

コンクリート補修材料への液状アクリルオリゴマーの応用

高機能材料研究所 第四研究グループ 森泰彦

1 はじめに

当社が米国SCジョンソン・ポリマー社より導入したSGO技術は、低分子量の液状アクリルポリマーが無溶剤で製造可能である事が一つの特徴である。この液状ポリマーは無溶剤型材料として数多くの用途への応用が期待できる。

本報ではコンクリートの補修材料として、現在主として用いられているエポキシ樹脂と比較し、その可能性を評価した。

2 コンクリートの劣化と補修

コンクリート構造物の欠陥・劣化を調べる際に、最も広く見られるものの一つにひび割れがある。ひび割れは、その幅が0.1mm以下なら通気・通水の心配はほとんどないが、0.2mm以上になると通気・通水し始めると言われている。また、そのひび割れが原因となって、内部鉄筋腐食などの二次的欠陥を招く。そのため、ひび割れによるコンクリート構造物の耐久性が問題となり、補修等により機能回復を図る必要がある。

コンクリート構造物のひび割れ補修の多くの場合において、注入工法が関連している¹⁾。そのため、補修材料のひび割れ部への注入や充填が主要かつ重要な行為となってくる。

一般的に使用されている補修材料として、無機系ではセメント系材料およびポリマーセメント系材料が、有機系ではエポキシ樹脂などが使われている。既往の研究より、無機系補修材料と比較してエポキシ樹脂の方が、補修効果が高いと言われている。

今回、SGO技術を利用したアクリル樹脂を用いて、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可能性について検討した。エポキシ樹脂と比較し、今回用いたアクリル樹脂では、ウレタン反応を利用しているため、低温硬化性や可撓性、臭気といった点での改良が期待できる。

3 使用材料

今回使用したアクリル樹脂は、ポリオール/イソシアネート系からなる2材反応硬化型のアクリルウレタン系無溶剤型材料である。主材は低分子量のアクリルポリオール、硬化材はMDI系の変性ポリイソシアネートである。

本実験では、比較のためのエポキシ樹脂1種類（以後EPと略

記）、アクリル樹脂2種類(以後A1、A2と略記)の計3種類を用いて実施した。

アクリル樹脂A1は可撓性を重視した処方、アクリル樹脂A2は、機械的物性をエポキシ樹脂に近く設定し、より低粘度化した処方である。

表1に補修材料の諸物性を示す。粘度の測定にはB型粘度計を用いて20℃で測定した。接着強度は建研式接着力試験器を用いて測定した。圧縮強度は、JIS K7208引張せん断強度はJIS K 6850、引張強度、伸び率はJIS K 7113に準じて測定した。

表1 補修材料の諸物性

		アクリル樹脂 (A1)	アクリル樹脂 (A2)	エポキシ樹脂 (EP)
主成分	主材	アクリルポリオール	アクリルポリオール	エポキシ樹脂
	硬化材	変性イソシアネート	変性イソシアネート	ポリアミン
主材：硬化材 混合割合		5:6	11:6	3:1
粘度 (Mpa-s)		1600	1100	1700
圧縮強度 (N/mm ²)		600	620	680
引張せん断強度 (N/mm ²)		110	150	160
引張強度 (N/mm ²)		20	42	52
伸び率 (%)		80	10	2
接着強度 (N/mm ²)		20以上で下地破壊		

4 注入試験

4.1 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。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性能を評価した。

本実験では、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。

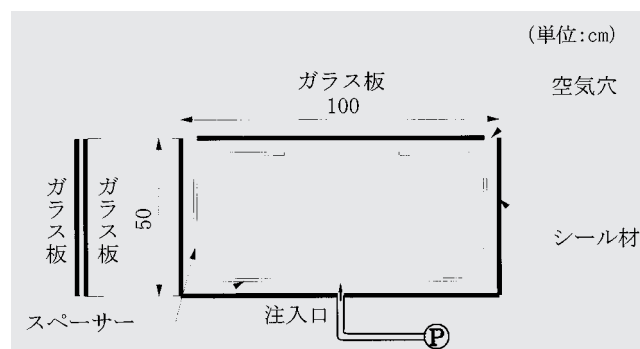


図1 ひび割れモデル

ガラス板の周囲には注入した補修材料が漏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、空気圧による注入障害を除いた。

本実験では注入圧を変化させ、注入圧による注入性能への影響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0.3、0.5mmの2水準、注入圧として0.10、0.15N/mm²の2水準、すなわち1材料につき4水準の条件で実施した。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。さらに、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も検討を行った。

4.2 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及び0.5mmの場合の注入面積と経過時間の関係を図2～5に示す。

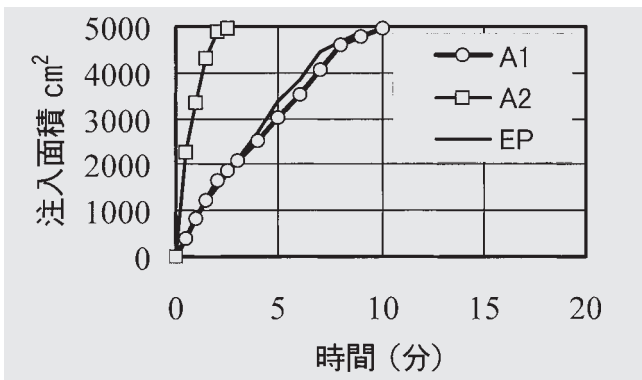


図2 注入面積と時間の関係(注入圧0.1N/mm²,注入幅0.3mm)

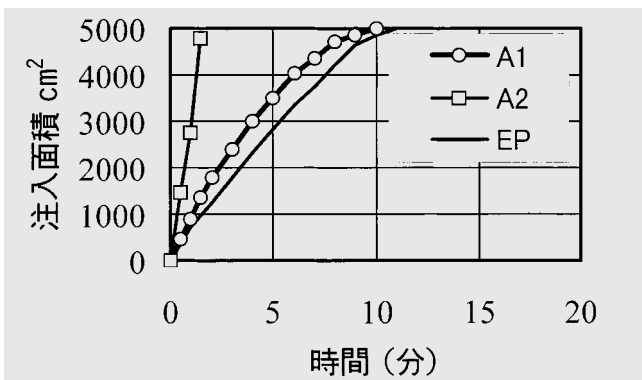


図3 注入面積と時間の関係(注入圧0.15N/mm²,注入幅0.3mm)

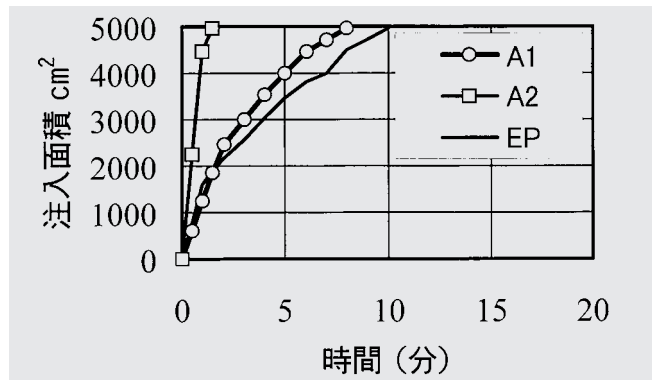


図4 注入面積と時間の関係(注入圧0.1N/mm²,注入幅0.5mm)

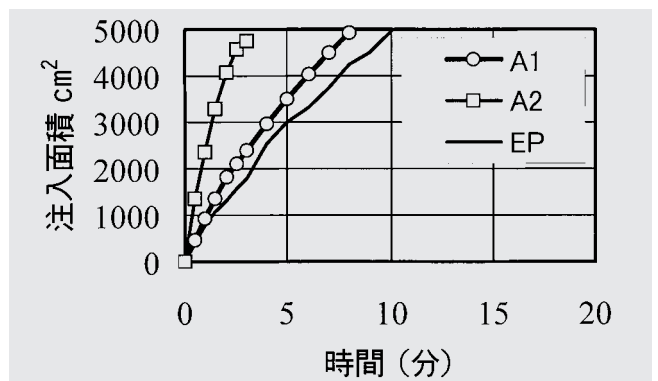


図5 注入面積と時間の関係(注入圧0.15N/mm²,注入幅0.5mm)

エポキシ樹脂EP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。また、エポキシ樹脂EPは注入幅が大きくなると、注入完了までの時間が長くなる傾向があった。アクリル樹脂A1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。

アクリル樹脂A2は粘度が低く、今回用いた補修材料の中でもっとも良い注入性能を示した。各注入圧、各注入幅においてほとんど違いは見られず、また他の補修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、施工条件や施工方法に左右されるものの、アクリル樹脂A1の注入性能は同程度の粘度であるエポキシ樹脂と同等であることが分かった。

5 コンクリート供試体の曲げ破壊試験

5.1 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。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、アクリル樹脂の補修材料としての接着性能及び追従性を調べた。

実験に用いた供試体の寸法・形状を図6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セメントである。

表2 供試体の示方配合表

Gmax (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)
20	10	2.0	43	46

単位量 (kg/m ³)			
W	C	S	G
172	394	737	975

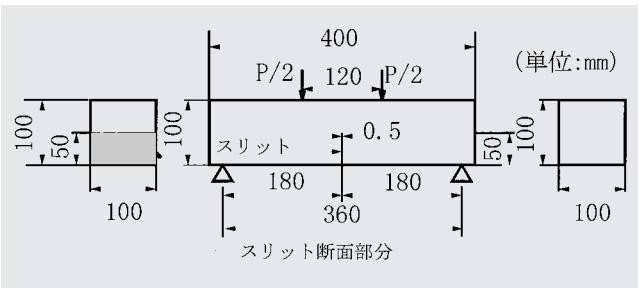


図6 供試体の寸法・形状

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6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6に示すように、荷重を載荷し、曲げ破壊させ、曲げ破壊荷重、およびスリット部分下面でのひずみを測定した。曲げ破壊試験により部材強度の回復、接着性能を補修効果として評価した。ひずみゲージによるひずみ測定によって、注入した補修材料のひび割れ追従性について評価した。

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、ひび割れ追従性に関しては、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従性が大きく、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従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、ひび割れ追従性を大きくする必要がある。

5.2 試験結果および考察

図7に各供試体の荷重 - ひずみ曲線を示す。

エポキシ樹脂EPの荷重 - ひずみ曲線の傾きはスリット無し

あるため、ひび割れ追従性はあまりないと言える。

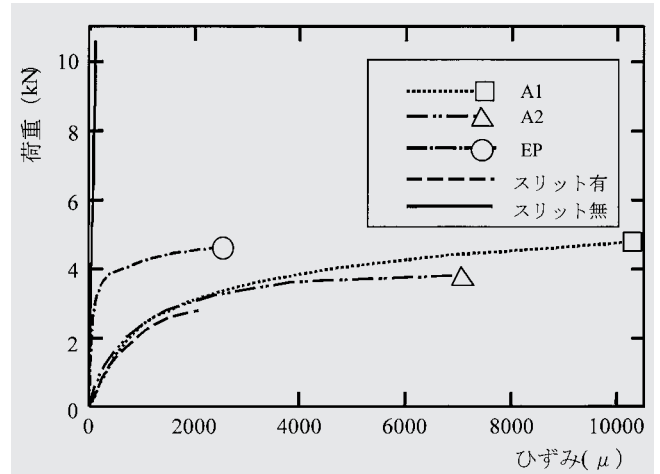


図7 荷重 - ひずみ曲線

アクリル樹脂であるA1、A2はスリット有りとは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、ひび割れ追従性は十分に期待できると思われる。

いずれの材料も破壊荷重はスリット無しの3～5割程度で、破壊荷重から補修効果の優劣をつけにくい結果となった。

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、ひび割れ追従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従性が期待できる。

6 鉄筋コンクリート梁の曲げ破壊試験

6.1 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8に、コンクリートの示方配合を表3に示す。

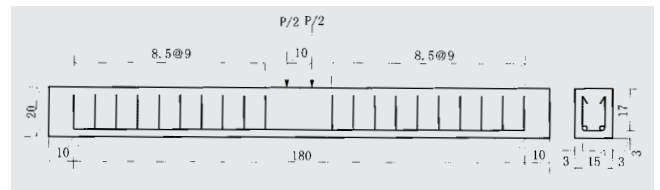


図8 梁の寸法及び形状

表3 梁の示方配合表

Gmax (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)
20	8	4.5	44	44

単位量 (kg/m ³)			
W	C	S	G
172	394	737	975

セメントは早強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 $f_{tk}=45\text{N/mm}^2$ 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。

6.2 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9に梁のアクリル樹脂A2の補修前と補修後の荷重-たわみ曲線を例として挙げる。補修後、10%程度荷重が大きくなっていることがわかる。またアクリル樹脂A1及びエポキシ樹脂EPについても5%程度荷重が大きくなっていた。したがって、アクリル樹脂はエポキシ樹脂と同程度の補修効果があることが明らかとなった。

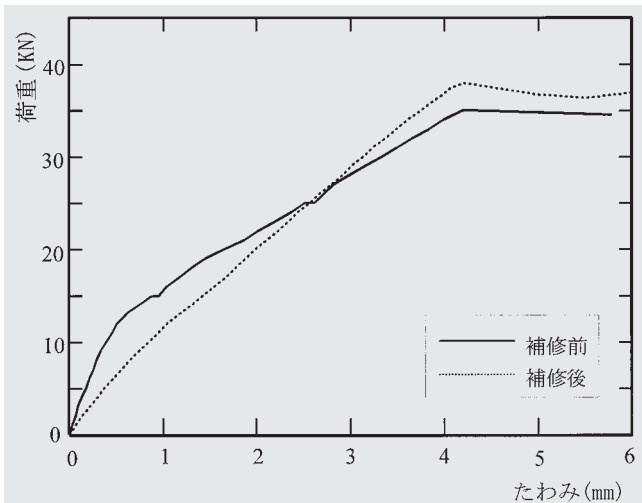


図9 荷重 - たわみ曲線 (アクリル樹脂A2)

図10に補修を施した各梁の荷重-たわみ曲線を示す。2種類のアクリル樹脂は、エポキシ樹脂EPとほぼ同じ曲線となり、今回の実験のような大変形領域下では、補修材による差は、ほとんど見られなかった。充填された補修材の性能差は実際の構造物で生じる、より複雑な微小変形領域での繰り返し载荷などの実験により確認する必要がある。実際の梁の補修に使用する場合は、いずれの梁もほとんど差はなく、アクリル樹脂の補修効果は、エポキシ樹脂と同等であると考えられる。

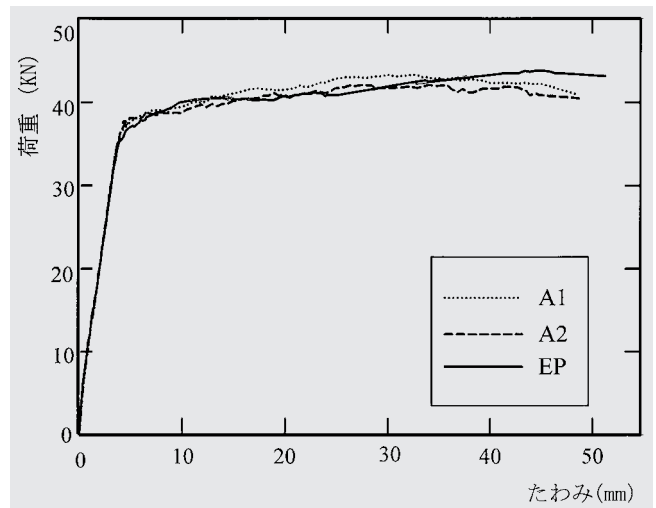


図9 荷重 - たわみ曲線(アクリル樹脂A2)

7 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の注入性能有していることが分かった。
- 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より、非常に優れていることが分かった。
- 3) アクリル樹脂を実際の梁の補修に使用する場合は、エポキシ樹脂で補修した場合と同程度の荷重回復が期待できることが分かった。一方、ひび割れ部の追従性は、大変形領域における荷重たわみ条件下では、有意差は見られなかった。

引用文献

- 1) 加藤利美, 菊池憲司, 梅原秀哲, 吉田彌智, コンクリート工学年次論文報告集13, 345 (1991)