.5%以上、無混入の場合Cl⁻添加量1.0%以上において、モルタル中の鉄筋は腐食反応が進行している可能性がある。一方、CaCl₂添加モルタルにおいては反応性骨材の有無にかかわらずCl⁻添加量0%を除く全ての場合において鉄筋の腐食反応が進行している可能性がある。

b) 腐食速度

Fig.9およびFig.10は、それぞれ、NaClおよびCaCl₂添加モルタル中の鉄筋の腐食速度(1/分極抵抗)の経時変化を示す。これらの図より明らかなように、反応性骨材混入の場合、Cl⁻添加量0%を除き、材令1又は

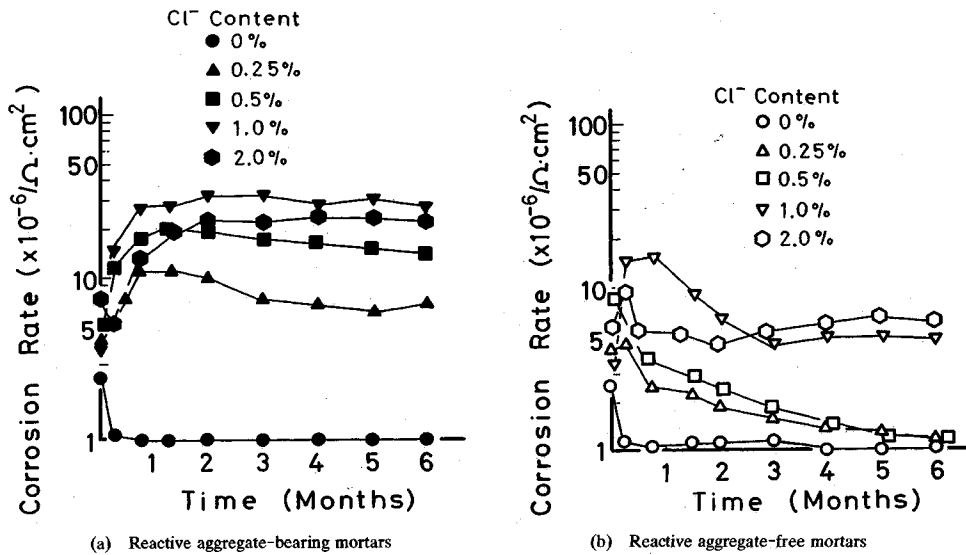


Fig.9 Corrosion rate of mild steel electrodes in mortars containing various amounts of NaCl.

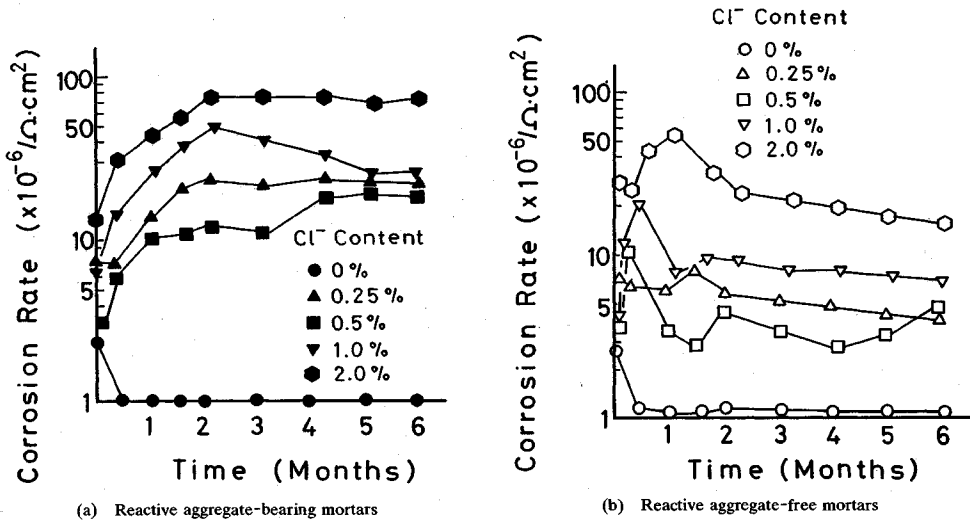


Fig.10 Corrosion rate of mild steel electrodes in mortars containing various amounts of CaCl₂.

2ヶ月程度まで腐食速度は急激に上昇し、その後安定した値を示す反応性骨材を混入していない場合、腐食速度は材令1ヶ月まで急激に増加しているが、その後減少する傾向がみられる。これらの図より、モルタル中の鉄筋の腐食速度は、反応性骨材の混入および塩化物の添加によって増大することがわかる。また、Cl⁻添加量と腐食速度との関係については、CaCl₂添加モルタルでは、反応性骨材の有無にかかわらずCl⁻添加量とともに腐食速度が増大しているが、NaClおよび反応性骨材を混入したモルタルにおいては、腐食速度が最大となるCl⁻添加量が存在するようである。

また、本実験において分極抵抗の逆数として評価される腐食速度の時間積分値は、鉄筋の腐食量を示す指標と

考えられる¹³⁾。そこで、Cl⁻添加量0%の標準砂モルタルにおける腐食速度の材令6ヶ月までの時間積分値に対する比率として定義される各種モルタルの相対腐食比を求めた。Fig.11は、各種モルタルの相対腐食比と腐食面積率との関係を示す。NaClまたはCaCl₂添加モルタルにおいて両者ともに相対腐食量と腐食面積率との間にはそれぞれかなり良好な関係がみられるが、それらの間の関係はNaCl添加モルタルとCaCl₂添加モルタルとは異なったものとなる。

(4) 各種モルタル中の鉄筋の腐食特性と細孔溶液の組成との関係

Fig.12およびFig.13は、180日材令における各種モルタル中の細孔溶液のCl⁻/OH⁻比と180日材令におけ

- Reactive Aggregate-Free Mortar with CaCl₂
- Reactive Aggregate-Bearing Mortar with CaCl₂
- Reactive Aggregate-Free Mortar with NaCl
- Reactive Aggregate-Bearing Mortar with NaCl

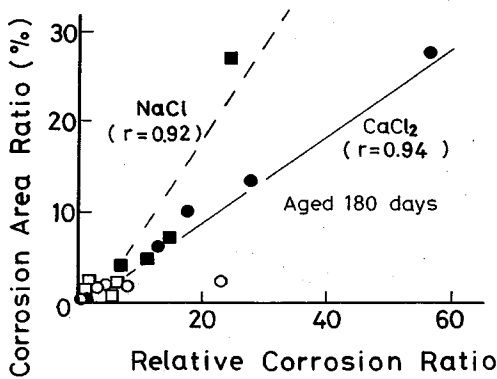


Fig. 11 Correlation between corroded area ratio and relative corrosion ratio of mild steel electrodes in various mortars.

- Reactive Aggregate-Free Mortar with CaCl₂
- Reactive Aggregate-Bearing Mortar with CaCl₂
- Reactive Aggregate-Free Mortar with NaCl
- Reactive Aggregate-Bearing Mortar with NaCl

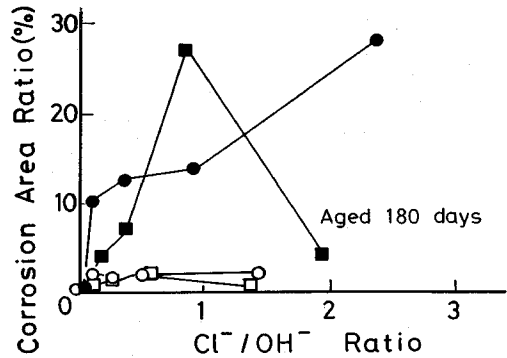


Fig. 13 Relationship between the corroded area ratio of mild steel electrodes and Cl⁻/OH⁻ ratio in the pore solution in various mortars.

- Reactive Aggregate-Free Mortar with CaCl₂
- Reactive Aggregate-Bearing Mortar with CaCl₂
- Reactive Aggregate-Free Mortar with NaCl
- Reactive Aggregate-Bearing Mortar with NaCl

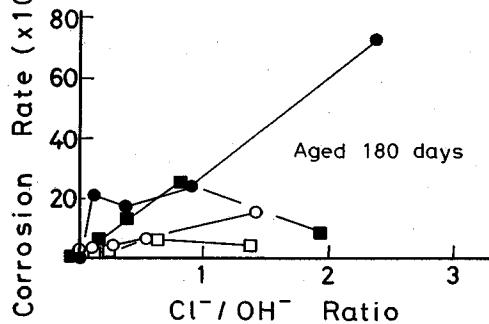


Fig. 12 Relationship between the corrosion rate of mild steel electrodes and Cl⁻/OH⁻ ratio in the pore solution in various mortars.

る腐食速度および腐食面積率との関係を示す。これらの図より、塩化物の種類にかかわらずある Cl⁻/OH⁻ 比に対する腐食速度および腐食面積率は反応性骨材混入の有無によって異なり、反応性骨材の混入によって腐食速度および腐食面積率ともに増大することがわかる。また、NaCl 添加モルタルでは腐食速度および腐食面積率が最大となる Cl⁻/OH⁻ 比 (Cl⁻ 添加量 1% に相当する) が存在するが、CaCl₂ 添加モルタルでは両者とも Cl⁻/OH⁻ 比の増加とともに大きくなっている。このように、塩化物添加モルタル中の鉄筋の腐食は反応性骨材の混入にともなうアルカリ・シリカ反応の発生によって著しく促進され、促進される程度は添加される塩化物の種類に

よって異なり、とくにそのような相違が細孔溶液中の Cl⁻/OH⁻ 比と腐食特性との関係において顕著に現れる。

細孔溶液中の Cl⁻/OH⁻ 比と腐食特性との関係が反応性骨材混入の有無および塩化物の種類によって異なることは、細孔溶液中の Cl⁻/OH⁻ 比のみが鉄筋の腐食に影響を及ぼす要因ではないことを示している。

また、塩化物の種類によって反応性骨材混入モルタル中の鉄筋の腐食特性がかなり大きく相違するのは、NaCl または CaCl₂ 添加モルタルにおける両者の腐食系の電気化学的特性が異なっていることもその一因と考えられる。事実、塩化物を含有するモルタル-鉄筋よりなる腐食系の電気化学的特性はモルタルの微細構造および細孔溶液の組成の変化によって相違することが報告されている²⁾。

一方、本実験における膨張試験及び電気化学的測定に用いたそれぞれの供試体の形状・寸法の相違及び鋼材の有無等によるものと考えられるが、膨張試験用供試体の場合と異なり各種電気化学的測定用供試体において目視によって観察されたアルカリ・シリカ反応の進展に伴うひびわれの発生は、全て非常に軽微なものであった。このことは、本実験における反応性骨材を混入した塩化物添加モルタル中の鉄筋腐食の促進についてはかぶりモルタル部分の巨視的なひびわれの発生以外の要因の影響が強いことを示唆しており、それらの要因としてモルタルの微視的構造の変化及び細孔溶液の組成変化だけでなく、鉄筋の周囲に形成される Ca(OH)₂ 層のアルカリ・シリカ反応による消費によるものも考えられる^{12), 14)}。

4. 結 論

NaCl および CaCl₂ のような塩化物を添加した反応性

骨材混入モルタル中の鉄筋の腐食は、アルカリ・シリカ反応の発生によって著しく促進される。しかし、その促進の程度は塩化物の種類によって異なり、とくにそれぞれのモルタル中の鉄筋の腐食特性と細孔溶液中の Cl^-/OH^- 比との関係が添加した塩化物の種類によって相違することがわかった。

塩化物を添加した反応性骨材混入モルタルにおけるアルカリ・シリカ反応による鉄筋腐食の促進の程度は、アルカリ・シリカ反応の進展にともなう細孔溶液の組成(Cl^- および OH^- イオン濃度)以外の要因によっても大きく影響されるようである。

謝 辞：本研究を実施するにあたり、御助言を頂いた竹中工務店技術研究所米沢敏男氏に対し深く感謝の意を表わします。

参 考 文 献

- 1) Page, C.L., Short, N.R. and Holden, W.R. : The influence of different cements on chloride-induced corrosion of reinforcing steel, *Cement and Concrete Research*, Vol.16, No.1, pp.79~86, 1986.
- 2) Hansson, C.M., Frølund, Th. and Marukussen, J. B. : The effect of chloride cation type on the corrosion of steel in concrete by chloride salts, *Cement and Concrete Research*, Vol.15, No.1, pp.65~73, 1985.
- 3) Stanton, T.E., Porter, O.J., Meder, L.C. and Nicol, A., : California experience with the expansion of concrete through reaction between cement and aggregate, *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.13, No.3, pp.209~236, 1942.
- 4) Shideler, J.J. : Calcium chloride in concrete, *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.23, No.7, pp.537~559, 1953.
- 5) 川村満紀・市瀬誠・竹本邦夫：塩化物のアルカリ・シリカ膨張におよぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.11, No.1, pp.65~70, 1989.
- 6) 例えば阪神高速道路公団・(財)阪神高速道路管理技術センター反応性骨材コンクリート調査研究委員会：アルカリ骨材反応に関する調査研究委員会報告書，1986.
- 7) Barneyback, Jr., R.S. and Diamond, S. : Expression and analysis of pore fluids from hardened cement pastes and mortars, *Cement and Concrete Research*, Vol.11, No.2, pp.279~285, 1981.
- 8) Hausmann, D.A. : Steel corrosion in concrete, *Materials Protection*, Vol.6, No.19, pp.19~23, 1967.
- 9) Gouda, V.K. : Corrosion and corrosion inhibition of reinforcing steel-I ; Immersed in alkaline solution, *British Corrosion Journal*, Vol.5, pp.198~203, 1970.
- 10) Diamond, S. : Chloride concentrations in concrete pore solutions resulting from calcium and sodium chloride admixtures, *Cement, Concrete, and Aggregate*, Vol.8, No.2, pp.97~102, 1986.
- 11) 米沢敏男・Ashworth, V. and Procter, R.P.M. : コンクリート中の鋼材腐食における塩素イオンの限界量について，コンクリート工学年次講演会論文集，Vol.8, pp.141~144, 1986.
- 12) Diamond, S. : Pore solution and alkali aggregate attack, *Proc. of Symposium on Alkali-Aggregate Reaction-Preventive Measures*, Reykjavic, Iceland, pp.165~181, 1975.
- 13) 岡田清・小林和夫・宮川豊章・本田哲：分極抵抗法を用いた鉄筋腐食モニタリングによる補修基準について，コンクリート工学年次講演会論文集，Vol.5, pp.249~252, 1983.
- 14) Page, C.L. : Mechanism of corrosion protection in reinforced concrete marine structures, *Nature*, Vol.258, No.5535, pp.514~515, 1975.

(1991.7.2受付)

ALKALI-SILICA REACTION AND CORROSION OF STEEL REINFORCEMENT IN MORTARS CONTAINING A REACTIVE AGGREGATE AND CHLORIDE

Mitsunori KAWAMURA, Kunio TAKEMOTO and Makoto ICHISE

The relationships between the pore solution composition and the corrosion intensity evaluated by electrochemical measurements for the steel electrode embedded in mortars containing a reactive aggregate and chloride are experimentally discussed in order to reveal influences of the alkali-silica reaction on the corrosion of steel reinforcement in mortars. The alkali-silica reaction promotes the chloride-induced corrosion of steel bars embedded in mortars containing a reactive aggregate and a chloride. The extent of the promotion varies with the type of chloride. The relationships between the corrosion intensity and Cl^-/OH^- ratio in the pore solution in CaCl_2 -bearing mortars are very different from those in NaCl -bearing mortars.