

論文 Article

超低粘度エポキシ樹脂によるコンクリート構造物のひび割れ補修に関する研究

原稿受付 2015年5月8日

ものづくり大学紀要 第6号 (2015) 23~28

澤本武博^{*1}, 長谷川正幸^{*1}, 地頭菌博^{*2}^{*1}ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科^{*2}ダイヤリフォーム株式会社

A Study on Repair of Concrete Crack with Ultralow Viscosity Epoxy Resin

Takehiro SAWAMOTO^{*1}, Masayuki HASEGAWA^{*1} and Hiroshi JITOSONO^{*2}^{*1}Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*2}DIAREFORM Co.,Ltd.

Abstract

In this study, beams which have transverse tension cracks and diagonal tension cracks were repaired with ultralow viscosity epoxy resins. As a result, it was possible to pour the ultralow viscosity epoxy resin whose viscosity was 100-150mPa·s into the crack of the 0.05mm width by using the automatic low pressure injection method. When the repaired beams were loaded, central displacement and the situation of the crack at the time of permissible capacity load became similar to the beams before repairing.

Key Words : Reinforced concrete, Beam, Crack, Repair, Ultralow viscosity epoxy resin

1. はじめに

コンクリートのひび割れ補修に使用する注入材は、エポキシ樹脂が一般的である。エポキシ樹脂注入材には、ひび割れ幅に応じて、高粘度（グリス程度の粘度）、中粘度（マヨネーズ程度の粘度）および低粘度（1000mPa·s 以下で通常 400～500mPa·s 程度）があり、低粘度の中には粘度が 100～150mPa·s の超低粘度タイプもある¹⁾。

超低粘度タイプは 0.2mm 以下のひび割れ幅に使用されるが、超低粘度タイプを用い 0.05mm のひび割れ幅を有する実寸大サイズのコンクリート梁のひび割れを補修し効果を確認した例はほとんどない。

本研究では、まず 0.05mm のひび割れ幅を有する円柱供試体を用いた簡易試験^{2,3,4)}で、超低粘度タイプのエポキシ樹脂によるひび割れ補修部の割

裂引張強度を確認し、その後、曲げひび割れおよびせん断ひび割れの発生した実大梁試験体を補修し、載荷試験を行うことで構造体としての補修効果を確認した。

2. 簡易試験体による評価

2.1 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表 1 に示す。実験に用いたコンクリートは、呼び強度 27 のレディーミクストコンクリートである。セメントには普通ポルトランドセメントを、細骨材には栃木県栃木市尻内町産陸砂を、粗骨材には栃木県栃木市尻内町産砕石を用いた。また、化学混和剤には AE 減水剤を用いた。

2.2 簡易試験体の作製

簡易試験体には JIS A 1132 に準じて作製した φ

Table 1 Mix proportion

Nominal strength	W/C (%)	Slump (cm)	Unit content (kg/m ³)				
			W	C	S	G	Ad
27	53.5	18	182	341	822	924	4.09

Table 2 Tensile strength test results

Specimen	Tensile strength (N/mm ²)	
	Before repairing	After repairing
No.1	2.21	1.51
No.2	1.81	2.37
No.3	2.24	1.49
No.4	2.33	2.10
No.5	2.00	1.08
No.6	2.34	1.95
No.7	1.89	1.24
No.8	1.99	2.76
No.9	1.92	2.35
No.10	2.43	2.74
No.11	2.02	2.49
No.12	2.19	3.01
Average	2.11	2.09
Standard deviation	0.20	0.64
Coefficient of variation	9.5%	30.5%

100mm×200mm の円柱供試体を用い、図 1～図 7 の手順で行った。

供試体割裂の様子を図 1 に示す。模擬ひび割れを作製するため、圧縮試験機の加圧板に三角エッジを取り付けて加圧し、加圧箇所以外の部分に荷重が分散しないように配慮して供試体を割裂した。

模擬ひび割れ作製の様子を図 2 に示す。割裂した供試体を、結束バンドを用い、ひび割れ幅が 0.05mm となるように締め付けた。その後注入治具を上端面に取り付け、図 3 のようにひび割れ部分はシール材でシーリングを行った。

エポキシ樹脂には、JIS A 6024 に適合した硬質形で超低粘度タイプ (粘度 105mPa·s) を用いることとし、図 4 のように主剤と硬化剤を 3 対 1 の割合で混合し、図 5 のように自動式低圧注入工法で簡易試験体のひび割れに注入した。エポキシ樹脂の注入治具への充填は、グリスガンを用いて行い、エポキシ樹脂を注入した翌日、図 6 のように注入器具、シール材、結束バンドを除去した。

2.3 簡易試験体による割裂引張強度試験

試験体の本数は、簡易試験体の模擬ひび割れを



Fig.1 Method of splitting specimens

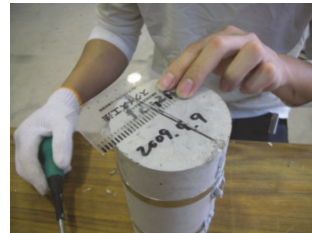


Fig.2 Control of crack width

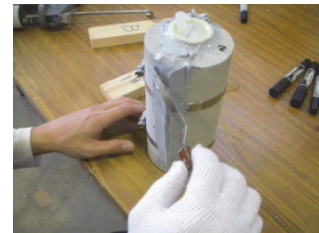


Fig.3 Seal of concrete cracks



Fig.4 Preparation of ultralow viscosity epoxy resin



Fig.5 Injection of epoxy resin into concrete cracks



Fig.6 Removal of sealing material



Fig.7 Tensile strength test

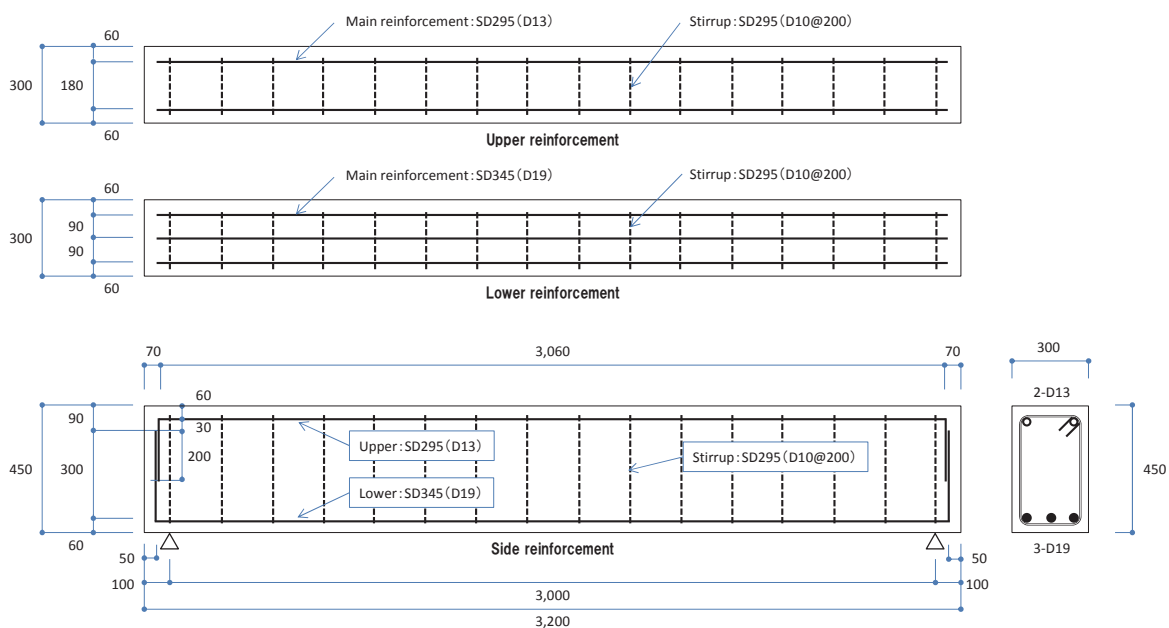


Fig.8 Plan of beam for rupture in bending (M type)

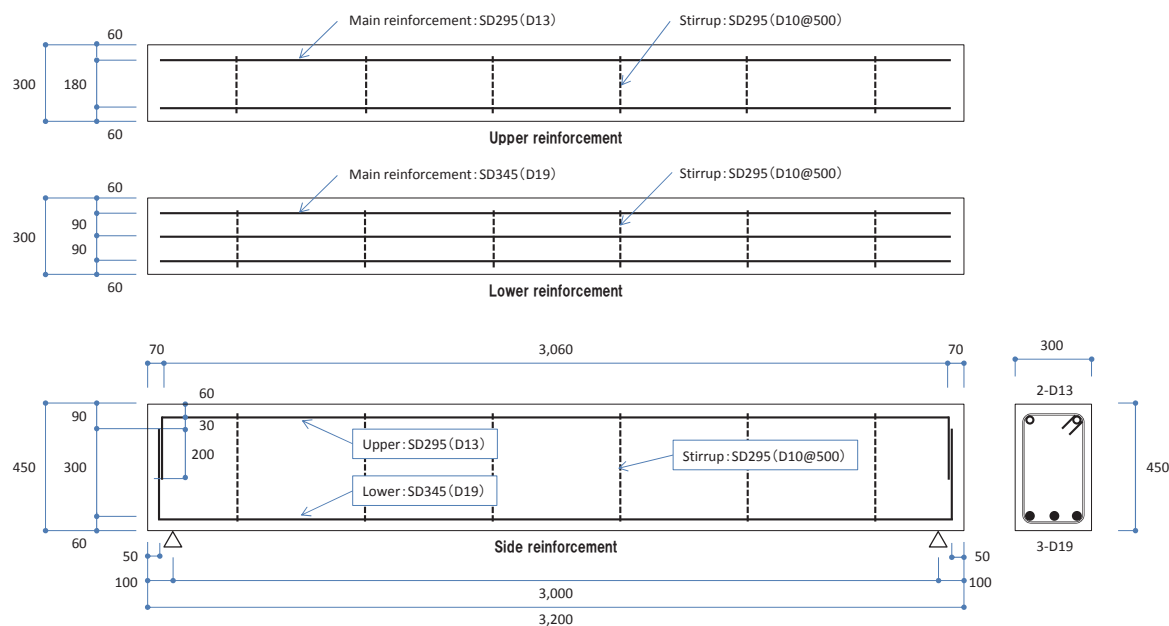


Fig.9 Plan of beam for shear failure (Q type)

作製する際にひび割れ幅に多少のばらつきが生じるため、12本とした。割裂強度試験の様子を図7に示す。割裂引張強度試験は、JIS A 1113に準じ、ひび割れ補修を行った箇所に載荷した。なお、載荷試験は、エポキシ樹脂を注入してから1週間後に行った。また、比較のため、ひび割れの無い円柱供試体についても割裂引張強度試験を行った。

実験結果を表2に示す。ひび割れの無い円柱供試体の割裂引張強度は、最大で 2.43N/mm^2 、最小で 1.81N/mm^2 、平均値で 2.11N/mm^2 となり、模擬

ひび割れを補修した簡易試験体の割裂引張強度は、最大で 3.01N/mm^2 、最小で 1.24N/mm^2 、平均値で 2.09N/mm^2 となった。補修後の割裂引張強度が大きくなるのは、ひび割れ部に十分エポキシ樹脂が注入され、エポキシ樹脂の方が母材コンクリートより強度が大きいためと考えられる。一方、割裂引張強度が小さくなる場合は、簡易試験体のひび割れ幅を 0.05mm に調整はしているものの、 0.05mm より小さいひび割れも存在することが考えられ、エポキシ樹脂の注入が行き届かない箇所

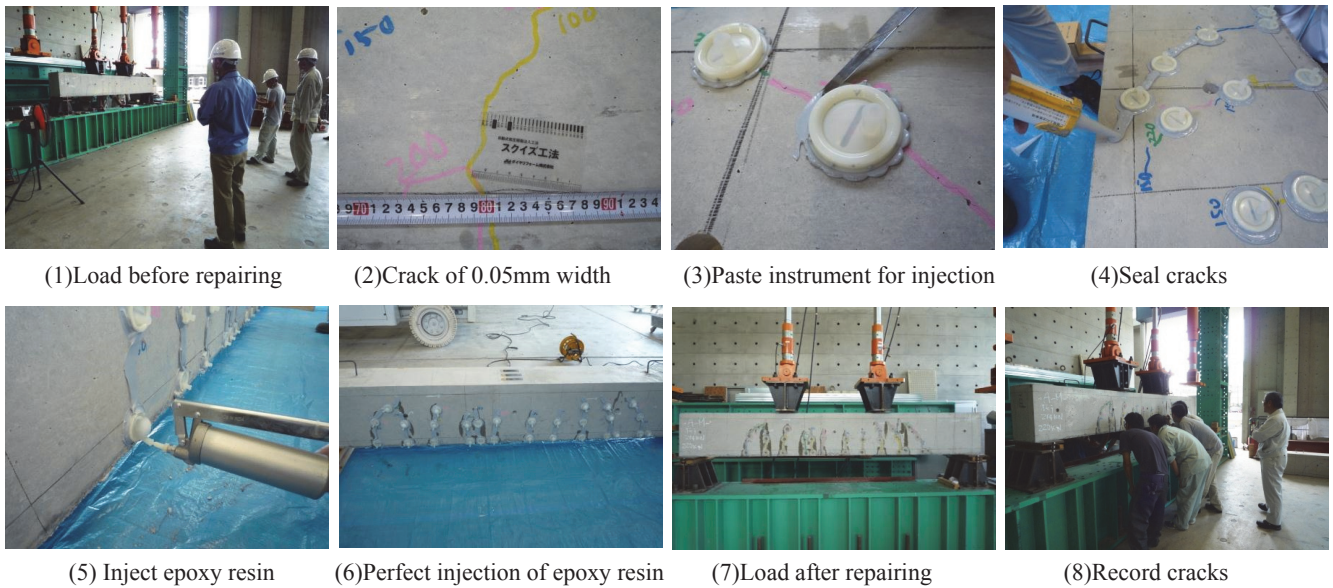


Fig.10 Procedure for test of beams

が若干の生じた可能性がある。そのため、模擬ひび割れを補修した簡易試験体の方が、ひび割れない円柱供試体より割裂引張強度のばらつきが大きくなる傾向にはあるが、平均値はほぼ同じ値となり、今回の簡易試験による評価で超低粘度タイプのエポキシ樹脂を自動式低圧注入工法で注入することにより、0.05mm のひび割れを概ね補修できたと評価できる。

3. 実大梁試験体による評価

3.1 コンクリートの配合

コンクリートの配合は2.1の表1と同じであり、呼び強度 27 のレディーミクストコンクリートを用いた。

3.2 実大梁試験体の作製

実験では、幅 300mm、高さ 450mm、長さ 3200mm の曲げ降伏型 (M 型) およびせん断破壊型 (Q 型) の 2 種類の梁試験体を作製した。梁試験体の図面をそれぞれ図 8 および図 9 に示す。いずれの梁試験体も上端筋には D13 を、下端筋には D19 を、あばら筋には D10 を配筋した。配筋で上端筋 2 本、下端筋 3 本は同じとして、あばら筋の間隔を M 型は 200mm、Q 型は 500mm とした。

3.3 補修前の実大梁試験体の荷重試験

梁試験体の荷重試験では、モーメント長を 1000mm とし、M 型が 220kN (最大荷重)、Q 型

が 200kN (最大荷重) まで荷重を行い、ひび割れの進展、中央変位を測定した。そして、除荷後、ひび割れの状態 (ひび割れ幅、ひび割れ長さ) を記録した。なお、今回の実験では、コンクリートがずれるような大きなせん断ひび割れは入らなかった。荷重試験の様子を図 10(1)に示す。

3.4 ひび割れの補修

注入治具は側面のひび割れ面に取り付け、またひび割れはシール材でシールした。注入材には 2 章と同じエポキシ樹脂系の超低粘度タイプ (粘度 105mPa・s) を用いた。注入には自動式低圧注入工法を用い、梁試験体に取り付けた治具にグリスガンを用いて行った。ひび割れ補修の様子を図 10(2)～図 10(6)に示す。

3.5 補修後の実大梁試験体の荷重試験

補修後の梁試験体の荷重試験は、補修前の試験と同様に M 型が 220kN、Q 型が 200kN まで荷重を行い、所定の荷重においてひび割れの状態を記録した。また、中央変位も測定した。なお、荷重試験は、エポキシ樹脂を注入してから 1 週間後に行った。

補修前のひび割れおよび補修後のひび割れを、それぞれ図 11 および図 12 に示す。また、補修前のひび割れおよび補修後のひび割れを重ね合わせたものを図 13 に示す。M 型、Q 型いずれの場合にも、補修後の荷重試験によるひび割れは、補修前のひび割れ位置の近傍に発生する傾向にあり、

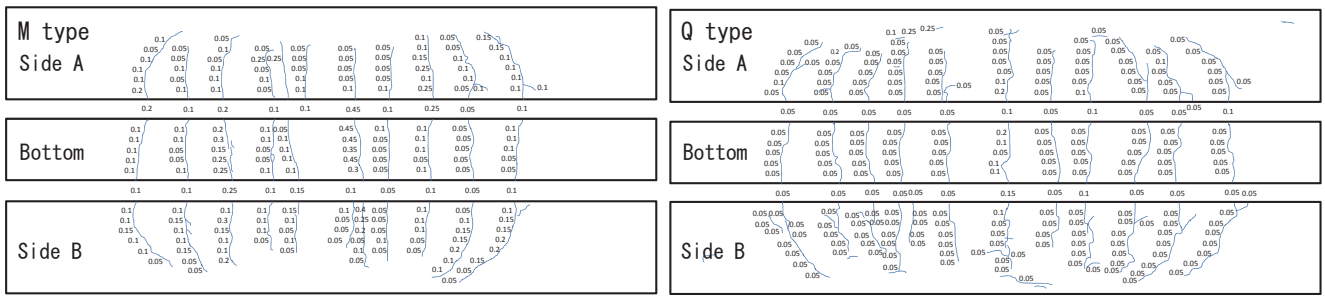


Fig. 11 Loading test (cracks of beam before repairing)

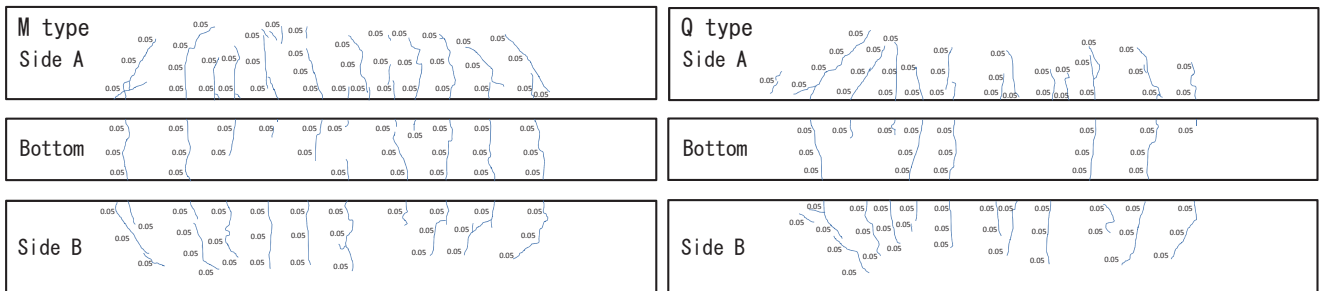


Fig. 12 Loading test (cracks of beam after repairing)

Thin line: Cracks of beams before repairing
Thick line: Cracks of beams after repairing

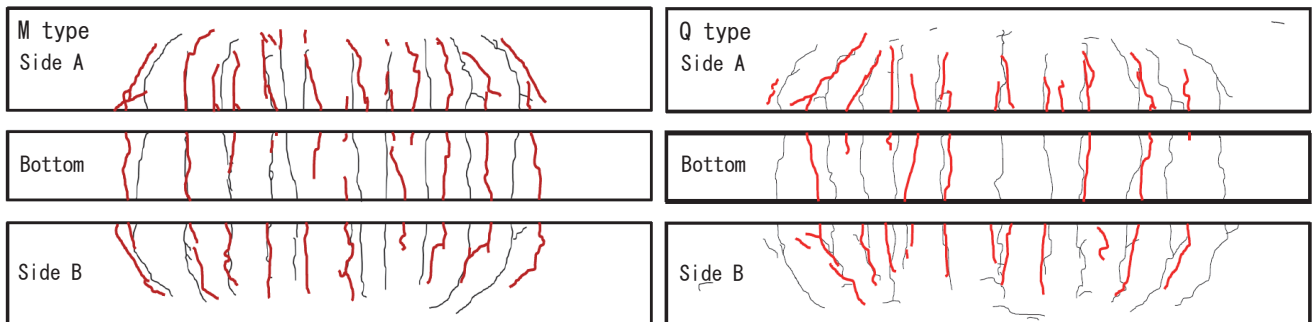


Fig. 13 Loading test (cracks of beams before and after repairing)

Table 3 Number of cracks and average of crack width before and after repairing

M type	Surface	Number of craks	Minimum of crack width	Average of crack width
Before repairing	Side A	11	0.05mm	0.11mm
	Bottom	10	0.05mm	0.13mm
	Side B	11	0.05mm	0.11mm
After repairing	Side A	13	0.05mm	0.05mm
	Bottom	10	0.05mm	0.05mm
	Side B	11	0.05mm	0.05mm

Q type	Surface	Number of craks	Minimum of crack width	Average of crack width
Before repairing	Side A	12	0.05mm	0.06mm
	Bottom	11	0.05mm	0.06mm
	Side B	12	0.05mm	0.05mm
After repairing	Side A	13	0.05mm	0.05mm
	Bottom	8	0.05mm	0.05mm
	Side B	12	0.05mm	0.05mm

同じ位置にひび割れが発生することはなかった。これは、ひび割れ幅が 0.05mm 程度の微細なひび割れにも超低粘度タイプのエポキシ樹脂が自動式低圧注入工法で十分に注入され、元のひび割れ部が強固になったためと考えられる。

発生したひび割れの本数およびひび割れ幅を表 3 に示す。M 型では、補修前と補修後の载荷にお

けるひび割れ本数はほぼ同じとなった。一方、除荷後のひび割れ幅は、補修後の方が小さくなったが最大荷重における中央変位が補修前と補修後ともに 10mm であったため、最大荷重時のひび割れ幅は同じであったと考えられる。

Q 型でも、M 型と同様に、ひび割れの本数は補修前と補修後でほぼ同じであった。また、除荷後

のひび割れ幅も補修前と補修後ではほぼ同じであり、最大荷重時の中央変位もともに 9mm であった。

4. まとめ

- (1) 簡易試験体により、粘度 100~150mPa・s の超低粘度のエポキシ樹脂を自動式低圧注入工法で注入することにより、0.05mm 幅のひび割れの補修効果を確認できた。
- (2) 0.05mm のひび割れ幅を有する実大梁試験体に、自動式低圧注入工法を用いて、粘度 100~150mPa・s の超低粘度のエポキシ樹脂を注入することが可能であった。また、注入後の梁試験体の載荷試験では、補修前の梁試験体の載荷試験とほぼ同様のひび割れ状態で、最大荷重時の中央変位もほぼ同様となり、補修効果が確認できた。

謝 辞

本研究を行うにあたり、澤本研究室の学部 4 年生、ならびに RC 構造物総合実習 II の非常勤講師の先生方、授業を履修した学部生に多大なご協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

文 献

- 1) 低圧樹脂注入工法協議会：自動式低圧樹脂注入工法ガイドブック，2008
- 2) 後藤正明，土田祥彬，澤本武博，地頭菌博：ひび割れにエポキシ樹脂を注入したコンクリートの圧縮強度および引張強度特性に関する研究，ものづくり大学紀要，No.2，pp.42-47，2011
- 3) 土田祥彬，澤本武博，飛内圭之，地頭菌博：ひび割れを補修したコンクリートの強度特性に関する研究，ものづくり大学紀要，No.3，pp.56-61，2012
- 4) 望月昭宏，土田祥彬，澤本武博，飛内圭之，地頭菌博：ひび割れを補修したコンクリートの力学的性質の評価方法に関する研究，シンポジウムコンクリート構造物の非破壊検査論文集，Vol.4，pp.375-378，2012