

論文 付着割裂試験法によるコンクリート打ち継ぎ面の付着性能評価

角 徹三^{*1}・辻本 義伸^{*2}

要旨：鉄筋コンクリート（以下RCと略記）部材の付着割裂破壊が主筋に沿って生じることにヒントを得て、主筋位置でコンクリートを打ち継いだRC部材の打ち継ぎ面接着性能を評価する手法として、RC梁試験が応用できることを示した（実験シリーズⅠ）。次に、もっと簡便な接着性能試験法としてSchmidt-Thrø等が提案している付着割裂試験法がきわめて有効であることを実験的に示した。ここでは、従来からある建研式直接引張試験法との比較を試み、両者の試験結果の間に十分な相関が認められることが確認された。

キーワード：コンクリート打ち継ぎ面、接着強度、付着割裂強度、簡易付着割裂試験法、直接引張試験法

1. はじめに

曲げと剪断を受けるRC部材の設計上好ましくない脆性破壊として、剪断破壊とならんで付着破壊がある。これは主筋の横ふしのくさび作用によって鉄筋のまわりのコンクリートにリングテンションがはたらき、主筋に沿ったかぶり部分にひびわれが発生、場合によってはかぶりコンクリートが剥落して耐力を失う破壊形式をいう。一方、表面コンクリートが劣化したRC部材の補修にあたっては、主筋位置までのコンクリートを除去し新コンクリートを増し打ちすることが多く、新旧コンクリートの境界面は付着割裂破壊面と一致すると考えてよい。この事にヒントを得て、本研究では、まず始めにRC梁部材を用いて、主筋位置に設けた打ち継ぎ面が確実に付着割裂破壊面と一致することを確認する実験を行った（実験シリーズⅠ〔1〕）。次に、Schmidt-Thrø等〔2〕が提案し塩原等〔3〕によってその有効性が確かめられている、梁部材よりさらに簡便な付着割裂試験法をコンクリート打ち継ぎ面の接着性能評価に利用することを試みた（実験シリーズⅡ）。コンクリート矩形ブロックの中心に埋め込まれた鉄筋を引き抜く従来からの付着試験に対して、試験鉄筋がコンクリート断面に偏心して配置されており、かぶり長さを実験変数に設定できること、アンボンド域を圧縮反力側に設け拘束の影響を除いていることがこの試験法の特徴である。ここでは、従来からある建研式直接引張試験法も併用し、両試験法の相関を考察した。

2. 梁型付着割裂試験法による接着性能評価（実験シリーズⅠ）

2. 1 梁試験体概要

まったく同一寸法・配筋の梁試験体を2体作製した。試験体の詳細を図-1に示す。試験体両端から150mmの区間は主筋コンクリート間の付着を断ち支点反力による主筋の拘束を除いた。載荷点から梁有効長（184mm）だけ離れた引張側コンクリートに剪断ひびわれを誘発させるため深さ

* 1 豊橋技術科学大学教授 建設工学系、工博（正会員）

* 2 豊橋技術科学大学大学院 修士課程 工学研究科建設工学専攻

15mmのスリットを設け、この位置より外側の区間を付着試験区間とした。付着割裂破壊を最優先させるため試験区間の主筋には横補強筋は配されていない。主筋の内側には圧縮筋と連続になっている補助用鉄筋を配し、これに横補強筋を緊結してこの区間での剪断破壊を防いだ。

この種の単純梁形式の部材試験では片側スパンのみの破壊発生で試験を終了することが多い。本実験では、破壊した側のスパンを鋼板と12本のボルトで補強したあと再度載荷し、もう一方のスパンを付着割裂破壊させることができた(図-3参照)。使用コンクリートおよび鉄筋の性質を表-1、2に示す。各配合のコンクリートの打設手順については後述する。スリット位置の主筋ひずみをF.S.Gで測定し、これより試験区間の平均付着応力度を求めた。

2. 2 実験手順

実験手順の概要を図-2に示す。まったく同一の試験体をそれぞれNo.1, No.2とする。まずNo.1では打ち継ぎのない一体打ちの場合の主筋を連ねる面での付着割裂強度を確認した後、試験区間の剥離コンクリートを除去し各スパンのこの部分にA, B 2種類の配合のコンクリートを打ち継ぎ再度試験を行った。この時に得られた実験結果をNo.1'としてNo.1と区別する。一方、No.2試験体は試験前に試験区間のかぶりコンクリートをブラスト処理によって除去し、この部分にNo.1の場合と同様A, B 2種類の配合のコンクリートを打ち継いで試験に供した。

2. 3 実験結果の考察

2. 3. 1 破壊時のひびわれ状況

各試験体の破壊時のひびわれ状況を図-3に示す。基準となる母材コンクリートの付着割裂破壊を意図したNo.1では試験区間での主筋に沿って典型的な付着割裂ひびわれが生

表-1 コンクリートの性質(実験シリーズI)

	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					圧縮強度 (kg/cm ²)	試験体
		W	C	S	G	シリカヒューム AE 減水剤		
母材コンクリート	54	228	422	814	824		312(材齢10日) 397(材齢43日)	No.1 No.1', No.2
増厚コンクリート 配合A	38	205	540	1508	104	27	417(材齢23日)	No.1', No.2
配合B		速硬モルタル: 水: アクリルエマルジョン = 27: 3: 1					353(材齢24日)	No.1', No.2

表-2 鉄筋の性質(実験シリーズI)

種類	径	降伏応力 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	弾性係数 (kg/cm ²)
主筋	D13	3600	5210	1.96×10^6
横補強筋	φ6	3150	4190	2.00×10^6

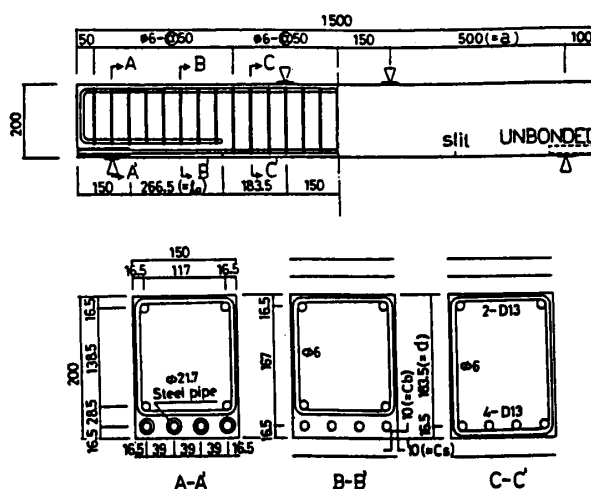


図-1 試験体の寸法配筋詳細 (単位 mm)

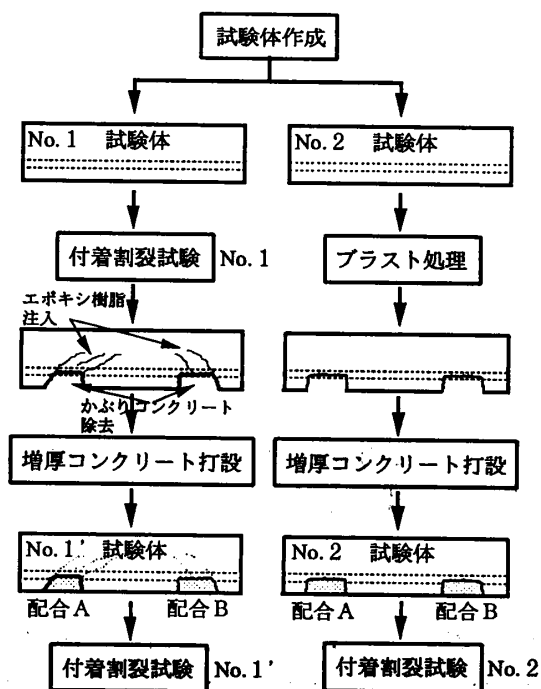


図-2 実験の手順概要

じた。ブラスト処理を行ったNo.2では、No.1のような主筋に対して40°～60°の傾斜した複数個の微細ひびわれは発生せず、新旧コンクリート境界面そのものが破壊面と完全に一致している。一体打ちを付着破壊させた後打ち継ぎを行ったNo.1'もNo.2と同様な性状を示した。このことは打ち継ぎ面が相対的弱点であることを示すと同時に、本試験法が打ち継ぎ面の接着性能評価に有効であることをも示していると考えてよい。

2. 3. 2 耐力および付着強度

実験で得られた最大剪断力（耐力）と最大付着応力度（付着強度）を表-3に示す。No.2は基準となるNo.1の75%以上の耐力を発揮した。No.1'はさらに耐力が低くNo.1の62%程度であった。これを100%に近づけるための方策としては打ち継ぎ面の適切な粗度の選定、接着剤の使用等が考えられよう。付着強度についても耐力と同様のことがいえるが、両者は必ずしも比例関係にない。これは慣用の $\tau = Q / \Sigma \phi_j$ が成立しないためであり両者の合理的な関係の定式化が必要である。打ち継ぎコンクリートの配合の差異は結果にほとんど影響を与えていない。このことは、増厚コンクリートが母材コンクリートより高強度・高品質であるかぎり、接着性能は母材側のコンクリートの品質に支配されることを示唆しているものといえよう。

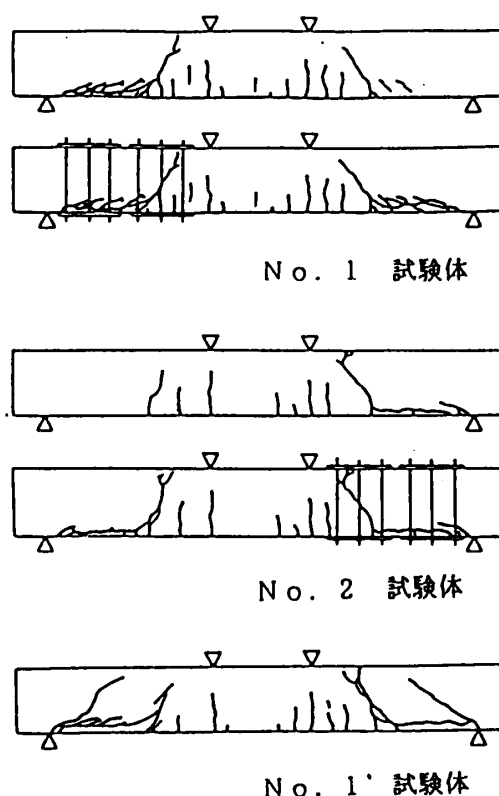


図-3 破壊時のひびわれ状況

表-3 実験シリーズIの試験結果

試験体	最大せん断力		最大付着応力		備考
	Qmax (tonf)	%	τ_{max} (kg/cm ²)	$\tau_{max}/\sqrt{f_c}$ %	
No.1-1	4.60	100	23.3	1.32	100
-2	4.68	102	22.6	1.38	97
No.2-1	3.44	75	21.4	1.07	81 配合B
-2	3.76	82	22.3	1.11	84 配合A
No.1'-1	2.84	62	10.9	0.55	42 配合A
-2	2.99	65	11.2	0.56	42 配合B

3. 簡易型付着割裂試験法による接着性能評価（実験シリーズII）

3. 1 簡易型付着割裂試験体の概要

通常、増厚コンクリートの接着性能試験には建研式と呼ばれる直接引張法が一般的だが、接着面の引張強度がそれ以外の部分の引張強度より大きい時は破断面が接着面に一致せず真の接着強度が得られない。2章で示した梁型付着試験は確実に接着面で破壊するが試験そのものが大がかりになり簡便さという点で難点がある。そこでSchmidt-Thrö等〔2〕が提案し塩原等〔3〕によってその有効性が確かめられている梁部材よりもっと簡便な付着割裂試験法を接着性能評価に適用することを試みた。試験体の概要と載荷方法を図-4、図-5に示す。試験体の寸法・試験鉄筋位置等は確実にサイドスプリット型付着割裂破壊が生じるよう数度の試行錯誤の末、図-4のように決定された〔4〕。試験鉄筋が偏心して配置されているため、試験体下側に引張応力が生じる。下端筋D10はこれに対処するためのものである。

実験変数は打ち継ぎの有無および打ち継ぎの仕様とした。図-6に示すように一体打ち（打ち継

ぎ面なし、Mと表記)は典型的な付着割裂破壊を示す。打ち継ぎ有りでは同図 (b)のように打設後一定期間をおいてコンクリートを打ち継いだ。打ち継ぎの仕様としては表面にいっさい手を加えないで新コンクリートを打ち増したもの (JN)、ワイヤブラシでレタンス除去・表面均し後水を散布したもの (JP)、同一の処理後エポキシ樹脂接着剤を塗布したもの (JB) の3種類とした。新旧コンクリートの配合はまったく同一とした。コンクリートの配合および使用鉄筋の性質を表-4、5に示す。

コンクリートの接着強度は圧縮強度とは異なり実験結果のばらつきが大きくなることが十分予想されたので、実験は時期を変えて4回にわたって実施し同一仕様の試験体のデータを増やすことに努めた。また、従来から行われている接着性能試験法(以後、直接引張試験と呼ぶ)と本試験法との相関を知るために、2回目以降直接引張試験も並行して実施した。簡易型付着試験体と同じ成および同じ打ち継ぎ高さを持つコンクリートブロック(300×240mm)を打設し硬化後60×60mmのユニットに切断して直接引張試験を実施した。コンクリートの配合・打ち継ぎ仕様は簡易型付着試験とまったく同様である。

3. 2 実験結果の考察

3. 2. 1 一体打ちの実験結果と既存付着割裂強度式との比較

実験シリーズI・IIの内、打ち継ぎのない試験体についての平均付着強度の実験値と、付着割裂強度式として多用される藤井・森田式[5]とを比較したのが図-7である。藤井・森田式は塩原等の実験結果のほぼ平均値を、著者等の実験結果のほぼ下限値をそれぞれ与えている。

3. 2. 2 簡易付着割裂試験の結果

簡易型付着試験法の実験結果を表-6および図-8に示す。表-6の平均付着応力度の欄の

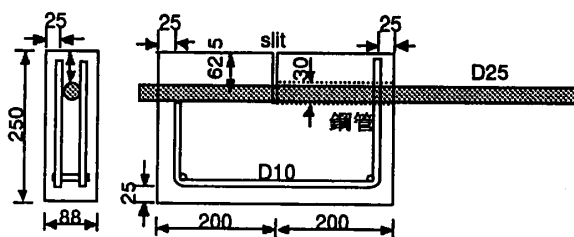


図-4 実験シリーズII 試験体寸法詳細

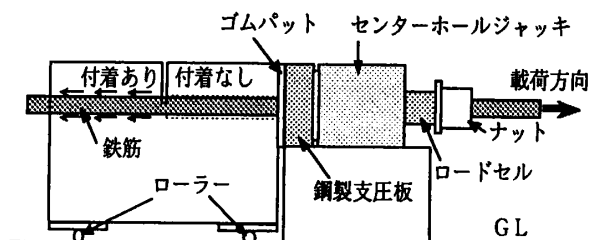


図-5 実験シリーズII 試験体載荷方法

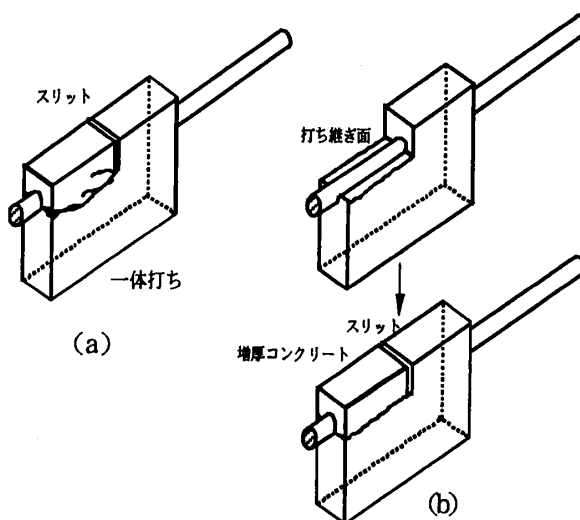


図-6 実験シリーズII 試験体概念図

表-4 コンクリート配合表(実験シリーズII)

	W / C (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
配合	58	228	391	756	924

表-5 使用鉄筋の性質(実験シリーズII)

種類	径	降伏応力 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	弾性係数 (kg/cm ²)
主筋	D25	1.00×10 ⁴	1.08×10 ⁴	2.03×10 ⁶
補強筋	D10	3.47×10 ³	5.07×10 ³	1.86×10 ⁶

表-6 簡易型付着試験結果一覧

試験体		コンクリート		打継面の 処理方法	平均付着強度 (kgf/cm ²)	Mシリーズに 対する比(%)
		圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)			
第1回試験	M-1	310	25.5		35.6 (3)	1.00
	JN-1			N	20.5 (3)	0.58
	JP-1			P	16.1 (3)	0.45
	JB-1			B	36.1 (3)	1.01
第2回試験	M-2	260	25.4		37.2 (3)	1.00
	JN-2			N	27.5 (1)	0.74
	JP-2			P	26.5 (2)	0.71
	JB-2			B	29.5 (2)	0.80
第3回試験	M-3	353	28.3		52.2 (3)	1.00
	JN-3			N	29.7 (3)	0.57
	JP-3			P	41.6 (3)	0.80
	JB-3			B	47.3 (2)	0.91
第4回試験	M-4	344	24.3		46.9 (6)	1.00
	JN-4			N	19.7 (6)	0.42
	JP-4			P	31.7 (6)	0.68
	JB-4			B	44.9 (5)	0.96

M: 一体打ち J: 打継ぎ面あり N: 処理なし P: ワイヤブラシでレタンス除去後、水散布
B: ワイヤブラシでレタンス除去後、樹脂接着

カッコ内の数値は試験体の個数を表す。図-8からわかるように、かなりのばらつきがあるものの付着強度はJN<JP<JB<Mの順に並び、接着性能評価として十分に有効であるといえる。エポキシ樹脂接着剤をもちいれば最低でも一体打ちの80%の強度は確保できる。JPは最もばらつきが大きく打ち継ぎ面仕上げの巧拙が結果に大きく影響することがわかる。破壊性状についてみると、Mタイプはすべて図-6(a)に示すような典型的なサイドスプリット型の付着割裂破壊を示した。JN、JPタイプでは打ち継ぎ面と破壊面が完全に一致した。これに対してJBは両者の破壊形式のいずれかとなった。

3. 2. 3 直接引張試験の結果

直接引張試験の結果を表-7および図-9に示す。この試験法は偏心のない一様引張応力状態を保証するのが難しかったり、鋼板とコンクリートの接着部分が弱点となることがある。接着強度の強いJBタイプでは信頼できるデータが得られなかったため、ここでは、JN、JPタイプのみの結果を示す。回ごとに程度の差はかなりあるがJN<JPの関係は保たれている。

3. 2. 4 両試験法の結果の比較

簡易型付着試験結果と直接引張試験結果の相関をみたのが図-10である。付着強度は一体打ちの強度で、接着強度はコンクリートの引張強度(ACI式 $1.7\sqrt{\sigma_B}$ で近似)でそれぞれ基準化してあ

表-7 直接引張試験結果一覧

試験体		コンクリート		接着面積 (mm²*mm)	平均接着強度 σ_f (kgf/cm²)	$\sigma_f / 1.7 \sqrt{\sigma_B}$ (%)
		圧縮強度 σ_B (kgf/cm²)	引張強度 (kgf/cm²)			
第1回試験	JN-1	試験行わず				
	JP-1					
第2回試験	JN-2	260	25.4	60*60	4.6(3)	0.16
	JP-2				9.5(3)	0.35
第3回試験	JN-3	353	28.3		15.9(3)	0.50
	JP-3				18.1(3)	0.56
第4回試験	JN-4	344	24.3		1.9(3)	0.06
	JP-4				13.6(2)	0.43
N：処理なし P：ワイヤーブラシでレタンス除去後水散布						

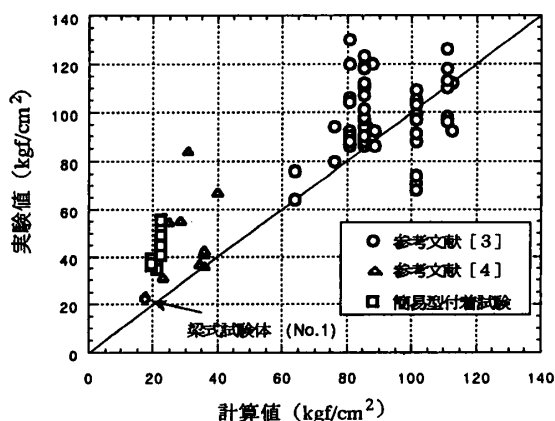


図-7 実験値-藤井・森田式

る。若干の例外はあるものの右上がりの傾向にあり両試験法間の相関が認められた。しかし、直接引張試験のばらつきが大きすぎ、現時点で両者の相関を定式化するには無理がある。むしろ、簡易型付着割裂試験での一体打ちの強度で基準化された付着指標と、新旧コンクリートのうち低いほうの引張強度との積を接着性能指標として使用することのほうが現実的であると思われる。

4. まとめ

打ち継ぎ面でのコンクリートの接着性能評価として梁型試験法と簡易型付着試験法の2つについてその有効性を検証するための実験を行った。その結果以下の知見を得た。

(1) 梁型付着割裂試験法によりコンクリート打ち継ぎ面の接着性能が評価できることが確認できた。付着割裂面を無処理で打ち継いだ付着強度が一体打ちに比べて60%に低下したのに対し、ブラスト処理した付着強度は最低75%にとどまった。

(2) 使用鉄筋1本のみの簡易型付着割裂試験法によればより簡単に確実にコンクリート打ち継ぎ面の接着性能が評価できることが確認できた。打ち継ぎ面にエポキシ樹脂接着剤を用いると、最低でも一体打ちの80%の付着強度を確保した。

(3) 従来からある直接引張試験と簡易型割裂試験法の間には十分な相関が認められた。その定式化は今後の課題である。

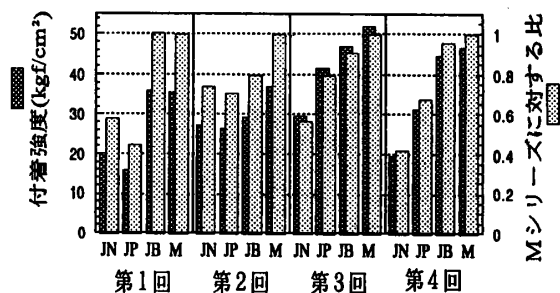


図-8 簡易型付着試験結果

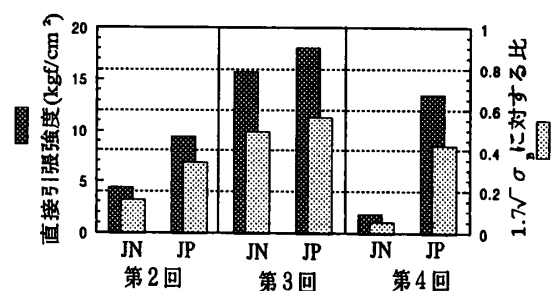


図-9 直接引張試験結果

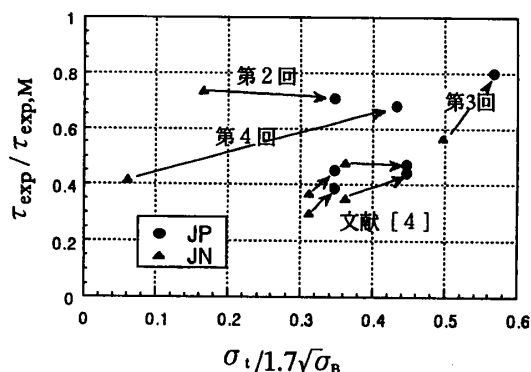


図-10 付着強度-接着強度

参考文献

- [1] 角 徹三他：付着割裂試験法による増厚コンクリートの接着性能評価、日本建築学会東海支部研究報告、pp.153-156、1990年2月
- [2] G.Schmidt & Thrö：Einfluss einer einachsigen Querverpressung und der Verankerungslänge auf das Verbundverhalten von Rippenstählen im Beton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 389, pp.99-174, 1988
- [3] 建設省総合開発プロジェクト鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発、高強度鉄筋分科会研究成果報告書、pp.127-164、1993.3
- [4] 角 徹三：付着割裂試験法によるコンクリート打ち継ぎ面の接着性能評価、日本建築学会学術講演梗概集C構造II、pp.651-652、1994
- [5] 藤井 栄、森田 司郎：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究、日本建築学会論文報告集、No.319、pp.47-55、1982.9