

論文 Article

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

原稿受付 2011年4月5日

ものづくり大学紀要 第2号 (2011) 42~47

後藤正明^{*1}, 土田祥彬^{*1}, 澤本武博^{*2}, 地頭菌博^{*3}^{*1}ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 大学院生^{*2}ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科^{*3}ダイヤリフォーム株式会社

A Study on Compressive and Tensile Strength of Concrete Repaired Crack by Injecting Epoxy Resins

Masaaki GOTO^{*1}, Yoshiaki TSUCHIDA^{*1}, Takehiro SAWAMOTO^{*2} and Hiroshi JITOZONO^{*3}^{*1} Graduate student. Graduate school of Technologists, Institute of Technologists^{*2} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*3} DIAREFORM Co. Ltd.

Abstract

In general, concrete is repaired with injecting repair materials when the concrete crack is 0.2mm or more. The flexural strength of concrete which includes the concrete crack repaired with injection has been tested to confirm the effect until now. However the axial strength has been hardly tested. In this study, the compressive and the tensile strength of concrete which repaired crack by injecting epoxy resins were investigated. As a result, the compressive strength of concrete repaired crack whose width was from 0.2mm to 1.0mm was higher than non-defective concrete up to nominal strength 40. Furthermore, the tensile strength was more effective than compressive strength by injecting epoxy resins into the crack when concrete strength was not very high. In case of nominal strength 24, the tensile strength of specimen which repaired crack increased about 20% compared with the non-defective concrete specimen. In case of nominal strength 60, the compressive and tensile strength of concrete which repaired crack was the same as that of the non-defective concrete. The method using the cylindrical specimens ($\phi 100\text{mm}$ by 200mm) with controlled crack width can be more effective to examine the axial strength.

Key Words : Concrete, Repair, Epoxy resins, Injection, Crack, Strength, Elastic modulus of elasticity

5. はじめに

コンクリートに発生したひび割れの補修方法には、微細なひび割れを補修するひび割れ被覆工法、主として幅 0.2mm を超えるひび割れに、有機系または無機系の補修材料を注入する注入工法、0.5mm 以上の比較的大きなひび割れや、動きのあるひび割れに対する充填工法が代表的であり、そ

の中で最も多く採用されている補修工法は注入工法である^{1,2)}。

一般的に使用されている補修材料として、無機系では、セメント系およびポリマーセメント系の材料を使用し、有機系では、エポキシ樹脂やアクリル樹脂などの材料が使用されているが、最も多く採用されている材料はエポキシ樹脂である。既往の研究より、無機系補修材料と比較して、エポ

Table 1 Row materials of concrete

Cement	Ordinary portland cement (Density : 3.16g/cm ³)
Fine aggregate	Sand (Density under saturated surface-dry condition : 2.61g/cm ³ , Fineness modules : 2.75)
Coarse aggregate	Crushed stone (Maximum size of coarse aggregate : 20mm, Density under saturated surface-dry condition : 2.64g/cm ³ , Percentage of solid volume : 59.0%) Crushed lime stone (Maximum size of coarse aggregate : 20mm, Density under saturated surface-dry condition : 2.70g/cm ³ , Percentage of solid volume : 60.0%)
Chemical admixture	Water-reducing and air-entraining admixture High-range water-reducing and air-entraining admixture

Table 3 Number of test pieces

Nominal strength	Crack width (mm)	Number of test pieces	
		Compressive strength	Tensile strength
24	Base	12	12
	0.2	12	12
	0.4	12	-
	1.0	12	
40	Base	12	12
	0.2	12	12
	0.4	12	12
	1.0	12	12
60	Base	12	12
	0.2	12	12
	0.4	12	-
	1.0	12	
Total		144	96

Table 2 Mix proportions and test results

Nominal strength	W/C (%)	s/a (%)	Slump or slump flow (cm)	Air content (%)	Unit content (kg/m ³)					Test result		
					W	C	S	G	Ad	Slump or slump flow (cm)	Air content (%)	Compressive strength at 28 days (N/mm ²)
24	58.5	48.5	18±2.5	4.5±1.5	181	310	856	919 ^{*1}	3.720 ^{*3}	18.5	3.0	29.7
40	42.0	46.1			170	405	791	935 ^{*1}	3.645 ^{*4}	17.5	4.5	61.3
60	31.0	48.4	60±10		170	549	773	851 ^{*2}	7.686 ^{*4}	52.5	4.8	78.3

*1 : Crushed stone

*2 : Chushed lime stone

*3 : Water-reducing and air-entraining admixture

*4 : High-range water-reducing and air-entraining admixture

キシ樹脂の方が、補修効果が高いと言われているが、その効果の研究は曲げ強度試験によって行われるのが一般的であり、圧縮強度のような軸力についての検討や、引張強度について実験を行った例はほとんどない。

本研究では、コンクリートの強度およびひび割れ幅を変化させた試験体に対して、自動式低圧エポキシ樹脂注入工法（以下、低圧工法と略記）で補修した場合の圧縮強度、割裂引張強度および静弾性係数について検討を行った。

6. 実験概要

6.1 コンクリートの配合および試験水準

使用した材料を表 1 に示す。セメントは普通ポ

ルトランドセメントを使用し、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、呼び強度 60 の場合には栃木県佐野市会沢町産石灰岩砕石を用いた。また化学混和剤には、AE 減水剤および高性能 AE 減水剤を用いた。

コンクリートの配合、フレッシュ性状および材齢 28 日における標準養生供試体の圧縮強度を表 2 に示す。

今回の実験では、呼び強度が 24、40 および 60（以下、SL24、SL40、SL60 と略記）のレディーミクストコンクリートを用いて作製した供試体に、ひび割れ幅が 0.2、0.4、1.0mm となるような模擬ひび割れを作製し、その後ひび割れ箇所にエポキシ樹脂を低圧注入して補修した。試験水準および

作製した試験体の本数は表 3 に示すように、各水準それぞれ 12 本ずつ試験体を作製した。なお、割裂引張強度試験では、SL40 の場合のみ、0.2、0.4、1.0mm のひび割れ幅の試験体を作製した。また、比較用にひび割れ補修した試験体と同一養生のひび割れのない試験体（以下、ベースと略記）も作製した。

6.2 試験体の作製方法

6.2.1 供試体の作製および養生方法 供試体は、各配合とも $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ の円柱とし、材齢 7 日で脱型後、材齢 28 日まで、温度 20°C 、相対湿度 60% の環境下で気中養生を行った。供試体の作製方法は JIS A 1132 に準じて行った。なお、本研究では、模擬ひび割れを作製する前のもを供試体、補修したものを試験体（ベースも含む）と呼ぶこととした。

6.2.2 供試体の割裂 模擬ひび割れを作製するため、図 1 に示すように、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。

6.2.3 模擬ひび割れ試験体の作製方法 割裂した供試体を、結束バンドを用いて所定のひび割れ幅となるように締め付けた。締め付け位置は、上端、下端より 30mm ほど離れた位置とした。結束バンドの締め付け位置のみ、予めシーリングを施しておき、クラックスケールで確認しながら所定のひび割れ幅になるように締め付けた。次に、注入器具を上端面に取り付け、残りのひび割れ箇所はすべてシール材でシーリングを施した。作製時の状況を図 2 に示す。

6.2.4 エポキシ樹脂の注入方法 エポキシ樹脂の注入には、グリスポンプを使用した。使用したエポキシ樹脂は、JIS A 6024 (2008) 「建築補修用注入エポキシ樹脂」に適合した硬質形で低粘度形の一般用を用いた。注入は予め計算しておいた注入量を目安に、注入器具が白く変色するまで注入を行った。作業時の状況を図 3 に示す。

6.2.5 エポキシ樹脂注入後の作業方法 エポキシ樹脂注入後 7 日経過した後、注入器具、シール材、結束バンドを取り外し、試験体上面および下面の研磨を行った。そして、圧縮強度および



Fig. 1 Method of splitting specimens



Fig. 2 Control of crack width and preparation of injecting epoxy resins



Fig. 3 Injection of epoxy resins into concrete cracks

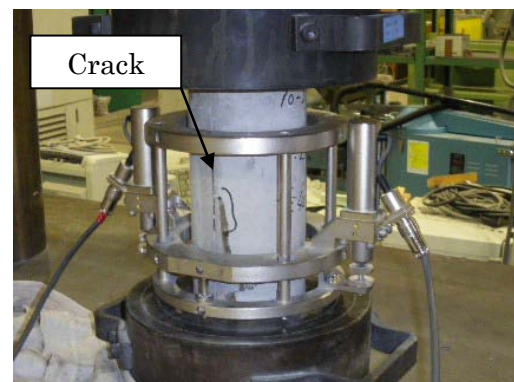


Fig. 4 Compressive strength test

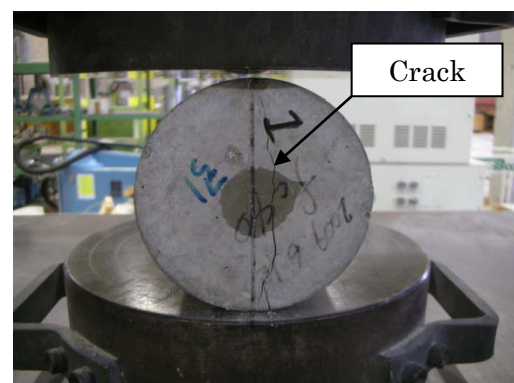


Fig. 5 Splitting tensile strength test

割裂引張強度試験を行う材齢 3 ヶ月まで、試験室内に保管した。

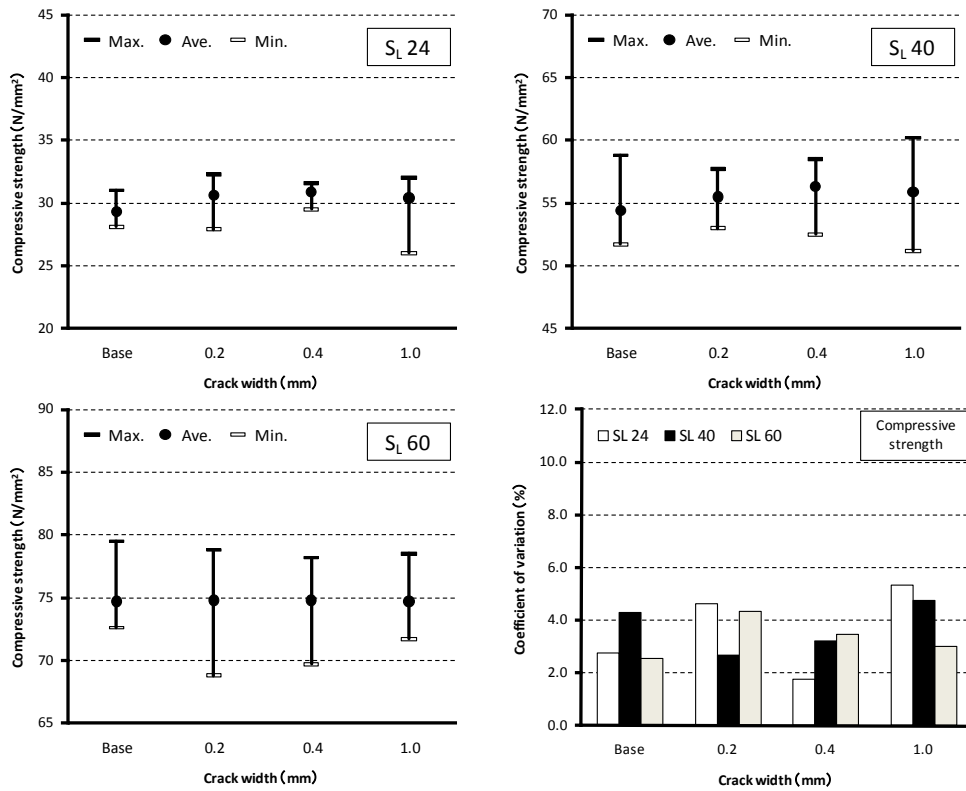


Fig. 6 Effect of crack width on compressive strength of concrete repaired crack

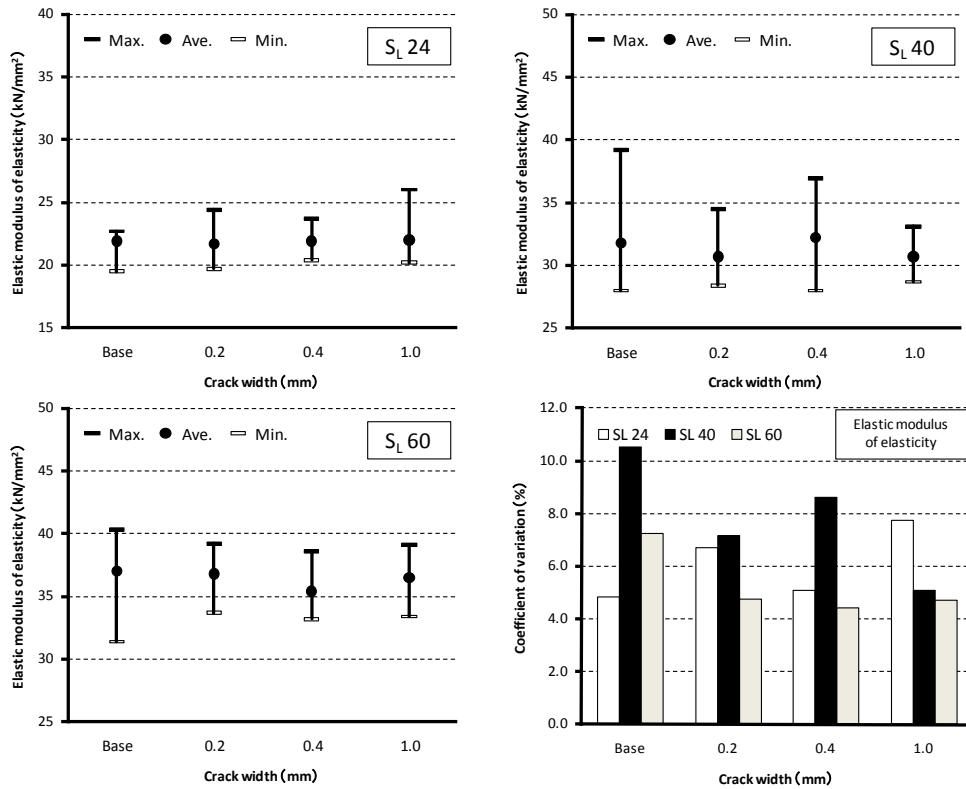


Fig. 7 Effect of crack width on elastic modulus of elasticity of concrete repaired crack

6.2.6 圧縮強度および静弾性係数試験 試験体の圧縮強度および静弾性係数試験は、それぞれ

れ JIS A 1108 および JIS A 1149 に準じて行った。試験時の状況を図 4 に示す。

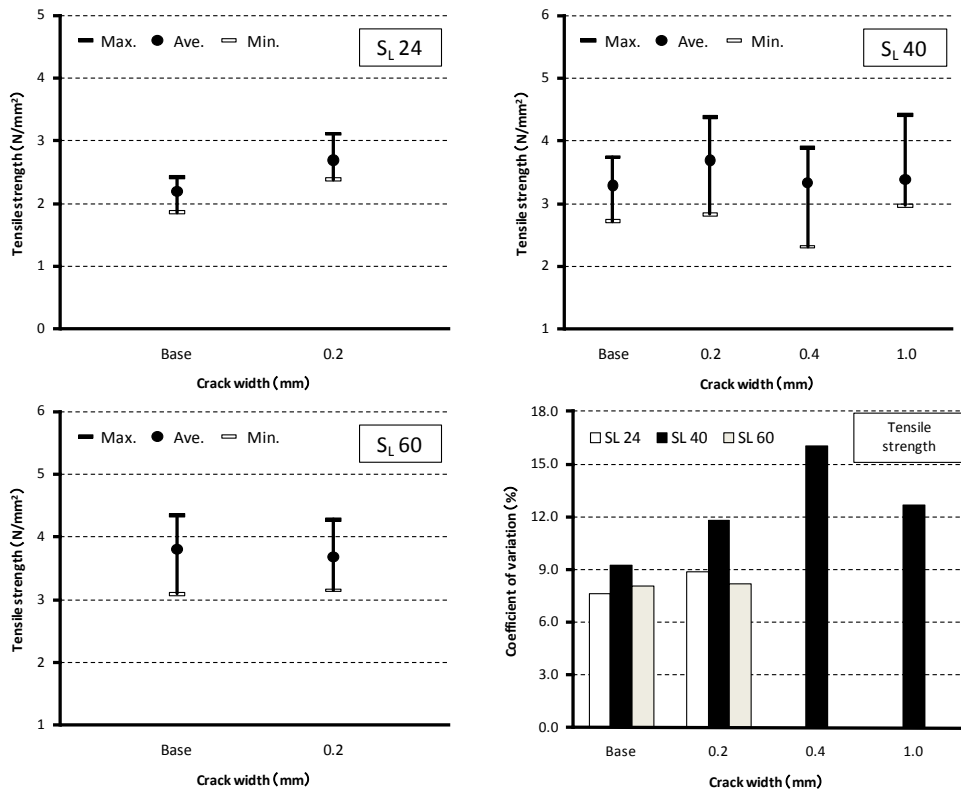


Fig. 8 Effect of crack width on splitting tensile strength of concrete repaired crack

6.2.7 割裂引張強度試験 割裂引張強度試験は、図5に示すように、ひび割れ補修を行った箇所に荷重を載荷し、試験方法はJIS A 1113に準じた。

7. 実験結果および考察

7.1 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験結果を図6に示す。補修後の試験体の圧縮強度の平均値は、SL24およびSL40の場合、ベースよりも高い強度を示し、エポキシ樹脂による若干の強度増加が見受けられた。SL60のように、75N/mm²程度の強度レベルでもベースと同程度の強度を示した。これは、エポキシ樹脂がセメントペーストよりも強度が大きいこと、低圧工法によってひび割れ界面の微細なひび割れまでエポキシ樹脂が充填され、ひび割れ部が強固となったことが原因と考えられる。最大値・最小値の差は、呼び強度が高くなるほど、また、ひび割れ幅が広くなるほど増大する傾向にあった。変動係数も、ひび割れ幅が広くなるほど大きくなる傾向が認められるものの、概ね5%未満であった。

7.2 静弾性係数試験結果

静弾性係数試験結果を図7に示す。静弾性係数の平均値は、呼び強度、またひび割れ幅に関係なくベースとほぼ同程度であった。SL24およびSL40において、ひび割れ部を低圧工法で補修することによって圧縮強度は大きくなったが、静弾性係数はベースと同程度となった。これは、静弾性係数がコンクリートの弾性範囲内で測定するため、エポキシ樹脂の補修効果が弾性範囲を超えてから現れ始めるためと考えられる。最大値・最小値の差も、平均値と同様にベースと同程度であった。変動係数に関しては、ひび割れ幅の変化による増加は見受けられなかった。

7.3 割裂引張強度試験結果

割裂引張強度試験結果を図8に示す。SL24の場合、0.2mmのひび割れを低圧工法で補修することによって、20%程度割裂引張強度が増加した。SL40の場合、補修した試験体の割裂引張強度の平均値は、ベースよりも高い強度を示したが、最大値・最小値の範囲は、ひび割れ幅が大きくなるほど若干広く、また変動係数も大きくなる傾向にあった。SL60の場合、ひび割れ幅が0.2mmのみではあ

るが、割裂引張強度の平均値はベースと同程度であった。これらのことは、エポキシ樹脂を用いてひび割れを低圧工法で補修することによって、ひび割れ周辺部の脆弱部にもエポキシ樹脂が充填されることによって、ベースと同程度以上の強度が得られたものと思われる。また、その傾向は強度レベルが低い方が顕著であった。

8. まとめ

模擬ひび割れを作製し、低圧工法で補修した試験体の圧縮強度、割裂引張強度および静弾性係数を検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 圧縮強度の平均値は、ひび割れ幅 0.2~1.0mm の範囲において、SL24 および SL40 ではベースよりも高い強度を示し、SL60 では同程度の強度となった。
- (2) 圧縮強度の最大値・最小値の差は、強度レベルが高くなるほど、またひび割れ幅が大きくなるほど大きくなったが、変動係数は概ね 5% 未満であった。
- (3) 静弾性係数の平均値は、強度レベル、ひび割れ幅に関係なく、ほぼそれぞれのベースと同程度の値となった。

- (4) 割裂引張強度の平均値は、SL24 では補修後の方がベースよりも高い強度を示したが、SL40 および SL60 では同程度の強度となった。
- (5) 今回実験を行ったように、 $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の円柱供試体を一度割裂し、模擬ひび割れを作製した試験体を用いることで、補修材料や補修工法の簡易な評価方法として適用できる可能性が示された。

謝 辞

本研究を行うにあたり、澤本研究室の織茂剛氏、萱沼了氏、荒井優志氏、上村佑介氏、西謙一氏より多大な御協力を頂きました。ここに記して深謝いたします。

文 献

- 1) 瀬野康弘, 魚本健人: ひび割れ注入補修における注入性状に及ぼす要因に関する実験的検討, コンクリート工学論文集, Vol.19, No.1, (2008) pp.11-19
- 2) 日本コンクリート工学協会: コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針-2009-, (2009) pp.126-129
- 3) 森泰彦: 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, 東亜合成研究年報, (2), (1999) pp.56-59