

海砂中の塩化物による鉄筋の腐食と中性化

Neutralization and Reinforcing Steel Corrosion in Chloride-Doped Concrete

小林一輔*・榎野紀元**・宇野祐一*

Kazusuke KOBAYASHI, Norimoto KASHINO and Yuichi UNO

1. は し が き

コンクリート中にある濃度レベルを越える塩化物が存在すると鉄筋の腐食を生じることがよく知られている。鉄筋表面に形成されている不動態皮膜は塩化物イオンと水酸化物イオンの濃度比, すなわち, $[Cl^-]/[OH^-]$ の比が0.6を越えると破壊され, 鉄筋は腐食しやすい状態におかれることが指摘されている¹⁾。本文は, 平均的な塩化物濃度が上記の限界値以下であっても, 中性化が進行すると, そのフロントより内部(すなわち, 非中性化領域)に塩化物の濃縮を生じるため, その部分に存在する鉄筋が腐食することを明らかにしたものである。

2. 中性化フロントと鉄筋の腐食との関係

従来, コンクリートの中性化による鉄筋の腐食は, 中性化のフロント(ここで言う中性化のフロントとは, フェノールフタレインにより判定される呈色界面のことである。以下に使用する中性化フロントという用語はすべてこの界面のことを指す)が鉄筋の表面に達したときに始まると考えられていたが, 著者の1人は実験を通じて, このような考え方が誤りであることを明らかにしている。すなわち, 図-1の塩化物を含んでいない構造物は, 中性化フロントの8mm前方の鉄筋にD型腐食を生じており, 図-2の塩化物を含んでいる構造物では中性化フロントの20mm前方の鉄筋にD型腐食を生じていることを明らかにしている²⁾。ここで言うD型腐食とは, 腐食が均一にかつ迅速に進行し, 今後全面腐食に進行するものを指し, 孔食(G型腐食)と区別するために腐食の形態を便宜上, 分けたものである。これらの実験結果から明らかになることは, フェノールフタレインで十分赤色を呈するような位置にある鉄筋がすでに腐食を開始しているということである。さらに, 塩化物を含むコンクリートと含まないコンクリートの実験結果を比較するとその深さは前者が約

10数mmも大きく, 塩化物の存在が, より早期に鉄筋の腐食を開始させることがわかる。

3. 中性化による塩化物の濃縮

塩化物を含んでいるコンクリートに中性化が進行すると, 中性化のフロントを境として, 非中性化領域には塩素と硫黄が移動し, 中性化領域にはナトリウムとカリウムが移動することがすでに明らかにされている³⁾。また, その結果として, 非中性化領域に塩化物および硫黄化合物の濃縮が生じるが, 塩化物の場合を例に取ると, その濃度は平均的な値に対して2.5倍にも達することが指摘されている⁴⁾。写真-1は, 海砂が使用されたことが推測される橋床板から採取したコアの塩素の分布状態を示したものであり, 写真-2は, 同一断面の硫黄の分布状態を示したものである。これらの写真から明らかのように, 上記の現象がごく一般的な実構造物においても起こっていることがわかる。図-3は, このような構造物の断面における塩化物ならびに硫黄化合物の濃度分布を模式的に示したものである。

4. 中性化による塩化物の濃縮と鉄筋腐食

さて, 塩化物および硫黄化合物の非中性化領域におけるこのような濃縮は, 塩化物イオン濃度の増大と, 硫酸イオン濃度の増大による水酸化物イオン濃度の低下をもたらし, $[Cl^-]/[OH^-]$ の値が増大することになる。すなわち, 海砂などの塩化物を含んでいる構造物の場合, 中性化の進行にともなって常に中性化フロント内部において鉄筋の腐食が開始しやすい条件がそろうことになり, この部分に鉄筋が存在すれば鉄筋は腐食を開始することになる。著者の一人が明らかにした事実, すなわち, 海砂などの塩化物を含んだ構造物において中性化フロントより20mm前方の鉄筋が腐食を開始する事実は, これらの濃縮現象にその原因を求めることができる。また, 塩化物を含んでいない構造物においても, 硫黄単体で同様の濃縮を起こすことが確認されており⁵⁾, この硫黄の濃

*東京大学生産技術研究所 第5部

**建設省建築研究所

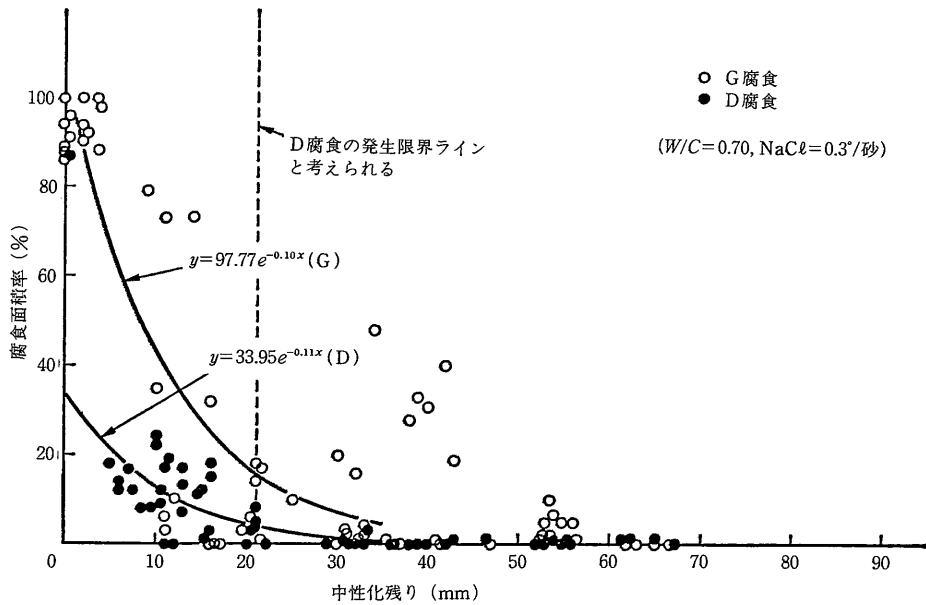


図-1 塩分を含まないコンクリート中における中性化残り と鉄筋の腐食との関係
(中性化残り：中性化フロントから鉄筋までの距離)

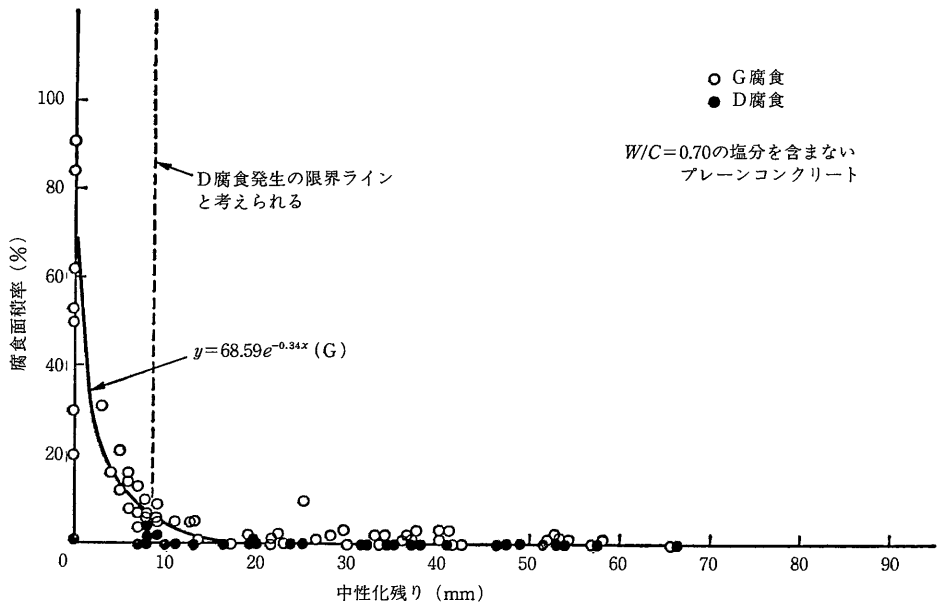


図-2 塩化物を含むコンクリート中における中性化残り と鉄筋の腐食との関係
(中性化残り：中性化フロントから鉄筋までの距離)

縮だけでも鉄筋の不動態皮膜を破壊するには十分であり、このことが塩化物を含んでいないコンクリートにおいても中性化フロントの前方 8 mm にある鉄筋の腐食が開始している理由であろう。

4. お わ り に

本報告は、海砂などの塩化物を含有したコンクリートの中性化に伴って塩化物ならびに硫黄化合物が未炭酸化域に濃縮するために、平均値が限界値以下の塩化物濃度

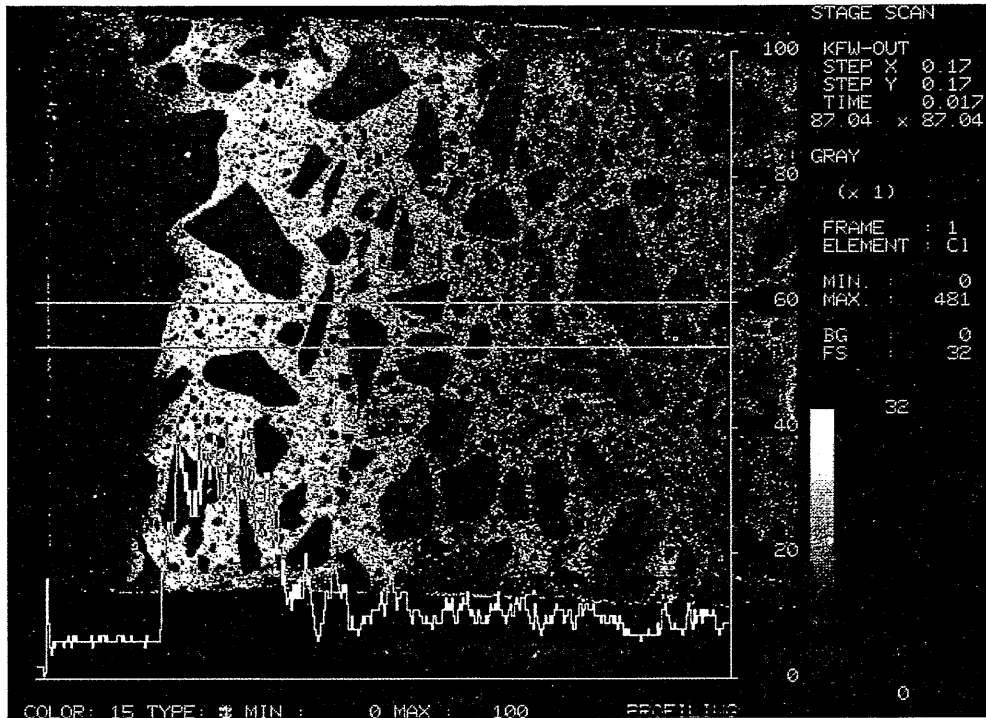


写真-1 実構造物から採取したコアのEPMAによる塩素の面分析結果

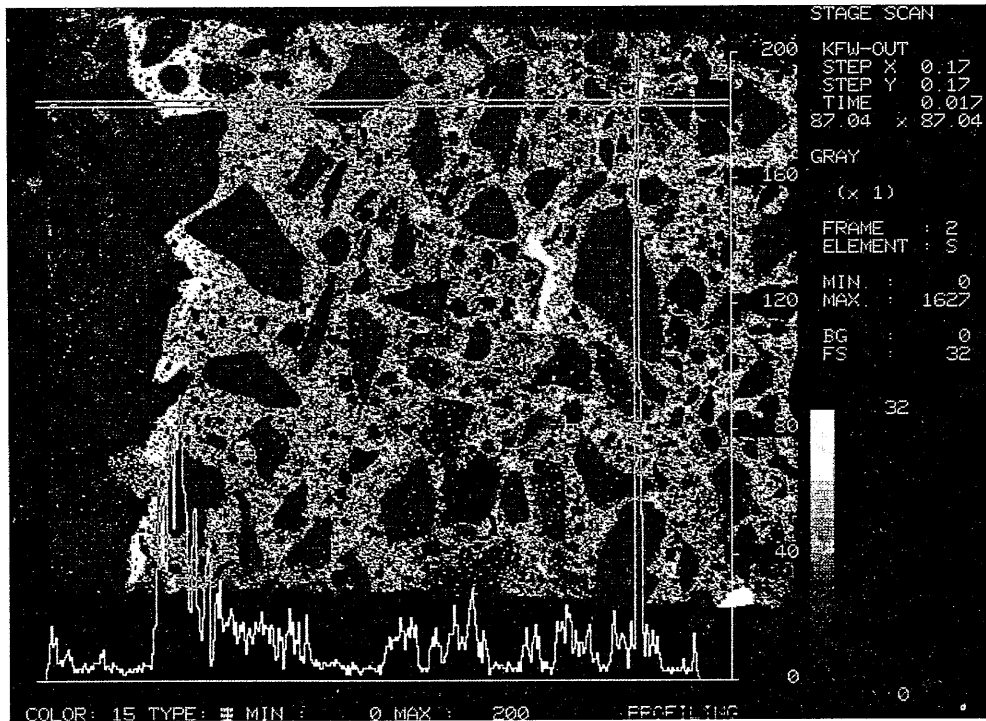


写真-2 実構造物から採取したコアのEPMAによる硫黄の面分析結果

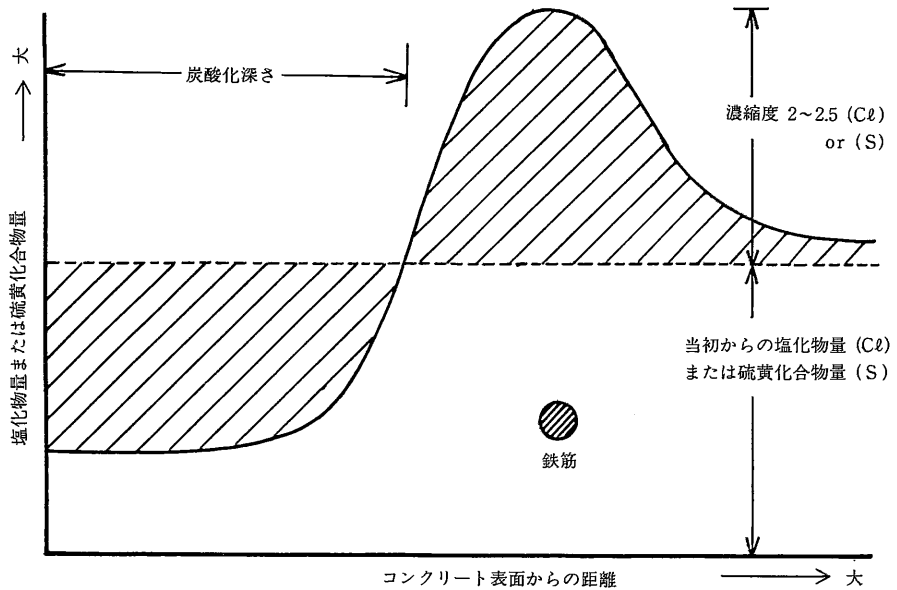


図-3 塩化物ならびに硫酸化合物の炭酸化による濃縮の模式図

であっても、非中性化領域にある鉄筋が腐食を開始することを明らかにしたものである。また、実構造物から得られた調査結果をこの現象と関連づけて説明したものである。
(1990年3月26日受理)

参 考 文 献

1) B. Erlin and J.B. Verbeck: Corrosion of Metals in Concrete-Needed Research, ACI, SP49-4, pp. 39-46
 2) 梶野紀元: 鉄筋コンクリート構造物の耐久性に関する研究—主として鉄筋の腐食と防食を中心として—, 建築

研究報告, No. 90, pp. 70 (1980)

3) 小林一輔・白木亮司・宇野祐一・河合研至: 塩化物を含んだコンクリートの炭酸化による塩素の濃縮現象 (II), 生産研究, Vol. 41, No. 4, pp. 30-32 (1989)
 4) 小林一輔・白木亮司・宇野祐一・河合研至: 海砂を使用したコンクリート構造物の鉄筋の腐食機構, 生産研究, Vol. 42, No. 3, pp. 71-74 (1990)
 5) 小林一輔・白木亮司・河合研至・星野富夫: コンクリートの炭酸化による硫酸イオンの移動と濃縮現象 (I), 生産研究, Vol. 41, No. 12, pp. 52-55 (1989)