

塩化物によるコンクリート中の鉄筋の 発錆とインヒビターの効果

Corrosion of Steel in Concrete Containing Chloride and Effect of Corrosion Inhibitor

小林 一 輔*・田 中 恭 一*

Kazusuke KOBAYASHI and Kyohichi TANAKA

1. は し が き

近年、コンクリート用の川砂の潤濁のために、細骨材として海砂が使用されるケースが増加しているが、この場合に問題となるのは海砂中の塩化物による鉄筋の発錆である。

コンクリート中の鉄筋は高アルカリ環境下(約pH 13)にあり、その表面は不動態皮膜を形成しているため、一般的には腐食しないといわれているが、塩化物が存在すると不動態皮膜が破壊され鉄筋の発錆が起こる。従って、海砂の使用に当たっては鉄筋の防錆に関する何らかの対策を必要とする。実用性のある対策の一つとしてコンクリートの練りませ時にインヒビターを添加する方法があるが、コンクリート中の鉄筋の防錆を目的としたインヒビターの効果を判定するための試験方法は、いまだ確立されていない。鉄筋の腐食反応が電気化学的なものであることから、インヒビターの効果を電気化学的な試験方法を用いて判定しようとする考え方もあるが、これは間接的な方法であり、コンクリート中の鋼材の発錆傾向を満足に反映するものかどうか疑わしい。一方、コンクリート供試体中に鉄筋を実際に埋込み、所定の暴露環境下においた後、発錆を調べるコンクリート試験方法は実際のコンクリート構造物中における鉄筋の状態をほぼ再現しているため、より信頼性があると思われる。

本文はインヒビターの効果を上記のコンクリート試験方法によって判定することを目的として実施した基礎実験の結果をとりまとめたものである。今回は、比較的短期間にインヒビターの効果が判定できる促進試験の条件を見出すことを主目的とした。そこで、実際の構造物中の鉄筋の発錆に影響を及ぼす主要因として塩化物の量、鉄筋のかぶりおよびセメントマトリックスの品質をとりあげ、これらの要因が鉄筋の発錆に及ぼす影響を、温度と湿度を組合せて設定した発錆促進雰囲気下において調べて発錆試験条件の目安を得るとともに、インヒビターによる発錆抑制効果も検討した。なお、以上の検討に当たってはモルタル供試体を使用した。

2. 発錆促進試験方法について

発錆促進のための雰囲気条件として検討を重ねた結果、下記のような高温湿潤と低温乾燥のくり返しサイクルを用いることにした。

すなわち、50℃、90% R. H.で72時間加湿し、15℃、65% R. H.で96時間乾燥させる、合計168時間を1サイクルとするもので、これを13サイクル(3カ月)までくり返した。

鉄筋の発錆に影響を及ぼす要因のうち、まずセメントマトリックスについては、その水セメント比を70%に設定し、セメント量は414 kg/m³、細骨材量は1,520 kg/m³とした。またコンクリートの保有塩基性を下げるために高炉セメントの原料である高炉水砕スラグ粉末(粉末度: 4,500 cm²/g、ガラス量98%)をもってセメントの30%、50%および70%を置換した。鉄筋のかぶりは5、10および22mmの3種類とした。塩分は海砂を対象にしているため、海水成分を用いてその添加量は砂の絶対重量に対してNaCl値で1%および3%とした。

試験結果の定量的な評価は発錆面積率によって行なうことにした。

3. 使用材料・供試体の成形

混和水は蒸留水を使用し、セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。スラグおよび海水成分としての塩化物の組成をそれぞれ表1および表2に示す。

骨材は2.5 mm以下の川砂を用い、鉄筋はφ6 mmのみがき軟鋼を#60、#180、#400のサンドペーパーで順次表面研磨して使用した。また本研究ではインヒビターとして亜硝酸ナトリウム(NaNO₂)を用いた。その理由は現在市販されている鉄筋コンクリート用防錆剤に亜硝酸塩系の化合物を主成分とするものが多いこと、また亜硝酸ナトリウムがインヒビターとして広く一般に認められているからである。添加量は混和水に対して0.5%、1%とした。

供試体の成型はφ5×10cmの型枠に、かぶりが5、10、22mmとなるように鉄筋を埋込み、2層に分けてモルタル

*東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

表1 高炉水滓スラグの化学成分

igloss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	SO ₃	S	Total
0.2	0.4	33.4	18.6	0.7	0.6	40.2	4.9	0.0	0.8	99.8

表2 塩化物の組成

NaCl	MgCl ₂ ·6H ₂ O	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	KCl
34.1	15.5	5.7	1.6	1

※ KClの量を1として上表の比率で混合し、全Cl量をNaCl量に換算して使用した。

を充填した(図1)。供試体は脱型後、材令7日まで封かん養生を行なった後促進試験に供した。

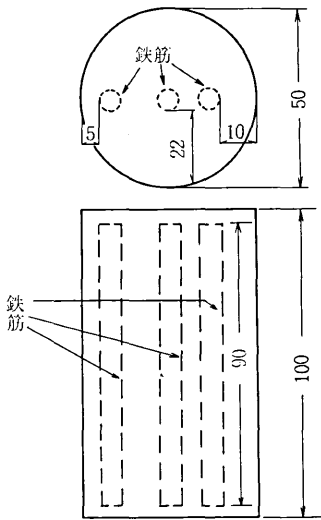


図1 供試体中における鉄筋の埋込み位置(単位mm)

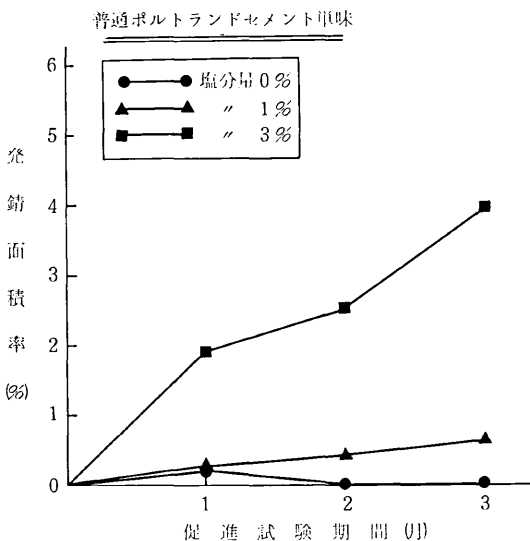


図3 かぶり5 mmにおける塩分量と発錆面積率との関係

4. 鉄筋の発錆に及ぼす各種要因の影響

4.1 かぶりの影響

図2より明らかなように鉄筋のかぶりが小さくなるほど発錆面積率が大きくなり、鉄筋の発錆がかぶりによって支配されるという従来の一般的見解が確かめられた。以下では最も発錆面積率の大きいかぶり5 mmの場合について述べる。

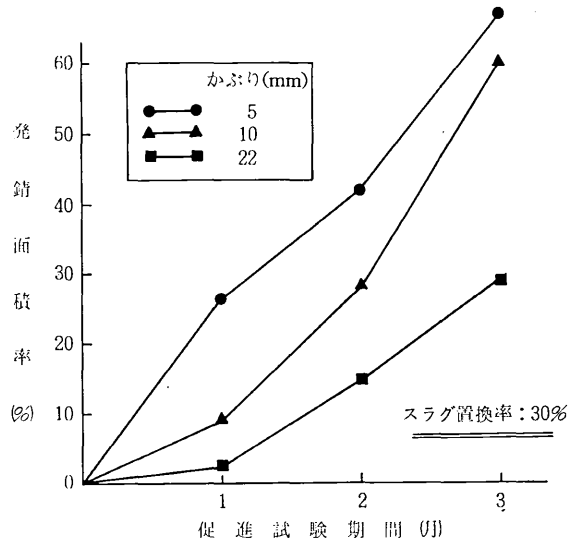
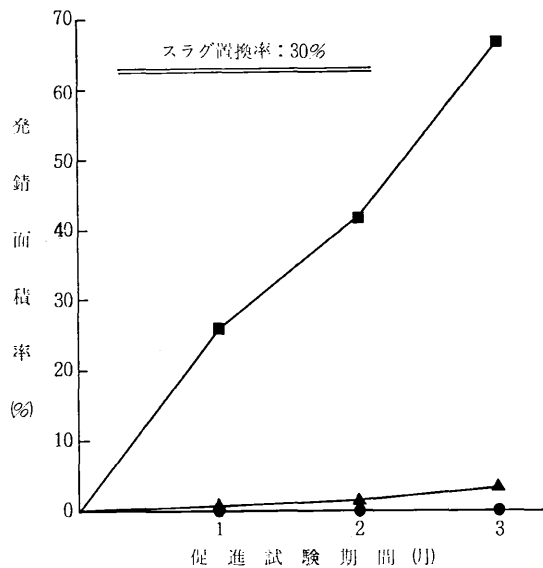


図2 塩分量3%におけるかぶりと発錆面積率との関係



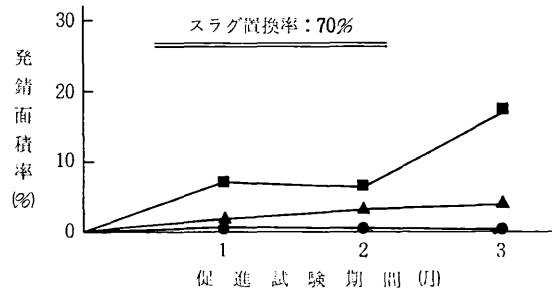
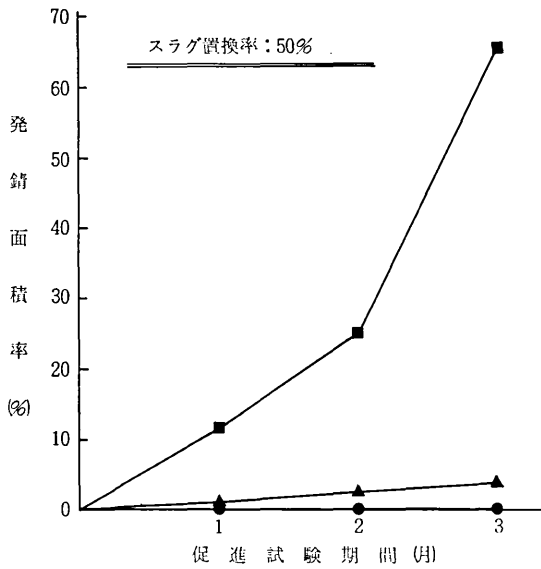


図3のつづき

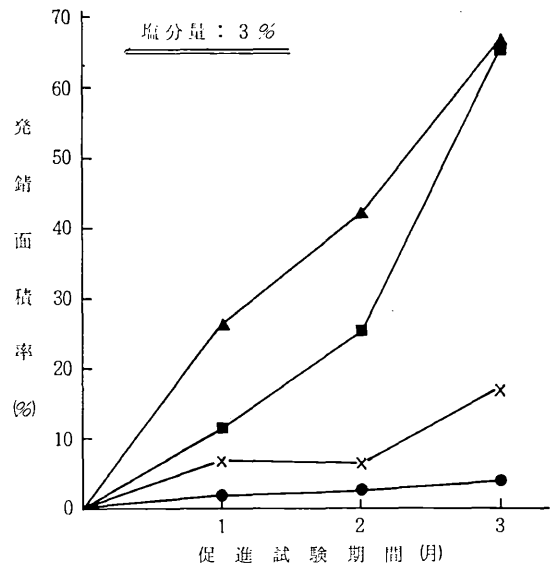
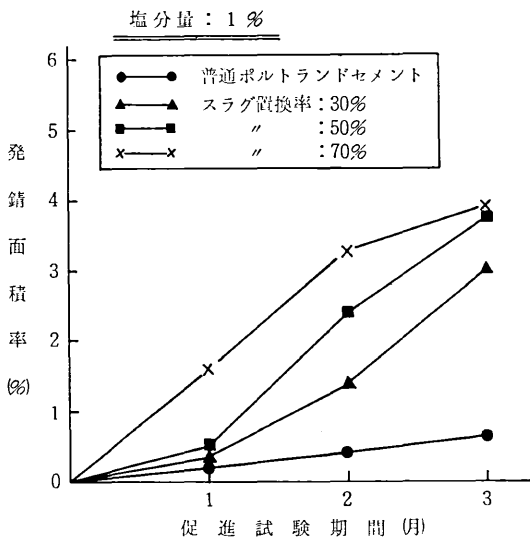


図4 かぶり5mmにおけるスラグ置換率と発錆面積率との関係

4.2 塩分量の影響

図3より明らかなように、塩化物が存在しない場合にはセメントマトリックスの成分の如何にかかわらず殆んど発錆しないが、塩化物の量が多くなるにつれて発錆面積率が大きくなる。なお、鉄筋の錆をX線マイクロアナライザーで調べた結果、Cl⁻イオンの存在下でできるβ-FeOOHが確認された。

4.3 セメントマトリックスの影響

図4より明らかなように、塩分量が1%の場合にはスラグ置換率を増すとともに発錆面積率も大きくなるが、促進試験の期間が3カ月に達するとスラグ置換率を30~70%の範囲に変化させても発錆面積率は3~4%に集中

し、置換率の値による差が小さくなる。塩分量が3%の場合には、置換率が30%のときに発錆面積率が最も大きい。以上のように塩分量1%の場合と3%の場合に発錆傾向に及ぼすセメントマトリックスの影響が異なる理由は明確でなく、今後更に検討を要するが、いずれもスラグの混入が発錆促進の一条件を与えることは明らかである。

5. インヒビターの効果

図5より明らかなように塩分量が1%の場合にはインヒビターを添加しなくても、促進試験3カ月で3%程度しか発錆しない。このように塩分量が少なく、発錆面積

研究速報

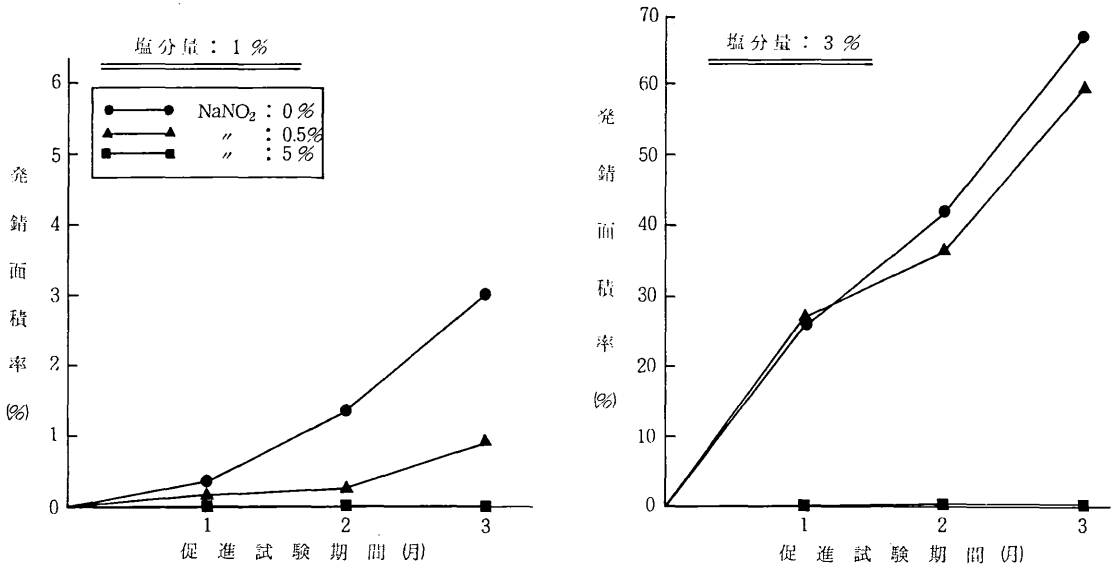


図5 かぶり5 mm, スラグ置換率30%におけるインヒビター (NaNO₂) の効果

率が低い場合には、0.5%程度のインヒビターを添加しても効果があるが、塩分量が3%になるとこの程度のインヒビター量では防錆効果が殆んど認められない。インヒビターの添加量を5%まで増加させると、発錆傾向が

最も顕著な条件、すなわちスラグ置換率が30%で塩分量が3%の場合でも全く発錆がなく、防錆効果が認められた。すなわち、有効なインヒビターの添加量は塩分量に依存することが確かめられた。(1977年6月30日受理)

次号予告(10月号)

研究解説

リモートセンシングデータのデジタル処理(第4報) { 村井俊治
- LANDSATデータを用いた山岳起伏の陰影判別 - 前田 敏

調査報告

ルーマニア地震(1977年3月4日)の産業施設の被害を中心として 柴田 碧

ルーマニア地震の震害報告 久保 慶三郎

研究速報

Effect of Organic Compounds on Coefficient of Friction of Clean Molybdenum Disulfide { 松中 永川 正多 久夫
有限要素法によるクラック問題特異解の解析 { 吉岡 崇 津元
- その2 三次元クラック問題の定式化 - 藤谷 義 信
鋼繊維補強コンクリートの強化則に関する実験的検討 { 趙小 林 力 采
鉄筋のエポキシ樹脂被覆に関する実験的研究 { 伊藤 藤 一 輔
大気粉塵汚染調査への屋内粉塵の利用 { 原板 橋 善 正 四郎
人間の温度感覚に関する伝熱学的研究(第1報) { 棚渡 沢部 一 勇 郎 市