

特殊アクリル樹脂の損傷コンクリート補修効果に関する基礎的実験

Fundamental experiment on repair effect of acryl resin to damaged concrete

足立 国明*, 香月 智**, 福井 秀平***
Kuniaki Adachi, Satoshi Katsuki, Shuhei Fukui

* 防衛大学校理工学研究科前期課程, 建設環境工学科 (〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

** 工博, 防衛大学校教授, 建設環境工学科 (〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

*** ジャスト・フィット・マテリアル株式会社 (〒848-0043 佐賀県伊万里市瀬戸町 2269-32)

This paper proposes experimental approaches on the repair effect of an acryl resin to damaged concrete. Mechanically different three types of the repair specimens are used. First one is the cohesion performance test specimen which has a horizontal split plane repaired by acryl resin. Its bond performance is evaluated by direct tensile test. Second one is the shear stress performance test specimens which have a diagonal split plane repaired by acryl resin. Its shear resistance is evaluated by ordinal compression test. Third one is a micro-crack damaged specimen of which cracks are repaired by infiltrated acryl resin. Its repaired effect is evaluated by using ordinal compression test.

Key Words: acryl resin, crack repair, infiltration curing

キーワード: 特殊アクリル樹脂, ひび割れ補修, 浸透養生

1. 緒 言

コンクリート構造物には様々な要因により, コンクリートのひび割れが発生する. その部分は構造的に不連続となり, 力学的な弱点となり, 構造の剛性や強度・耐荷力に影響を与える. ひび割れを補修することは, 雨水の浸透を防ぐなどの機能的効果に加えて, 低下した強度および耐荷力を回復させることができるとも考えられるが, 一般的なひび割れの補修目的は, ①漏水の防止, ②内部鉄筋の腐食の進行防止, ③塩化物イオンの侵入防止, ④中性化の進行防止, ⑤有害物質の侵入防止などとされており, 強度や耐荷力の回復・向上は含まれていない. これは, ひび割れの補修によく使われるエポキシ樹脂¹⁾の注入工法では, その補修材料であるエポキシ樹脂の剛性がコンクリートよりも 1 オーダー以上小さいことから, 力学的性能の修復効果に関して疑問視されたためである. しかし, 近年の研究²⁾で, 適切な施工を行えば, エポキシ樹脂注入により力学的な性能が回復することが知られるようになり, 力学的な補修効果を検討する研究³⁻⁵⁾もなされている.

ひび割れ補修材料には, エポキシ樹脂に加えてアクリル樹脂がある. 一般的にアクリル樹脂は低温硬化性に優

れ, 粘度もエポキシ樹脂の半分程度でひび割れへの注入性能も高いという長所がある反面, 硬化収縮が大きいことや, 揮発性が高く特有の臭気が強いうという短所もあり, エポキシ樹脂に比して使用実績およびそれらに関する研究⁶⁾も少ない. そこで, 強度はやや劣るが施工性を改良した特殊アクリル樹脂が開発された. 特殊アクリル樹脂は, 一般的なアクリル樹脂よりも臭気が 1/6 程度に抑えられ, また粘度は一般的なアクリル樹脂が 500~1000MPa-s であるのに対し, 特殊アクリル樹脂は 100MPa-s と非常に小さい. よって, 特殊アクリル樹脂は水のように低粘度でコンクリートなどへの浸透性が高いことから, 特別な注入器具を使用せず, 毛細管現象により細かなひび割れの内部奥深くまで浸透するという特性がある. このことから, 施工性に優れ, 施工時間の短縮が期待できる. しかし, コンクリートに対する力学的な補修効果は不明瞭な点が多い.

そこで本研究は, 特殊アクリル樹脂によるコンクリートのひび割れの力学的な補修効果を検証するために, 基礎的な検討を行ったものである. すなわち, まず表-1 に示すように特殊アクリル樹脂の特性を確認した. 続いて人工的に水平もしくは斜めに切断した円柱供試体を特殊アクリル樹脂で接着補修したものの接着強度やせ

表-1 実験種類

実験名	実験目的
樹脂引張実験	特殊アクリル樹脂の配合後の経過期間が強度および剛性に与える影響について確認する。
付着強度実験	特殊アクリル樹脂とコンクリートの付着強度とコンクリートの引張強度とを比較する。
斜め切断補修実験	斜めに切断した円柱供試体を特殊アクリル樹脂で接着し、その補修効果を静的圧縮実験により比較する。
ひび割れ補修実験	繰り返し载荷により強制的にひび割れを発生させた円柱供試体の側面から樹脂を長時間含浸させて、ひび割れを補修し、その補修効果を静的圧縮実験により比較する。

表-2 樹脂引張実験供試体

供試体名	配合 (重量比)			期待ゲル化時間 (h)	経過期間 (週)	供試体数
	主剤	硬化剤	硬化促進剤			
4%-2W	100	4	2	0.5	2	3
4%-4W					4	3
4%-8W					8	3
0.05%-2W	100	0.05	0.025	50	2	3
0.05%-4W					4	3
0.05%-8W					8	3

ん断強度の回復性について検討した。最後に、人為的にひび割れを発生させた円柱供試体に特殊アクリル樹脂を含浸させ、その後圧縮実験を行い、その圧縮強度の回復について検討したものである。

2. 樹脂引張実験

2.1 実験要領

本実験において使用した特殊アクリル樹脂は、反応硬化型の樹脂であり、主剤、硬化剤、硬化促進剤の3成分を混合することで硬化し、この3成分の配合比を変化させることで硬化時間を調整することが可能である。

そこで、硬化剤の配合比と配合後の経過期間をパラメータとして表-2の供試体を用いた。表-2の4%配合とは硬化剤を主剤に対して質量比で4%混合させたものであり、ひび割れ等の間隙に毛細管現象により浸透して素早く硬化し、早期に強度の回復を図ることを期待するものである。すなわち、配合後約30分でゲル化し始め、さらに30分程度経過すると完全に硬化する。一方、0.05%配合とは硬化を遅らせることにより、ひび割れ等の間隙に浸透するだけではなく、コンクリート表面および間隙の近辺のモルタルの微細な空隙にまで含浸して、損傷部を強化するものである。そのため、硬化剤と硬化促進剤の配合比を一定にして、主剤に対する硬化剤と硬化促進剤の割合を小さくすることで、ゲル化開始時間を約50時間と遅らせている。なお、付着強度実験および斜め切断補修実験では、4%配合の特殊アクリル樹脂を、ひび割れ補修実験では、0.05%配合のものを使用している。

引張実験はJIS K 7113に準拠して、図-1に示す供試体

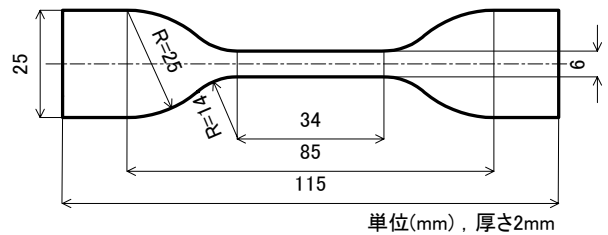


図-1 樹脂引張実験用供試体

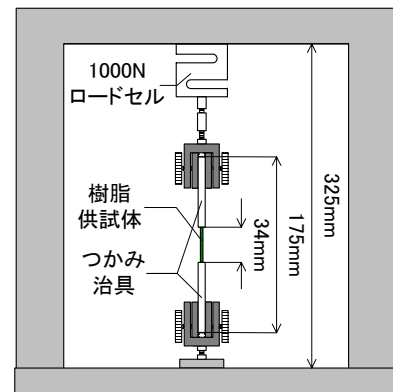


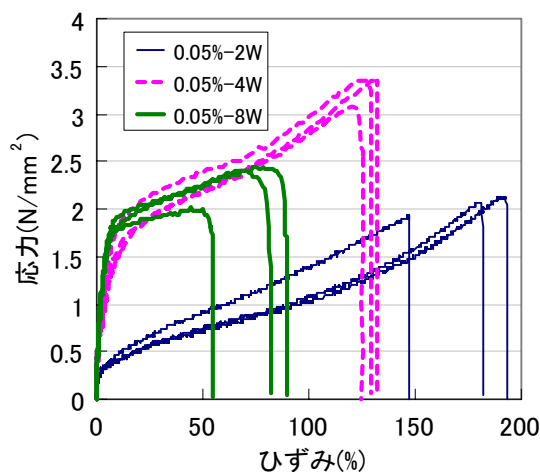
図-2 JIS K 7113 用引張実験装置

を作成し、図-2に示す引張試験機を使用して引張実験を行った。载荷速度は2mm/minとし、ロードセル(容量:1000N)により荷重を、既設の変位計(感度:1/100mm)によって変位を計測した。

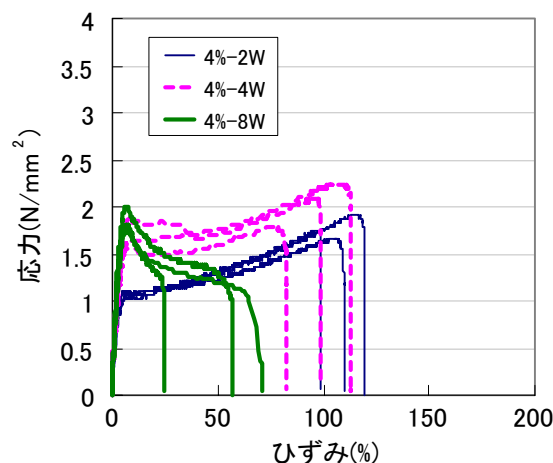
2.2 実験結果と考察

図-3に実験で得られた応力-ひずみ関係を示す。4%-8W供試体を除いて、すべての供試体では、1~5%ひずみまで弾性的に応力が増加して、いずれの配合においても、その後ひずみ10%付近で剛性が大きく低下して、その後は硬化型のバイリニア型の弾塑性挙動を示している。ただし、硬化剤を4%配合して8週間経過したものは、降伏点を迎えた後、緩やかに応力が低下している。

ひずみ1%までの初期の立ち上がりの剛性を弾性率として整理したものを、図-4に経過期間との関係として示す。全般的に、いずれの経過期間でも硬化剤4%配合の方が0.05%配合のものよりも弾性率が大きい。また、すべての供試体において、経過期間の増加とともに弾性率が



(a) 硬化剤 0.05%



(b) 硬化剤 4%

図-3 特殊アクリル樹脂の応力-ひずみ関係

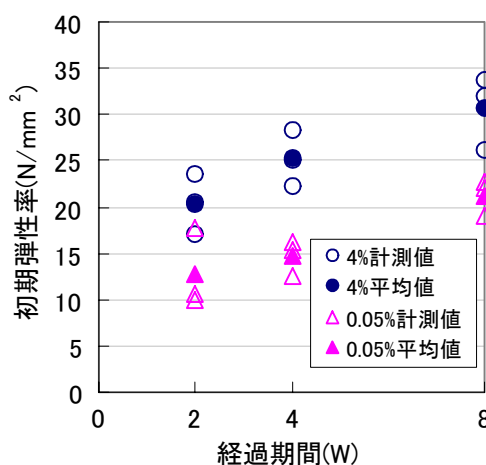


図-4 弾性率-経過期間関係

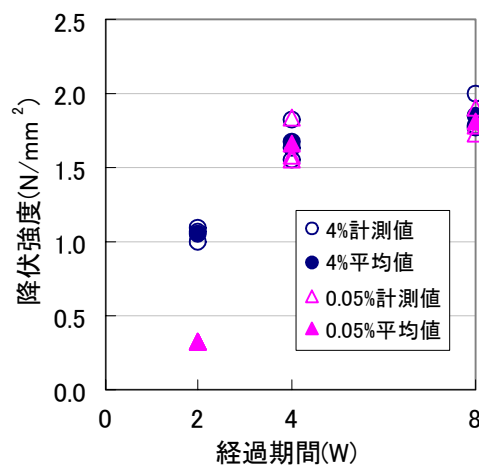


図-5 降伏強度-経過期間関係

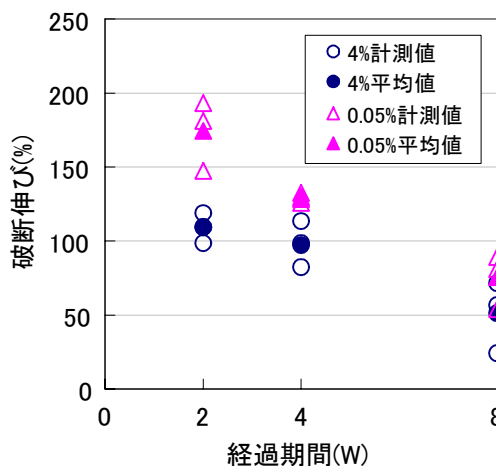


図-6 破断伸び-経過期間関係

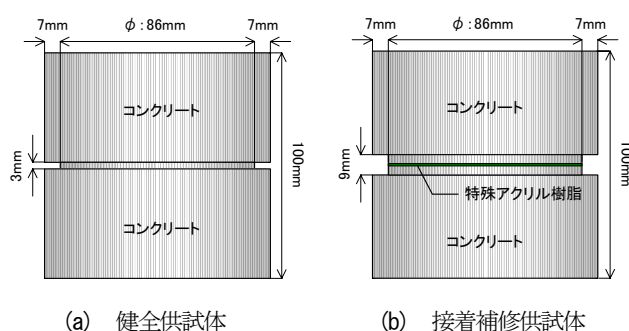


図-7 付着強度実験用供試体

増加することがわかる。ただし、コンクリートの弾性率が $1.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 程度であることを鑑みると、約 1/200 と小さい。図-5 に降伏強度-経過期間関係を示す。経過期間の増加に伴い降伏強度が大きくなり、8 週目では硬化剤の配合比にかかわらず約 2 N/mm^2 となっている。すなわち、コンクリートの引張強度が概ね $1.5 \sim 4 \text{ N/mm}^2$ であるのと、ほぼ同等程度となっている。図-6 には、破断時の伸び-経過期間関係を示す。経過期間が増すと破断

伸びが小さくなり、脆性的になっている。なお、硬化剤 0.05% 配合の破断伸びの方が、同一経過期間の 4% 配合のものより大きい。

なお、経過期間の増大とともに強度の増大および脆性化はさらに進み、現時点で確認している範囲（経過期間 16 週）では、4% 配合、0.05% 配合ともに伸び約 5% で、明確な降伏点もなく 3.0 N/mm^2 程度で破断する。ところで、一般的にひび割れ補修に使用されている硬質系のエポキシ樹脂の破断伸びが数%～10% であることから、これらエポキシ樹脂と同程度の追従性は期待できる。ちなみに、特殊アクリル樹脂の破断伸びについては、このま

表-3 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸 法 (mm)	スラ ンプ (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨 材率 s/a (%)	単位量 (1m ³ 単位)						28日 圧縮強度 (N/mm ²)
					水 W (kg)	セメ ント C (kg)	細骨材 S (kg)	粗骨材 G (kg)	減水剤 A (g)	AE剤 A (g)	
20.0	16.0	9.9	60.1	45.7	164	272	851	993	1415	44	22.9

表-4 付着強度確認実験供試体

供試体名	状態	経過期間(週)	供試体数
T-N	健全		3
T-2W	接着補修	2	3
T-4W	接着補修	4	3
T-8W	接着補修	8	3

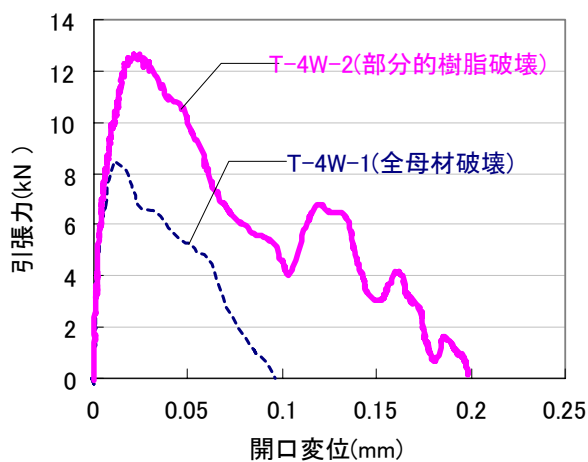


図-9 引張力ー開口変位関係

ま 5%程度で安定すると考えられるが、継続して実験を行って確認する必要がある。

3. 付着強度

3.1 実験要領

特殊アクリル樹脂は、コンクリートの分散したひび割れに浸透するため、付着強度は前項の樹脂自体の引張強度のみでは支配されない。この点を調べるため、図-7(b)に示すように円柱供試体を中央で切断し、再接着した供試体の直接引張試験⁷⁾を行った。比較のため図-7(a)の健全なコンクリートの直接引張試験も行った。図-7(b)の切欠きはその幅が9mmとなっており、健全供試体の3mmよりも大きいのは、樹脂の接着面ではなく母材のコンクリートによる破壊の可能性を見るためである。

使用したコンクリート供試体の配合は、表-3に示すものである。ちなみに、4章、5章の供試体も同じコンクリートを用いている。供試体は打設1日後に脱型し、28日間水中養生を行った。本研究で使用した特殊アクリル樹脂は、水分の有無によって硬化反応に影響が出るため、水中養生後は屋外で十分乾燥させ、供試体中の水

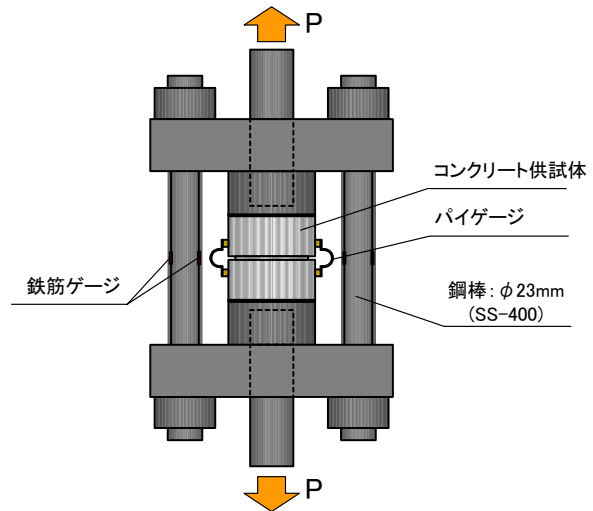


図-8 直接引張実験装置

分を取り除いた状態で実験を実施した。付着強度と接着後の経過期間の関係を明らかにするため、表-4に示す4種類の供試体の実験を行った。

実験は、図-8に示すような4本の鋼棒で支持された治具内に図-7の供試体を設置して治具全体に引張力を与えるものである。鋼棒は弾性応答しコンクリートの引張強度よりも大きい抵抗を示すため、引張強度の低下時にも安定した抵抗計測ができる。载荷速度は0.02mm/minとし、ロードセル(容量:500kN)によりコンクリートと鋼棒の総荷重、パイゲージ(感度:1/1000mm)により開口変位、ひずみゲージにより鋼棒のひずみを計測した。コンクリート供試体が負担する荷重は、ロードセルで計測した荷重から鋼棒が負担する荷重を差し引くことで求めることができる。なお、鋼棒が負担する荷重は、事前の鋼棒のみに対する引張実験の校正値を用いる。

3.2 実験結果と考察

図-9に実験で得られる供試体に働く引張力ー開口変位関係を、3体あるT-4W供試体のうち2体の結果を例として示す。T-4W-1では、開口変位0.01mmで最大引張力8.5kNに達し、その後、荷重が開口変位0.1mmにかけて低下している。一方、T-4W-2では、開口変位0.02mmで最大引張力12.8kNに達し、その後、荷重が開口変位0.2mmにかけて低下している。この2つの破壊面を見ると写真-1のようになっている。破壊面は、コンクリート母材で破壊した部分と特殊アクリル樹脂が、もしくは樹

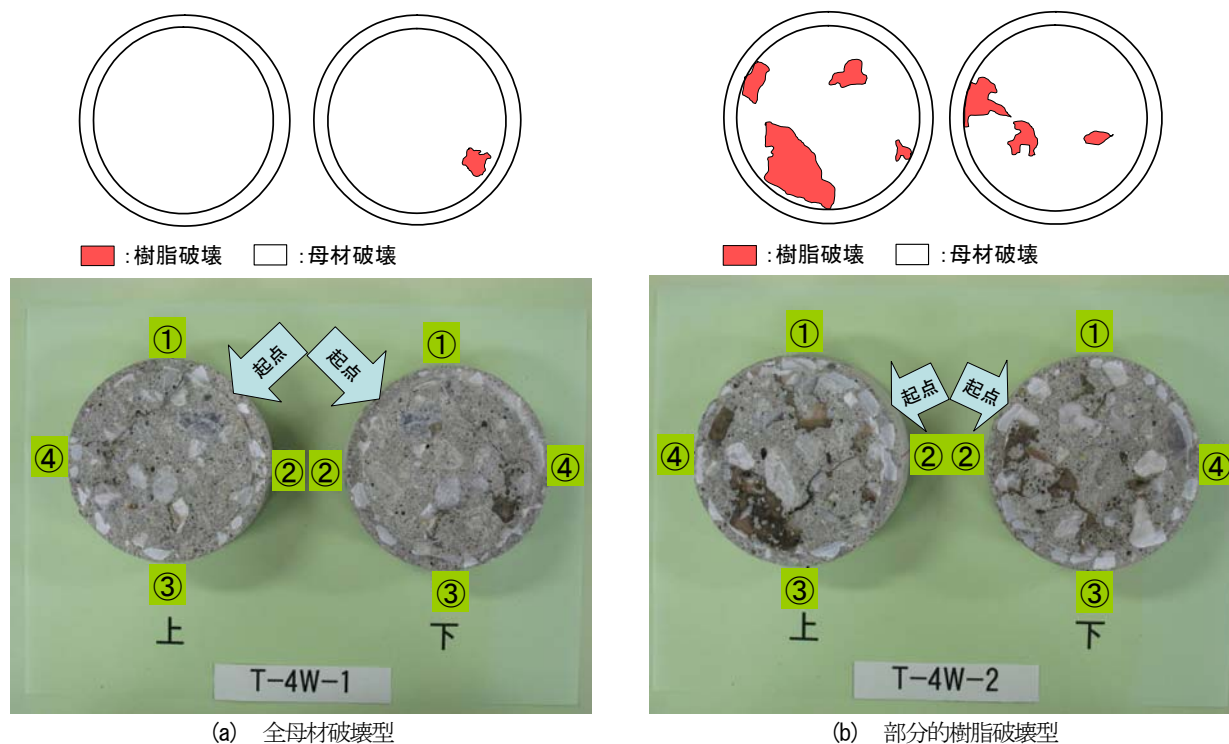


写真-1 破壊面の景況

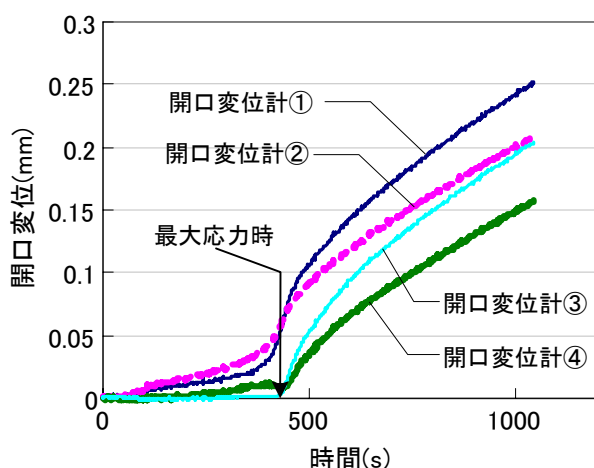


図-10 開口変位量—時間関係の例 (T-4W-2)

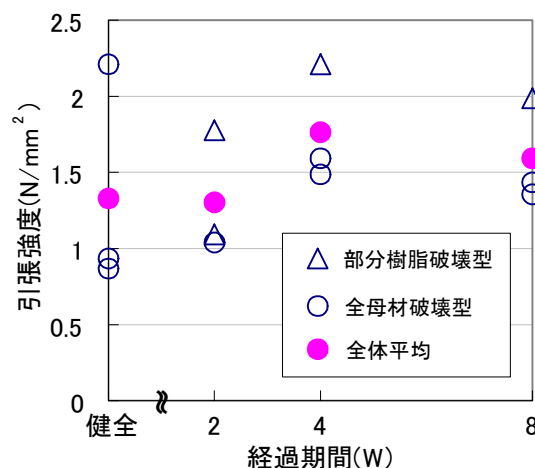


図-11 引張強度—経過期間関係

脂とコンクリート母材の界面で破壊した部分とが、円形断面内にまだら状に存在する部分的樹脂破壊型と、ほぼ全断面がコンクリート母材で破壊する全母材破壊型とがある。

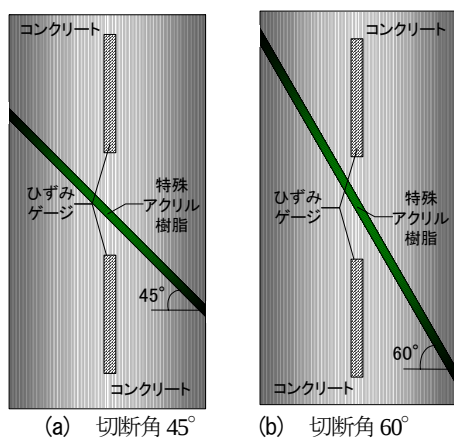
部分的樹脂破壊型において、破壊の起点と特殊アクリル樹脂破壊面との関係について検討するため、図-10 に示すような開口変位計の履歴をチェックした。図-10 によると、開口変位計①と②が、③または④に対して大きくなっており、①と②の間に引張破壊面の起点があったことが伺える。これを写真-1 の中に□で記すと部分的樹脂破壊型においても、起点はコンクリート母材破壊部分であることがわかる。ちなみに、この傾向は全供試体に共通しており、特殊アクリル樹脂の付着強度は母材の引張強度より大きいことが伺える。

図-11 には、全供試体の引張強度と経過期間の関係を示す。ここで、引張強度は最大引張力を断面積で除したものである。△で示した部分樹脂破壊型の引張強度は、界面での破壊とコンクリート母材の破壊面での強度が平均化されたものとなっているが、総じて全母材破壊型のものよりも強度が大きくなっている。これは、切断により近傍の弱点が失われ、かつ、特殊アクリル樹脂の浸透で補修されたことにより最弱部が強化されたためと考え得る。

4. 斜め切断補修実験

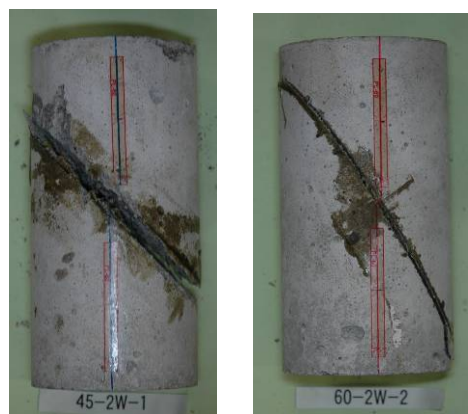
4.1 実験要領

補修した特殊アクリル樹脂の接着面には、せん断応力



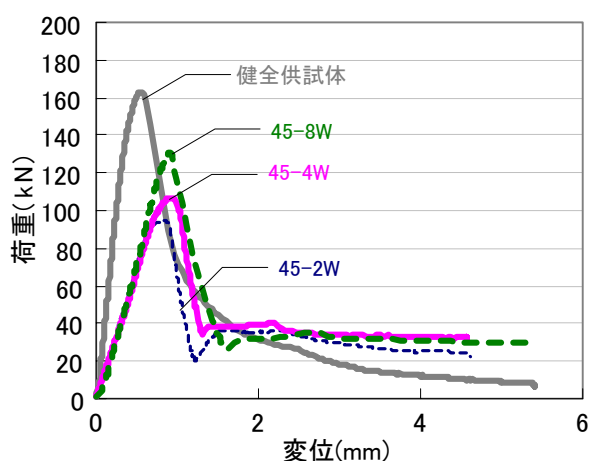
(a) 切断角 45° (b) 切断角 60°

図-12 斜め切断補修実験供試体

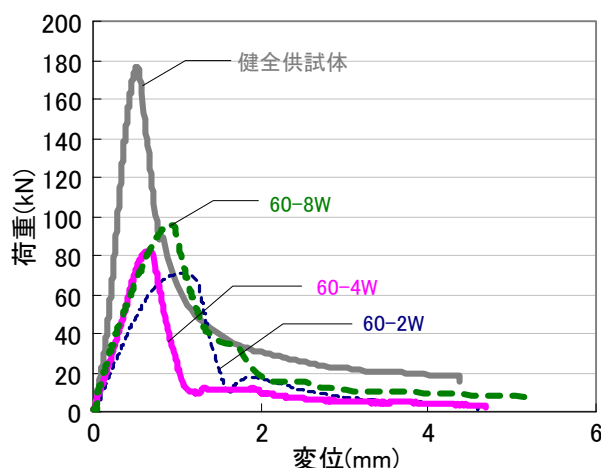


(a) 切断角 45° (b) 切断角 60°

写真-2 斜め切断補修供試体の破壊景況



(a) 切断角 45°



(b) 切断角 60°

図-13 斜め切断供試体の荷重－変位関係

表-5 斜め切断補修実験ケース

供試体名	切断角	経過期間(週)	供試体数
45-2W	45°	2	3
45-4W		4	3
45-8W		8	3
60-2W	60°	2	3
60-4W		4	3
60-8W		8	3

が作用することも考えられる。純粹にせん断応力を接着面に作用させる実験方法は難しいので、図-12に示すようにコンクリート円柱供試体をコンクリートカッターにより 45°、60° に切断した供試体を特殊アクリル樹脂で接着した後に圧縮破壊実験を行った。まず、切断面は十分に乾燥させた後ヤスリ (#80) で研磨した。接着は切断による間隙を 1mm になるように固定した後、切断面の間隙を養生テープで覆い、一部の空隙から樹脂を流し込んだ。樹脂を注入して 1 日後に養生テープをはがした後、表-5 の実験ケースに示すように補修より 2 週間から 8 週間経過するまで室内にて気中養生した。

圧縮実験は、荷重制御により載荷速度 5N/mm²/min で載荷した。ロードセル (容量: 500kN) により荷重、渦電流式変位計 (感度: 1/1000mm) により供試体の全高

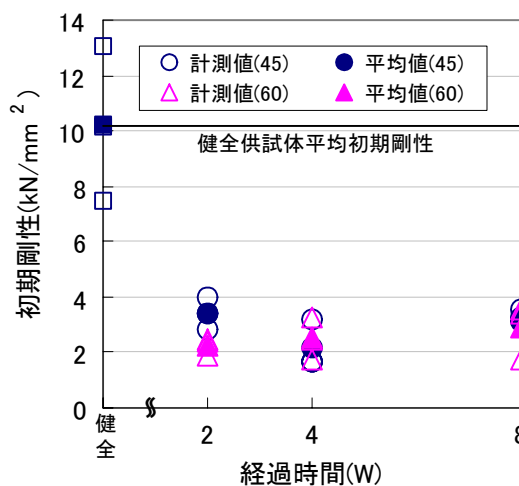


図-14 斜め切断供試体の初期剛性－経過期間関係

の変形量、ひずみゲージにより非切断部分のコンクリートの縦ひずみを計測した。

4.2 実験結果と考察

写真-2 に供試体の破壊景況を示す。破壊は切断面に沿って起こっており、樹脂がせん断破壊しているのがわかる。図-13 に荷重－変位関係を示す。この変位は破壊の景況からみて、切断面補修樹脂部の変形が支配的であ

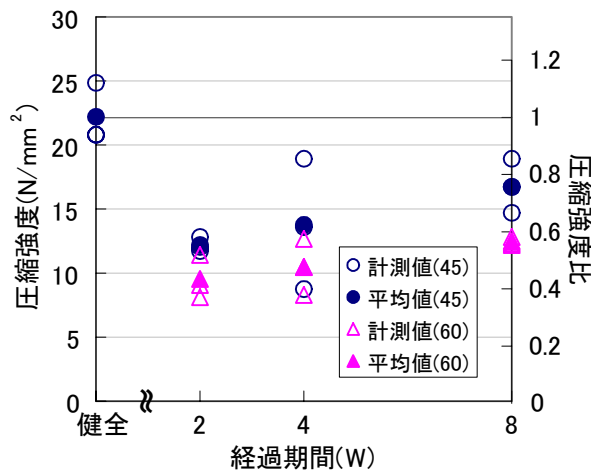


図-15 斜め切断供試体の圧縮強度－経過期間関係

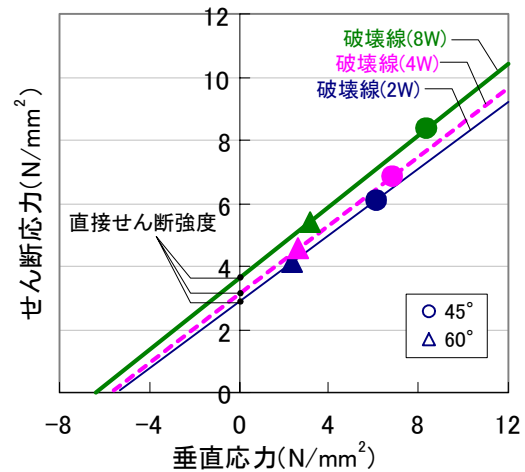


図-16 破壊線と直接せん断強度

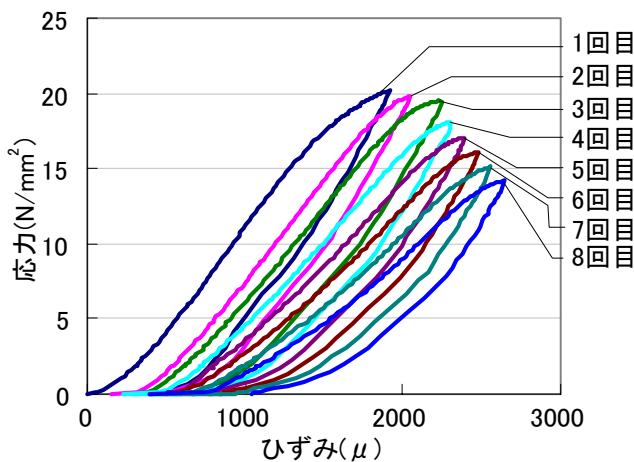


図-17 応力－ひずみ関係の履歴

と考えられる。初期剛性を変位量 0.3mm までの弾性率として、各供試体の初期剛性－経過期間関係を図-14 に示す。どちらの切断角においても 8 週間経過した供試体の初期剛性は健全供試体の 3 割程度となっている。切断角 45° では、経過期間が増大しても初期剛性があまり変わらないが、60° では、初期剛性が経過期間の増大とともに大きくなる傾向が見られる。これは、切断角が大きい方が、樹脂部の変形がより支配的になり、図-4 に見られた特殊アクリル樹脂の弾性率増大の影響が大きいと考えられる。図-15 に圧縮強度－経過期間と関係を示す。経過期間が長くなるにしたがって圧縮強度も大きくなっており、経過期間 8 週目における圧縮強度は、切断角 45° において健全供試体の約 75%、60° において約 55%となっている。

また、破壊が完全に切断面において生起していると仮定すると、破壊時に切断面に発生する応力は以下のように求められる。

$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot \cos^2 \theta}{A} \quad (1)$$

$$\tau_{\theta} = \frac{P \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta}{A} \quad (2)$$

ここで、 θ ：切断角、 P ：最大計測荷重、 A ：供試体の断面積、 σ_{θ} ：切断角 θ における切断面に作用する垂直応力、 τ_{θ} ：切断角 θ における切断面に作用するせん断応力。

次に、それぞれの実験ケースの平均値から求めた σ_{θ} と τ_{θ} をプロットすると図-16 のようになり、8 週間経過した供試体では次式のようなになる。

$$\tau_c = 3.6 + \sigma \cdot \tan 30^\circ \quad (3)$$

ただし、 τ_c ：特殊アクリル樹脂のせん断強度。

ところで、この式の縦軸と交わる点が直接せん断強度を与える。直接せん断強度は、経過期間の増加ともない大きくなり、8 週間経過で約 3.6N/mm²である。コンクリートの直接せん断強度が圧縮強度の 1/6～1/4 といわれているので、このコンクリートでは 3.8～5.7N/mm²となり、特殊アクリル樹脂の直接せん断強度はコンクリートと同等もしくは 8 割程度であることがわかる。

5. ひび割れ補修実験

5.1 実験要領

ひび割れ補修実験は、通常の圧縮実験用コンクリート円柱供試体にひび割れ損傷を与えた供試体を準備し、そのひび割れに特殊アクリル樹脂を浸透させて補修し、養生した後、改めて圧縮破壊実験を行ったものである。ひび割れ損傷供試体は、静的載荷試験装置にある破壊検出機能を使用して作成した。破壊検出機能とは、載荷中、荷重がピークを越え下がり始めると、それを感知して、自動的に除荷する機能である。この機能を使用して繰り返し載荷を行った、載荷速度は 5N/mm²/min である。ロードセル（容量：500kN）により荷重、渦電流式変位計（感度：1/1000mm）により供試体の全高の変形量を計測した。

図-17 に 8 回目まで、この繰り返しを行った場合の応力－ひずみ関係の履歴を示す。応力－ひずみ関係はヒス

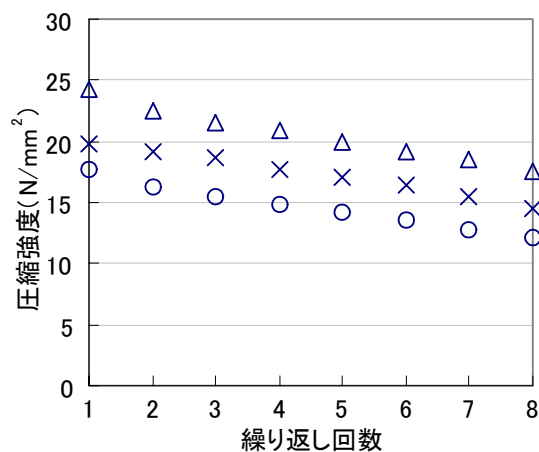


図-18 圧縮強度－繰返し回数関係

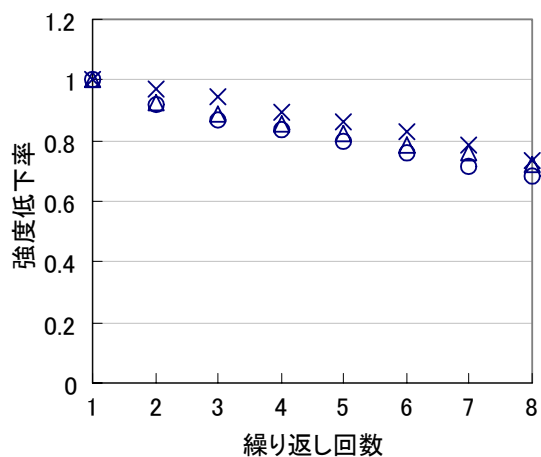
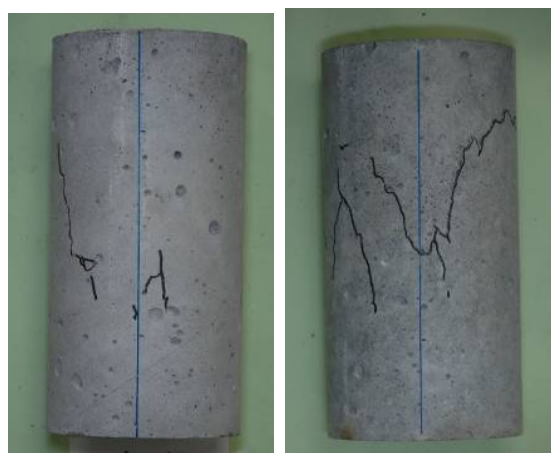


図-19 強度低下率－繰返し回数関係



(a) 4回載荷 (b) 8回載荷
写真-3 補修前のひび割れ供試体



(a) 4回載荷 (b) 8回載荷
写真-4 補修後のひび割れ供試体

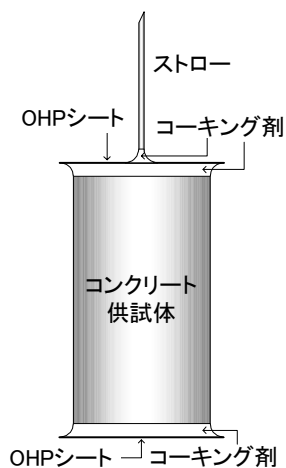


図-20 含浸前の処置

テリスループを描くが、その最大応力点は概ね一定の勾配で低下している。図-18 には、3つの供試体における圧縮強度の変化を示している。供試体が異なると、健全時の強度に違いがあるので、完全に一致するわけではないが、概ね相似した低下傾向を示す。そこで、それぞれの供試体の健全時の強度で除した強度低下率と、繰返し回数の関係を示すと図-19 のようになり、極めて良い一致を示す。すなわち、良好な再現性があることがわ

かる。

この実験では、ひび割れに樹脂を含浸させて補修し、強度の回復度を評価することを目的としているので、供試体の損傷の程度は樹脂が含浸できるひび割れがあることと、ひび割れ損傷を超えた致命的な欠損のない供試体が求められる。載荷を繰り返してひび割れの景況を観察すると、3～4回目で目に見えるひび割れが発生し始め、さらに載荷することでひび割れが進展し、9回目以降になると表面のモルタル部の剥離が始まる。そこで、損傷の程度を繰返し載荷回数で管理し、ひび割れが確実に確認できる4回と、欠損の発生には至らない8回とした。写真-3に補修前の損傷供試体の例を示す。なお、ひび割れを黒マジックでトレースしている。これより、4回載荷と比較して、8回載荷のひび割れが進展していることがわかる。

補修は、供試体よりも一回り大きな塩化ビニル製の円筒の中で硬化剤0.05%配合の樹脂にひたし、ひび割れや空隙に含浸させる。その際、補修後供試体を載荷装置に再設置したときの設置状態の再現性が重要になることから、供試体の両端面の状態が樹脂の付着によって変化しないように、図-20のように損傷させた供試体の端面をシートで保護した。合わせて、上部端面には特殊アク

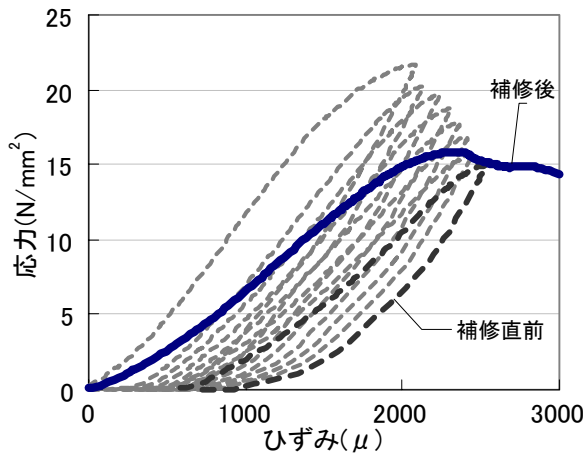


図-21 補修前後の応力-ひずみ関係

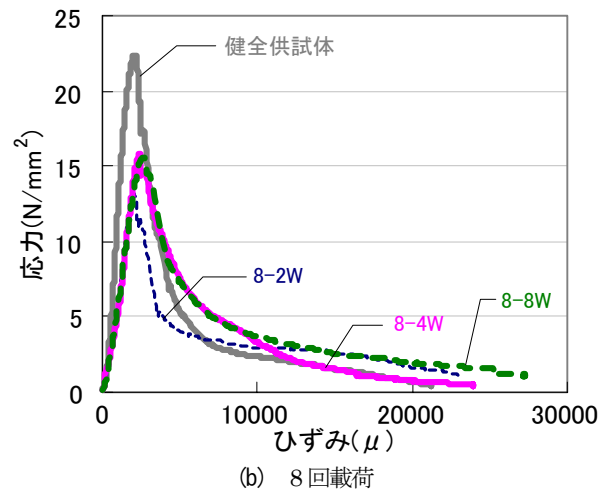
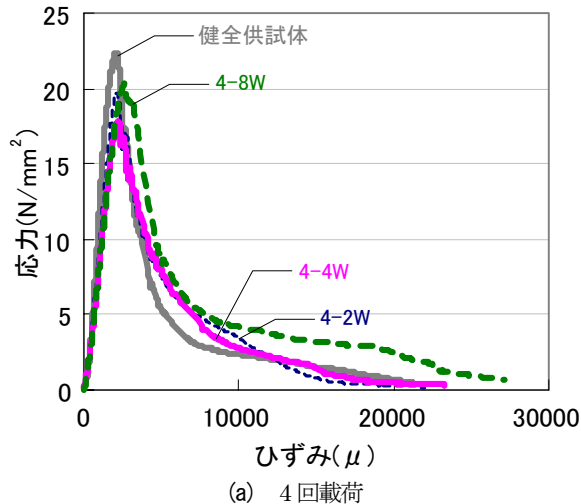


図-22 応力-ひずみ関係 (経過期間による比較)

リル樹脂が含浸した分の空隙減少を妨げないように、空気排出用のストローを取り付けた。この状態で48時間含浸させた後、供試体を円筒より取り出し、ひび割れに含浸した樹脂が流出しないように供試体側面にポリプロピレン製のフィルムを貼り、表-6に示すように2, 4, 8週間の期間養生した。養生にあたり、紫外線により樹脂の硬化が促進されるように、昼間は屋外で日光にさらすようにした。写真-4に樹脂を含浸させた後の供試体を示す。樹脂の含浸により、黒みがかった色の特殊アクリル樹脂が表面を覆っている。また、写真での確認は難しいが、ひび割れが目立たなくなっている。

この補修した供試体を静的載荷試験装置に再設置し、載荷速度 $5\text{N/mm}^2/\text{min}$ でピークまで載荷し、ピーク以降は載荷速度 0.5mm/min を目安として変形量約 5mm まで載荷した。なお、損傷供試体の再設置の際は、設置要領の変化が力学的特性に及ぼす影響をなくすため、損傷付与時の載荷状態をほぼ完全に再現するよう注意深く設置した。

5.2 実験結果と考察

図-21に補修後の供試体の応力-ひずみ関係を損傷付

表-6 ひび割れ補修実験ケース

供試体名	載荷回数	経過期間(週)	供試体数
4-2W	4	2	3
4-4W		4	3
4-8W		8	3
8-2W	8	2	3
8-4W		4	3
8-8W		8	3

与時の履歴と重ねて示す。なお、補修後のひずみについては供試体を再設置しているため、ひずみ軸が左にシフトしている。補修後供試体のピークまでの傾きは8回目損傷付与時のものとほぼ同じであり、樹脂補修が剛性の回復にはあまり寄与していないことがわかる。これは、図-4の樹脂の弾性率が小さいことから当然のことと考えられる。図-22に応力-ひずみ関係を補修後の経過期間をパラメータとして比較したものを示す。4回の事前損傷載荷したものは、健全供試体の90%付近の強度にある。一方、8回の事前損傷載荷したものでは、健全供試体の75%付近の強度である。すなわち、ひび割れ補修でコンクリート強度の完全回復は望めない。

なお、軟化領域について見ると、補修後の供試体は健全供試体に比して、勾配が緩やかになっており、粘りが見られる。これは、コンクリートのひび割れの進展にともなうひび割れ幅の拡大に対して、樹脂が追従して抵抗しているためだと考えられる。軟化勾配の粘りは、どの経過期間の供試体でも同様に見られ、経過期間の増大により樹脂が脆性化しても、良好なひび割れ追従性を保持しているといえる。よって、現実に起こりうる耐荷重未満の繰り返しの荷重に対しても十分に機能すると考えら

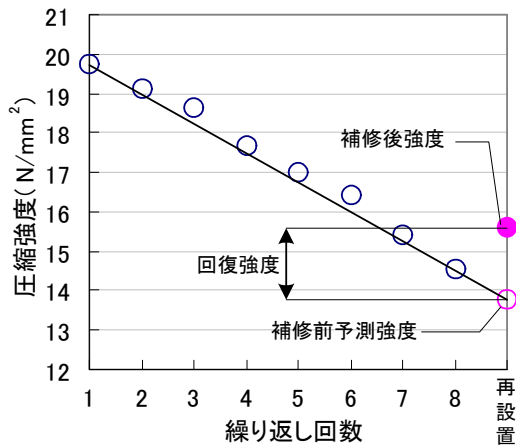


図-23 回復強度の一例 (8-8W-3)

れるが、耐久性の面で、特殊アクリル樹脂およびコンクリートとの接着部の対疲労特性について検討する必要がある。

ところで、図-18 および 19 で示したように繰り返し載荷により一定の割合で強度が下がっているの、補修前の強度を予測することができる。図-23 に 8-8W-3 の予測される補修前強度および計測した補修後の強度の比較例を示す。補修後の圧縮強度は補修前の予測強度より大きい。つまり、その差の分だけ補修による強度回復の効果が現れていると考えられる。補修前後の強度の差を回復強度、さらに回復強度を健全供試体の強度で除したものを強度回復率と定義し、強度回復率と経過期間の関係を求めると図-24 のようになる。経過期間 2 週間では、回復していないものから 6%回復のものまでばらつきが大きい、4 週間経過のものでは 4%~7%の間に、8 週間経過のものでは 5%~9%となり、その平均値は 4 週間経過したもの 4.9%、8 週間経過したもの 7.8%と明らかに回復率は増加していることがわかる。

6. 結 言

本研究は、損傷コンクリートの特殊アクリル樹脂による補修効果について、いくつかの力学的実験により検討したものである。得られた成果は以下になる。

- 1) 本研究で使用した特殊アクリル樹脂の弾性率はコンクリート母材に比して 1/200 と極めて小さく、剛性的には力学的な補修効果はない。また、引張強度はコンクリートの引張強度と同等もしくはやや小さい。ただし、引張破壊ひずみは数千倍の粘りがある。
- 2) コンクリートの付着強度は、その浸透効果によって一体化が図られるため高く、本研究で使ったような普通強度コンクリートにおける直接引張強度に対しては、付着面で破壊することはあまりなくコンクリート母材の方が先行破壊する。
- 3) 付着面のせん断応力に対する強度は、モール・クーロン型の強度式で表すことができ、8 週間経過した供

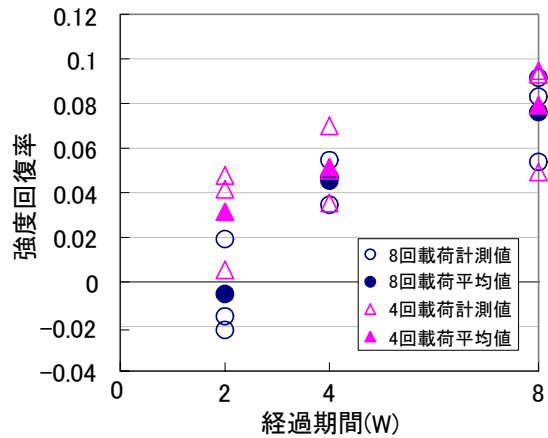


図-24 強度回復率-経過期間関係

試体で次式となる。

$$\tau_c = 3.6 + \sigma \cdot \tan 30^\circ$$

- 4) 微少ひび割れに対する自然浸透による補修では、完全な強度回復は望めないが、健全強度比にして、経過期間 8 週間で 5~10%程度の回復が見込まれる。
- 5) 今回の実験では最長 8 週間の経過期間しか得られておらず、概して経過期間の増加に伴って強度回復傾向と補修効果のばらつき減少が見られる。よって今後、より長期の経過期間における検証が必要である。

参考文献

- 1) 「土木コンクリート補修・補強事典」編集委員会：土木コンクリート補修・補強事典，産業調査会，2003.
- 2) 星野富夫，魚本健人：ひび割れに樹脂注入したコンクリート梁の強度性状と耐久性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.1，pp.451-456，2001.
- 3) 加藤佳孝，伊代田岳史，西村次男，魚本健人：ひび割れを有するコンクリートに適用した表面被覆材の力学性能と耐久性性能評価，土木学会論文集，No.781/V-66，pp.89-99，2005.2
- 4) 国枝稔，川瀬貴行，鎌田敏郎，六郷恵哲：ひび割れ注入材の曲げ付着特性の評価に関する破壊力学的検討，土木学会論文集，No.669/V-50，pp.203-213，2001.2
- 5) 国枝稔，若槻晃右，鎌田敏郎，六郷恵哲：破壊制御設計に基づいたひび割れ注入補修に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.697/V-54，pp.169-177，2002.2
- 6) 三好学，飯坂武男，福島浩一，梅原秀哲：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，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.1，pp.401-406，1998.
- 7) 松尾豊史，金津努：直接引張試験によるコンクリートの引張軟化特性に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.3，pp.127-132，1998.

(2008 年 9 月 18 日受付)