亜硝酸イオン濃度勾配がマクロセル腐食に与える影響

京都大学　学生会員　○内藤　智大　正会員　高谷　哲
正会員　山本　貴士　フェロー会員　宮川　豊章

1. はじめに

ASR を引き起こしたコンクリート構造物に亜硝酸リチウム($LiNO_2$)の内部圧入工法を行った際，コンクリート内部に亜硝酸イオン(NO_2^-)が均一に浸透せず，大きな濃度勾配を生じている場合にはマクロセル腐食を引き起こす可能性が考えられる．そこで本研究では，$LiNO_2$を内部圧入した場合におけるマクロセル腐食の可能性について検討する．

2. 実験概要

供試体概要を**図-1** に示す．500×200×150mm の角柱供試体を使用し，内部にはかぶり 20mm の位置に D19 の分割鉄筋を 2 本設置した．コンクリートには NO_2^-6.0kg/m³ を練り混ぜ時に混入した．養生後の供試体に直径 10mm，深さ 75mm の削孔を行い，0.9MPa の圧力で $LiNO_2$ の圧入を行った．削孔間隔は 300mm とし，目標圧入量は，塩害に効果のある NO_2^-/Cl^-モル比を 1.0 と仮定し[1]，NO_2^- 9.96 kg/m³ とした．NO_2^-濃度が小さくなると予想される供試体中央部でマクロセル腐食が発生する可能性があると考えられることから，この領域では分割鉄筋を使用することとした．

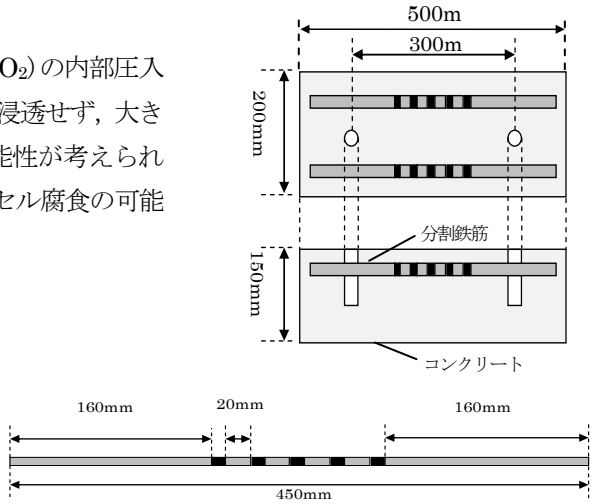

図-1　供試体概要

2. 2 測定項目

作製した供試体は 5 日間湿潤（40℃90%RH），2 日間乾燥（20℃40%RH）の乾湿繰り返し環境下で促進試験を行い，圧入 30 日後にマクロセル腐食電流の測定を行った．

3. 結果および考察

3. 1 亜硝酸イオンの浸透状況

336 時間の圧入の後，実圧入量の計測を行った．結果を**表-1** に示す．また，供試体②は圧入後に切断し，呈色反応試薬 TDI を用いて NO_2^-の浸透状況の確認を行った．既往の研究[2]を参考に各供試体の呈色反応大および呈色反応中の範囲を測定し，**表-1** の値を用いて次式より NO_2^-浸透状況を予測した結果を**図-2** 示す．

$$C(x) = k\frac{w_p}{A_p}\exp[K_p x]$$

ここに，C：NO_2^-濃度，k：圧入に関する係数，w_p：亜硝酸イオン圧入量(g)，A_p：削孔周面積(mm²)，K_p：圧力に関する係数，x：圧入位置からの距離(mm)である．なお，K_p=−0.02 を用いた．図を見ると，NO_2^-の浸透状況をある程度精度良く表現できていると言えることから，切断および呈色試薬による確認を行わなかった供試体①も，この方法によって NO_2^-の浸透状況を予測した．

表-1　各供試体の圧入量

	亜硝酸リチウム残量 (ml)	亜硝酸リチウム実圧入量 (ml)	亜硝酸イオン濃度 (kg/m3)
供試体①	126	49	4.7
	82	93	
供試体②	112	63	3.6
	129	46	

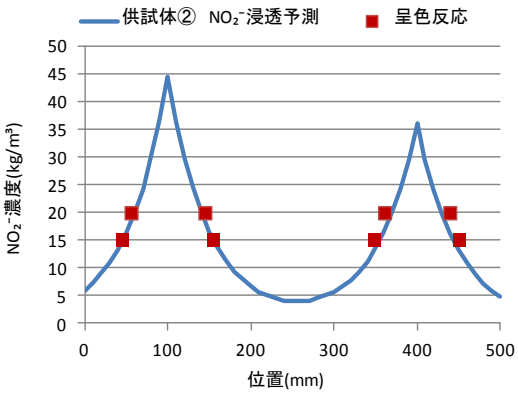

図-2　NO_2^-濃度分布予測と呈色反応結果

キーワード：亜硝酸リチウム，マクロセル腐食
〒615-8540 京都市西京区京都大学桂　TEL：075-383-3173　FAX：075-383-3177

3.2 測定結果

NO_2^-の浸透予測結果を**図-3** に示す．図から，供試体中央部の位置200～300mm の領域において NO_2^-が必要濃度に達していないと予想できる．

図-4 にマクロセル腐食電流の測定結果を示す．マクロセル腐食電流は，鉄筋要素がアノードの場合は正，カソードの場合は負の値となるが，本実験ではマクロセル腐食電流の大きさについて検討するので絶対値で表す．なお，鉄筋を 2 本配置しているので，それぞれ鉄筋 A・鉄筋 B とする．鉄筋 AB ともに供試体中央部で最小となり，圧入孔に近づくにつれて増加している．最も NO_2^-濃度が小さいと予想される 250mm 付近ではマクロセル電流密度が小さく，逆に NO_2^-濃度がより高いと予想される圧入孔に近い位置では大きくなっている．このことから，マクロセル腐食電流の大きさは NO_2^-濃度ではなく，NO_2^-濃度勾配に相関している可能性があり，NO_2^-が十分な領域と不十分な領域との境界部付近で，かつ濃度勾配を生じている箇所がマクロセル腐食発生の可能性が高い領域と考えられる．

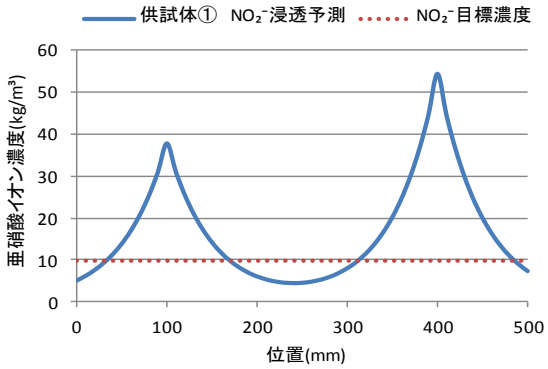

図-3 NO_2^-濃度分布予測

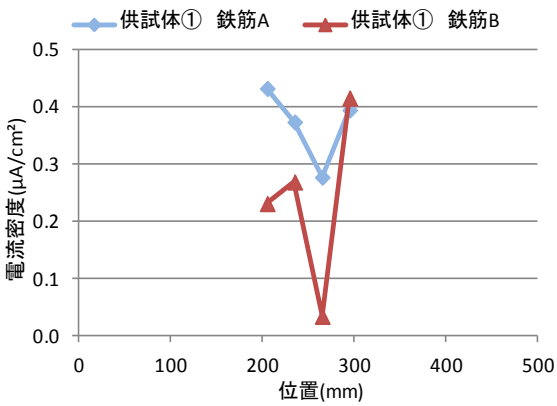

図-4 マクロセル腐食電流

3.3 マクロセル腐食の可能性に関する検討

各鉄筋要素における NO_2^-濃度勾配を横軸に，マクロセル腐食電流密度を縦軸にとって表し，近似線を実線で表したものを**図-5** に示す．図から，NO_2^-濃度勾配と，マクロセル腐食電流密度の間には比例関係が成り立っている可能性があることが分かる．ASR 抑制対策として $LiNO_2$ 内部圧入工を実施する場合は，経験的に圧入間隔を 300～500mm としており，この場合 NO_2^-が均一に浸透せず濃度勾配を生じている可能性が高く，マクロセル腐食が発生する可能性がある．ただし NO_2^-は圧入後，拡散現象が起こり，濃度勾配は時間の経過とともに小さくなっていくと考えられることから NO_2^-濃度とマクロセル腐食電流の経時的な変化を検討していく必要があると考えられる．

本研究では NO_2^-濃度が不足していると考えられる範囲内でマクロセル腐食の可能性を検討している．NO_2^-濃度が十分であると考えられる範囲での NO_2^-濃度勾配の影響についても今後検討を行う予定である．

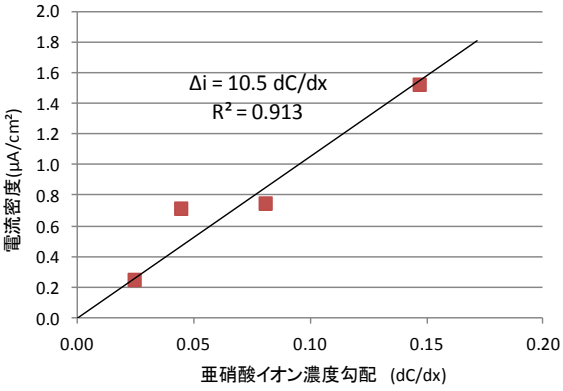

図-5 NO_2^-濃度勾配とマクロセル腐食電流密度の関係

4. 結論

1) $LiNO_2$ の圧入により，NO_2^-濃度に勾配が生じると，マクロセル腐食を引き起こす可能性があることが示された．

2) NO_2^-が不十分な領域では，NO_2^-濃度勾配とマクロセル腐食電流密度の間には比例関係が成り立つことが分かった．

参考文献

1) 浜　幸雄，千歩　修，秋田　竜：コンクリート中の鋼材腐食に及ぼす亜硝酸イオンおよび塩化物イオン濃度の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.55-60，2000

2) 内藤　智大，高谷　哲，山本　貴士，宮川　豊章：$LiNO_2$ 圧入工法における NO_2^-の浸透予測に関する基礎的研究，土木学会関西支部年次講演会概要集，2012(投稿中)