

## 論文 コンクリート補修材料としてのアクリル樹脂の特性に関する研究

三好学<sup>\*1</sup>・飯坂武男<sup>\*2</sup>・福島浩一<sup>\*3</sup>・梅原秀哲<sup>\*4</sup>

**要旨：**コンクリート補修材料として新たに開発されたアクリル樹脂系補修材料 2 種類を対象に、注入試験および実際の構造物を想定したひび割れを有する鉄筋コンクリート梁部材による曲げ破壊試験を行い、アクリル樹脂の注入性能および補修効果について、一般的な補修材料であるエポキシ樹脂と比較、検討を行った。その結果、アクリル樹脂はエポキシ樹脂と同等以上の注入性能を有し、また補修効果については、エポキシ樹脂と同程度であることが確認された。

**キーワード：**アクリル樹脂、注入試験、曲げ破壊試験、ひび割れ追従性、補修効果

### 1. はじめに

一般にコンクリート構造物には、種々の原因により目視では判別できないほどの微小ひび割れが存在する。このひび割れは、構造的にはなんら問題なく、また、ひび割れ幅が 0.1mm 以下であるならば、通気・通水の心配もほとんどないため耐久性の上でも問題はない。しかし、供用期間中にひび割れ幅が広がり、0.2mm 以上になると通気・通水の可能性が生じ、鉄筋腐食や耐荷力の低下を招く恐れがある。そこで、ひび割れ幅の拡大によるコンクリート構造物の耐久性が問題となり、補修による劣化の抑制や機能回復を図る必要性が生じる。

コンクリートのひび割れ補修には、多くの場合、補修材料をひび割れに充填して補修する注入工法が用いられている。その際に、補修材料が有すべき物性としては、強度に加えひび割れへの注入性、充填性および追従性が挙げられる。現在、一般的な補修材料には、無機系補修材料としてセメント系材料、有機系補修材料としてエポキシ樹脂等があるが、既往の研究<sup>1)</sup>より、有機系補修材料の方が、補修効果が期待できると言われている。ただし、有機系補修材料のエポキシ樹脂においても、耐水接着性能、耐

光性能等についてはまだ課題が残されている。ところで、近年、耐水接着性能や耐光性能が優れているアクリル樹脂が、新たな補修材料として着目されてきた。しかし、アクリル樹脂についての、ひび割れ注入性能、およびひび割れ注入後の追従性能、強度等の研究実績は少なく、十分解明されていないのが現状である。

そこで本研究では、新たに開発された粘性が低く室温で液状となるアクリル樹脂を対象に、ひび割れ注入試験、切り欠きを補修した曲げ供試体での破壊試験、および実際の構造物でのひび割れを想定して補修した鉄筋コンクリート梁部材での曲げ破壊試験を行った。そして、ひび割れ注入性能、ひび割れ追従性能および補修効果についてエポキシ樹脂と比較検討することにより、コンクリート補修材料としてのアクリル樹脂の特徴と問題点について考察を行った。

### 2. 使用材料

本研究では、比較のためのエポキシ樹脂(A 材料)1 種類と粘度の異なる 2 種類のアクリル樹脂(B 材料, C 材料)の計 3 種類の有機系補修材料を対象とした。表-1 に補修材料の諸性能を示す。補修材料はすべて主材と硬化材を混合

\*1 名古屋工業大学大学院 工学研究科社会開発工学専攻 (正会員)

\*2 名城大学 理工学部土木工学科助教授 (正会員)

\*3 東亜合成(株) 名古屋総合研究所 主任研究員 主査 (正会員)

\*4 名古屋工業大学教授 大学院工学研究科都市循環システム工学専攻 (正会員)

表-1 各材料の諸性能

	A材料		B材料		C材料	
	主材	硬化材	主材	硬化材	主材	硬化材
主成分	エポキシ樹脂	変性ポリアミン	変性アクリル	変性イソシアネート	変性アクリル	変性イソシアネート
混合割合	3	1	5	6	11	6
流下時間 (秒)	210		120		110	
粘度 (MPa-s)	2000以下		1600以下		1200以下	
可使用時間 (分)	60		30		30	
硬化時間 (時間)	8		12		12	
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	60以上		60以上		50以上	
引張せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	10以上		10以上		10以上	
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	52		20		42	
伸び率 (%)	2		80		10	
付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	2N/mm <sup>2</sup> 以上で下地破壊					

する2液型のものであり、主材と硬化材を各々の混合割合で容器に流し込み、攪拌棒でかき混ぜて使用する。流下時間の測定にはJA ロートを用い、粘度の測定にはB型粘度計を用いた。無機系補修材料の粘性が50~100MPa-s程度であるのに対し、一般的な有機系補修材料の粘度は500~3000MPa-s程度であり、かなり粘性が高いことがわかっている。これは、有機系補修材料は、分子間の相互作用(水素結合や分子の絡み合いなど)により擬似凝集して網目構造ができ、粘性が増すためである。

一般的に可使用時間は、無機系補修材料と比べると有機系補修材料は短く、有機系補修材料の中でも、今回採用したアクリル樹脂はエポキシ樹脂の半分程度である。また、アクリル樹脂は注入時に水が介在する場合、硬化材が水と反応して、硬化が早くなり、二酸化炭素が発生し発泡するするものであり、可使用時間が10分程度と極端に短くなる。<sup>2)</sup>また、硬化したアクリル樹脂は、柔軟性が若干失われてしまう。したがって、アクリル樹脂は、他の補修材料と比較して、注入箇所の水分に対して注意する必要がある。注入箇所が湿っていることで注入性能が下がり、硬化後の強度等へ影響がでる可能性がある。

### 3. 注入試験

#### 3.1 目的および方法

ひび割れへの十分な注入・充填を行うために

は、補修材料のひび割れ内での流動性を把握する必要がある。エポキシ樹脂は、ある程度ひび割れ注入性・充填性が把握されている。しかし、アクリル樹脂については、ひび割れに注入した場合の挙動がほとんど把握されておらず、そのような研究もほとんどなされていない。そこで、実際のひび割れを想定したひび割れモデルを用いて注入試験を行い、その試験結果からアクリル樹脂の注入性能を、エポキシ樹脂と比較して考察した。

本研究では、各材料において可能な限り同じ条件で注入試験を行えるようにするために、ガラス板のみのひび割れモデルを用いることとした。このひび割れモデルは、図-1に示すように、500mm×1000mmの2枚のガラス板(厚さ10mm)の間に金属製のスペーサーを挟み、その間隔が所定の幅になるように設定したものである。ガラス板の周囲には注入した補修材料がもれないようにシール材を施した。また、注入口の反対側には空気口を設け、空気圧による

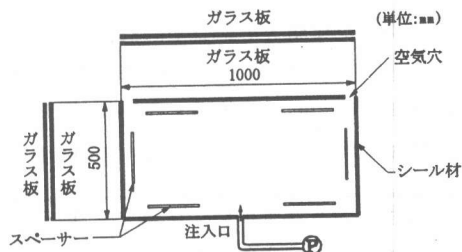


図-1 ひび割れモデル

注入障害を除いた。本試験では注入圧を変化させて注入を行い、注入圧による注入性能の差についても検討を行った。注入は、注入口に圧力計を取り付けた手動式注入ポンプを用いて注入を行った。注入幅として 0.3mm, 0.5mm, 1.0mm の 3 パターン、注入圧として 0.10N/mm<sup>2</sup>, 0.15N/mm<sup>2</sup> の 2 パターンの、1 材料につき 6 パターンを選んだ。注入面積を測定するために、注入開始から注入完了または注入開始より 20 分まで、ビデオカメラによって注入状況の撮影を行った。そして、ビデオプリンターによって画像をプリントアウトして、その注入面積をプランイメーターによって測定し、注入面積と経過時間の関係について検討を行った。

### 3.2 試験結果および考察

注入状況は、いずれの補修材料も注入口を中心とした半円状であり、良好な注入状況を示した。各補修材料の注入幅が 0.3mm の場合の注入面積と経過時間の関係を図-2~3 に示す。

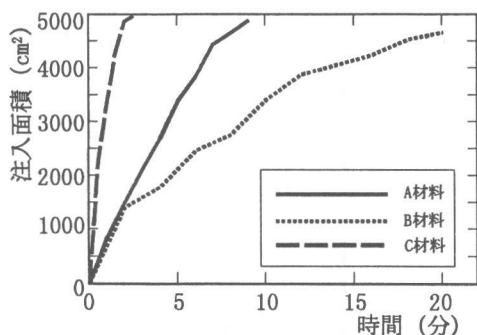


図-2 注入面積-時間関係

(注入圧;0.10N/mm<sup>2</sup>, 注入幅;0.3mm)

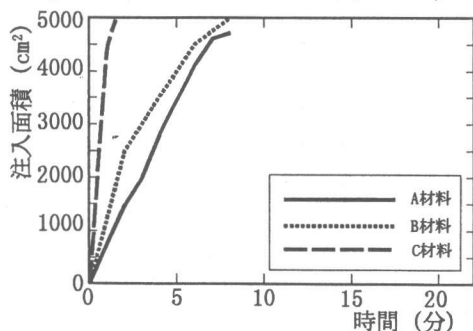


図-3 注入面積-時間関係

(注入圧;0.15N/mm<sup>2</sup>, 注入幅;0.3mm)

A 材料は注入幅が同じ場合、注入圧が変化しても注入が完了するまでの時間はほとんど同じであった。なお、注入幅が 0.5mm, 1.0mm と大きな場合は、注入圧の違いによる注入完了時間の差が、両注入幅とも約 4 分程度となった。したがって、ひび割れ幅が小さい場合は、注入圧を高くすることによる注入性の向上は困難であると言えよう。また、A 材料は注入幅が大きくなるにつれて、注入完了までの時間が長くなる傾向を示し、注入幅 0.3, 0.5 および 1.0mm に対して、注入圧 0.1N/mm<sup>2</sup> の場合、9 分、11 分、15 分程度、注入圧 0.15N/mm<sup>2</sup> の場合、8 分、7 分、11 分程度を示した。

B 材料は、注入圧が大きくなると注入完了までの時間が短くなる傾向が顕著であった。これは注入圧が小さい時はガラス板の摩擦の影響を大きく受けたためと考えられる。

C 材料は、本試験に用いた材料の中でもっとも良い注入性能を示した。粘性が低いため、各注入圧、各注入幅においてほとんど違いは見られず、また、他の材料のように注入完了間近に見られる注入速度が鈍る傾向は見られなかった。

実際の施工現場においては、補修材料の注入性能は、いかなる注入幅に対しても容易に注入でき、かつ注入圧はなるべく低い方が望まれる。A 材料は粘性が高く、本試験からも明らかなように、注入幅が広すぎると注入が困難である。注入を容易にするために、エポキシ樹脂の流動性をよくしたり、注入圧を高めることも可能であるが、強度の低下や、母材であるコンクリートを損傷する恐れがあると考えられる。したがってエポキシ樹脂は、注入幅が広すぎず注入圧の効果が見られる 0.5mm 程度のひび割れ補修に適していると思われる。アクリル樹脂である B 材料は注入圧を若干大きくする事で注入が容易となった。C 材料は、いずれのひび割れ幅、注入圧の低い時でも注入は容易であり、エポキシ樹脂に比べて高い注入性能を示した。

## 4. コンクリート供試体の曲げ破壊試験

### 4.1 目的および方法

ひび割れの状況は、施工場所、施工環境によって様々であり、状況に適した補修材料の使用が必要となってくる。代表的な補修材料であるエポキシ樹脂等のひび割れ注入後の接着性能や強度は、過去の研究や施工実績などから明らかとなっているが、アクリル樹脂のそれに関してはほとんど解明されていない。そこでここでは、コンクリートひび割れモデルを用いて曲げ破壊試験を行い、アクリル樹脂の追随性能や強度を調べるとともに、エポキシ樹脂と比較検討することを試みた。

実験に用いた供試体の寸法・形状を図-4に示す。コンクリートの設計基準強度は、 $f_{ck}=35\text{N/mm}^2$ である。表-2にコンクリートの示方配合表を示す。なお、使用セメントは早強ポルトランドセメントである。

供試体は、金属製コンクリート型枠を用いて作製し、コンクリート供試体の中央下半面に、図-4に示すように0.5mm幅のスリットを設けて、ひび割れモデルとした。

供試体のスリット部分に補修材料を注入した後、補修材齢14日に達した時点で金属製アタ

ッチメントを取り付けたモルタル用耐圧試験機に、図-4に示すように、荷重を載荷し、曲げ破壊をさせた。この試験による測定項目は、曲げ破壊荷重、およびスリット部分下面でのひずみである。曲げ破壊試験により補修効果の比較を行った理由は、この試験が補修による部材強度の回復だけでなく、補修材料の接着性能を評価する一つの方法と考えたからである。ひずみゲージによるひずみの測定によって、注入した補修材料の強度、およびひび割れ追随性についての検討も行った。各補修材料の破壊荷重は、試験によって求められた最大荷重とした。補修効果については、注入を行った供試体の破壊荷重を、スリットの無い健全な供試体(以下スリット無と略記)の破壊荷重と比較することにより評価した。また、ひび割れ追随性に関しては、試験を行った供試体の荷重-ひずみ曲線の傾きが、補修材料を未注入のスリットの有る供試体(以下スリット有と略記)の荷重-ひずみ曲線の傾きに近い程ひび割れ追随性が大きく、スリット無の供試体の荷重-ひずみ曲線の傾きに近い程ひび割れ追随性が小さいと考えた。なお、補修効果を高めるには、ひび割れ補修後にひび割れ部で変動が生じた際に、ひび割れ追随性を大きくする必要がある。

### 4.2 試験結果および考察

図-5に各供試体の荷重-ひずみ曲線を示す。

エポキシ樹脂であるA材料の荷重-ひずみ曲線の傾きはスリット無の傾きに近く破壊時のひずみがスリット有とほとんど同じであるため、ひび割れ追随性はあまりないと言える。したがって、実際のひび割れ補修に用いた場合、補修後の変動に対応しきれないと考えられる。

アクリル樹脂であるB材料、C材料はスリット有とほぼ同じ傾きを持ち、破壊時のひずみがスリット有の3倍以上もあり、実際のひび割れ補修に用いた場合、ひび割れ追随性は十分に期待できると思われる。

A, B, Cのいずれの材料も破壊荷重はスリット無の3~5割程度で、破壊荷重から補修効

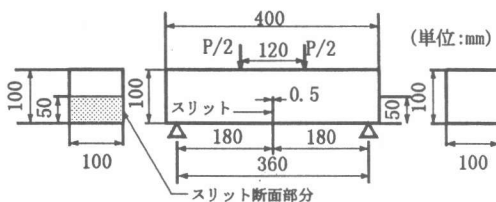


図-4 供試体の寸法・形状

表-2 供試体の示方配合表

$G_{max}$ (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)
20	10	2.0	43	46
単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
W	C	S	G	
172	394	737	975	

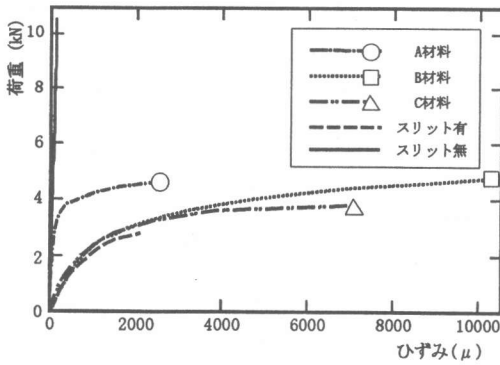


図-5 荷重-ひずみ曲線

果の優劣をつけにくい結果となった。

B 材料は前述したように、注入中に発泡が生じたが、これはコンクリート中の自由水によるものではなく、試験前日までの水中養生が原因と考えられる。注入作業中に生じた泡はスリットの手前から外に排出され問題はなかったが、注入ポンプ内部に洗浄水が残っていたため、可視時間が 10 分程度と短くなった。また水的作用により、硬化後に柔軟性が若干失われるため、強度や破壊パターンに影響を及ぼしたものと思われる。

以上のことから、アクリル樹脂は、破壊荷重ではエポキシ樹脂に劣るものの、ひび割れ追随性においては非常に優れており、実際のコンクリート部材の変位挙動に伴うひび割れ追随性が期待できる。しかし、少量の水によって、可使用時間が短くなったり、発泡、膨張作用によりひび割れ部に余計な力が加わったりすることも考えられる。したがって、実際の補修工事に用いる場合、水の介入を防ぐための細心の注意が必要であると思われる。

## 5. 鉄筋コンクリート梁の曲げ破壊試験

### 5.1 目的および方法

コンクリート構造物でのひび割れに対する実際の補修効果の確認を目的に、鉄筋コンクリート梁のひび割れに対して補修を行い、アクリル樹脂と従来使用されているエポキシ樹脂との比較・検討を試みた。

今回の試験で作製したコンクリート梁の寸法および形状を図-6 に、コンクリートの示方配合を表-3 に示す。使用した鉄筋は主筋・補強筋(U 型)とも SD295 である。セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。また近年コンクリートの高強度化が進んでいるため、コンクリートの設計基準強度は  $f_{ck}=45\text{N/mm}^2$  とした。コンクリートを打設後湿布養生を行い、目標強度に達したことを確認した後、ひび割れを発生させるために载荷を行った。载荷は梁の中央の変位が 5.5mm に達するまでとし、その時のひび割れの幅は 0.1~0.4mm であった。この時の最大荷重はいずれの梁も 35kN 程度であり、主鉄筋は降伏に至っていた。その後、梁中央より左右 30cm までのひび割れに対して各補修材料を注入した。補修材齢 14 日に再び载荷を行い、荷重および梁中央のたわみを計測した。

### 5.2 試験結果および考察

各梁の補修前のひび割れの状況は、ほぼ梁中央に幅が 0.4mm 程度のひび割れが発生し、これが最大のひび割れであった。そして左右に各 3~5 本、約 10cm おきに幅約 0.1mm のひび割れが発生した。いずれのひび割れも、下部より 10cm ほどの高さまでのびていた。

補修を施した各梁とも、荷重が 15kN 程度において、補修したひび割れとは異なった場所より新たなひび割れが発生した。さらに载荷荷重が増加するに従って、梁の中央部近傍の補修を施しているひび割れが進行していき、破壊に至った。梁の中央部近傍のひび割れ幅が 0.4mm 程度と最大であったひび割れ一本については、载荷荷重に伴うひび割れの進行はほとんどなかったが、幅が 0.1mm 以下のひび割れ数本については、ひび割れの進行がはやかった。これは幅が 0.1mm 以下のひび割れへの補修材料の注入が困難であり、十分充填されていなかったためと考えられる。

図-7 に梁の C 材料による補修前と補修後梁の荷重-たわみ曲線を例として挙げる。C 材料は補修後、10%程度最大荷重が大きくなって

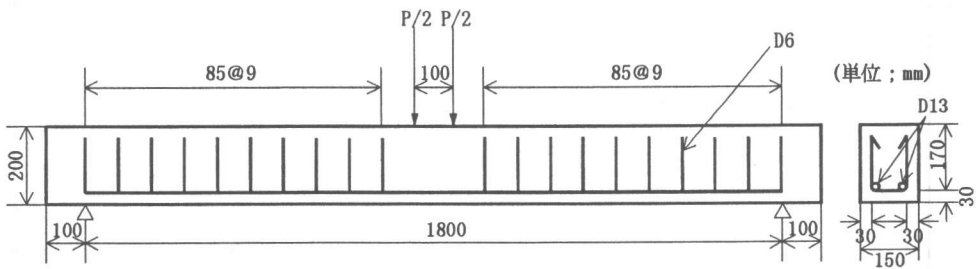


図-6 梁の寸法および形状

表-3 梁の示方配合表

$G_{max}$ (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)
20	8	4.5	44	44
単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
W	C	S	G	
172	394	737	975	

いることがわかる。なお、補修後には注入が困難な微細なひび割れが存在するため、荷重 - たわみ曲線の傾きが小さく、初期段階ではたわみ量は補修前に比べ大きく現れた。しかし、最大荷重に達した時のたわみ量はいずれも 4mm と同じとなった。他の材料でも同様な結果が得られた。図-8 に補修を施した各梁の荷重-たわみ曲線を示す。アクリル樹脂である B、C 材料は、エポキシ樹脂である A 材料とほぼ同じ曲線となった。

実際の梁の補修に使用する場合は、いずれの梁もそれほど差がなく、十分に荷重も回復しているため補修効果があると言えよう。

## 6. まとめ

- 1) 今回対象としたアクリル樹脂はエポキシ樹脂と同等以上の注入性能をもち、特に C 材料が優れていることが明らかとなった。
- 2) 供試体の曲げ破壊試験より、アクリル樹脂は破壊荷重ではエポキシ樹脂に劣るものの、ひび割れ追従性においてはエポキシ樹脂と比較して、非常に優れていることが明らかとなった。

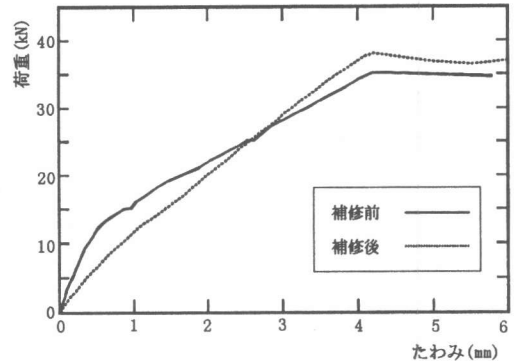


図-7 荷重-たわみ曲線(C 材料)

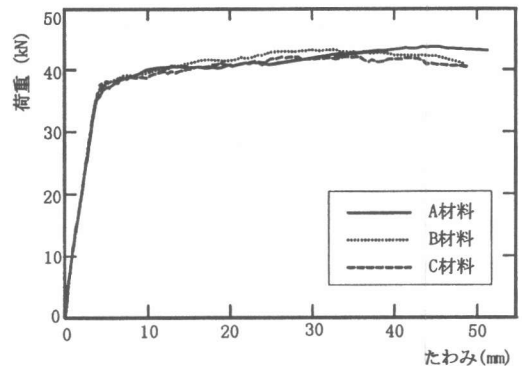


図-8 荷重-たわみ曲線

- 3) アクリル樹脂を実際の梁の補修に使用する場合、エポキシ樹脂で補修した場合とたわみにそれほど差が見られず、十分に荷重も回復しているため補修効果があると言えよう。

## 参考文献

- 1) 加藤利美, 菊池憲司, 梅原秀哲, 吉田彌智: 無機系ひびわれ注入材料による梁の補修効果, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.13, No.1, pp345-350, 1991.6
- 2) 岩田敬治: ポリウレタン樹脂ハンドブック, 日刊工業新聞社, 1987