

に、 $\beta$ -FeOOH や  $\gamma$ -FeOOH の一部が  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  に還元され、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  のアノード拡散抵抗が現れたと考えられる。

## 2・6 コンクリート中における亜硝酸イオンの鋼材腐食抑制メカニズム

以上の結果を踏まえると、コンクリート中における亜硝酸イオンの作用メカニズムは酸化剤として作用しているのか、あるいは吸着などそれ以外のメカニズムで作用しているのかは明確にはできなかったが、主にアノード電流を抑制することで腐食抑制効果を発揮することが分かった。また、腐食した鋼材に対しては、鋼材周辺の pH 環境を変化させるために腐食生成物、特に  $\text{FeOOH}$  系さびの還元に影響することが明らかになった。腐食鋼材に対しての効果は複雑であり、酸化剤として効果を発揮するのか、あるいは鋼材表面に吸着することで効果を発揮するのかも含めて、今後は分極試験だけではなく、例えば交流インピーダンス法による電気二重層容量の測定などを行い、総合的に評価する必要があると考えられる。

鋼材上で亜硝酸イオン濃度が十分な箇所と不十分な箇所がある場合には、Fig.8 に示すメカニズムによりマクロセル腐食が発生すると考えられる。ただし、生じるマクロセル電流 ( $\Delta i$ ) の大きさはコンクリート抵抗 (IR) に大きく依存しており、コンクリート抵抗が高い構造物ではマクロセル電流は抑制されるため、実際にマクロセル腐食が生じるかどうかについてはコンクリート抵抗も含めた議論が必要であると考えられる。

## 3 亜硝酸イオンの濃度勾配により生じる

### マクロセル腐食に関する検討

#### 3・1 実験概要

筆者らは、これまでに亜硝酸リチウム圧入工法を行った際に生じるマクロセル腐食について検討し、亜硝酸イオン濃度が不十分な箇所では亜硝酸イオンの濃度勾配によりマクロセル腐食が生じるが、時間の経過とともに亜硝酸イオンの拡散が生じ、マクロセル電流が減少することを報告している<sup>6)7)</sup>。ここでは、圧入後の亜硝酸イオン濃度の追跡調査を行い、亜硝酸イオンの拡散について検討することとする。

使用した供試体は、 $500 \times 200 \times 150 \text{ mm}$  の角柱供試体で、内部にはかぶり  $20 \text{ mm}$  の位置に D19 長さ  $450 \text{ mm}$  の異形棒鋼を設置した。使用したコンクリートの  $\text{W/C}=62\%$ 、 $\text{s/a}=51\%$  で  $G_{\text{max}}=15 \text{ mm}$  の粗骨材を使用している。また、コンクリートには塩化物イオン  $6.0 \text{ kg/m}^3$  を練り混ぜ時に混入し、打設後に削孔・亜硝酸イオンの圧入を行った。混入した塩化物イオン量  $6.0 \text{ kg/m}^3$  に対してモル比で  $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-=1.0$  となる亜硝酸イオン量となるように濃度  $40\%$  の亜硝酸リチウム水溶液  $200 \text{ mL}$  を  $0.9 \text{ MPa}$  の圧力で圧入を行った。亜硝酸イオンの分析は圧入 7 日後および圧入 190 日後に行った。分析時期に達した供試体は軸方向に切断し、Fig.10 に示す位置 (圧入孔から  $30 \text{ mm}$  間隔) から試料を採取し、ナフチルエチレンジアミン吸光光度法 (JIS K 0102) により亜硝酸イオンの定量分析を行った。分析試料は、分析位置から採取したコンクリート  $1.0 \text{ g}$  を粉末にし、可溶性塩分滴定の手法に基づき、 $60^\circ \text{C}$  の蒸留水  $100 \text{ mL}$  に 30 分間溶出した後、ろ過することにより得た。なお、7 日後の分析は 1 体、190 日後の分析については 2 体に対して行っている。

また、近年では亜硝酸イオンを断面修復部に混入して用いる事例も増えてきているため、断面修復を模擬する試験体を作製し、マクロセル電流の測定を行った。

供試体は、Fig.11 に示すような  $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$  の角柱供試体で、かぶり  $20 \text{ mm}$  の位置に  $\phi 19$  磨き丸鋼で作

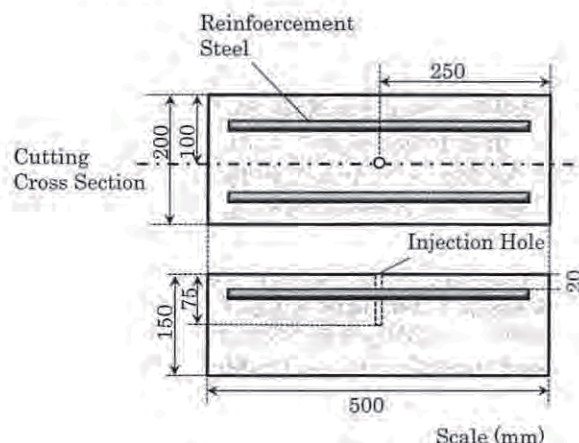


Fig.9 Specimen for  $\text{LiNO}_2$  Injection.

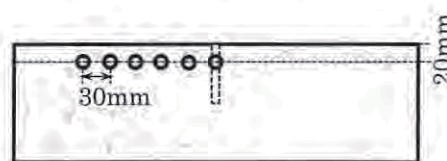


Fig.10 Point of Samples for  $\text{NO}_2^-$  Analysis.

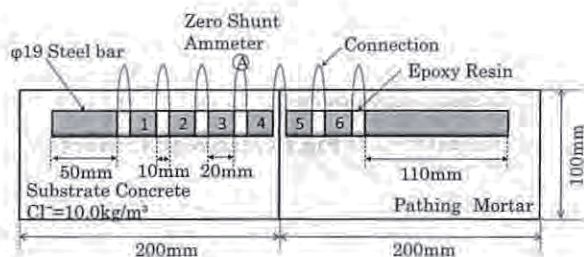


Fig.11 Specimen Simulating Patch Repair.

Table 2 List of Specimen.

| Specimen Name | Polimer Cement Ratio (%) | $\text{NO}_2^-$ Concentration ( $\text{kg/m}^3$ ) |
|---------------|--------------------------|---------------------------------------------------|
| 0-0           | 0                        | 0                                                 |
| 0-13          |                          | 13                                                |
| 0-55          |                          | 55                                                |
| 1-0           | 1                        | 0                                                 |
| 1-13          |                          | 13                                                |
| 1-55          |                          | 55                                                |
| 10-0          | 10                       | 0                                                 |
| 10-13         |                          | 13                                                |
| 10-55         |                          | 55                                                |

製した分割鉄筋を配置した。分割鉄筋長は  $20 \text{ mm}$  とし、分割鉄筋間にはエポキシ樹脂を充填している。既往の研究<sup>8)</sup>を参考に、各分割鉄筋間を流れる電流を計測し、それぞれの分割鉄筋に流入する電流と流出する電流の差をマクロセル電流とした。

母材部は  $\text{W/C}=60\%$  のコンクリートで作製し、母材部コンクリートを打設した翌日に界面の目粗しを行い、断面修復部のポリマーセメントモルタル (アクリル系 PCM) を打ち継いだ。断面修復部のモルタルは  $\text{W/C}=40\%$  の 1 : 3 モルタルを基準とし、ポリマー量を調整して作製した。実験要因は、断面修復部のポリマー量 ( $\text{P/C}=0, 1, 10\%$ )

の3種類)および亜硝酸イオン量(0, 13, 55kg/m<sup>3</sup>の3種類)とし, それぞれの組み合わせにつき1体, 合計9体の試験体について養生終了から2週間後, 5週間後および8週間後にマクロセル電流の測定を行っている。試験要因の一覧をTable 2に示す。なお, 水中養生を行うと添加した亜硝酸イオンが溶出する可能性が考えられたため, すべての供試体で封緘養生を行った。

### 3・2 圧入後の亜硝酸イオンの拡散

圧入7日後および190日後の亜硝酸イオンの分布をFig.12に示す。図を見ると, 圧入7日後と圧入190日後の亜硝酸イオン濃度の分布には大きな差は見られず, 圧入7日後から190日後にかけて亜硝酸イオンはほとんど拡散していないことが分かる。筆者らの研究では<sup>4)</sup>, 圧入後28日時点と98日時点のマクロセル電流の測定を行い, 圧入後98日の段階で圧入後28日の10~20%程度までマクロセル電流が減少することを確認している。この原因について当該論文では, 圧入後の亜硝酸イオンの拡散

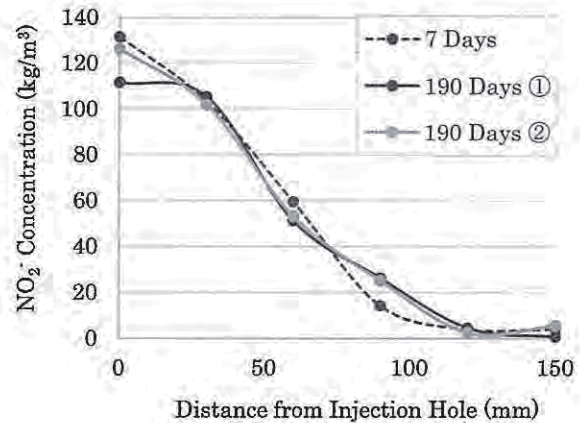


Fig.12 Distribution of NO<sub>2</sub><sup>-</sup> Concentration.

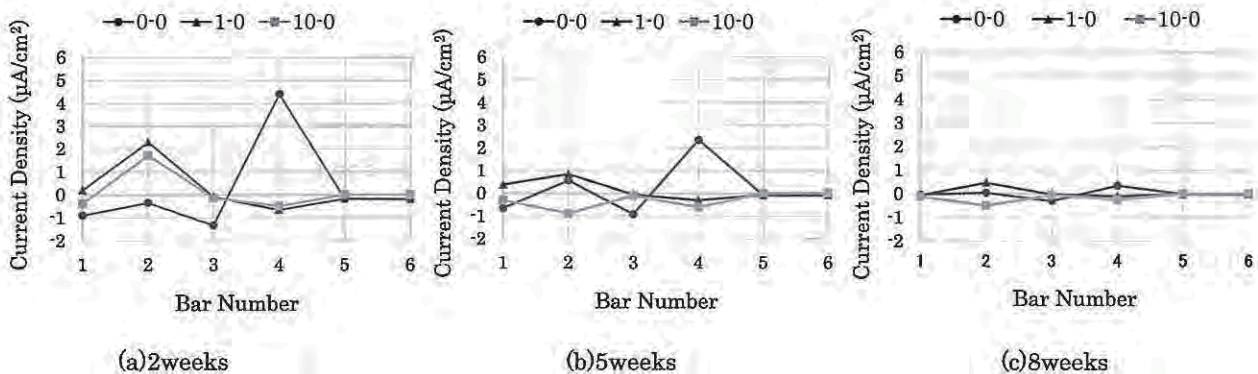


Fig.13 Macrocell Current Density after Patch Repair (NO<sub>2</sub>=0kg/m<sup>3</sup>).

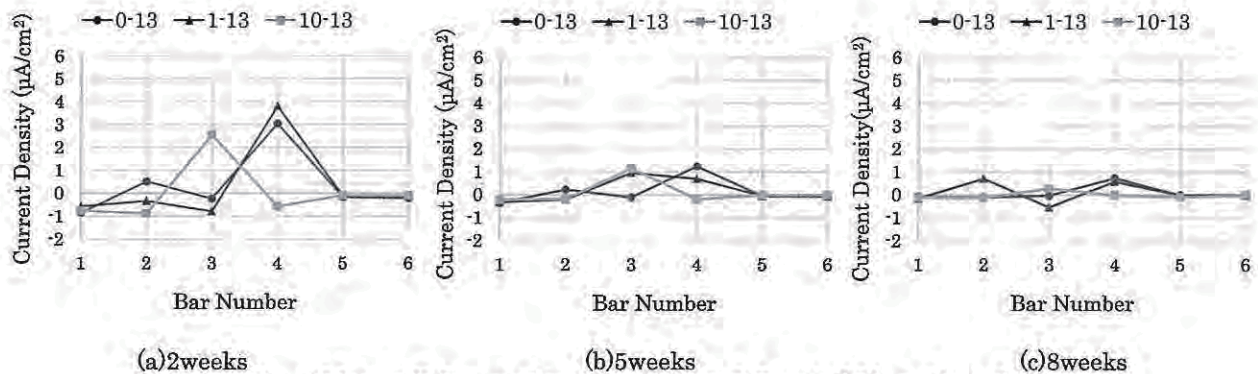


Fig.14 Macrocell Current Density after Patch Repair (NO<sub>2</sub>=13kg/m<sup>3</sup>).

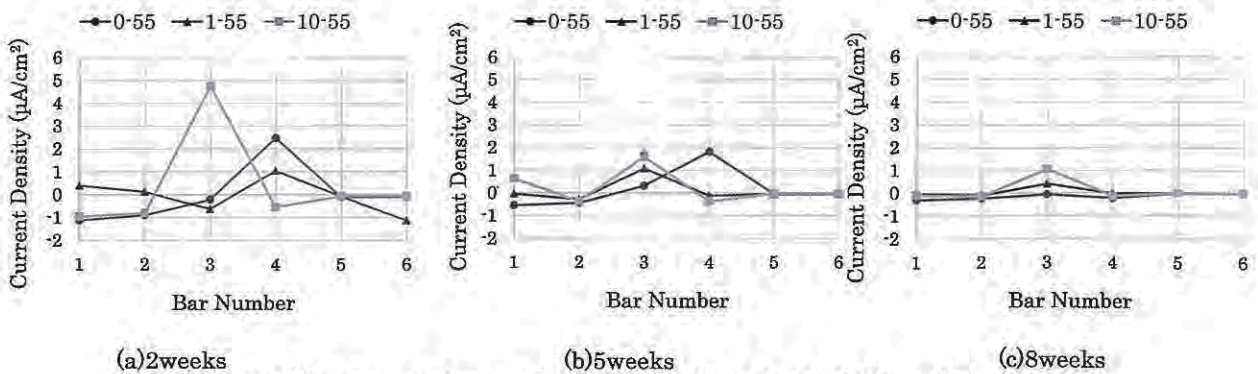


Fig.15 Macrocell Current Density after Patch Repair (NO<sub>2</sub>=55kg/m<sup>3</sup>).