

# 炭素繊維プレートと鋼との複合材料板の3点曲げ接着試験

玉井 宏章\*・高松 隆夫\*・服部 明生\*\*・小澤 吉幸\*\*

(平成19年10月31日受理)

## Flexural Bond Test of Composite Plate with Steel and CFRP Plates

Hiroyuki TAMAI, Takao TAKAMATSU, Akeo HATTORI, Yoshiyuki OZAWA

(Received Oct. 31, 2007)

### Abstract

A method of strengthening the existing steel buildings with bonded carbon-fiber reinforced-plastic (CFRP) plates has been developed to prolong their useful life.

To apply this method, we need to determine the basic mechanical properties CFRP, such as adhesive strength and deformation capacity, and to develop the effective bonding combination of CFRP plates.

This paper reports the results of the flexural bond test of composite plate with steel and CFRP plates.

These results show adhesive strength and deformation capacity of composite plate. We also propose an effective combination of bonding CFRP plates for strengthening the existing buildings.

**Key Words:** CFRP plate, composite structural materials, bond test

### 1. はじめに

著者等は、炭素繊維プレートを補修材に選定し、これを鋼構造建築物に接着することによって、耐環境性能、耐震性能を向上させる、耐震補強工法、長寿命化技術の提案・開発を行っている<sup>1)~5)</sup>。

炭素繊維プレートの接着補強では、炭素繊維プレートと接着剤の接着性能を最大限に引き出すことは重要なことである。この観点から、専用接着剤を開発し、各種の接着試験を行い<sup>1)</sup>、その接着特性を明らかにしたり、炭素繊維プレートや接着剤の構成方程式や降伏・破壊条件を導き出し、それを用いて、引張せん断接着試験について詳細な有限要素解析を行った<sup>2)</sup>。また、小ばりの曲げ補剛や山形鋼ブレース材の圧縮補強に、この炭素繊維プレート接着工法を適用し、その有効性・有用性を示した<sup>3)~5)</sup>。

これらの研究で、課題として明らかとなったことは、1)中弾性型炭素繊維プレートで早期にプレート層内破壊を生じること、2)炭素繊維プレートの十分な強度を発揮する前に接着剤とプレートの界面で破壊することの2つの問題である。

また、炭素繊維プレートは種類として高強度型と中弾性型とがあり、小ばり、山形鋼ブレースの補強には既製品プレートを複数枚貼り付けて行うことが予想されるため、補強にどの組み合わせが最適かを明らかにする必要もある。更にこれまでの研究では、専用接着剤を用いていたが、他のものと比べてどれくらい有効かという情報も整理されていない。

これら上述の問題が解決されれば、補強効率や補強後の変形性能が格段に向上するので、提案する鋼構造物への炭素繊維プレート接着補強工法はより有用となると考えられ

\* 広島工業大学工学部建築工学科

\*\* 東レ建設(株) 技術設計部

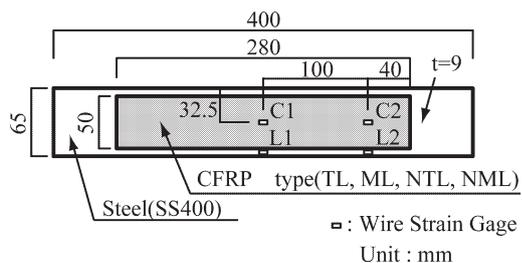


図1 試験体形状

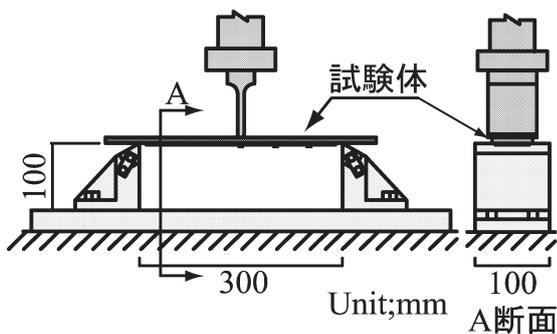


図2 試験装置概要

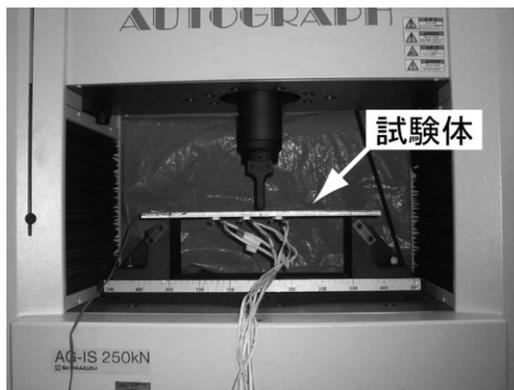


写真1 試験装置

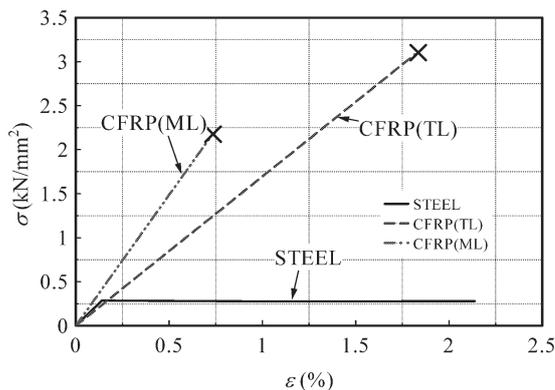


図3 炭素繊維プレートの応力-ひずみ関係

る。

本研究ではこれらの問題を解決するパラメータとして、炭素繊維プレートが目荒らし面、接着層数、2層貼りに限定した時の高強度型、中弾性型炭素繊維プレートの組み合わせ、接着面の表面粗さ、接着剤の種類を5つを取り上げる。

方法としては、これらパラメータを様々に変化させた試験体を作成し、前報<sup>1)</sup>で提案した簡易な三点曲げ接着試験を行って接着性能を明らかにする。

次いで、初期製造目粗し工程を変え改良した炭素繊維プレートと従来の炭素繊維プレートとの接着性能の違いを確認する。また、2種類の炭素繊維プレートと目粗し面の位置を変化させた2層貼り補強試験体で、最も有効な組み合わせを明らかにする。更に、接着面の表面粗さや他の接着材を用いた試験体について実験を行って、最も有効な接着方法を探索した結果について報告する。

## 2. 試験の概要

本節では、炭素繊維プレートと鋼との接着強度を調べるために行う、簡易な三点曲げ試験の概要を示す。

### 2.1 試験体

試験体形状を図1に示す。

試験体は、幅65mmで長さ400mm板厚9mmの鋼板に幅50mm長さ280mm板厚2mmの高強度型炭素繊維プレート(TL 520)、中弾性型炭素繊維プレート(ML 520)を1層1枚ないし2層2枚で接着したものである。

接着については、特にことわりのない限り、まず鋼の接

着面をディスクサンダーでミルスケールを完全に除去し、接着面を紙ヤスリ(#100)で目粗しした後、常温二液硬化型エポキシ樹脂接着剤(コニシボンD E258)で接着し、室温20℃以上で7日間養生している。

### 2.2 試験方法と計測方法

試験装置の概要を図2及び写真1にそれぞれ示す。载荷には、万能試験機(AGIS 250kN)を用いた。

試験は、三点曲げ試験とし、クロスヘッドの下降載荷速度を1mm/minと一定とし、炭素繊維プレート又は、接着層・炭素繊維プレートに破壊が生じるまで単調に载荷した。

計測は、クロスヘッド上部のロードセルから荷重： $P$ 、ストローク： $\delta$ を測定した。

また、最大荷重値又は、破壊時荷重の60%の荷重： $P$ とたわみ： $\delta$ との実験値から、炭素繊維プレートを接着して複合化した鋼板の平均曲げ剛性： $\overline{E \cdot I}$ を次式により算出した。

$$\overline{E \cdot I} = \frac{P \cdot L^3}{\delta \cdot \sigma} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $L$ は、反支点間距離( $L=150\text{mm}$ )である。

また、実験では、最大荷重、破壊時のたわみ、及び破壊状況を調査した。

表1 素材試験結果

	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	破断ひずみ(伸び) (%)
CFRP(TL)	169.1	-	3085	1.52
CFRP(ML)	295.7	-	2169	0.71
鋼材	205	286	382	28.4

表2 接着剤の力学的特性

樹脂名	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張せん断 付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	衝撃強度 (kJ/m <sup>2</sup> )
E258	2.28	55.8	59.0	34.8	25.5	4.20
WS	5.00	58.0	85.0	22.0	15.0	1.90
	JIS K7208	JIS K7203	JIS K7208	JIS K7113	JIS K6850	JIS K7111

表3 中心線平均粗さ (Ra)

材質	面と加工	方向	Ra(μm)
TL	初期製造目粗し面	長手方向	1.11
		幅方向	5.66
	目粗しなし面	長手方向	0.42
NTL	目粗しなし面	幅方向	0.66
		長手方向	0.43
	#80	幅方向	0.63
		幅方向	1.29
		幅方向	1.03
		幅方向	0.61
ML	初期製造目粗し面	長手方向	0.63
		幅方向	6.99
	目粗しなし面	長手方向	0.48
		幅方向	0.29
	#180	幅方向	0.72
		幅方向	2.99
NML	目粗しなし面	幅方向	1.62
		幅方向	0.85
	#320	幅方向	0.85
		幅方向	0.85

表4 試験体名称

実験シリーズ	試験体名	CFRPの種類	接着方法	表面処理	接着剤
	N	-	無補強	-	-
実験シリーズI	Otl1	TL	1枚接着	-	E258
	Utl1	TL	1枚裏にして接着	#100	E258
	Oml1	ML	1枚接着	-	E258
	Uml1	ML	1枚裏にして接着	#100	E258
実験シリーズII	Otl2	TL	2枚重ね接着	#100	E258
	Utl2	TL	2枚裏にして接着	#100	E258
	Oml2	ML	2枚重ね接着	#100	E258
	Uml2	ML	2枚裏にして接着	#100	E258
実験シリーズIII	Ntl1	TL	1枚接着	#100	E258
	Ntl2	TL	2枚接着	#100	E258
	Nml1	ML	1枚接着	#100	E258
	Nml2	ML	2枚接着	#100	E258
実験シリーズIV	Stl2	NTL, TL	1層目NTL, 2層目TL裏にして接着	-	E258
	Dtl2	TL	1層目裏, 2層目を表にし接着	-	E258
	Utm2	TL, ML	1層目TL裏, 2層目をML裏にして接着	-	E258
実験シリーズV	Ntl1(#60)	NTL	1枚接着	#60	E258
	Ntl1(#100)	NTL	1枚接着	#100	E258
	Ntl1(#180)	NTL	1枚接着	#180	E258
実験シリーズVI	nOtl	TL	1枚接着	#100	WS
	nOml	ML	1枚接着	#100	WS
	nNtl	NTL	1枚接着	#100	WS

2.3 実験シリーズ

炭素繊維プレートとしては、初期製造目粗し面を持つ高強度型炭素繊維プレート(TL, 以降 TL CFRP と呼ぶ)同様に初期製造目粗し面のある中弾性型炭素繊維プレート(ML), 目粗し面を持たない高強度型炭素繊維プレート(NTL), 同様に目粗し面を持たない中弾性型炭素繊維プレート(NML)の4種類と、接着剤については、常温2液硬化エポキシ樹脂のコニシボンドE258とシーカデュアWSの2種類を用いる。

鋼材、高強度型及び中弾性型の炭素繊維プレート(TL, ML)の素材試験結果を図3、表1に、接着剤の力学的特性を表2に、それぞれ示す。

炭素繊維プレート接着表面には、初期製造目粗し、目粗しなし、サンドペーパー#60, #100, #180の目粗しを行う。

表3には、参考のため、TL CFRPの初期製造目粗し面、目粗しなし面について長手方向及び中角方向の中心線平均粗さRa(μm)を、また、初期製造目粗し加工をしないNTL CFRP及びNML CFRPについてサンドペーパー目粗し処理をしないもの、サンドペーパー目粗し#80, #180, #320について幅方向の中心線平均粗さRa(μm)を示す。初期製造目粗しによって、板幅方向に大きな凹凸がつくことがわかる。尚、中心線平均粗さRaとは、粗さ曲線を中心線から折り返し、その粗さ曲線と中心線によって得られた面積を測定長で割った値をマイクロメータ単位で表したものであ

る。

実験は、以下の6つのシリーズについて行った。

実験シリーズI~VIの接着方法の模式図を図4~図9に試験体名称を表4に示す。

実験シリーズIは、炭素繊維プレートをE258の接着材で1層貼るもので、TL CFRPを用い初期製造目粗し面で接着するもの(Otl1試験体)、目粗しなし面でサンドペーパー#100で表面処理して接着したもの(Utl1試験体)、ML CFRPを用い、Otl1と同様、初期製造目粗し面で接着するもの(Oml1試験体)、目粗しなし面でサンドペーパー#100で表面処理して接着したもの(Uml1試験体)の4体を用意した。また、比較のために無補強試験体(N試験体)も用意した。

実験シリーズIIは、炭素繊維プレートをE258の接着材で2層貼るもので、TL CFRPを2層とも使い、初期製造目粗し面を鋼板側(内向き)にして接着したもの(Otl2試験体)、目粗しなし面を鋼板側にしサンドペーパー#100で表面処理して接着したもの(Utl2試験体)、ML CFRPを2層とも使い、Otl2試験体と同様の貼り方としたもの(Oml2試験体)、Utl2試験体と同様の表面処理貼り方としたもの(Uml2試験体)の4体を用意した。

実験シリーズIIIは、初期製造目粗しが行われないNTL, NML CFRPを用い、接着面では、サンドペーパー#100で表面処理をしてE258の接着剤で1層貼り、2層貼りした

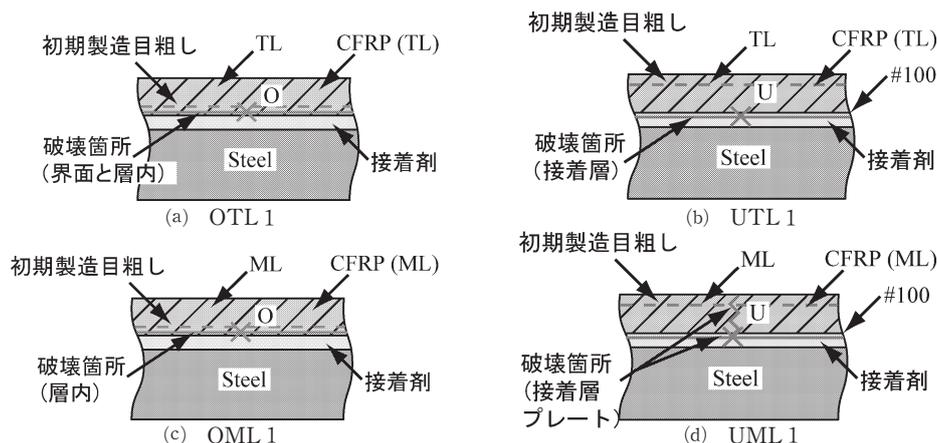


図4 接着方法と破壊状況 (実験シリーズI)

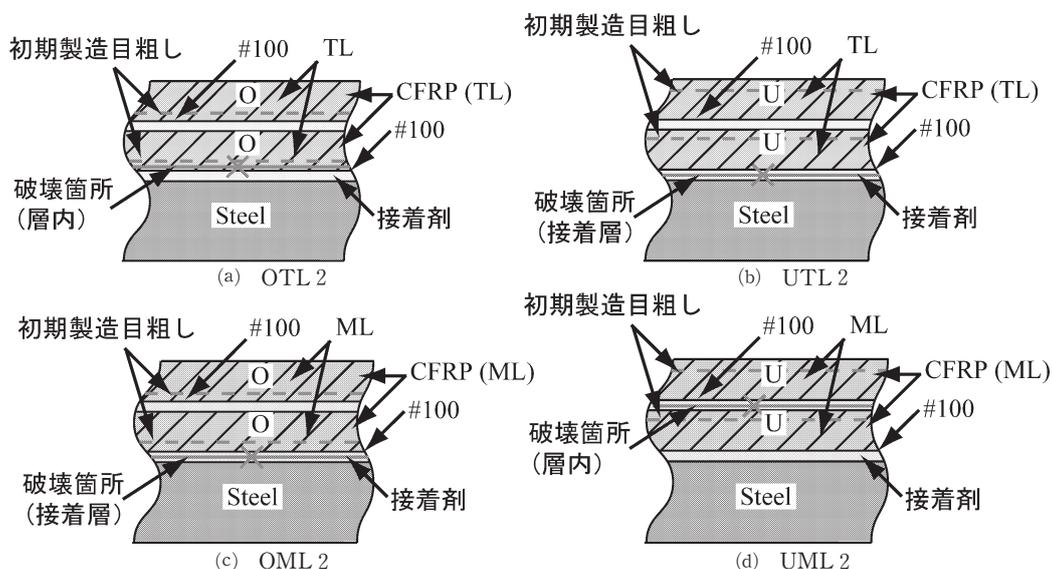


図5 接着方法と破壊状況 (実験シリーズII)

もので、NTL CFRP を用いて1層貼りしたもの(NTL 1 試験体) 2層貼りしたものを(NTL 2 試験体), NML CFRP を用いて1層貼りしたもの(NML 1 試験体), 2層貼りしたもの(NML 2 試験体) の4体を用意した。

実験シリーズIVは、炭素繊維プレートを様々に組み合わせて2層をE 258接着剤で接着したものであり、第1層(内側)にはNTL CFRPを第2層には初期製造目粗し面を外側にしてTL CFRPを接着したもの(STL 2 試験体)、第1層(内側)には初期製造目粗し面を外側にしてTL CFRPを第2層には初期製造目粗し面を内側にしてTL CFRPを接着したもの(DTL 2 試験体)、第1層(内側)には初期製造目粗し面を外側にしたTL CFRPを第2層には初期製造目粗し面を外側にしたML CFRPを接着したもの(UTM 2 試験体)の3体を用意した。

実験シリーズVは、NTL CFRP 1層をE 258接着剤で接着したものであり、接着面を#60, #100, #180のサンドペーパーでそれぞれ表面処理したもの(NTL 1(#60), NTL 1(#100), NTL 1(#180)試験体)の3体を用意した。

実験シリーズVIは、炭素繊維プレート1層をWS接着剤

で接着したものであり、OTL 1試験体と同様の貼り方をしたもの(nOTL 1試験体)、OML 1試験体と同様の貼り方をしたもの(nOML 1試験体)、NTL 1試験体と同様の貼り方をしたもの(nNTL 1試験体)の3体を用意した。

### 3. 試験結果とその考察

実験シリーズIの結果を図4, 10, 表5, 写真2に、実験シリーズIIの結果を図5, 11, 表6, 写真3に、実験シリーズIIIの結果を図6, 12, 表7, 写真4に、実験シリーズIVの結果を図7, 13, 表8, 写真5に、実験シリーズVの結果を図8, 14, 表9, 写真6に、実験シリーズVIの結果を図9, 15, 表10, 写真7に、それぞれ、示す。

図10~15には、無補強試験体の降伏荷重で無次元化した荷重 ( $P/P_y$ ) と無補強試験体の降伏たわみで無次元化した中央たわみ ( $\delta/\delta_y$ ) の関係を示す。表5~11には、各試験体の平均曲げ剛性、最大荷重、破壊時のたわみ及び破壊状況を示す。写真2~7及び図4~9には、各試験体の試験後の状況と破壊位置の模式図を示す。これらの結果を、各項目毎に考察する。

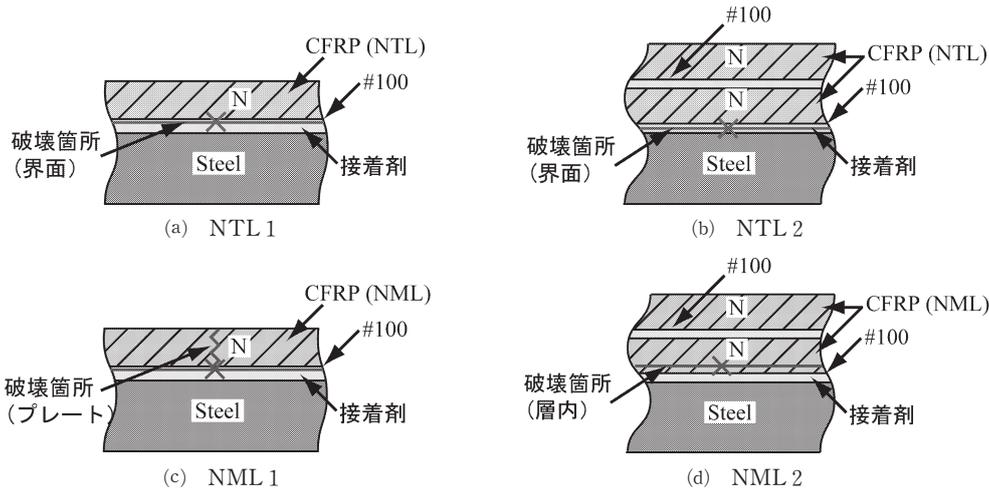


図6 接着方法と破壊状況 (実験シリーズIII)

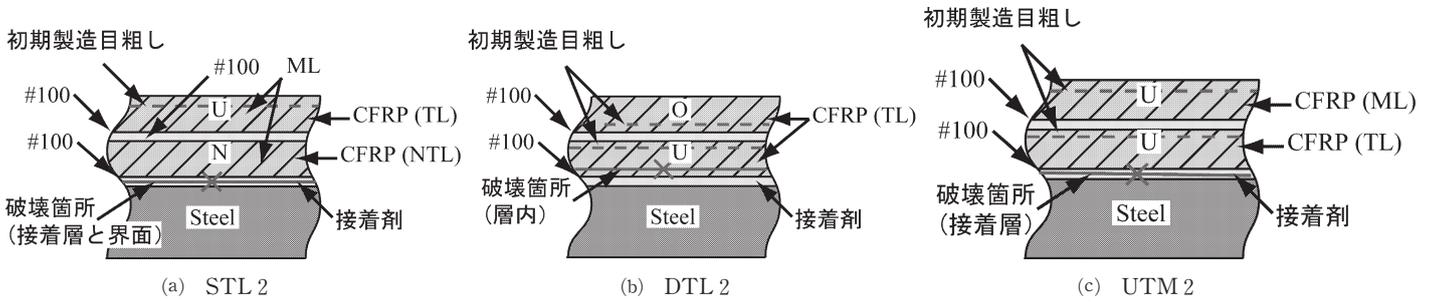


図7 接着方法と破壊状況 (実験シリーズIV)

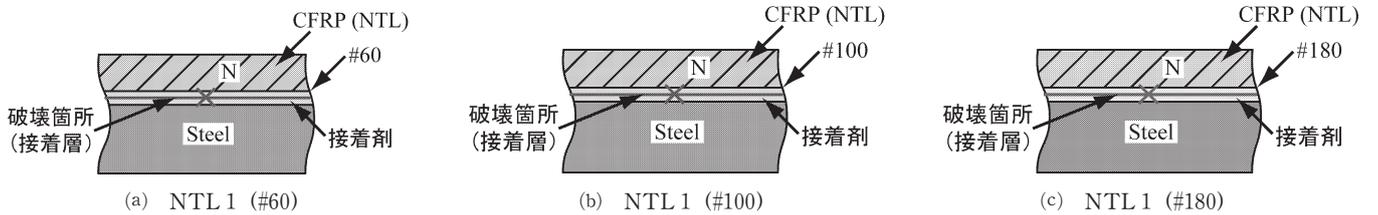


図8 接着方法と破壊状況 (実験シリーズV)

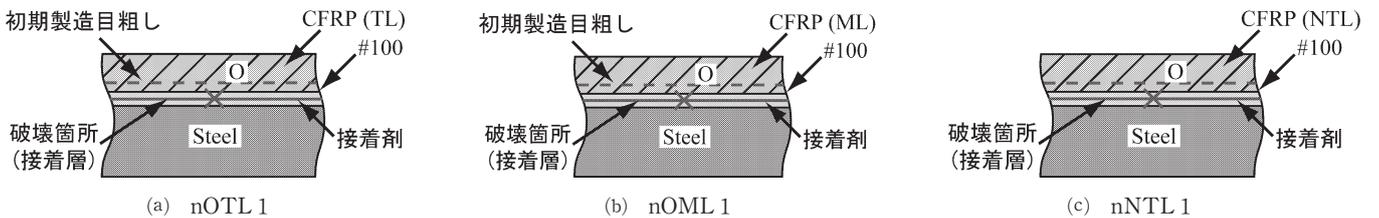


図9 接着方法と破壊状況 (実験シリーズVI)

○初期製造目粗し面の影響 (1層 CFRP 接着の場合)

ここでは、1層 CFRP 接着の場合について初期製造目粗し面の影響を考察する。

実験シリーズ I の結果から以下のことがわかる。

- 1) 初期製造目粗ししていない面を接着した試験体 (UTL 1, UML 1) は、破壊時の変位や最大荷重が増加する。
- 2) 接着面を変えただけで、破壊性状や変形性能に大きな違いがでている。特に、中弾性型炭素繊維プレートの

早期なプレート層内破壊が、UML 1 の接着方法では生じないことがわかる。

- 3) 炭素繊維プレートの接着面を初期製造目粗ししていない方が、接着をより強固なものとするか、初期製造目粗しした面を上側にすることで、何らかの有効な働きが生じたとも考えられる。

○初期製造目粗し面の影響 (2層 CFRP 接着の場合)

前節で、初期製造目粗ししない面で接着することの有効性を明らかにした。ここでは、2層 CFRP 接着の場合につ

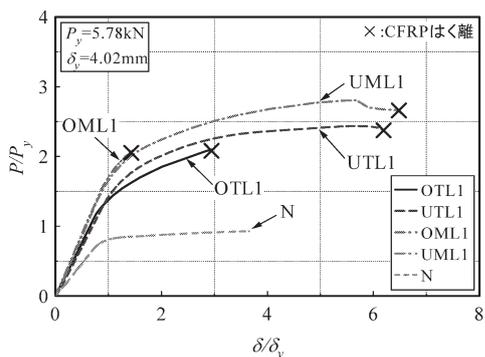


図10 荷重-中央たわみ関係 (実験シリーズ I)

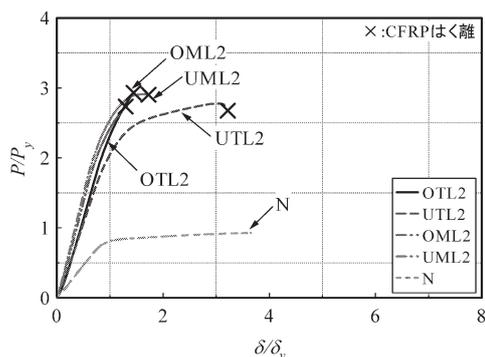
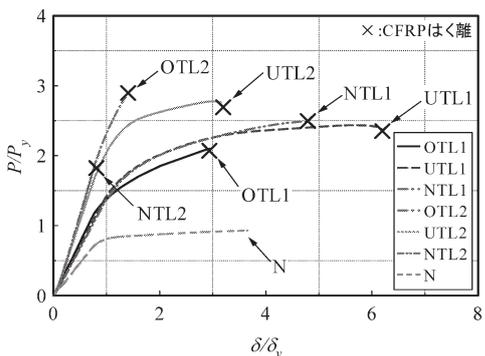
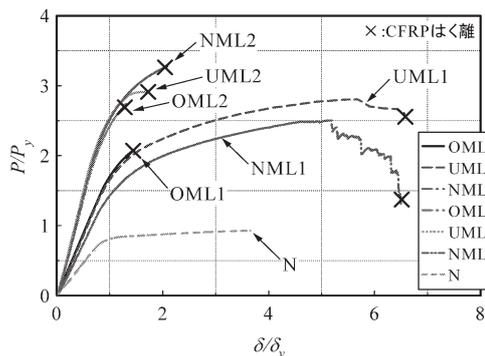


図11 荷重-中央たわみ関係 (実験シリーズ II)



(a) TL, NTL CFRP



(b) ML, MTL CFRP

図12 荷重-中央たわみ関係 (実験シリーズIII)

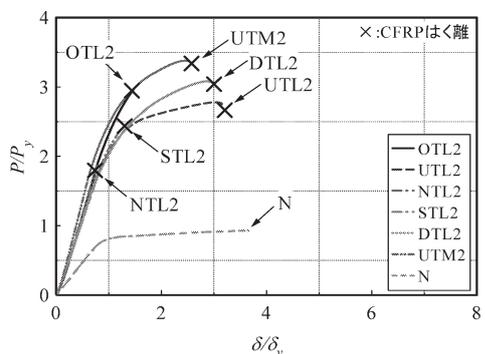


図13 荷重-中央たわみ関係 (実験シリーズIV)

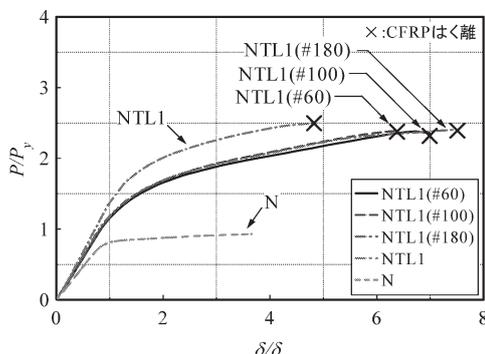


図14 荷重-中央たわみ関係 (実験シリーズV)

いて、初期製造目粗し面の影響を考察する。

- 1) OTL2, UTL2 よりも OML2, UML2 が曲げ剛性は高い。
- 2) OTL2, UTL2 及び OML2, UML2 のいずれの試験体とも、貼り方の違いで曲げ剛性、最大耐力はほとんど変わらない。
- 3) UTL2 は OTL2 に比べ、破壊時のたわみは2倍に増加する。
- 4) 中弾性型炭素繊維プレートを用いた OML2, UML2 は1層目(下側)のプレートがいずれも早期に層内破壊する。
- 5) 表面以外に初期製造目粗し面があれば、早期に破壊が生じていることから、その面でのせん断強度が劣化し

ている可能性がある。

#### ○改良型炭素繊維プレートの有効性

これまでの知見から、初期製造目粗し面のせん断強度が劣化することが推定された。初期製造目粗しを施さない改良型炭素繊維プレートの有効性を考察する。

実験シリーズIIIの結果から、以下のことがわかる。

高強度型炭素繊維プレート (NTL) では、

- 1) NTL1, NTL2 試験体とも UTL1, UTL2 試験体と比較して、性能が若干低下する結果となった。また、両試験体とも早期に界面破壊を起こし、破壊する。
- 2) 破壊時の変位で比較してみると、2層接着すると早期に接着剤との界面破壊を起こし、最大変形性能が低下した。

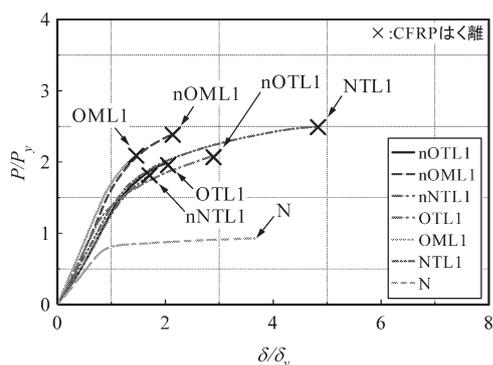


図 15 荷重-中央たわみ関係 (実験シリーズVI)

表 5 試験結果 (実験シリーズ I)

試験体名称	曲げ剛性 ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{mm}$ )	最大荷重 (kN)	破壊時の変位 (mm)	破壊状況
OTL1	12.33(1.0)	12.13(1.0)	11.83(1.0)	90%界面破壊,10%層内破壊
UTL1	11.54 (0.94)	16.36(1.35)	29.82(2.52)	接着剤破壊
OML1	14.27(1.14)	12.04(0.99)	5.87(0.49)	層内破壊
UML1	13.71(1.11)	16.23(1.34)	26.4(2.23)	プレート破断
N	6.36	5.48	15.54	-

()内は,OTL1試験体との比

表 6 試験結果 (実験シリーズII)

試験体名称	曲げ剛性 ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{mm}$ )	最大荷重 (kN)	破壊時の変位 (mm)	破壊状況
OTL2	18.07(1.00)	17.03(1.00)	5.89(1.00)	1層目界面破壊
UTL2	17.35(0.96)	16.06(0.94)	12.84(2.18)	1層目層内破壊
OML2	21.75(1.00)	15.86(1.00)	5.3(1.00)	1層目層内破壊
UML2	21.55(0.99)	16.82(0.94)	6.88(0.77)	1層目層内破壊

()内は,OTL2,OML2試験体との比

表 7 試験結果 (実験シリーズIII)

試験体名称	曲げ剛性 ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{mm}$ )	最大荷重 (kN)	破壊時の変位 (mm)	破壊状況
NTL1	10.79(0.87)	14.42(1.19)	19.44(1.64)	界面破断
NTL2	18.46(1.02)	10.97(0.64)	3.20(0.54)	1層目界面破断
()内は,OTL1,OTL2試験体との比				
NML1	11.89(0.83)	14.47(1.20)	26.13(4.45)	プレート破断
NML2	22.52(1.04)	18.23(1.15)	8.39(1.58)	1層目層内破断

()内は,OML1,OML2試験体との比

中弾性型炭素繊維プレート (NML) では,

- 1) NML 1 試験体は, 早期に層内破壊せず, 炭素繊維プレートの中央部が折れ曲がるような変形をし, 従来の OML 1 試験体と比べ, 約 4.5 倍の変形性能を有する。
- 2) 破壊状況では, NML 1 試験体では, 炭素繊維プレートと鋼材が一体化し, プレートが折れ曲がるような破壊のため, 従来のように急激に耐力が生じない。しかし, 2層接着した NML 2 試験体では, 1層目の炭素繊維プレート内で層内破壊した。
- 3) 破壊性状から, 中弾性型炭素繊維プレートは, 高強度型炭素繊維プレートと比べ, せん断強度が低い。従って, プレート層厚や層数は大きくできないことがわかる。

#### ○貼り方の検討

ここでは, 以上の知見をもとに, 工夫された様々な貼り方の有効性について検討する。

表 8 試験結果 (実験シリーズIV)

試験体名称	曲げ剛性 ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{mm}$ )	最大荷重 (kN)	破壊時の変位 (mm)	破壊状況
STL2	17.52(0.98)	14.08(0.83)	5.33(0.90)	CFRPI層目による60%接着破壊と40%界面破壊
DTL2	16.88(0.94)	17.81(1.05)	11.54(1.96)	CFRPI層目による80%層内破壊と10%接着破壊,界面破壊
UTM2	18.51(1.03)	19.54(1.15)	9.83(1.67)	CFRPI層目による80%接着破壊と20%層内破壊

()内は,OTL2試験体との比

表 9 試験結果 (実験シリーズV)

試験体名称	曲げ剛性 ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{mm}$ )	最大荷重 (kN)	破壊時の変位 (mm)	破壊状況
NTL1(#60)	9.38(0.87)	13.77(0.96)	28.33(1.46)	接着剤破壊
NTL1(#100)	9.44(0.87)	13.79(0.96)	26.79(1.38)	接着剤破壊
NTL1(#180)	10.03(0.93)	13.90(0.96)	31.55(1.62)	接着剤破壊

()内は, NTL1試験体との比

表 10 試験結果 (実験シリーズVI)

試験体名称	曲げ剛性 ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{mm}$ )	最大荷重 (kN)	破壊時の変位 (mm)	破壊状況
nOTL1	10.35(0.84)	11.48(0.95)	8.25(0.69)	接着剤破壊
nOML1	12.18(0.85)	13.77(1.14)	8.57(1.46)	接着剤破壊
nNTL1	9.29(0.86)	10.71(0.74)	7.31(0.37)	接着剤破壊

()内は,従来接着剤を使用した試験体との比

表 11 各試験体の結果

試験体名称	曲げ剛性 ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{mm}$ )	最大荷重 (kN)	破壊時の変位 (mm)	破壊状況
OTL1	12.33(1.0)	12.13(1.0)	11.83(1.0)	界面破壊, 一部接着破壊
UTL1	11.54(0.94)	16.36(1.35)	29.82(2.52)	接着剤破壊
NTL1	10.79(0.87)	14.42(1.19)	19.44(1.66)	界面破壊
OTL2	18.07(1.47)	17.03(1.40)	5.89(0.49)	1層目界面破壊
UTL2	17.35(1.41)	16.06(1.32)	12.84(1.08)	1層目層内破壊
NTL2	18.46(1.50)	10.97(0.90)	3.20(0.27)	1層目界面破壊
OML1	14.27(1.0)	12.04(1.0)	5.87(1.0)	層内破壊
UML1	13.71(0.96)	16.23(1.35)	26.4(4.50)	プレート破断
NML1	11.89(0.83)	14.47(1.20)	26.13(4.45)	プレート破断
OML2	21.75(1.52)	15.86(1.32)	5.3(0.90)	1層目層内破壊
UML2	21.55(1.51)	16.82 (1.40)	6.88(1.17)	1層目層内破壊
NML2	22.52(1.59)	18.23(1.51)	8.39(1.43)	1層目層内破壊
STL2	17.52(1.42) (1.23)	14.08(1.16) (1.17)	5.33(0.45) (0.91)	1層目接着剤破壊
DTL2	16.88(1.37) (1.18)	17.81(1.47) (1.48)	11.54(0.98) (1.97)	1層目層内破壊
UTM2	18.51(1.50) (1.30)	19.54(1.61) (1.62)	9.83(0.83) (1.67)	1層目接着剤破壊

()内は, OTL1,MTL1試験体との比

実験シリーズIVの結果から以下のことがわかる。

- 1) 炭素繊維プレートを1層目と2層目の初期製造目粗し面を合わせて接着する DTL 2 試験体の場合, 接着層と炭素繊維プレートの界面付近で層内破壊する。
- 2) 表面から CFRP (ML) と CFRP (TL) の順に, 初期製造目粗し面を表面側にして2層重ね接着した UTM 2 試験体の場合, 曲げ剛性の増大も大きく, 最も最大耐力が増加した。
- 3) 以上のことから, 有効な2層貼りの方法としては, 強度確保の観点から UTL 2, 剛性確保の観点から UTM 2, UML 2 が有効と考えられる。

#### ○接着面の表面粗さと接着剤の影響

接着性能は, 炭素繊維プレートの材種, 強度特性の他に表面粗さと接着剤材質に依存すると考えられる。ここで

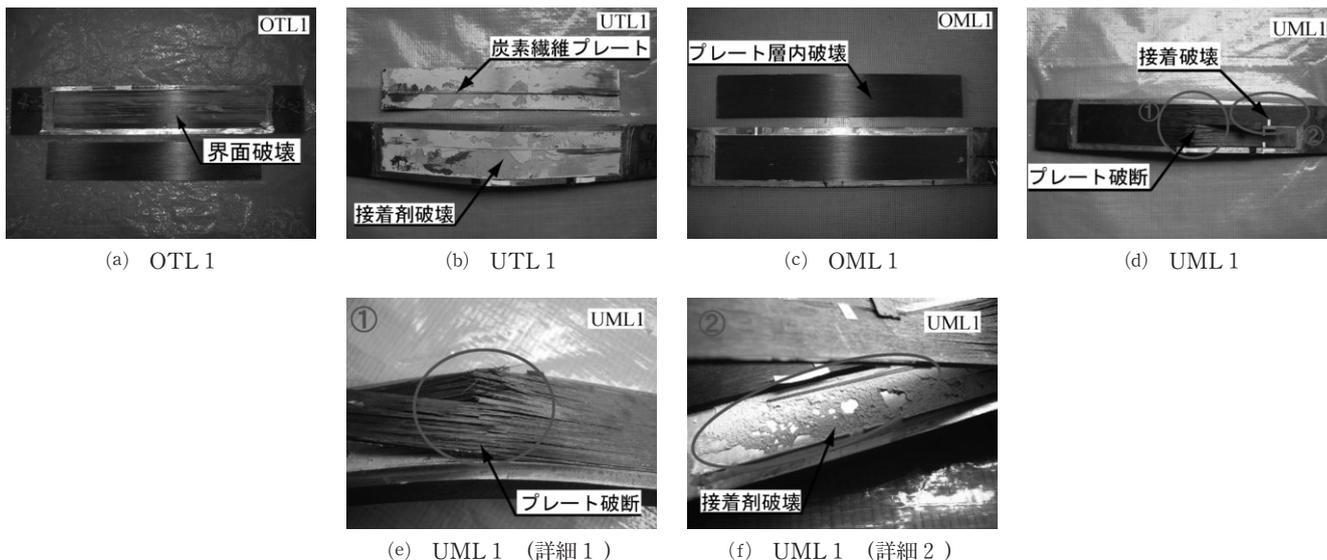


写真2 各試験体の破壊状況 (実験シリーズI)

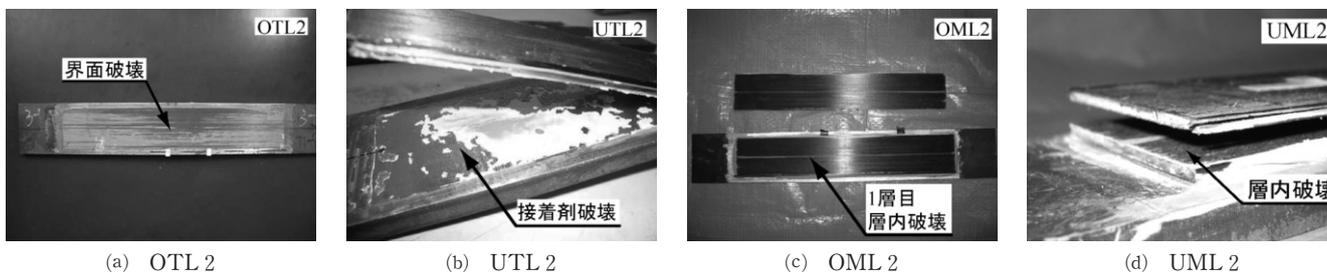


写真3 各試験体の破壊状況 (実験シリーズII)

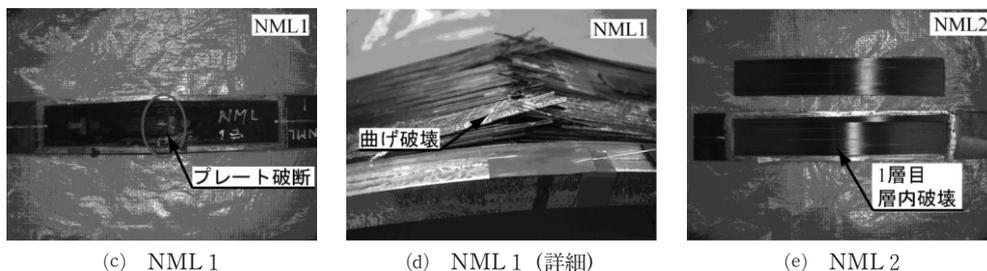
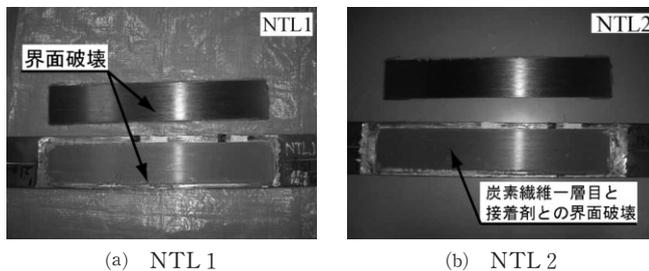


写真4 各試験体の破壊状況 (実験シリーズIII)

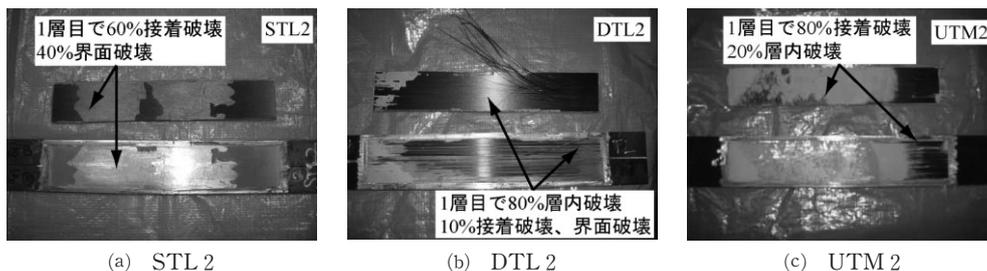


写真5 各試験体の破壊状況 (実験シリーズIV)

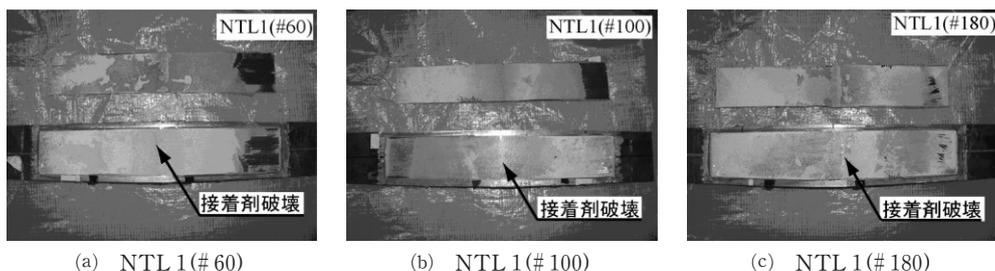


写真6 各試験体の破壊状況 (実験シリーズV)

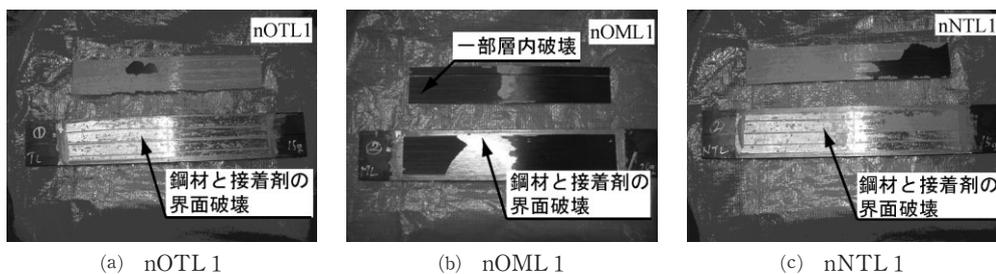


写真7 各試験体の破壊状況 (実験シリーズVI)

は、接着面の表面粗さと接着剤材質の影響について考察する。

実験シリーズV, VIの結果から以下のことがわかる。

- 1) 表面粗さを#60~#180と変化させても、曲げ剛性、最大荷重、破壊時のたわみ共に、大きな違いが確認できない。
- 2) nOTL1, nOML1, nNTL1試験体とも、E258接着剤を使用した試験体と比較し、曲げ剛性が低めである。
- 3) 破壊形状は、接着剤が破壊する。また、破壊時のたわみは、中弾性型炭素繊維プレートを用いた試験体を除き、E258接着剤を使用した試験体と比較し、低下した。
- 4) WS接着剤は、E258接着剤に比べると、粘性が低く、施工法を考えると取り扱いが良い。

#### 4. まとめ

鋼構造物の炭素繊維プレート接着補強を行う上で、重要な接着性能を向上させることを目的に、様々に条件を変えた試験体を作成して3点曲げ接着試験を行い、効果的な接着方法等を調査した。

得られた知見は以下のように要約できる。

- 1) 初期製造目粗し面を表面として炭素繊維プレートを接着すれば、最大耐力や変形性能が向上する。特に、中弾性型炭素繊維プレートは早期にプレート層内破壊は生じなくなる。
- 2) 中弾性型炭素繊維プレートを複数層接着すると、下側のプレートから層内破壊を生じる。従って、プレート層厚は大きくできない。
- 3) 表面粗さを#60~#180程度のサンドペーパーを用いて変化させても、接着性能に大きな違いはない。
- 4) 接着剤はWSよりE258のほうが相性が良い。

- 5) 有効な2層貼り方法は、強度確保の観点からはUTL2を、剛性確保の観点からはUML2, UTM2が有望である。

#### 謝 辞

本研究は、広島工業大学「高性能構造システム開発研究センター」(代表者 高松隆夫教授)のプロジェクト研究の一環として実施されました。実験実施にあたり、2006年度、2007年度広島工業大学工学部建築工学科玉井研究室の学生諸君には、多大の協力を得た。ここに記し、謝意を表します。

#### 文 献

- 1) 玉井宏章, 高松隆夫, 原伸幸, 灰谷徳治, 服部明生: 連続繊維プレートによる鋼構造物補強に関する基礎的研究, 鋼構造年次論文報告集, 第12巻, pp.239-246, 2004.11.
- 2) 玉井宏章, 高松隆夫, 櫻庭誠, 灰谷徳治, 服部明生: 連続繊維プレートと鋼材との接着特性に関する有限要素解析, 鋼構造年次論文報告集, 第13巻, pp.537-544, 2005.11.
- 3) 玉井宏章, 高松隆夫, 原伸幸, 灰谷徳治, 服部明生: 炭素繊維プレートによる鋼構造物小ばりの曲げ補強について, 鋼構造年次論文報告集, 第13巻, pp.523-530, 2005.11.
- 4) 玉井宏章, 高松隆夫, 櫻庭誠, 灰谷徳治, 服部明生: 連続繊維プレートによる補強山形鋼ブレース材の圧縮補強について, 鋼構造年次論文報告集, 第13巻, pp.553-560, 2005.11.
- 5) 櫻庭誠, 玉井宏章, 高松隆夫, 灰谷徳治, 服部明生:

連続繊維プレートによる補強山形鋼ブレース材の正負  
交番繰返し載荷実験，鋼構造年次論文報告集，第 14 卷，  
pp.437-444，2006.11.

強度鋼と炭素繊維プレートとの複合材の基本的力学的  
特性，鋼構造年次論文報告集，第 15 卷，pp.1-8，2007.  
11.

6) 玉井宏章，高松隆夫，服部明生，櫻庭誠，白木剛：高