# RC橋脚の耐震補強に用いる FRP ー鋼板接着接合部の付着挙動

Bonding behavior of FRP-steel bonded connections using for seismic retrofit of reinforced concrete bridge piers

張広鋒\*, 星隈順一\*\*, 堺淳一\*\*\*

Guangfeng Zhang, Jun-ichi Hoshikuma and Junichi Sakai

*博 (工)	(独) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター	- 研究員(〒305-8516 つくば市南原 1-6)
**博 (工)	(独) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター	上席研究員 (〒305-8516 つくば市南原 1-6)
**博 (工)	(独) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター	主任研究員 (〒305-8516 つくば市南原 1-6)

A retrofit method with using combination of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) jacketing and steel plate jacketing are under studied for seismic retrofit of reinforced concrete (RC) bridge piers. A key issue of this method is to ensure the bonding strength of CFRP-steel bonded connection. In this paper, a series of shear bond tests were performed with the purpose to provide basic knowledge for developing a rational design method for the CFRP-steel bonded connection. Bonding behavior between CFRP and steel plate was investigated by discussing the test results on bonding strength, strain distributions in CFRP, interfacial shear stress and the length of effective bond length.

Key Words : reinforced concrete bridge pier, seismic retrofit, FRP jacketing, steel jacketing, bonding behavior

キーワード: RC 橋脚, 耐震補強, FRP 巻立て, 鋼板巻立て, 付着挙動

# 1. はじめに

連続繊維シート(以下, FRP)は,軽量で施工性に 優れ,既設鉄筋コンクリート(RC)構造物の耐震補強・ 耐荷力補強に広く用いられている.既設道路橋の RC 橋脚の耐震補強においては,FRPを橋脚高さ方向(軸 方向)に巻立てて,主鉄筋段落し部の曲げ耐力補強や, FRPを周方向に巻立ててせん断補強やじん性補強を 行う場合がある<sup>例えば,1)</sup>.しかしながら,FRPは,引 張強度は高いが,破断ひずみが小さく伸び性能が低い ため,RC橋脚の基部のように曲げ耐力を向上させて, かつ高い変形性能が要求される部位の耐震補強には適 用することが困難と考えられる.

一方, FRP を主要補強材とする耐震補強は,補強に よって死荷重の増加が少なく,またハンドリングの面 からも施工に優れる等のメリットがあるため,河川 橋などのように施工や工期等の制約条件の多い現場 への適用が期待できる.そこで,著者らは,炭素繊維 シート (CFRP)を主要補強材として,基部を含む橋脚 全体の耐震補強に適用可能な補強工法を考案し,従来 の RC 巻立て工法や鋼板巻立て工法等の補強工法に加



図-1 提案の補強工法のイメージ図

え, RC 橋脚の耐震補強工法としての提案を目指して 研究を進めてきている<sup>1),2)</sup>.

図-1に,提案している補強工法のイメージ図を示 す.この工法は,塑性ヒンジとなる基部の補強には 伸び性能の高い鋼板による巻立て工法,塑性ヒンジ とならない躯体部の補強には軽量で引張強度の高い





(b) 実験実施状況

表-1 供試体の製作の詳細			
作業内容と作業の流れ	説明		
綱垣の圭西加田	・処理方法: ディスクサンダーによるケレン処理		
·斯尔·尔尔田尼·王	・処理程度: 表面の黒皮をすべて除去するまで		
プライマーの塗布	・使用材料: 2 液混合常温硬化型エポキシ樹脂 ・使用量: 0.2 kg/m <sup>2</sup>		
CFRP の接着	・接着手順: 片面に規定の層数を接着→硬化(半日)→反対側面に規定の層数を接着		
	・使用材料: 2 液混合常温硬化型エポキシ樹脂 ・使用量: 1.2 kg/m <sup>2</sup>		
仕上げ	・タブの取り付け,バリ取り等・・タブの材料:2方向アラミド繊維シート		
養生	・室温(夏季),7日間		
<u>11上り</u> 養生	<ul> <li>・ダブの取り付け、パリ取り寺</li> <li>・ダブの材料: 2万向アラミト繊維シート</li> <li>・室温(夏季)、7日間</li> </ul>		

図-2 供試体概要および実験方法

CFRP を主として軸方向に巻立てる工法を用い、鋼材 と CFRP のそれぞれの力学特性を活かす併用工法で ある。補強のメカニズムとしては、アンカーボルトと 鋼板の組み合わせによって基部の曲げ耐力・じん性補 強を行い、鋼板を介して基部アンカーボルトによる曲 げ耐力の増加分を躯体部に巻き立てた CFRP に負担 させることにより、橋脚全体の耐震性能を向上させる ものである.ここで、CFRP と鋼板の接着接合部は、 施工性を配慮し、樹脂を用いて接着することとしてい る. このため、CFRP と鋼板の接着接合部が新たな弱 点部とならないよう,また,基部の所定の曲げ耐力が 確保されるようにするために、CFRP と鋼板間の接着 を確保することが重要である. そこで、本研究では、 CFRP -鋼板接着接合部の設計手法を確立するための 基礎資料を得ることを目的として、CFRP と鋼板の付 着挙動を検討することとした。

CFRP と鋼板の付着挙動に関する既往の研究におい て,現在のところ,橋脚の耐震補強における CFRP – 鋼板接着接合部の付着耐力に関する研究<sup>4),5)</sup>,鋼構造 の補修・補強における CFRP と鋼材の付着挙動に関す る研究<sup>6),7)</sup>, CFRP と鋼板の付着界面の力学挙動に関 する研究<sup>8),9)</sup>,等幾つかが報告されている.本研究で は,これらの研究結果を参考とし,提案している補強 工法の構造特徴を考慮に入れ, CFRP –鋼板接着接合 部の設計に利用可能と考えられる付着界面の力学特性 を実験的に調べることとした.検討では,CFRPの接 着厚さの異なる4ケースに対して一方向引張実験を実 施し,CFRPのひずみ分布を精査した上,CFRPと鋼 板間の剥離挙動,付着応力および有効付着長等につい て考察した.

## 2. 実験概要

図-2に、本研究に用いた CFRP -鋼板付着実験用 供試体の概要図および実験実施状況を示す.供試体 は、断面 25mm×25mmの SS400 圧延鋼材の両面に CFRPを接着して製作したものである.ここで,供試 体の設計に関する考え方は、以下のようにした.1)鋼 板の板厚については、CFRPの接着厚さにかかわらず、 いずれの実験ケースでも板厚 25mmの鋼板を用いて いる.これは、CFRP が剥離するまでに鋼板が降伏し ないようにするためである.この条件による実験にお ける応力は、最大でも降伏応力の公称値の 50%程度と なった.なお、本研究では、板厚が比較的大きく、鋼 板の伸び剛性に対して CFRP の伸び剛性が比較的小さ い場合を対象としている.実際には、鋼板の伸び剛性 と CFRP の伸び剛性の大小によって付着特性に影響が あると考えられるが、本研究では、検討の第1歩とし

表-2 供試体の一覧

実験	接着長さ	片側の接着厚さ	供試体数	
ケース	(mm)	(層数,厚さ)		
1 層供試体	600	1 層, 0.333mm	3体(No.1~No.3)	
2 層供試体	600	2 層, 0.666mm	3体(No.1~No.3)	
3 層供試体	600	3 層, 0.999mm	3体(No.1~No.3)	
4 層供試体	600	4 層, 1.332mm	3 体(No.1~No.3)	

表-3 材料特性の一覧

材料	項目	実験値
	目付量 (g/m <sup>2</sup> )	600
CEDD	設計厚さ (mm)	0.333
CFKP	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	$2.60 \times 10^{5}$
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	3,400
	弹性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	$2.202 \times 10^{3}$
ィポキシ特胆	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	71.8
エルイン関加	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	47.0
	引張せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	17.6

てこのようにしたものである.2) 接着部の長さについては,CFRP と鋼板間の付着応力のみではなく,剥 離の進展に伴って CFRP のひずみ分布の変化も検討可能にするため,接着部の長さを 600 mm とした.この 長さは,文献 8),9) を参考とし,後述に考察する有効 付着長の推定値より長くしたものである.3) 鋼板端 と掴み部 A 間の無接着部については,CFRP と鋼板間 の剥離が発生し始める時点(以降,剥離開始時と呼ぶ) を特定するために,鋼板端と掴み部 A 間に 50 mm の 無接着部を設けている.剥離開始時の特定方法は 3 章 に述べる.

表-1に、供試体の製作の詳細を示す。接着部の鋼板の表面は、黒皮を完全に除去するまでディスクサン ダーによるケレン処理を施した。CFRPの接着は、現場と同様に、CFRPに含浸接着樹脂を含浸させるのと 同時に鋼板に接着させる方法によって実施した。供試 体の養生期間は7日間とした。

実験では,接着厚さの影響を検討可能にするため, 繊維目付量 600 g/m<sup>2</sup> の高強度 CFRP を用い,接着層数 を1層~4層とした4つの実験ケースを設けた.各実 験ケースに対しては,それぞれ3体を実施した.表-2に供試体の一覧を示す.以降の検討では,これらの 実験ケースを1層供試体~4層供試体と呼ぶ.また, 実験時では,2面のうちの1面の CFRP 上に20mm 間 隔でひずみケージを設置し,CFRP のひずみを計測し た.ここで,以下の説明の便宜上,ひずみゲージを貼 付した面の CFRP は A 面 CFRP,反対側の CFRP は B 面 CFRP, A, B 両面の CFRP と鋼板の付着界面は,そ れぞれ,界面 A と界面 B と呼ぶ.

実験は、図-2に示すように、300 kN 万能試験機



を用いて行った. 載荷速度は 0.5 ~ 1.0 mm/min とし, CFRP が全面剥離するまで載荷した.

表-3に、実験時に用いた CFRP と含浸接着樹脂の 材料特性の実験値を示す.

#### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 剥離開始時の判定方法

本研究の着目点の一つとしては、剥離の発生に伴う CFRP –鋼板接着接合部の付着力や CFRP のひずみ分 布の変化を考察することである.そのため、剥離開始 時を特定する必要がある.ここで、本研究では、以下 に示す方法を用いて剥離開始時を判定した.

図-3に示すように, CFRP に作用する力は, 式(1) を満足する.

$$F_{1} = \begin{cases} F_{0} - \int_{0}^{x_{1}} \tau(x) dx & 剥離が生じる前 \\ F_{0} & 剥離が生じた後 \end{cases}$$
(1)

ここに、 $F_0 \ge F_1$ は、ゲージ  $S_{03} \ge S_1$ の位置にお ける CFRP の引張力であり、それぞれ、 $F_0 = (S_{02} \ge S_{03}$ の平均ひずみ)× CFRP の弾性係数×断面積、と  $F_1 = (S_1 のひずみ) × CFRP の弾性係数×断面積とな$  $る. <math>\int_0^{x_1} \tau(x) dx$ は、鋼材端とゲージ  $S_1$ 間の総付着力で ある. 剥離が生じる前、界面の付着力  $\int_0^{x_1} \tau(x) dx$ が存 在するため、 $F_1$ は  $F_0$ より小さい。剥離が生じた後、 付着力  $\int_0^{x_1} \tau(x) dx$ がなくなり、 $F_1$ が  $F_0$  と同値になる。 すなわち、 $S_1$ のひずみ値が、 $S_{02} \ge S_{03}$ の平均値と同 値になる。このような考え方に基づき、後述の考察で は、 $S_1$ のひずみ値が  $S_{02} \ge S_{03}$ の平均ひずみ値と同値 もしくは近い値(1層供試体の No.3 の場合)となっ



図-5 実験終了後の付着界面の状況写真

## た時点を剥離開始時として判定した.

図-4に、剥離開始時の判定例として、1層供試体 の No.1 と No.3 のひずみ分布を示す. 両供試体とも、  $S_1$ のひずみは、載荷初期に  $S_{02}$  と  $S_{03}$ の平均値より 小さく、その後、徐々に  $S_{02}$  と  $S_{03}$ の平均ひずみに近 づいていく分布を示す. 1層供試体の No.3 を除いた 全ての供試体の場合は、(a) 図と同様な分布形状であ り、両者が交差した時点を剥離開始時とした.なお、 (b) 図に示す No.3 供試体の場合は、両者が交差してい ないため、両者が最も近い値となった時点を剥離開始 時とした.この時の両者の差は、 $S_1$ のひずみ値の約 10%の 522  $\mu$  である.

## 3.2 破壊状況

供試体の両付着界面の破壊形態を調べるために,い ずれの供試体に対しても両面のCFRPが全面に剥離す るまで載荷した.実験終了後における付着界面の破壊 状況を観察した結果,図-5に示すように,概ね2種 類の破壊形態が確認された.一つは,樹脂とCFRP間 に剥離が生じ,樹脂が鋼板側に付着したままで全面剥 離に至った破壊形態(破壊形態aと呼ぶ),もう一つ は,樹脂と鋼板間に剥離が生じ,樹脂がCFRP側に付 着したままで全面剥離に至った破壊形態(破壊形態b と呼ぶ)である.実験では,殆どのケースは破壊形態 aであった.表-4に,各供試体の両付着界面の破壊 形態を示す.なお,以降に示す実験結果を考察した結 果,本実験の範囲内では,破壊形態が付着性能に与え る明確な影響が認められなかった.

載荷終了時付近における両面の CFRP の剥離状況に 関しては、4 層供試体の No.2 供試体は両面の CFRP がほぼ同時に全面剥離したが、その他の供試体は、両 面の CFRP が順に剥がれていく状況であった。全面 剥離が同時に生じていない理由は、製作時における CFRP の長さの誤差や載荷時の微小の偏心荷重等の影 響によるものと考えられる。表-4 に、各供試体にお ける両面の CFRP の剥離順序を示す。

なお,2層供試体の No.3 供試体は,載荷の早い段 階に B 面 CFRP が全面剥離し,A 面 CFRP のみの片 面接着状態となったため,3.3 以降に示す実験結果は,

表-4 実験結果の一覧

実験	供試体	破壊形態		A, B 両面の CFRP		
ケース	番号	界面 A 界面 B		シートの剥離順序		
	No.1	а	а	B 面剥離→A 面剥離		
1層供試体	No.2	а	а	A 面剥離→B 面剥離		
	No.3	а	а	A 面剥離→B 面剥離		
	No.1	а	а	B 面剥離→A 面剥離		
2層供試体	No.2	а	b	A 面剥離→B 面剥離		
	No.3	а	а	A 面剥離		
	No.1	а	а	A 面剥離→B 面剥離		
3層供試体	No.2	b	а	B 面剥離→ A 面剥離		
	No.3	а	b	B 面剥離→A 面剥離		
	No.1	a	a	A 面剥離→B 面剥離		
4層供試体	No.2	а	а	ほぼ同時		
	No.3	а	а	A 面剥離→B 面剥離		

剥離開始時の結果を除き,全てA面のみ接着した場合の結果である.また,この供試体の両面のCFRPの ひずみを調べた結果,B面の $S_{01}$ のひずみは,載荷初 期から $S_{02} \ge S_{03}$ の平均ひずみより低く,剥離時には, $S_{02} \ge S_{03}$ の平均ひずみの8,800 $\mu$ に対して1,600 $\mu$ で あった.そのため,B面のCFRPが早期に剥がれた原因は,初期接着不良によるものと推察される.

#### 3.3 荷重-変位関係

図-6に,各供試体の荷重-変位関係を示す.これ らの結果は、2層供試体のNo.3を除き、いずれも、片 面のCFRPが完全に剥離した時点までの結果である. それ以降は、荷重が急激に低下し、ひずみ値の変動も 大きくなったため、本研究の検討目的に照らし、図-6には示していない.なお、ここに示す変位とは、鋼 板端におけるCFRPの変位とし、ひずみを積分して計 算した値である.

また,後述する考察の便宜上,図には,剥離開始 時 回,剥離範囲が第 3~5 番目のゲージまで進行した 時点 回,剥離範囲がおおよそ 200,300,400,500mm まで進行した時点 ②~ ⑤,および最大荷重時 Mを示 している.ここで,剥離開始時 回は,前述の方法に



図-6 荷重-変位関係

よって判定した.時点[]は,鋼板端から第 3~5 番目 のゲージにおいて,剥離の進行範囲を判定しやすい ゲージを対象とし,そのゲージまでに剥離が進行し た時点とした.これは,界面の付着応力を検討するた め,剥離がある程度に進行した時点かつひずみ値の変 動が未だ大きくなっていない時点の結果を得るため である.第 3~5 番目のゲージは,鋼板端から 65 mm ~105mmの範囲にある.一方,時点[2~5]について は,指定位置にある S<sub>i</sub> ゲージのひずみ値が, S<sub>i-1</sub> と同 程度の値となった時点とした.剥離の進行に伴い,ひ ずみ値の変動が大きく,剥離範囲を正確に判定するこ とが困難となる. ここに示す時点 ②~⑤は,あくま でも剥離進行範囲の一つの目安として用いた. なお, 2層供試体の No.1,3層供試体の No.3,4層供試体 の No.2 と No.3 の場合は,A 面 CFRP の剥離範囲が 500mm 程度に達する前に B 面 CFRP が完全に剥離し たため,時点⑤を示していない.

図-6より,いずれの供試体においても,剥離開始 時付近より曲線の剛性勾配が明瞭に低下していること が見られる.その後,荷重の増加があるが,変位時点 ①付近からは,殆どの場合は,荷重-変位曲線は横ば いとなり,荷重が明瞭に増加しなくなる.これより,





剥離の発生に伴って荷重の変位に対する増加率が低下 し,剥離がある程度の範囲まで進行すると荷重が増加 しなくなることが分かる.

# 3.4 ひずみ分布

図-7に、図-6に示す各変位時点および荷重が 20kNになった時点における CFRP のひずみ分布を示 す.ここで、荷重が 20kNになった時点は、いずれの 供試体も剥離が未だ生じていない時点であり、剥離が 生じる前のひずみ分布を示すための目安荷重時であ る.荷重 20kN時では、 $S_{02} \geq S_{03}$ の平均ひずみが最も 大きく,鋼板端から 75mm 程度の範囲に掴み部 B 側 向かって一方的に下がる分布形状を示す.剥離開始時 では, S<sub>1</sub>のひずみ値が S<sub>02</sub> と S<sub>03</sub>の平均値と同値(1 層供試体の No.3 の場合は同程度)となり,鋼材端か ら S<sub>1</sub>までの剥離した区間ではひずみ分布が一様な分 布となっている.その後,変位レベルの増加に伴い, 剥離領域が徐々に掴み部 B 側に進行していく形状を 示す.なお,剥離した区域では,接着範囲に沿ってひ ずみ値の変動があるが,概ね同程度の値を示す.

表-5に、各供試体の剥離開始時における S<sub>02</sub> と S<sub>03</sub> の平均ひずみを示す.表より、同一実験ケースの3結





果間のばらつきが大きいが、1層供試体と2層供試体 の場合は、3層供試体と4層供試体の場合より高いひ ずみ値を示していることが分かる.

これらの結果を図-6の荷重-変位関係と合わせて 考察すると、CFRPの接着厚さが多いほど、付着力が 大きくなるが、剥離が生じる時点における鋼材端の CFRPのひずみレベルが低下することが分かる.3層 供試体の No.1 と4層供試体の No.1の場合は、 $S_{02}$  と  $S_{03}$ の平均値が最も低く 3,500  $\mu$  程度となっている. なお、接着厚さが4層の場合より多くなる場合は、剥 表-5 剥離開始時における So2 と So3 の平均ひずみ

実験	S <sub>02</sub> と S <sub>03</sub> の平均ひずみ (ε)			
ケース	No.1	No.2	No.3	3体の平均
1層供試体	6,311	8,263	5,728	6,763
2層供試体	7,127	6,640	7,048	6,938
3層供試体	3,513	4,604	4,937	4,351
4層供試体	3,555	5,450	4,285	4,430

離開始時のひずみがさらに低下すると考えられる.こ の点についてはさらに検討が必要である.

# 3.5 有効付着長

有効付着長を検討するために、図-7に示すひずみ 分布より界面の付着応力の分布を求めた.図-8に その結果を示す.位置 xにおける付着応力  $\tau(x)$ は、 CFRP のひずみを用いて式(1)より求めた.なお、計 算では、ひずみゲージ間を直線分布としている.

$$\tau(x) = \frac{d\sigma(x)}{dx} \cdot t_f = \frac{d\varepsilon(x)}{dx} \cdot E_f \cdot t_f$$
(2)

式中の $E_f$ と $t_f$ はCFRPの弾性係数と厚さである.

図-8より、付着応力が生じた領域は、概ね三角形 分布となり、変位レベルの増加に伴って掴み部 B 側 にシフトしていくことがみられる. 図-7に示すひず み分布と照らし合わせると,付着応力が発生する領域 は、ひずみ値が増加し始める位置から完全に剥離した 位置までの範囲となることが分かる。これらの結果よ り、ある荷重レベルにおいて、付着抵抗に寄与する接 着範囲は限定的となり、この範囲を超える接着部分は 付着抵抗に寄与しないことが分かる. そこで, この範 囲の長さを有効付着長と定義し、剥離発生時 D,変位 時点2~4に対してその長さを調べた. ここで, 変 位時点⑤と最大荷重時では、剥離範囲は接着範囲の 端部付近まで進行し,付着応力がゼロにならない場合 が多いため、これらの結果を対象外とした. 有効付着 長の判定方法としては,三角形分布の両側において, 付着応力がゼロとなった点、もしくは横軸を横切った 点(応力が負になっている場合)を用い,両点間の距 離を有効付着長とした.ここで,ゲージの貼付間隔と も関連しているので、簡易的にゲージ間隔の整数倍で 有効付着長の長さを整理した。整理の結果,1層供試 体の場合は 80~100mm, 2 層供試体の場合は 100~ 160mm, 3 層供試体の場合は 120~180mm, 4 層供試 体の場合は 140~200mm となった. 接着厚さが多い ほど、有効付着長が長くなる傾向が分かる.

## 4. まとめ

本研究では、鋼板と CFRP を併用する RC 橋脚の 耐震補強工法の提案に向けて、その要素技術となる CFRP と鋼板の付着挙動を把握するための実験的検討 を行った.本研究で得られた知見を整理すると、以下 のとおりである.

- CFRP -鋼板接着接合部の付着力は、CFRP の接着厚さの増加に伴って大きくなる.しかしながら、CFRP の接着厚さが多いほど、剥離開始時における鋼材端のCFRP のひずみレベルが小さくなる傾向がある.本実験の条件の範囲内では、3 層接着と4 層接着の場合においては、最も低いひずみ値が3,500 µ 程度となっている.
- 2) CFRP と鋼板間の剥離が生じることによって,付 着力の変位に対する増加率が低下する.剥離があ

る程度の範囲まで進行すると付着力が増加しなく なる.

3) 有効付着長は、接着厚さが大きいほど長くなる 傾向がある.本実験の条件の範囲内では、目付量 600g/m<sup>2</sup> の CFRP を 1, 2, 3 および 4 層を接着し た場合の有効付着長は、それぞれ、80~100mm、 100~160mm、120~180mm および 140~200mm となっている.

今後には、提案している補強工法における CFRP – 鋼板接着接合部の設計手法の確立を目指し、鋼板の板 厚が小さい場合に対しても検討を行う予定がある.

## 参考文献

- 1)(財)海洋架橋・橋梁調査会: 既設橋梁の耐震補強 工法事例集, 2005.4.
- 2) 張広鋒,運上茂樹:主鉄筋段落し部を有する RC 橋脚の耐荷性能グレードアップ補強工法の一検 討,第12回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構 造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.47-52,2009.1.
- 3) 張広鋒, 運上茂樹:主鉄筋段落し部を有する RC 橋脚の段階的耐震補強工法に関する実験的研究, 土木学会第 64 回年次学術講演会, pp.1195-1196, 2009.9.
- 4)(財)土木研究センター:炭素繊維シートによる 鋼製橋脚の耐震補強工法研究会報告書 炭素繊維 シートによる鋼製橋脚の補強工法ガイドライン (案), 2002.7
- 5) Le, P.T., 日野伸一, 金田一男, 田崎賢治: 炭素繊維 シートと鋼板のせん断付着特性に関する研究, コ ンクリート工学年次論文集, Vol. 30, pp.721-726, 2008.7.
- 大倉一郎,福井唯夫,中村圭吾,松上泰三:炭素繊 維シートによる鋼板応力の低下とはく離せん断応 力,土木学会論文集,No.689,pp.239-249,2001.10.
- 7) 杉浦江,小林朗,稲葉尚文,本間淳史,大垣賀津雄, 長井 正嗣:鋼部材腐食損傷部の炭素繊維シートに よる補修技術に関する設計・施工法の提案,土木 学会論文集F, Vol. 65, No. 1, pp.106-118, 2009.3.
- Xia, S.H. and Teng, J.G.: "Behaviour of FRP-tosteel bonded joints", *Proceedings of the International Symposium on Bond Behavior of FRP in Structures* (*BBFS 2005*), Hong Kong, 2005, pp.411-418.
- 9) Fawzia, S. and Karim, M.A.: "Inverstigation into the bond between CFRP and steel plates", *Proceedings* of world academy of science, engineering and technology, Vol.41, pp.321-325, 2009.5

(2009年9月24日受付)