

論文 Article

## 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

原稿受付 2012年4月2日

ものづくり大学紀要 第3号 (2012) 56~61

土田祥彬<sup>\*1</sup>, 澤本武博<sup>\*2</sup>, 飛内圭之<sup>\*2</sup>, 地頭菌博<sup>\*3</sup><sup>\*1</sup> 石川生コン株式会社 (ものづくり大学大学院 ものづくり学研究所 修了)<sup>\*2</sup> ものづくり大学 技能工学部 建設学科<sup>\*3</sup> ダイヤリフォーム株式会社

## A Study on Strength Properties of Concrete Repaired Crack

Yoshiaki TSUCHIDA<sup>\*1</sup>, Takehiro SAWAMOTO<sup>\*1</sup>, Keishi TOBINAI<sup>\*2</sup> and Hiroshi JITOSONO<sup>\*3</sup><sup>\*1</sup> ISHIKAWA-NAMAKON Co. Ltd. (Graduate, Institute of Technologists)<sup>\*2</sup> Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists<sup>\*3</sup> 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. However, the axial strength has been hardly tested. In this study, the compressive and the tensile strength of concrete which repaired cracks by injecting epoxy resins and polymer-cement paste were investigated. As a result, in case of injecting epoxy resins, the compressive strength of concrete repaired crack whose width was from 0.2mm to 1.0mm was higher than non-defective concrete up to normal strength 40. Furthermore, the tensile strength was more effective than compressive strength. At nominal strength 60, the compressive and tensile strength of concrete which repaired cracks were the same as that of the non-defective concrete. In case of injecting polymer-cement paste, the compressive strength and tensile strength of concrete which repaired cracks were lower than non-defective concrete exceed in nominal strength 40.

**Key Words** : Concrete , Crack , Repair , Epoxy resins , Polymer-cement paste

## 1. はじめに

コンクリートは構造物に所要の性能を付与することが容易で経済的な材料である。そのため、土木や建築の構造物の主要材料として活用されており、公共施設や建築物など一般人にも身近な材料である。しかし、コンクリートは施工方法や周囲の環境によりひび割れが発生する。コンクリート構造物に発生したひび割れは、構造物の耐力、耐久性、防水性など様々な機能を低下させる主な原因である。

ひび割れ補修の目的は、ひび割れによるコンクリート構造物の耐力、耐久性および防水性を回復させることにある。そのため、事前に入念なひび割

れの調査を行い、その結果に基づいてひび割れの原因、進行の程度などを十分に検討し、補修方法を検討することが必要である。

コンクリート構造物に発生したひび割れの補修方法には、ひび割れ幅 0.2mm 以下の微細なひび割れを補修する被覆工法、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使用する充填工法が代表的である。これらの工法の中で最も多く採用されているひび割れ補修方法は、注入工法である<sup>1,2)</sup>。

注入工法で使用される注入材料は、大きく分けて有機系と無機系の2種類あり、有機系ではエポキ

Table1 Mix proportions and test results

Nominal strength	W/C (%)	s/a (%)	Slump or slump flow (cm)	Air content (%)	Unit content(kg/m <sup>3</sup> )					Test result		
					W	C	S	G	Ad	Slump or slump flow (cm)	Air content (%)	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )
24	58.5	48.5	18±2.5	4.5±1.5	181	310	856	919* <sup>1</sup>	3.720* <sup>3</sup>	18.5	3.0	29.7
										16.0	3.0	34.1
40	42.0	46.1	18±2.5	4.5±1.5	170	405	791	935* <sup>1</sup>	3.645* <sup>3</sup>	17.5	4.5	61.3
										20.5	4.9	53.6
60	31.0	48.4	60±10	4.5±1.5	170	549	773	851* <sup>2</sup>	7.686* <sup>4</sup>	52.5	4.8	78.3
										57.0	5.0	84.1

\*1:Crushed stone

\*2:Crushed lime stone

\*3:Water-reducing and air-entraining admixture

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

Table2 Raw materials of concrete

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

シ樹脂とアクリル樹脂,無機系ではセメント系とポリマーセメント系が主に使用されている.これらの材料で主として採用されているのはエポキシ樹脂とポリマーセメント系材料である.そして,ひび割れ補修の効果を評価する方法としては曲げ強度試験や RC 梁の曲げ試験<sup>3)</sup>で行われるのが一般的であり,圧縮強度のような軸力や,引張強度について検討した例はほとんどない.

本研究では,円柱供試体を割裂した2つの試験片を結束して任意の模擬ひび割れを作製し,そのひび割れにエポキシ樹脂またはポリマーセメント系材料を自動式低圧注入工法で注入し,補修した.そして,母材コンクリートの強度レベルおよび注入材の種類がひび割れ補修後のコンクリートの圧縮強度,静弾性係数および引張強度に及ぼす影響について検討を行った.

Table3 Strength of injecting materials

Injecting materials	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Flexural strength (N/mm <sup>2</sup> )
epoxy resins	80	60	-
polymer-cement	26	-	7.9

## 2. 実験概要

### 2.1 使用したコンクリート

コンクリート配合およびフレッシュ試験結果を表1に示す.なお,フレッシュ性状の上段は,エポキシ樹脂,下段はポリマーセメントペーストを用いた実験の値である.また,圧縮強度は材齢28日まで20°Cで水中養生した値を示している.

実験で使用した母材コンクリートは,呼び強度24,40,60(以下,fc24,fc40,fc60と略記)のレディーミクストコンクリートである.コンクリートに使用した材料を表2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fc24,fc40の場合には栃木県栃木市尻内町産砕石を,fc60の場合には栃木県佐野市会沢町産石灰石を用いた.また,化学混和剤は,fc24,fc40の場合,AE減水剤を,fc60の場合には高性能AE減水剤を使用した.

### 2.2 試験体の作製および試験方法

本研究では,模擬ひび割れを作製する前の円柱供試体を供試体,模擬ひび割れを作製し,補修したものを試験体と呼ぶこととする.また,比較用に模擬ひび割れがない供試体(以下ベースと略記)を各水準作製した.

**2.2.1 供試体の作製および養生** 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  $20^\circ\text{C}$ 、相対湿度 60% の環境下で気中養生を行った。なお、供試体の作製方法は JIS A 1132 に準じて行った。

**2.2.2 供試体の割裂** 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。

**2.2.3 模擬ひび割れ試験体の作製** 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 0.2、0.4、1.0mm となるように締め付けた。取り付け位置は、上端、下端より 30mm 程度離れた位置とした。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。

**2.2.4 補修材注入** 補修材注入の様子を図 4 に示す。また、使用した補修材料の性能を表 3 に示す<sup>4)</sup>。エポキシ樹脂は、JIS A 6024 に適合した硬質形で低粘度形の一般用を用い、ポリマーセメント系材料は、国土交通省の無機系ひび割れ注入材の基準に適合した超微粒子系ポリマーセメントペーストを用いた。注入器具への充填は、エポキシ樹脂はグリスポンプを、ポリマーセメント系材料はケミカルポンプを使用した。なお、ポリマーセメント系材料を注入する場合には、あらかじめ、ひび割れ部に水通しを行った。

**2.2.5 シーリング材の除去** 補修材注入後の様子とシーリング材除去の様子を図 5 に示す。エポキシ樹脂を注入した試験体は注入後 7 日経過した後、ポリマーセメント系材料を注入した試験体は注入後 28 日経過した後、注入器具、シール材、結束バンドを除去し、試験体上面および下面の研磨を行った。

**2.2.6 強度試験方法** 強度試験の様子を図 6 に示す。試験体の圧縮強度および静弾性係数試験は、それぞれ JIS A 1108 および JIS A 1149 に準じて行った。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。



Fig.1 Method of splitting specimens

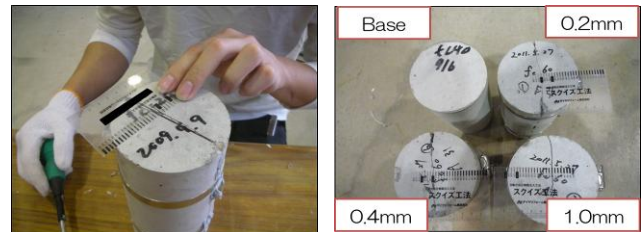


Fig.2 Control of crack width

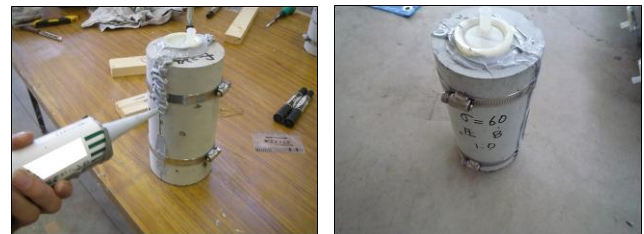


Fig.3 Seal of concrete cracks



Fig.4 Injection of repairing material into concrete cracks



Fig.5 Removal of sealing material

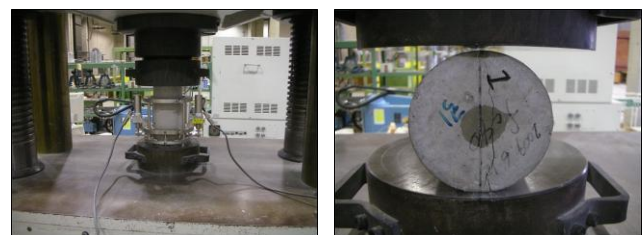


Fig.6 Compressive and tensile strength test

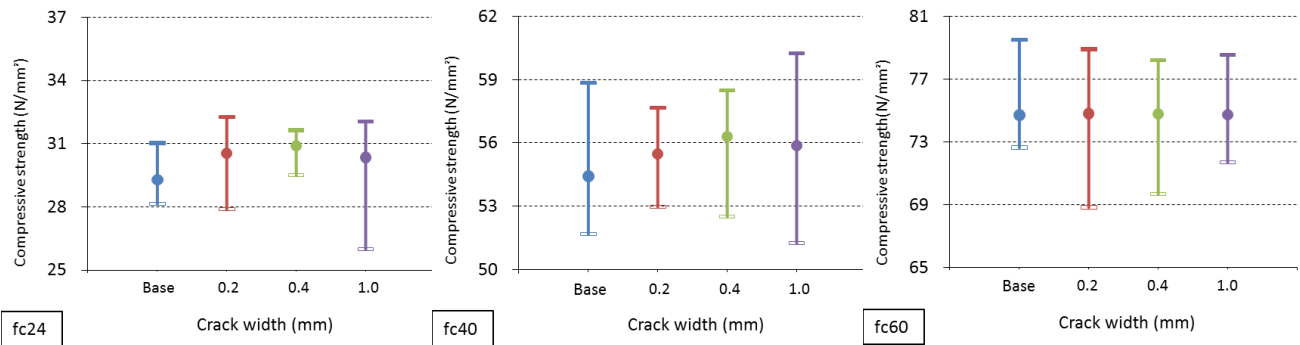


Fig.7 Effect of crack width on compressive strength of concrete repaired crack (epoxy resins)

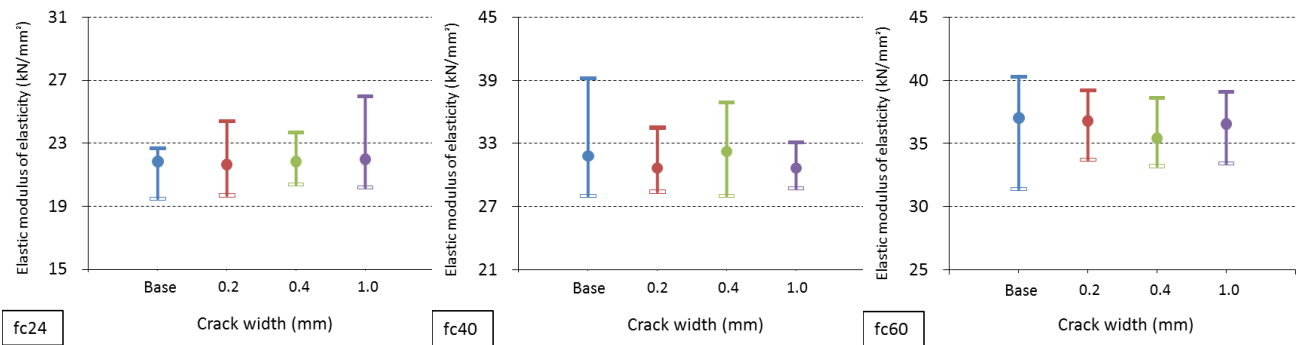


Fig.8 Effect of crack width on elastic modulus of elasticity of concrete repaired crack (epoxy resins)

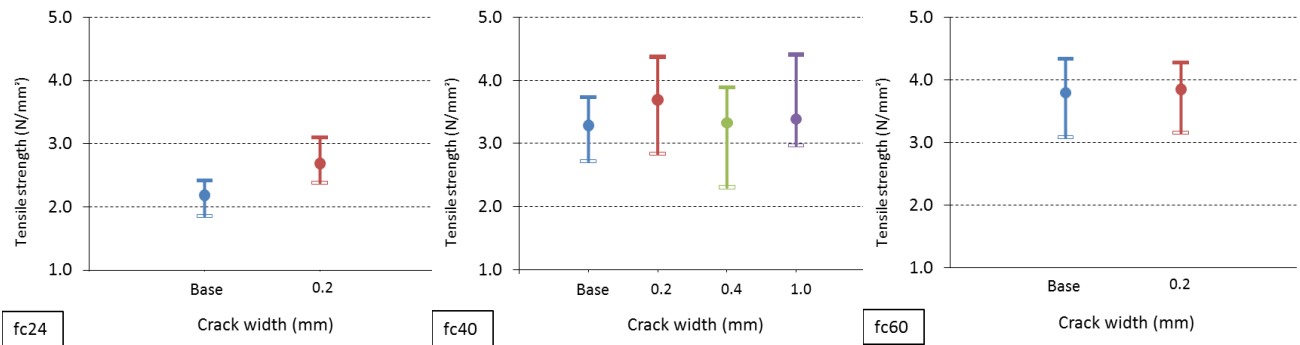


Fig.9 Effect of crack width on splitting tensile strength of concrete repaired crack (epoxy resins)

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 エポキシ樹脂で補修した場合

**3.1.1 圧縮強度試験** 圧縮強度試験の結果を図7に示す。補修後の試験体の圧縮強度の平均値は fc24,fc40 の場合、ベースの値よりも高い強度を示し、いずれのひび割れ幅においても、若干の強度増加が見受けられた。fc60 の場合でもひび割れ幅に関係なく、ベースと同程度の強度を示した。これはエポキシ樹脂の強度が母材コンクリートの強度より大きいと考えられる。

**3.1.2 静弾性係数試験** 静弾性係数試験の結果を図8に示す。静弾性係数の平均値は、注入

材料、呼び強度、ひび割れ幅に関係なくベースと同程度であった。

**3.3.3 引張強度試験** 引張強度試験の結果を図9に示す。fc24 の場合、0.2mm のひび割れを注入工法で補修することによって、20%程度引張強度が増加した。fc40 の場合、補修した試験体の引張強度の平均値は、ベースよりも高い強度を示した。これは、エポキシ樹脂が、ひび割れ周辺部の脆弱部にも充填され、ベース以上の強度が得られたと考えられる。また、その傾向は強度レベルが低い方が顕著であった。

#### 3.2 ポリマーセメントで補修した場合

**3.2.1 圧縮強度試験** 圧縮強度試験の結果を図10に示す。fc24 の場合、圧縮強度の平均値は

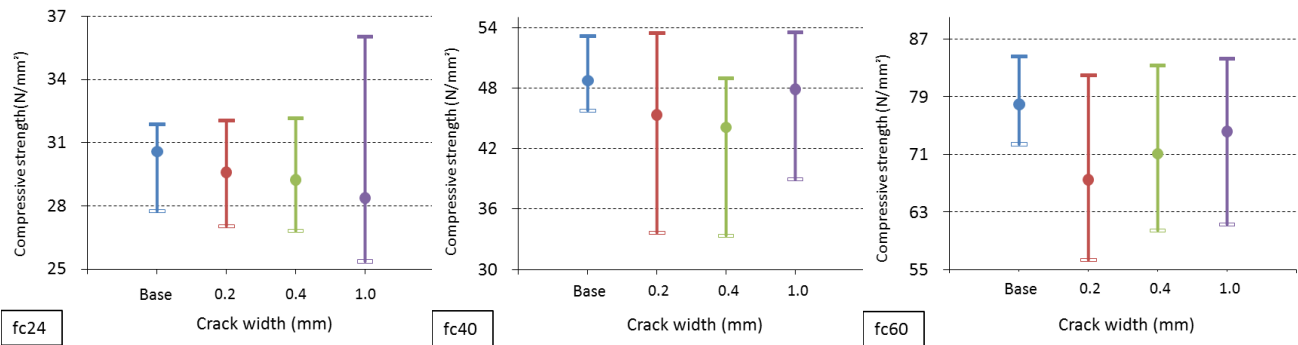


Fig.10 Effect of crack width on compressive strength of concrete repaired crack (polymer - cement)

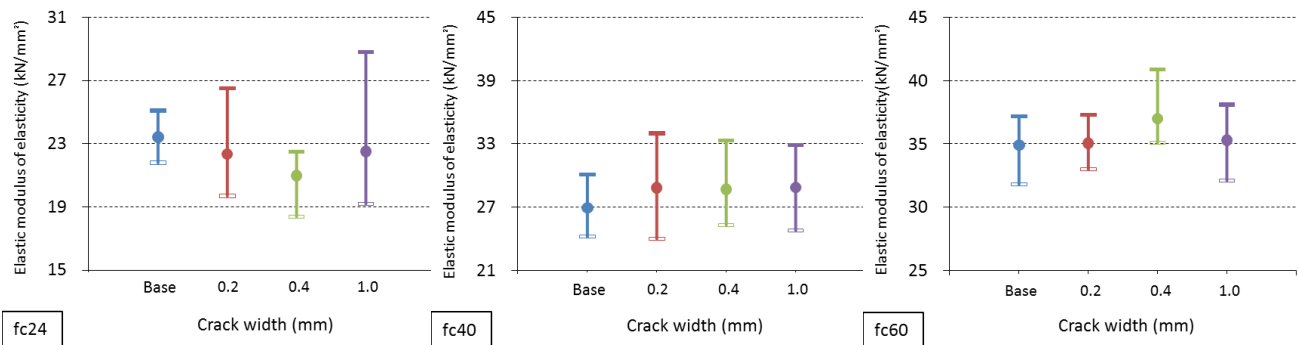


Fig.11 Effect of crack width on elastic modulus of elasticity of concrete repaired crack (polymer - cement)

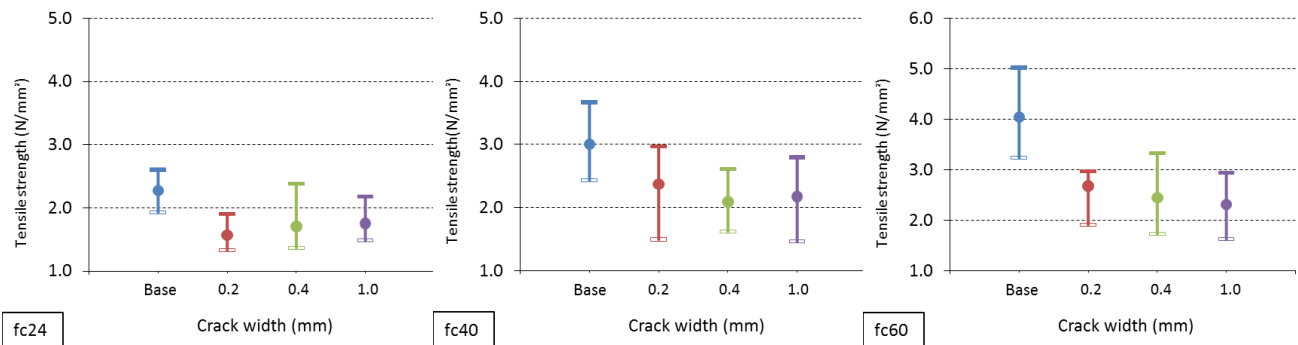


Fig.12 Effect of crack width on splitting tensile strength of concrete repaired crack (polymer - cement)

ひび割れ幅が大きくなるほど、若干ではあるが低下した。また、fc40 および fc60 においてもベースより低下する傾向がみられた。これは注入材の圧縮強度が  $26\text{N/mm}^2$  程度と母体よりも小さいことが影響を及ぼしたと考えられる。

**3.2.2 静弾性係数試験** 静弾性係数試験の結果を図 11 に示す。エポキシ樹脂と同様に注入材料、呼び強度、ひび割れ幅に関係なくベースと同程度であった。これは、静弾性係数の測定がコンクリートの弾性範囲内のため、注入材料の強度が及ばず影響が小さいことによると考えられる。

**3.2.3 引張強度試験** 引張強度試験の結果を図 12 に示す。いずれの強度レベル、ひび割れ幅においてもベースよりも強度が低下するという結

果となった。fc24 においてはベースよりも 25%程度、fc40 では 30%程度、fc60 では 40%程度の強度低下となった。これは、今回使用した注入材の強度が母材コンクリートより低いためと考えられる。

## 4. まとめ

### 4.1 自動式低圧工法でエポキシ樹脂を注入した場合の強度特性

**4.1.1 圧縮強度特性** ひび割れ幅 0.2~1.0mm の範囲における圧縮強度試験の平均値は、fc24 および 40 ではベースよりも若干高い強度を示し、fc60 においては同程度の強度となった。

**4.1.2 静弾性係数** 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、ベースと同程度となった。

**4.1.3 引張強度特性** 引張強度の平均値は、fc24 では補修後の方がベースより 20%程度高い数値を示し、fc40 では若干増加する傾向にあった。一方、fc60 では同程度の強度となった。

#### **4.2 自動式低圧工法でポリマーセメントペーストを注入した場合の強度特性**

**4.2.1 圧縮強度特性** 圧縮強度の平均値は fc24 および fc40 の場合に若干低下し、fc60 では 10%程度低下する場合もあった。

**4.2.2 静弾性係数** 静弾性係数の平均値は、呼び強度と関係なく、ベースと同程度という結果となった。

**4.2.3 引張強度特性** 引張強度試験では、ひび割れ幅に関係なく、fc24 の場合に若干低下し、fc40 では 30%程度低下した。また、fc60 では 40%低下する場合も見受けられた。

これらのことにより、静弾性係数は注入材料の影響をほとんど受けず、圧縮強度は若干受ける程度であった。しかし、引張強度は注入材料の影響を大きく受けるため、注入材料や、工法の選定には引

張試験を行うことが賢明である。そして、今回行った試験方法を注入材料や工法の簡易な選定方法として利用できると考えられる。

#### **謝辞**

本研究を行うにあたり、澤本研究室の学生より多大なご協力を頂きました。ここに記して深謝いたします。

#### **参考文献**

- 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) 伊東康貴,八十島章,荒木秀夫：エポキシ樹脂で補修した RC 部材の曲げせん断性状,日本建築学会大会学術梗概集(九州),(2007)pp.503-504.
- 4) 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)pp.96-100.