

# 繊維破断を有するGFRP積層板の補修方法 に関する基礎実験

佐藤 顕彦<sup>1</sup>・鈴木 康夫<sup>2</sup>・林 巖<sup>3</sup>・杉浦 邦征<sup>4</sup>  
松村 政秀<sup>5</sup>・日比 英輝<sup>6</sup>・竹村 学<sup>7</sup>

<sup>1</sup>学生員 京都大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)  
E-mail: sato.akihiro.45m@st.kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 富山大学准教授 都市デザイン学部都市・交通デザイン学科 (〒930-8555 富山市五福3190)  
E-mail: suzuki@sus.u-toyama.ac.jp

<sup>3</sup>学生員 京都大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)  
E-mail: hayashi.gen.32v@st.kyoto-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 京都大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)  
E-mail: sugiura.kunitomo.4n@kyoto-u.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 京都大学大学院准教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)  
E-mail: matsumura.masahide.4s@kyoto-u.ac.jp

<sup>6</sup>正会員 株式会社ヒビ (〒503-1337 岐阜県養老郡 養老町直江613-1)  
E-mail: hidekey@hibi-frp.co.jp

<sup>7</sup>正会員 ショーボンド建設株式会社 近畿圏支社技術部 (〒536-0022 大阪市城東区永田3-12-15)  
E-mail: takemura-m@sho-bond.co.jp

FRPは鋼材やコンクリートなどの従来の材料と比べて比強度が高く、耐腐食性にも優れており、土木分野において、水門、歩道橋などの構造用部材としても利用されている。今後、構造部材としてFRPの適用範囲が拡大する中で、繊維破断や紫外線劣化等の原因により損傷・劣化した際の残存性能・補修方法を予め検討しておくことは極めて重要である。

本研究は、繊維破断による損傷を対象に補修方法を検討することを目的とし、切込みにより繊維を破断させたGFRPクーボン試験片の両面にGFRP製補修板を接着した補修済みの試験体を用いて、接着剤の種類および補修板長さをパラメータとした引張実験を実施する。その結果、補修板が応力を負担することで補修済みの試験体の引張強度が回復することが分かった。簡易な理論計算式から補修板の応力分布性状を明らかにした。

**Key Words :** GFRP, Repairing, maintenance, fiber fracture, adhesive

## 1. はじめに

繊維強化ポリマー(Fiber Reinforced Polymers : 以下FRP)は材料的な特性に優れた強化繊維を樹脂材料に含浸して作成される複合材料である。FRPは使用する強化繊維材料の種類によってCFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymers), GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymers)等に分類され、繊維含有率や積層構成を調整することで強度、弾性係数等の材料特性を自由に設計することが可能である。これらのう

ちGFRPは、比強度が高い、腐食しない、CFRPに比べて安価であるといった特徴から、橋梁の構造部材や補修材料としての活用が期待されている<sup>1,2)</sup>。FRP材料の適用が拡大する一方、国内においては、FRP部材の損傷影響評価や補修方法に関する技術開発がほとんどなく、今後、FRP製の橋梁や部材の持続的な維持管理のためFRP部材の補修方法の整備が求められることが予想される。

FRPの損傷は、「紫外線劣化」、「強化繊維の損傷」、「繊維-樹脂間の層間剥離」の3つに大別される。紫外

線劣化は、小林らにより3年間の暴露試験において、暴露試験片と恒温試験片とで引張強度の差異が見られないことが報告されているが<sup>3)</sup>、FRP歩道橋設計・施工指針<sup>4)</sup>においてはFRP材の表面層が劣化した場合は再塗装を行うように示されている。一方、ハンドレイアップ成形法では、FRP材の表面層に耐候性に優れたゲルコート設けることで長期にわたり供用しても引張強度が維持できることが知られている。しかし、層間剝離や強化繊維の損傷は、いずれも繰り返しの荷重作用により、疲労破壊することが知られている<sup>4)</sup>。また、CFRPにおいては静的軸荷重下において横衝撃荷重を受けると繊維破断を生じやすいとも報告されている<sup>5)</sup>。

このように、FRP材料・部材の損傷事例や破壊メカニズムについて研究が進められているが、これらの損傷が生じたFRP部材に対して補修実績や補修効果を評価した例は著者の知る限りでは土木分野には存在しない。

そこで、本研究ではFRPの強度特性に大きく影響を与える強化繊維の損傷に着目し、GFRP製引張試験片を用いた一軸引張実験を行い、部分的に繊維破断したFRP材に対する補修効果を検討した。まず、引張試験片の表面層の強化繊維に対して部分的に繊維を破断することで、損傷による部材強度の低下率を明らかにした。続いて、引張試験片の繊維破断箇所両面に補修板(Patch)を接着し、引張強度の回復率を検討した。さらには、実験結果および簡易的な理論式により、補修済みの試験体の応力性状について明らかにする。

## 2. 一軸引張実験

本研究では、強化繊維を部分的に断絶したGFRP積層板に対して、欠損断面の回復に必要な板厚を有する補修板を両面に接着する補修法に着目し、一軸引張実験を実施した。このとき、強化繊維の部分的破断をGFRP表面層から、板厚の30%の深さの切込みを導入し、損傷を模擬した。なお、切込み深さは、文献1)で示されているFRPの材料係数1.15~1.3を参考に積層板厚の30%を設定した。

### (1) 試験体の製作

試験体の種類を表-1に、補修板ならびに補修板の接着に用いた接着剤の材料特性を表-2、補修後の試験体の概要を図-1~4)に示す。

本実験では、表-1に示すようなIntact, DMG, D40-CE, D100-CE, D200-CE, D200-DD, D200-DD-Bsideの7種類の試験体を用意した。いずれの試験体もハンドレイアップ成形法によるFRP板材を対象とし、ロービングクロス材と不飽和ポリエステル材で構成したGFRP積層板から切り出

表-1 試験体の種類

試験体	切込	切込深さ (%)	補修板長 (mm)	接着剤	試験体数	強度応力
Intact	無	0	—	—	5	—
DMG	片面	30	—	—	5	—
D40-CE	片面	30	40	CE	3	3
D100-CE	片面	30	100	CE	3	3
D200-CE	片面	30	200	CE	5	3
D200-DD	片面	30	200	DD	5	3
D200-DD-Bside	両面	30	200	DD	3	3

表-2 使用接着剤の物性値

接着剤	CE	DDグラウト50
引張せん断接着強さMPa	24.5	7.8
弾性係数 MPa	2889.5	121.8
ポアソン比	0.39	0.38
せん断弾性係数 MPa	1039.3	44.1

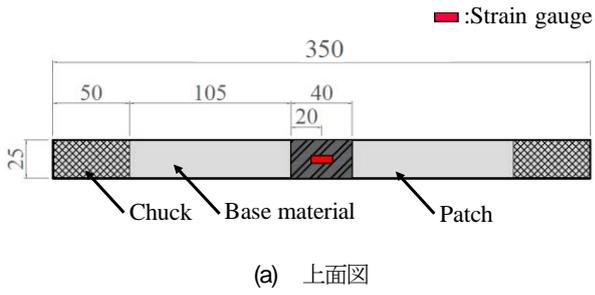
  

用途	CFRPの含浸樹脂	コンクリートのひび割れ注入剤

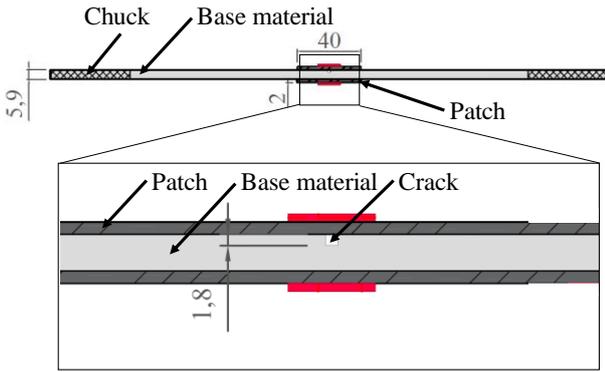
した母材・補修板を用いて製作した。試験体の母材の寸法は全て350×25×5.9mmとし、補修板の寸法は幅25mm、厚さ2mm、試験体のつかみ部の長さは50mmである。補修効果に与える補修板長さの影響を検討するため、補修板長さを40mm, 100mm, 200mmの3種類を設定した。なお、補修板長さは、後述する理論計算から応力の伝達が可能な長さとした。また、接着剤の材料特性の違いによる補修効果を検討するために、2種類の接着剤を準備した。表-2に示す接着剤の材料特性はJIS K6850<sup>6)</sup>、JIS K7161-2<sup>7)</sup>を参考に材料試験を行い、5体の試験体から得られた結果を平均して導出した。

以下に各試験体について説明する：a) Intactは、損傷および補修板による補修を施していない健全状態の試験体である；b) DMGは、FRPの材料係数1.15~1.3<sup>8)</sup>を参考に母材中央に片面から1.8mm（板厚の約30%に相当）の切込みを導入し、強化繊維の部分的破断を模擬した損傷を有する試験体である；c) D40-CE, D100-CE, D200-CEは、それぞれ長さ40mm, 100mm, 200mmのGFRP製補修板を切込み部両面に接着したDMGに対する補修済みの試験体である；d) 00-DDは長さ200mmの補修板を切込み部両面にCEとは異なる接着剤を使用した補修済みの試験体である；e) 0-DD-Bsideは、母材中央に両面から0.9mmずつ切込みを入れ、D200-DDと同様の補修を施した補修済みの試験体である。

補修済みの試験体の製作にあたり、切込みの導入、グラインダーによるサンディング、補修板接着、養生の順に行った。切込みの作成においてはフライス盤を使用し、母材中央部に直径2mmのエンドミルを用いて深さ約1.8mmの溝を加工した。サンディングは補修板および母材の接着面をFRPの強化繊維を露出させ、かつ表面が粗

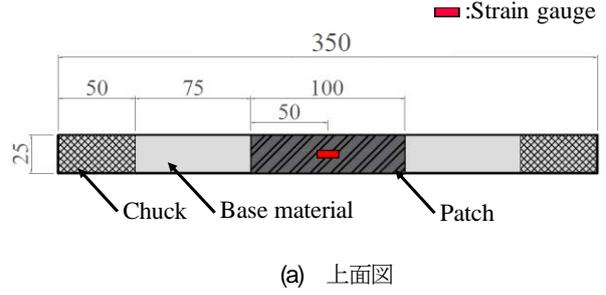


(a) 上面図

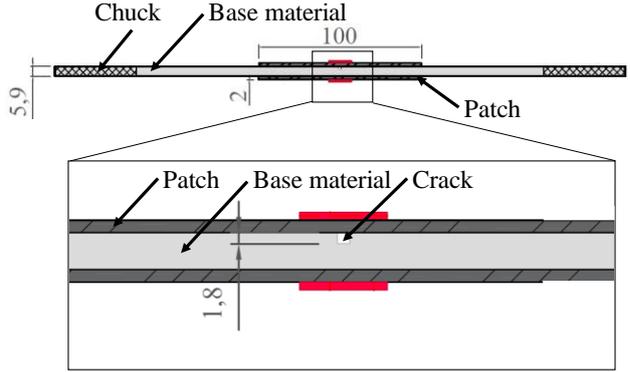


(b) 側面図

図-1 D40-CE寸法 (単位 : mm)

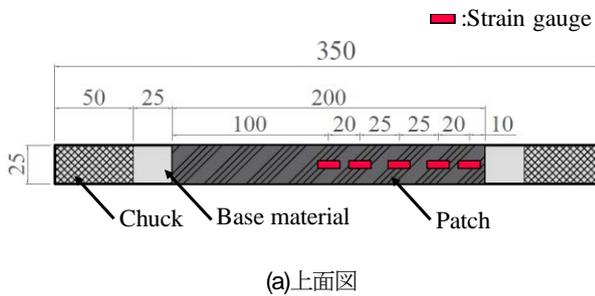


(a) 上面図

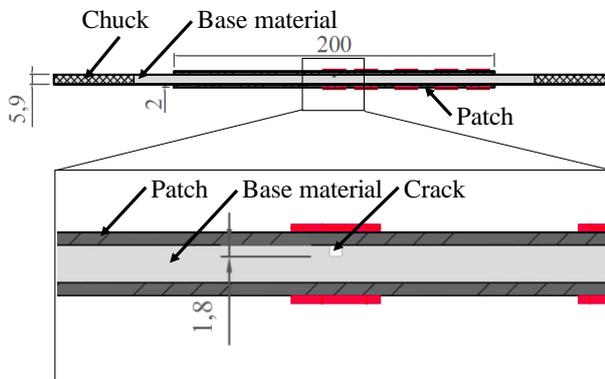


(b) 側面図

図-2 D100-CE寸法 (単位 : mm)

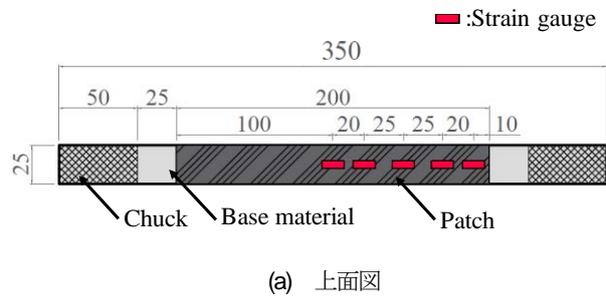


(a) 上面図

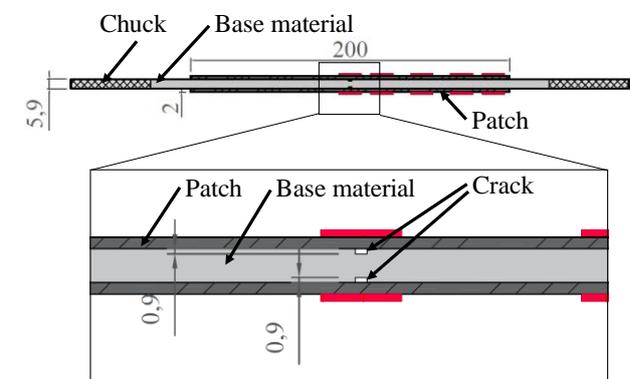


(b) 側面図

図-3 D200-CE, D200-DD寸法 (単位 : mm)



(a) 上面図



(b) 側面図

図-4 D200-DD-BSide寸法 (単位 : mm)

を接着する際は、室温20℃の環境で作業し、接着後は接着面に一定の荷重を与え、接着剤が最終強度に至るまで20℃以上で1週間以上養生した。

## (2) 荷重方法および測定項目

荷重実験には精密万能試験機（島津製作所オートグラフAG-Xplus, 最大荷重50kN）を用いた。いずれの試験体についてもアルミタブは使用せず、試験体を直接治具に固定した。なお、荷重速度はJIS K7164<sup>8)</sup>を参考に2mm/minとした。

引張試験にあたり、引張強度と接着した補修板が負担する応力をそれぞれ評価するため、荷重中の荷重、ひずみを静的データロガー（TDS-530：東京測器研究所）を用いて計測する。引張強度は、荷重時に得られる最大荷重を母材健全部の初期断面積で除して算出した。補修板が負担する応力は、図-1-4に示すように補修板表面に貼り付けたゲージ長5mmの一軸ひずみゲージ（BFLA-5-3-5JCT：東京測器研究所）から得られるひずみに補修板の弾性係数を乗じて算出する。引張強度および補修板が負担する応力の算出に当たり用いた試験体数は表-1に示すとおりである。

## 3. 簡易的な理論計算

実験において接着層や母材の各積層に生じる応力を直接測定することは困難である。そのため、簡易的な理論計算式により接着層に生じるせん断応力、母材が負担する直応力、補修板が負担する直応力をそれぞれ算出する。

計算式の誘導は、文献9), 10)を参考に、図-5に示す計算モデルを仮定した。計算モデルは、一軸引張を受ける母材に、同様の横幅の補修板が接着された場合を想定する。このとき、母材、補修板、接着層の間の力のつり合いは図-6のように表され、各層の応力ひずみ関係および各層間のつりあい式を連立して微分方程式を解くと式(1)-(5)が得られる。

$$\sigma_P = \frac{E_P}{E_B} \xi \left\{ 1 - \frac{\cosh(cx)}{\cosh(cL)} \right\} \sigma_{Bn} \quad (1)$$

$$\sigma_B = \left\{ \xi + (1 - \xi) \frac{\cosh(cx)}{\cosh(cL)} \right\} \sigma_{Bn} \quad (2)$$

$$\tau = ct_B \frac{1 - \xi \sinh(cx)}{2 \cosh(cL)} \sigma_{Bn} \quad (3)$$

$$c = \sqrt{\frac{G}{E_B} \sqrt{\frac{2}{1 - \xi}} \frac{1}{\sqrt{ht_B}}} \quad (4)$$

$$\xi = \frac{E_B t_B}{E_B t_B + 2E_P t_P} \quad (5)$$

ここで、

$\sigma_P$ ：補修板の直応力

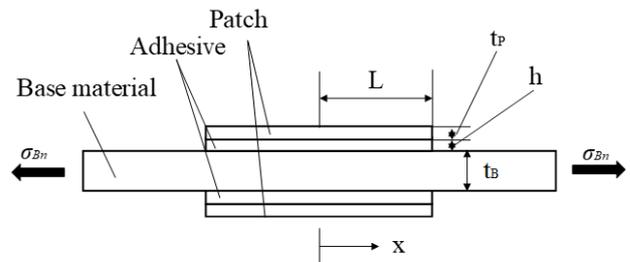


図-5 計算モデル

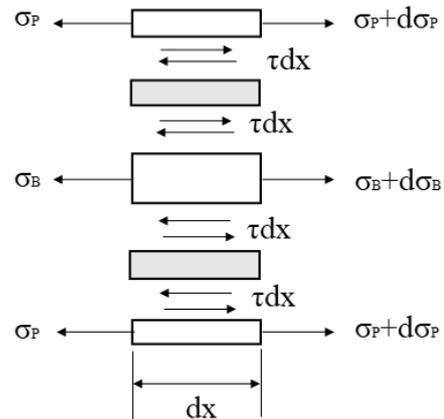


図-6 各層間の力のつりあい

$\sigma_B$ ：母材の直応力

$\tau$ ：接着層のせん断応力

$E_B$ ：母材の弾性係数

$E_P$ ：補修板の弾性係数

$G$ ：接着剤のせん断弾性係数

$t_B$ ：母材の厚さ

$t_P$ ：補修板の厚さ

$h$ ：接着層の厚さ

$L$ ：補修板の半接着長（＝補修板長/2）

$\sigma_{Bn}$ ：母材健全部応力

構造モデルでは中央部の切込みを想定していないため、切込み部の局所的な応力集中の推定は困難であるが、切込み部以外での応力性状の予測には効果的だと考えられるため、計算式の適用性についても検討した。

## 4. 実験結果および考察

### (1) 荷重－変位曲線

引張実験で得られた各ケースにおける荷重－変位曲線の代表値を図-7に示す。荷重は試験機内のロードセルで測定されたもの、変位は試験機のつかみ部間の変位である。荷重－変位曲線を作成にあたり、つかみ部と試験体間での滑りによる影響を除くために、荷重が安定して増加

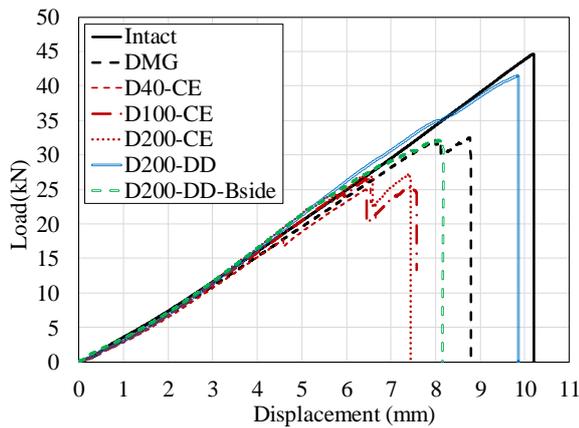


図-7 荷重－変位曲線

表-3 引張実験結果

試験体	切込 深さ (%)	補修 板長 (mm)	接着剤	引張強度 (MPa)		強度比
				平均	平均	(%)
Intact	-1	0.0	—	—	295.0	100.0
	-2	0.0	—	—	301.6	
	-3	0.0	—	—	294.4	
	-4	0.0	—	—	274.6	
	-5	0.0	—	—	288.2	
DMG	-1	31.5	—	—	212.4	73.1
	-2	31.2	—	—	192.2	66.1
	-3	34.9	—	—	170.7	58.7
	-4	33.1	—	—	167.7	57.7
	-5	31.2	—	—	195.6	67.3
D40-CE	-1	31.8	40	CE	166.5	57.3
	-2	32.4	40	CE	194.6	66.9
	-3	33.2	40	CE	170.7	58.7
D100-CE	-1	30.1	100	CE	177.1	60.9
	-2	32.3	100	CE	196.3	67.5
	-3	33.3	100	CE	185.9	64.0
D200-CE	-1	32.3	200	CE	213.6	73.5
	-2	33.3	200	CE	192.7	66.3
	-3	29.9	200	CE	177.9	61.2
	-4	32.1	200	CE	263.3	90.6
	-5	32.1	200	CE	250.4	86.1
D200-DD	-1	32.3	200	DD	233.1	80.2
	-2	31.9	200	DD	269.6	92.7
	-3	31.5	200	DD	271.7	93.4
	-4	31.4	200	DD	188.7	64.9
	-5	31.3	200	DD	176.9	60.8
D200-DD -Bside	-1	32.2	200	DD	214.0	73.6
	-2	32.1	200	DD	217.2	74.7
	-3	32.7	200	DD	212.0	72.9

し始めた時の変位を0mmとした。

図-7からいずれの試験体でも約10kNまではほぼ同様の荷重－変位曲線を示すことが分かる。その後の曲線経路に着目すると、Intactでは最大荷重で脆性的に破壊したのに対して、DMGや補修済みの試験体では荷重の急激な低下を生じたのち脆性的に破壊した。これは載荷時に切込み先端部から層間剥離や補修板の剥離を生じたことが考えられる。D40-CE、D100-CE、D200-CEについてはDMGの最大荷重に達する前に荷重が低下していることが分かる。一方、D200-DDでは荷重の低下を生じずにDMGの最大荷重よりも高い最大荷重が得られた。

## (2) 引張強度

引張実験における各試験体の引張強度を表-3に示す。



(a) DMG



(b) D40-CE



(c) D100-CE



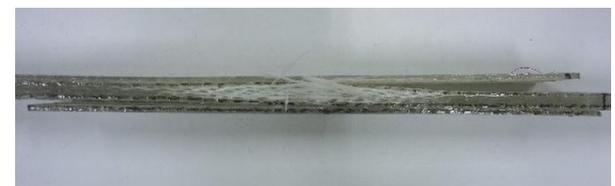
(d) D200-CE



(e) D200-DD (補修板剥離)



(f) D200-DD (母材繊維破断)



(g) D200-DD-Bside

図-8 試験体破壊性状

強度比はIntactの引張強度に対する各試験体の引張強度の比である。

Intact、DMGに着目すると、母材の板厚の30%の切込みを入れることでGFRPの引張強度は平均値で約35%低

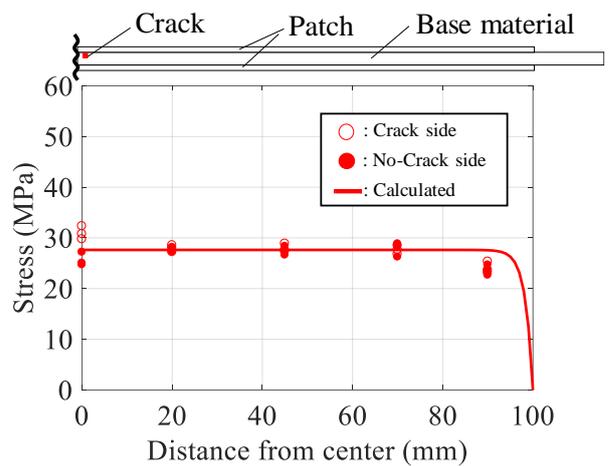
下した。概ね切込み深さに対応して引張強度が低下していることが確認できるが、損傷導入後の有効断面積(=100-切込み深さ)と強度比との間に最大9.2%の差が生じた。この原因としてGFRPという材料自体の強度のばらつきが影響したこと、切込み作成時に切断する繊維が想定よりも多くなってしまったことが考えられる。

補修済みの試験体の引張強度の平均値に着目すると、D200-CEおよびD200-DD、D200-DD-Bsideの引張強度は健全時の引張強度の75%程度まで回復することが確認できる。一方、各々の試験体に着目すると、いずれの補修タイプにおいても引張強度がDMGよりも低下するものも存在した。また、D40-CE、D100-CEのような接着長さの短い試験体では引張強度の回復が見られなかった。引張強度が向上する理由としては、荷重レベルが高い領域でも切込み付近で補修板が接着しており、接着剤を介して補修板が応力を負担していたことが考えられる。引張強度が向上しない理由としては補修板の剥離が比較的低い荷重レベルで生じてしまうため、接着長さが短く補修が十分ではなかったと推測できる。そのため、母材の応力増加や補修板剥離時に生じる衝撃力により、切込み部付近から層間剥離を起こしたことが考えられる。これらの結果から、引張強度の回復率は補修板の接着力に依存することが分かるが、接着補修による補修方法で安定して引張強度を回復させるためには、接着剤特性ならびに接着長さに関する知見の蓄積が必要である。また、今回製作した補修済みの試験体では強度比が80%に満たなかった。これは補修板接着端部の母材に応力集中が生じていることも原因の一つとして考えられ、破壊のメカニズムについて今後も検討が必要である。

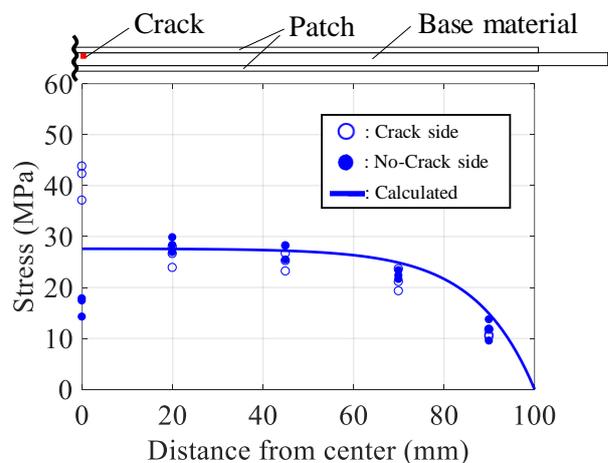
### (3) 破壊性状

引張試験における終局時の試験体の破壊性状の一部を図-8に示す。図-8(a)の破壊性状に着目すると、切込みにより損傷を受けた試験体は切込み先端から層間剥離が発生し、つかみ部付近で繊維破断を起こし破壊したことが確認できる。載荷試験時の観察では、載荷荷重が最大荷重の7割~8割に達した際に切込部分先端から層間剥離を生じ、荷重の増加に伴い層間剥離がつかみ部方向に進展する。そして、最終的につかみ部付近で繊維破断を起こすことが確認された。

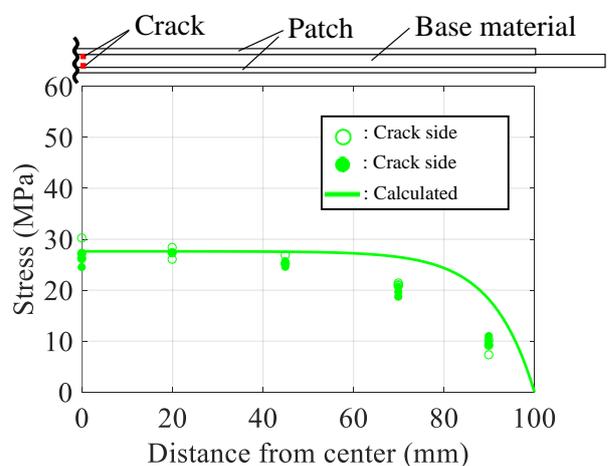
一方、補修済みの試験体の破壊性状に着目すると、図-8の(b)-(e)、(g)に示すように、多くの補修済みの試験体で補修板が剥離することで終局を迎えた。しかし、図-8の(f)に示すように試験体D200-DD-1では補修板が十分に接着されているにもかかわらず母材が突然繊維破断を生じることにより終局を迎えた。これらから、たとえ十分な接着力を有していても補修板の接着により引張強度を100%まで回復させるのは困難であると予想される。ま



(a) D200-CE



(b) D200-DD



(c) D200-DD-Bside

図-9 補修板の直応力分布

た、補修板の剥離は接着端部から発生したことから、今回の損傷(板厚の30%の切込み)の場合は損傷部分ではなく補修板端部の応力が補修板の剥離に支配的であったことが分かる。

### (4) 応力分布予測

D200-CE、D200-DD、D200-DD-Bsideにおける母材の直応力が50MPaの時の補修板の直応力分布を図-9に示す。

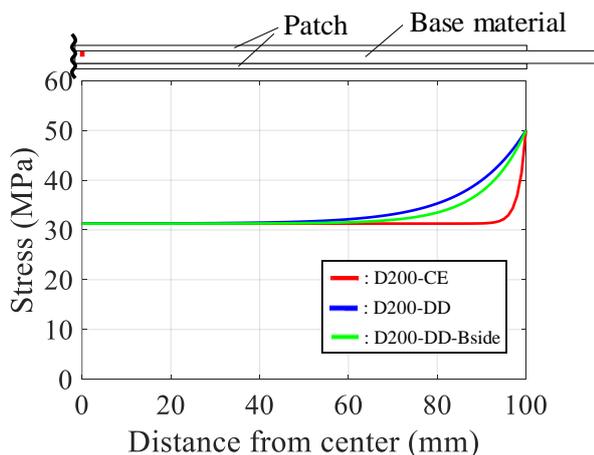


図-10 母材の直応力分布

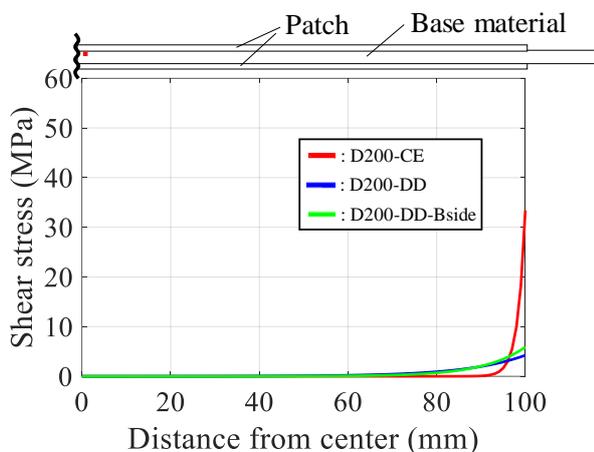


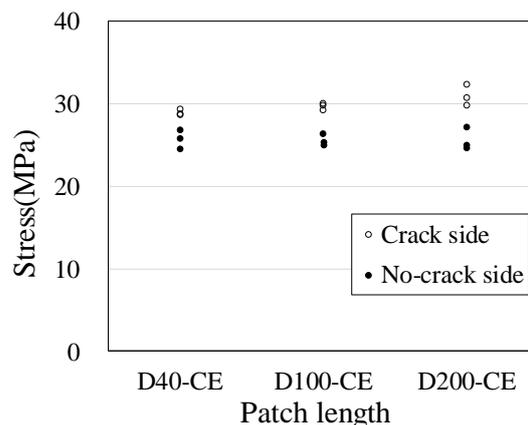
図-11 接着層のせん断応力分布

表-4 理論計算に使用した材料特性

変数	単位	試験値		
		CE	DD	DD-Bside
$E_B$	弾性係数(母材)	MPa	23378.1	
$E_P$	弾性係数(補修板)	MPa	20650.9	
$G$	せん断弾性係数(接着剤)	MPa	1039.3	44.1
$t_B$	厚さ(母材)	mm	5.90	
$t_P$	厚さ(補修板)	mm	2.00	
$h$	厚さ(接着層)	mm	0.11	0.29
$L$	補修板の半接着長さ	mm	100	
$\sigma_{Bn}$	母材健全部応力	MPa	50.0	

図-9を作成するにあたり使用した母材の直応力50MPa ( $\approx 7.5\text{kN}$ )は図-7から荷重-変位曲線の傾きが一定である区間の荷重とした。計算値の算出には式(1)および表-4の材料特性値を使用した。図-10, 11は式(2), (3)から算出した母材健全部直応力が50MPaの時の母材被補修部の直応力分布と接着層のせん断応力分布を示す。

図-9から、実験より計測した補修板の直応力は概ね計算値と一致しているが、切込み部分においては計算値と異なる値を示す。補修板端部の応力が変化する区間(以下、付着の伝達区間)においては計算値より小さい値を示す。このことから、母材の切込み以外の部分において



は図-10に示すように応力が低減され、付着の伝達区間は図-11に示される計算値より長いことが推測される。

付着の伝達区間における実験結果が計算値より小さな値を示す理由として補修板の厚さの影響が考えられる。接着層を介して補修板の接着面に引張を受けると、補修板外縁が自由面であるため、補修板に曲げ変形により自由面に微小な圧縮力が生じる。これにより、付着の伝達区間で補修板の引張応力が減少し計算値との差異が生じたと考えられる。

#### (5) 補修板中央部の応力性状

図-9の切込み部分において実験値と計算値が異なるのは、前述の通り、計算モデルには切込みのような断面の変化を想定していないためである。D200-DD-BsideとD200-CEでは実験結果と計算値との差が小さく、D200-DDでは実験結果と計算値が大きく異なっていたことから、片面からの切込みによる曲げ成分により実験結果と計算値の差が大きくなったこと、片面切込みの場合でも切込みに充填された接着剤の弾性係数や引張せん断接着強さが高い場合は曲げ成分が低減されて実験結果と計算値の差が小さくなることが分かる。

D40-CE, D100-CE, D200-CEにおける母材健全部直応力が50MPa時の補修板中央の直応力を図-12に示す。図-11から補修板長さ40mmの補修済みの試験体でも補修板長さ200mmの場合と同等の応力を補修板が負担していることが確認できる。これは式(1)や図-9(a)から得られるCEは付着の伝達区間が短いという結果に一致する。このことから、母材の応力もD40-CE, D100-CE, D200-CEで同様に低減されていると予想される。

## 5. まとめ

本研究では、一軸引張実験を実施し、切込み(繊維破断)を有するGFRP積層板の引張強度とそれに対する補修板接着効果を検討した。以下に、本研究で得られた結

果について知見をまとめる。

- (1) 繊維破断を模擬する切込みを導入するとGFRP積層板の引張強度が低下すること、補修板接着後の引張強度は補修板の剝離荷重に依存することが分かった。
- (2) 補修板が十分に接着されている場合、引張強度は健全時の90%以上まで回復した。また、補修板の長さが短い場合、低い荷重レベルで剝離が生じるため強度の回復が期待されないことが分かった。
- (3) 補修板が負担する直応力について簡易な理論式から得られる計算値と実験結果を比較し、接着端部における実験結果が計算値より小さい値を示すことを確認した。付着の伝達区間は接着剤の弾性係数が低いほど長くなることが確認された。
- (4) 理論式から導かれる付着の伝達区間が短い場合、長さの短い補修板でも長い補修板と同等の応力低減効果が得られることが分かった。

以上のことから、損傷を受けたGFRPの応力を低減させる目的でGFRP製補修板を接着する補修法が有効であるといえる。しかし、引張強度の向上については接着施工のばらつきが大きく今後、更に検討が必要である。

## 参考文献

- 1) 土木学会：FRP 歩道橋設計・施工指針（案），2011.
- 2) 大倉一郎，福井唯夫，中村圭吾，松上泰三，祝賢治：炭素繊維シートの鋼板疲労亀裂補修への適用，鋼構造年次論文報告集，第8巻，pp.689-696，2000.
- 3) 小林憲治，日野伸一，山口浩平，貝沼重信：GFRP 引抜き成形の材料特性およびはり部材の曲げ挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），vol.67，No1，pp.1-12，2011.
- 4) 谷本敏夫，星出敏彦：疲労-基礎と設計への展開：6.新材料の疲労挙動，材料，第35巻，第394号，pp.831-837，1986.
- 5) 石川晴雄，村上恭一：静的軸荷重下で衝突負荷を受けた積層板の損傷状態と圧縮残存強度，日本機械学会論文集（A編），56巻，526号，pp.19-23，1990.
- 6) 日本規格協会：JIS K6850 接着剤 - 剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法 - ，1999.
- 7) 日本規格協会：JIS K7161-2 プラスチック - 引張特性の求め方 - 第2部：型成形，押出成形及び注型プラスチックの試験条件，2014.
- 8) 日本規格協会：JIS K7164 プラスチック - 引張特性の試験方法 - 第4部：等方性及び直交異方性繊維強化プラスチックの試験条件，2005.
- 9) 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，I-57，pp.239-249，2001.
- 10) 宮下剛，長井正嗣：一軸引張りを受ける多層の CFRP が積層された鋼板の応力解析”，土木学会論文集 A，Vol.66，No.2，pp.378-392，2010.

## TENSILE TEST ON REPAIRING EFFECTS OF GFRP PLATES WITH FIBER BREAKAGE

Akihiko SATO, Yasuo SUZUKI, Gen HAYASHI, Kunitomo SUGIURA,  
Masahide MATSUMURA, Hideki HIBI and Manabu TAKEMURA

FRP has high specific strength and corrosion resistance as compared with conventional structural materials such as steel and concrete, and in recent years it has been used not only as a repair material but also structural primary members such as hydraulic gates, bridge inspection platforms, and footbridges. In the future, in order to use FRP as structural members, it is very important to investigate in advance the repair method when damage or deterioration occurs due to some causes such as fiber breakage or ultraviolet deterioration. Therefore, examined in this study is the repair method of FRP member damaged by fiber damage. Tensile tests are carried out using repaired specimen with GFRP patches adhered to both sides of GFRP laminated plate with fiber breakage. In the experiment, the type of adhesive and the length of repair patch were varied. As a result, it was found that the tensile stress was transferred through patches and the tensile strength could be recovered. In addition, the stress distribution characteristics of repair patches were assessed by comparing the experimental results with simple theoretical solutions.