

ひび割れに樹脂注入を行ったコンクリートの防食効果に関する研究

Effect of Epoxy Resin Injection in Concrete Cracks on Corrosion of Reinforcing Steel Bars

魚本 健人*・星野 富夫**

Taketo UOMOTO and Tomio HOSHINO

1. はじめに

コンクリート構造物に発生しているひび割れの補修方法として、エポキシ系の樹脂を注入する工法が実用化されている。この樹脂注入に用いられるエポキシ樹脂の組成や粘度あるいは注入速度、注入方法等の工法については開発・検討がなされ、今回の実験で用いたゴムチューブの内部圧力により注入したエポキシ樹脂は、目視で観察可能なひび割れ幅 (0.02 mm) よりも微細なひび割れに注入されていることが EPMA による観察からも確認 (写真 1) された。しかし、この樹脂注入程度 (幅と深さ) や注入欠陥がどのような性状を示すかについては明らかにされていない。

本実験では、この樹脂注入の程度がコンクリート梁の力学的性状やコンクリート構造物の劣化原因である塩素や炭酸ガスなどの有害物質の遮蔽効果に及ぼす影響についての基礎的な検討を行った。

2. 実験概要

実験に用いたコンクリートには、普通ポルトランドセメント、川砂、最大寸法 15 mm の碎石を用い、水セメント比：50%，単位水量：185 kg/m³，スランプ：10 ± 1 cm となるような配合のコンクリートとした。

供試体の作製には、10 × 10 × 40 cm の曲げ型枠を用い、型枠の両端に鉄筋保持用の単板を配し、発生ひび割れ幅保持用の全長が 39 cm の異型鉄筋 (D 13) を梁の中心に配置した 10 × 10 × 38 cm の鉄筋コンクリート梁である。

このコンクリートの 1 週の圧縮強度は、34.4 N/mm² であり、4 週の圧縮強度は 43.3 N/mm² であった。

ひび割れの導入は、コンクリートの打設後、4 週まで散水養生を行った供試体について、表面を乾燥させるために 2 ~ 3 日間程度試験室内に放置し、ひび割れ幅測定用の

πゲージ (標点距離：10 cm, 感度：約 1,000 × 10⁻⁶/mm) ならびにたわみ測定用の変位計を取り付けて行った。これらひび割れ幅制御のゲージ等を取り付けた試験体を写真 2 に示す。

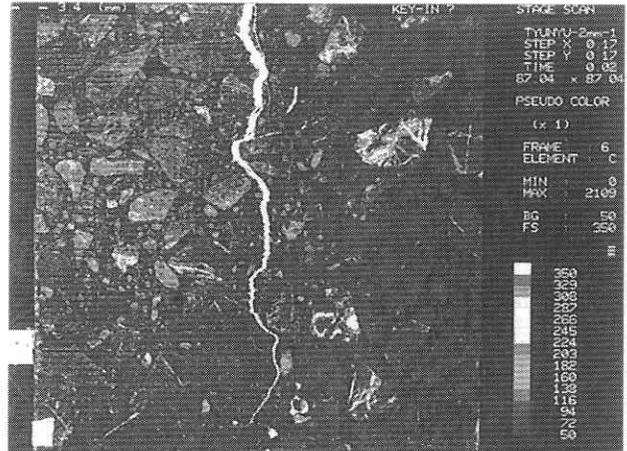


写真 1 EPMA による注入樹脂の確認 (分析元素：炭素)

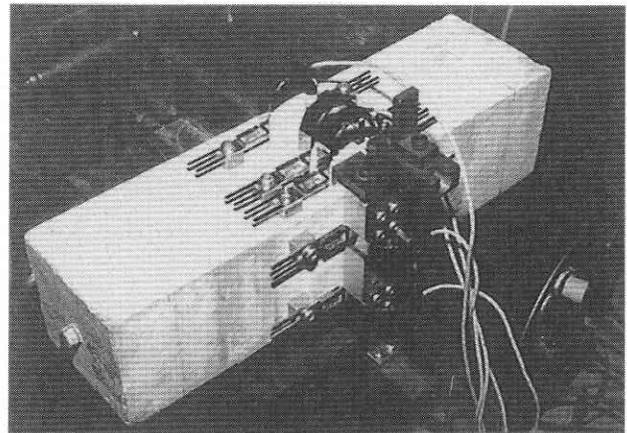


写真 2 試験体の外観とゲージの取り付け

*東京大学 国際・産学共同研究センター

**東京大学生産技術研究所 第 5 部

研究速報

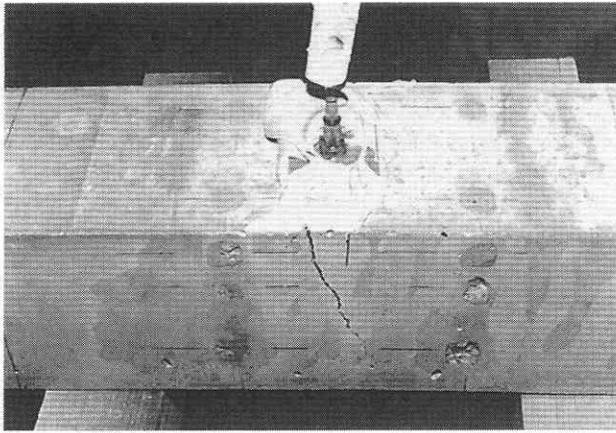


写真3 注入パイプの取り付けとシーリング

これら試験体の曲げ載荷試験は、スパンを 30 cm とする 2 等分点集中載荷によるものであり、コンクリート梁の中央部分に 1 本のひび割れを発生させ、荷重の除荷後にこのひび割れ幅が 2 mm ± 0.2 mm 程度となるようにした。

ひび割れへの注入樹脂は、実際の現場に用いられている 2 液型エポキシ樹脂（粘度：500 ± 200 mPa · s）を用い、ひび割れ（底面）に注入パイプを取り付け（写真 3）、底面ならびに側面に発生しているひび割れにシーリングを施して、樹脂注入を行った。

完全注入の場合には、ゴムチューブにより注入し、表層部分注入の場合には、ひび割れ幅と深さ（1 ~ 2 cm）からエポキシ樹脂の重量を計算し、注射器に計りとり注入した。

これらの注入方向は、コンクリート梁の補修の場合を想定し、注入口を下側にして注入した。

塩素や炭酸ガスの遮蔽効果を検討する供試体は、樹脂注入した方向の面（底面）以外の 5 面を遮蔽用のエポキシ樹脂によりコーティングし、解放面からの浸透実験を行った。

塩分の浸透実験は、3.3% · NaCl 溶液（水温：20°C）に 3 日間浸漬、室温が 20°C の試験室内に 4 日間の空中放置を行う工程を 1 サイクルとするものであり、今回の場合には 4 サイクルの促進浸漬試験を行った。また、促進炭酸化試験は、炭酸ガス濃度 10%、温度 20°C、湿度 60% の試験槽内にて 4 週間行った。

3. 実験結果と考察

図 1, 2 には、曲げ載荷により導入したひび割れにエポキシ樹脂注入を行い、コンクリート梁中央のたわみが 2 mm になるまでの再載荷試験を行った曲げ載荷荷重とひび割れ幅の進展を示した。この図中に示す底面ひび割れ幅は、注入側（底面）に取り付けた 2 個の π ゲージのひび割れ

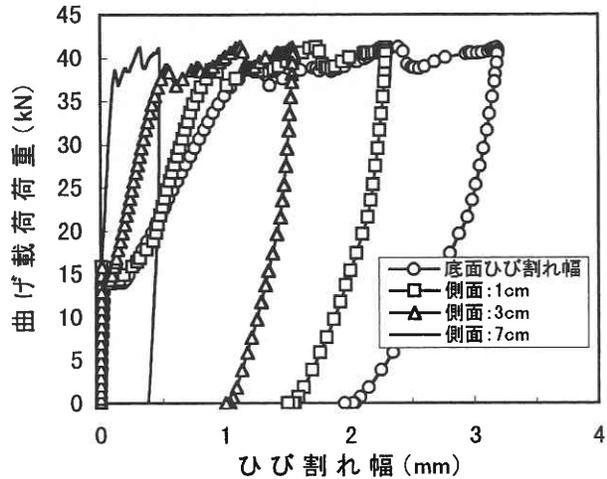


図1 曲げ載荷荷重とひび割れ幅の変化 (完全樹脂注入供試体)

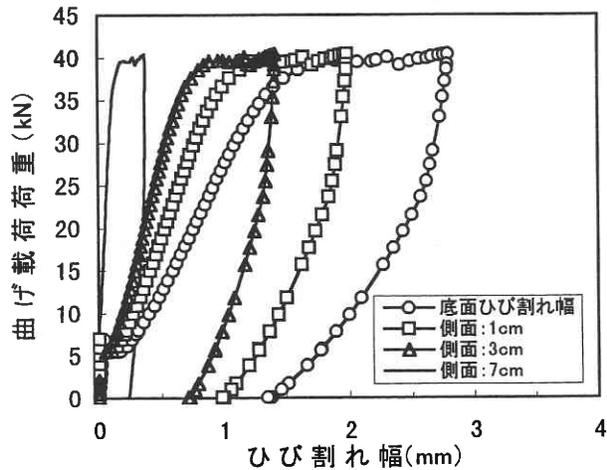


図2 曲げ載荷荷重とひび割れ幅の変化 (表層部分注入供試体)

幅の平均値であり、1 cm, 3 cm, 7 cm とは、側面の底面からのそれぞれの距離における値である。

図 1 は、ゴムチューブの内部圧力によりエポキシ樹脂の完全樹脂注入を行ったものであり、図 2 には注射器による表層部分注入の結果を示す。図 2 に示した表層部分注入試験体を解体して、底面側よりの注入深さを 1 cm 間隔で調べた樹脂注入深さの平均は 17 mm であった。

図 2 の表層部分注入供試体の新たなひび割れ発生荷重が完全注入の供試体に比べて約半分程度となり、ひび割れ幅の進展が少なくても梁中央のたわみが 2 mm に達するのが早いことが分かる。これらのいずれの供試体においても、この再載荷により発生したひび割れは、樹脂注入したひび割れ箇所以外から発生していた。しかし、表層部分注入の新たなひび割れは、樹脂注入されている部分の先端の樹脂

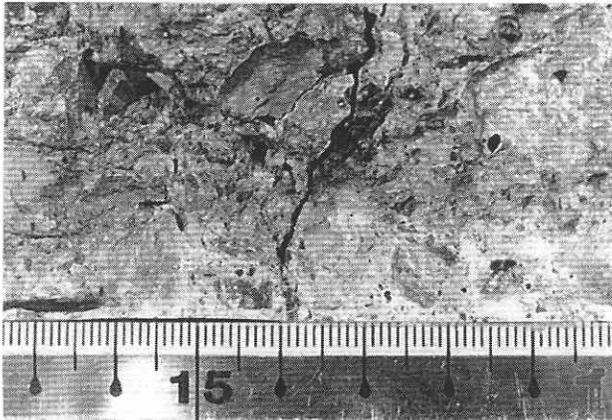


写真4 塩分浸透状態 (表層部分注入)

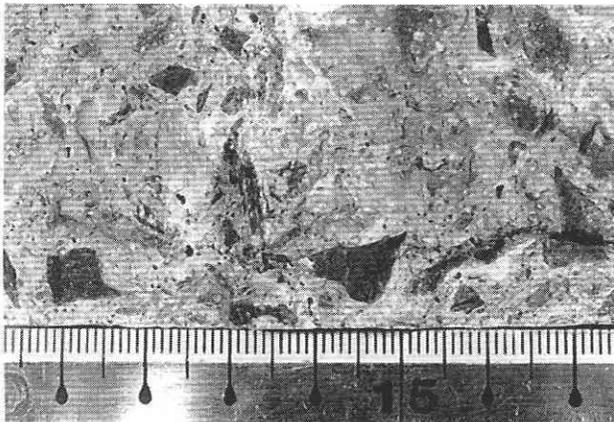
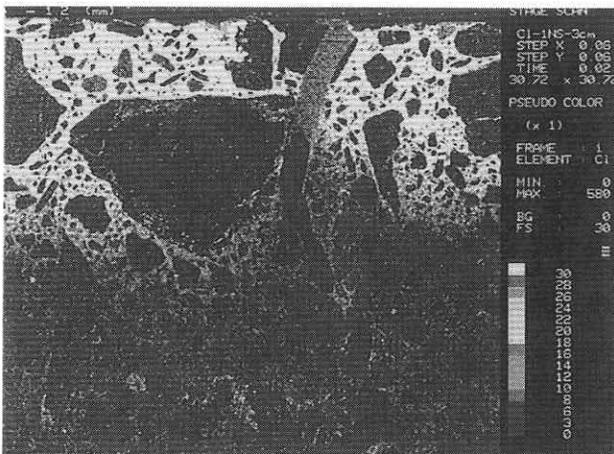


写真5 塩分浸透状況 (樹脂注入無し)

写真6 EPMAによる塩素の分析
(表層部分注入供試体)

注入がされていない部分のひび割れと連なった。

写真4～6には、4サイクルの塩分促進浸漬試験後の塩分の浸透状況を示したものであり、写真4, 5は、導入したひび割れに直行する方向で割裂したコンクリート片に、クロム酸カリウム溶液と硝酸銀溶液を噴霧して塩分の分布を調べたものである。この写真で白濁している部分が塩分の浸透した部分である。

写真4は、表層部分注入試験体への塩素の浸透を調べたものであるが、この場合のエポキシ樹脂の注入深さは約8 mm程度であり、塩分の浸透深さは8～12 mm程度である。この写真から、ひび割れ部分が欠陥となって塩分が浸透したような兆候は認められない。

一方、写真5に示した樹脂注入が行われていないひび割れからの塩分の浸透は顕著なものであり、ひび割れに沿って塩分が浸透した様子がよく分かる。この写真には、塩水での乾湿の繰り返しにより、遊離石灰等でひび割れが閉塞されているように見えるものの目視で限界な微細なひび割れにまで塩分が浸透していた。

これらの現象をEPMAによって調べたものが写真6である。この試料の採取位置は、前述の試料と同じであるが、コンクリート片を切断し、鏡面研磨・炭素蒸着を行った試験体について、塩素の定性分析を行ったものである。

ここに示したEPMAの分析結果は、表層部分注入試験体のひび割れ部分を中心に拡大(30×30 mm)して分析したものであるが、白色部分が相対的に塩素濃度が高いことを示している。

これを見ると、エポキシ樹脂注入深さが約9 mmであるのに対して、塩素浸透深さは約10～12 mm程度であるのが分かる。ここで、注入されたエポキシ樹脂部分も若干白色に近い色合いを示しているが、このエポキシ樹脂には組成として微量な塩素が含まれている。

これらの結果は、写真4に示したクロム酸カリウム溶液と硝酸銀溶液を噴霧して塩分の浸透を調べた分析結果とも良く一致している。

以上のことから、表層部分注入された試験体への塩分促進浸漬試験後(4サイクル)における塩分の浸透は、エポキシ樹脂の注入深さと同程度ではあったが、樹脂注入したひび割れ部分が欠陥となるような兆候は全く認められなかったことを示している。

写真7, 8には、促進炭酸化試験を4週間行った供試体の中性化状態を示した。試料の採取方法・箇所は、塩分の浸透を調べた試験体と同様であるが、割裂したコンクリート片にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、非発色部を中性化部として判定するものである。この写真では、白い部分が中性化した部分となる。

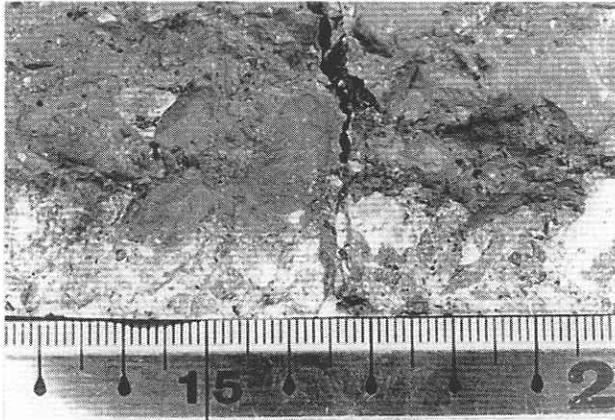


写真7 中性化試験結果 (表層部分注入)

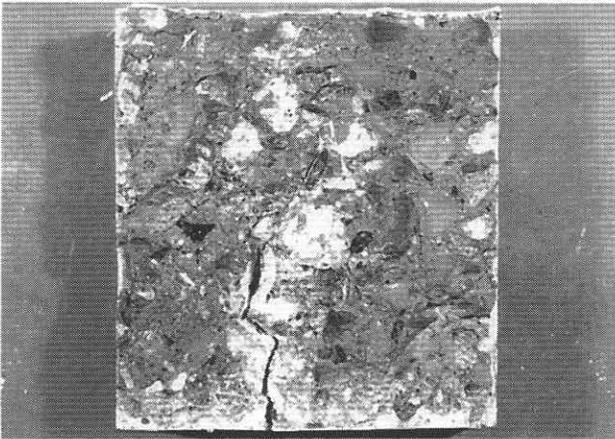


写真8 中性化試験結果 (樹脂注入無し)

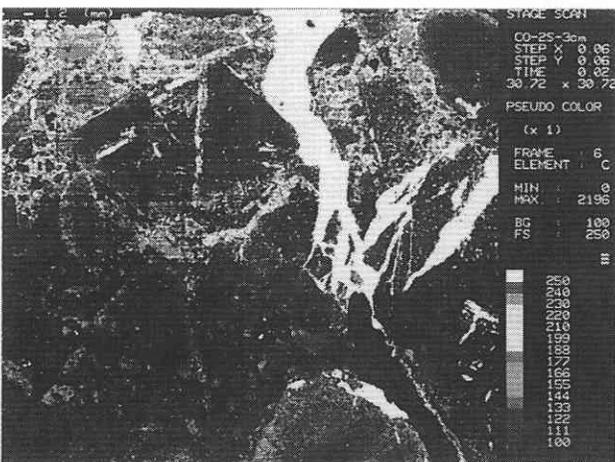
写真9 EPMAによる炭素の分析
(表層部分注入供試体)

写真7は、表層部分注入試験体の中酸化状態を示したものである。この場合のエポキシ樹脂の注入深さは約18mm程度であり、ライニングを施していない底面からの中性化深さは10mm程度である。この中性化深さは、同様な手法により中性化促進実験を行った既往の報告³⁾と同じ値である。この写真から、樹脂注入深さよりも中性化深さが進行していないものの、ひび割れ部分が欠陥となって中性化が進行したような形跡は認められない。また、中性化領域のひび割れに注入した樹脂の部分では、ひび割れ幅以上に非中性化部分が認められる。これは注入したエポキシ樹脂がコンクリート部分にも浸透したものと考えられる。

一方、写真8には樹脂注入がなされていない試験体のひび割れからの中性化の進行を示した。塩分の浸透のように顕著ではないものの、ひび割れに沿って中性化が進行していることが分かる。

これらの現象をEPMAによって調べたものが写真9である。この試料は、写真7の表層部分注入試験体の片側を切断し、炭素の分析をしたものである。試料の作製や分析領域は塩素のEPMAによる分析の場合と同様である。

注入したエポキシ樹脂の主成分である炭素がひび割れに沿って鮮明に認められる。また、この注入深さが写真7で示したものと同様であることが判る。一方、コンクリートの中性化部分は、エポキシ樹脂のように鮮明な色調を示していないもののこの炭素の分析によって判定できる。このコンクリート部分の炭素の浸透深さは10mm以上あり、フェノールフタレイン溶液を噴霧して、呈色部分を調べた値よりも若干大きな値を示している。

4. ま と め

コンクリート梁に発生させたひび割れに、ある程度の深さのエポキシ樹脂注入がなされれば、その部分を基点とするような新たなひび割れは発生しないが、耐荷力については十分な効果は認められない。また、塩分や炭酸ガス等の浸透については、注入深さ以下の場合には、特に欠陥とはなっていない。

本研究の実施に際し、ショーボンド建設(株)千葉営業所 奈良岡氏から資材並びに技術指導を賜りました。ここに記して謝意を表します。

(1999年9月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 伊代田岳史, 魚本健人: コンクリートのひび割れが中性化深さに及ぼす影響, 生産研究, Vol.50, No.9, PP.319-321, 1998.9.