

京都大学工学部 学生員 九島 理  
 京都大学工学部 正員 宮川 豊章  
 京都大学工学部 正員 岡田 清

### 1. まえがき

コンクリート構造物の欠陥で最もよく見られるものの1つとしてひびわれがある。その補修方法には種々のものであるが、本実験では現在一般に用いられており、実績のあるエポキシ樹脂注入法を取り上げ、両引伏試体を用いて、樹脂の注入範囲および補修前後の腐食性状を調べることにより、樹脂注入効果の検討を行なった。

### 2. 実験概要

使用材料としては、セメントは早強ポルトランドセメント、細骨材には滋賀県野洲川産の川砂(比重2.59, F.M.275)を、粗骨材には鞍馬産の碎石(比重2.63, M.S.15mm)を用いた。練り混ぜ水としては、水道水を用い、塩分を含むものについては人工海水を用いた。また、電位試験、分極試験にもこの人工海水を用いた。注入用樹脂としては、エポキシ樹脂接着剤(粘度、 $1500 \pm 500$  cP)を用いた。

実験図としては、ひびわれ導入法、最大ひびわれ幅および塩分の有無を取り上げた。実験の概要を表1に示す。両引伏試体としては、埋め込み鉄筋(異形丸棒D10)に降伏荷重(2.6t)以下の引張力を与え、ひびわれを導入した状態で固定枠に固定した供試体Aと、鉄筋降伏点以上あるいは鉄筋降伏まで引張力を与えた後降荷し、残留ひびわれを有する供試体Bの2種類を用いた。各供試体の形状寸法を図1に示す。これらの供試体へのひびわれ導入はすべて湿布養生の後、供試体材令2~3週間で行ない、ひびわれ導入1日後にエポキシ樹脂を注入補修し、7日間の室内気中養生の後、試験に供した。次に各試験の手順を示す。

| 供試体名   |              | 最大ひびわれ幅(mm)       | Cl <sup>-</sup> | 割製 | 染料 | 電位  | 分極  |
|--------|--------------|-------------------|-----------------|----|----|-----|-----|
| 両引伏試体A | 両引-0-Nal-2   | 0                 | 無               | —  | —  | —   | 12  |
|        | 両引-004-Nal-4 | 004               | 無               | 12 | —  | —   | 34  |
|        | 両引-01-Nal-9  | 01-02             | 無               | 12 | 34 | 567 | 89  |
|        | 両引-01-Nal-4  | 01-02             | 有               | 12 | —  | —   | 34  |
| 両引伏試体B | 残留-02-Nal-4  | 02 <sub>0.0</sub> | 無               | —  | —  | —   | 128 |
|        | 残留-CF-Nal-2  | 02                | 有               | 12 | —  | —   | —   |
|        | 鉄筋-Nal-3     | —                 | —               | —  | —  | 1   | 23  |

※ひびわれ試験マシン

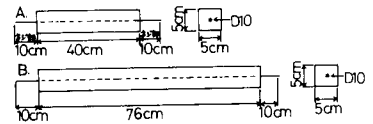


図-1 両引伏試体

i) 割製および染料試験 赤色染料を混入した樹脂によって補修を行なった後、供試体打設面を横にして上下をくさび形割製装置で固定し、アムスラー型万能試験機で割製截荷を行ない、破断面におけるひびわれ部への樹脂到達率および鉄筋周囲での樹脂の広がり測定した。同時に、両引伏試体Aを用いて樹脂注入を行なわず、固定枠に固定したまま供試体の上面に黒色染料を混入した水を貯め、ひびわれ内に染料を浸透させた後、同様な方法により割製して、鉄筋周囲の染料の広がりを計測した。

ii) 電位試験 両引伏試体の他に参考として異形鉄筋(D10)を用いた。供試体の上面に脱脂綿をかぶせ、1日1回人工海水を散布し、エレクトロメーターを用いて鉄筋電位の変化を約3ヶ月間測定した。なお、この実験は、室温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の恒温室内で行なった。

iii) 分極試験 電位試験と同様に、両引伏試体と異形鉄筋(D10)を用いた。分極試験に用いた両引伏試体は、Aは片方の端部を約4cm、Bは約15cmコンクリートカッターを用いて切断し、鉄筋についてはネジ部を切断し、各々切断面にエポキシ樹脂を塗布し、1日後より試験を行なった。なお、この実験は、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の恒温槽内で行なった。

### 3. 実験結果および考察

i) 割製および染料試験 コンクリートと鉄筋との界面における樹脂のひびわれ位置からの広がりを、ひびわれ幅との関係で図2に示す。また、染料試験における結果もあわせて図2に示す。図より、ひびわれ幅が大きいほど樹脂の広がりも大きい傾向にあり、染料の方が鉄筋周囲での広がりが大きい。また、打設面側と裏側での樹脂の広がりには大きな差はなく、(混合による樹脂の広がり)に与える影響も少ない。樹脂は、ひびわれ内に確実に注

入されており、今回行った実験の範囲では、0.04mmのヘアークラックにも注入が可能であった。

ii) 電位試験 鉄筋電位の経日変化を図3に示す。自然電位の絶対値は、露出鉄筋>びびわれを有する供試体>補修供試体という大小関係が成立する。露出鉄筋およびびびわれを有する供試体については、Stratfallの基準-350mV vs. Cu/CuSO<sub>4</sub> ≒ -240mV vs. Ag/AgClより卑であり、腐食領域にある。補修後供試体については、暴露期間が100日までは2本とも貴であるが、120日目では1本が卑となっている。これは、100日以上の散水期間により、コンクリート表面より塩分が浸透したものであると考えられる。

iii) 分極試験 分極試験の結果を電位～電流密度曲線として図4に示す。鉄筋、Cl<sup>-</sup>を混合している供試体および補修した後でびびわれを導入しに残留-0.2(N<sub>0</sub>3.4)では不動態領域が非常に小さいことがわかる。また、溶液抵抗、分極抵抗および腐食速度指標を表2に示す。溶液抵抗は、溶液抵抗補償装置により求め、見かけの分極抵抗とX-Yレコーダーに描かせた電位電流曲線の起点部より求め、それぞれ鉄筋の表面積当りの値を求める。その両者の差(分極抵抗)の逆数を腐食速度指標とした。これは分極抵抗法を利用したものである。表より、Cl<sup>-</sup>を混合しない場合、溶液抵抗は補修後の方が高い。残留びびわれ幅の大きい供試体では、その溶液抵抗は非常に低く、補修の効果があまり認められない。Cl<sup>-</sup>を混合している場合、溶液抵抗は非常に低い。分極抵抗は溶液抵抗に比して非常に大きく、腐食が激しいと思われるものでも溶液抵抗の5倍以上ある。このため、分極抵抗法を用いる場合に、腐食が激しくないなら溶液抵抗は無視できるものと考えられる。腐食速度指標はCl<sup>-</sup>を混合している場合大きい。さらに、補修した供試体の方が小さく、残留供試体ではばらつきが大きい。このことから、コンクリート中に塩分のない場合で、鉄筋応力度が降伏以上となった後除荷されたような大きな残留びびわれでない場合には、びびわれ補修効果が認められるものと考えられる。

以上より、エポキシ樹脂の注入によるびびわれ補修によって、鉄筋防食上の効果が期待できるものと考えられる。

最後に、本実験を遂行するにあたって種々の御協力をいただいたにショーボンド建設株式会社の皆様に感謝いたします。

〈参考文献〉1) 宮川豊章、片脇清“コンクリート中鋼材の塩化物腐食調査及び試験方法”コンクリート工学 Vol. No. 3 pp48~54, 1981

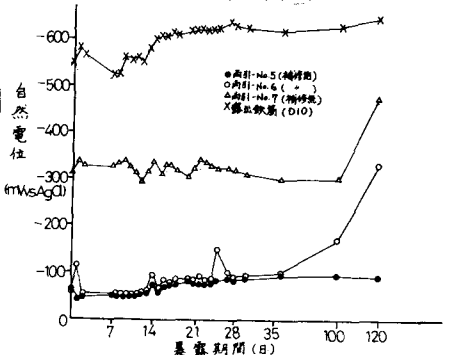
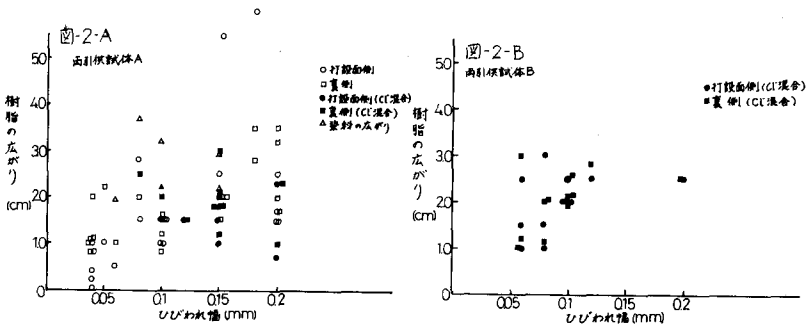


図-3 鉄筋電位の経日変化

表-2 分極試験結果

| 供試体    | Cl <sup>-</sup> | 自然電位 (mV vs. Ag/AgCl) | 溶液抵抗 (Ω) | 分極抵抗 (Ω)            | 腐食速度指標 (10 <sup>-3</sup> mm/年) |
|--------|-----------------|-----------------------|----------|---------------------|--------------------------------|
| 内引-0   | 0               | -67                   | 5475     | 480×10 <sup>3</sup> | 208 (2.25)                     |
| 内引-0   | 0               | -147                  | 6975     | 415×10 <sup>3</sup> | 241                            |
| 内引-0.1 | 0.1             | -57                   | 13338    | 844×10 <sup>3</sup> | 1.18 (1.94)                    |
| 内引-0.1 | 0.1             | -78                   | 10368    | 371×10 <sup>3</sup> | 2.69                           |
| 内引-0.2 | 0.2             | -59                   | 8316     | 711×10 <sup>3</sup> | 1.41 (1.81)                    |
| 内引-0.2 | 0.2             | -69                   | 7739     | 455×10 <sup>3</sup> | 2.20                           |
| 内引-0.2 | 0.2             | -180                  | 912      | 126×10 <sup>3</sup> | 440 (6.21)                     |
| 内引-0.2 | 0.2             | -202                  | 842      | 126×10 <sup>3</sup> | 793                            |
| 内引-0.2 | 0.2             | -80                   | 939      | 595×10 <sup>3</sup> | 168 (4.23)                     |
| 内引-0.2 | 0.2             | -229                  | 839      | 072×10 <sup>3</sup> | 678                            |
| 内引-0.2 | 0.2             | -405                  | 1660     | 011×10 <sup>3</sup> | 9524 (00849)                   |
| 内引-0.2 | 0.2             | -401                  | 1415     | 008×10 <sup>3</sup> | 12174                          |
| 内引-0.2 | 0.2             | -471                  | 162      | 012×10 <sup>3</sup> | ---                            |
| 内引-0.2 | 0.2             | -430                  | 135      | 010×10 <sup>3</sup> | ---                            |

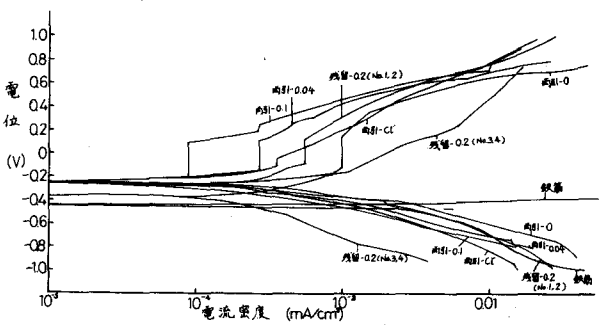


図-4 電位～電流密度関係