# 論文 FRP 吹付け工法による T 型 RC 梁の耐震補強

古田 智基\*1·金久保 利之\*2·高橋 啓介\*3·根本 武\*4

要旨:カーボン・ガラスの短繊維とビニエステル樹脂を使用した,コンクリート系構造物の FRP 吹付け耐震補強に着目し,入隅部での FRP スリット充填定着を想定した JCI 型の二面せ ん断付着実験および T 型梁の曲げせん断実験を行った。付着実験よりスリットの深さは 5mm で十分な定着強度を有し,T 型梁実験ではスリット定着により入隅部での FRP の破壊を防止 し,FRP 吹付けによる耐震補強効果が見込めることが確認された。

キーワード: FRP, ガラス繊維, ビニルエステル, 定着, せん断補強, 靭性

1. はじめに

近年,コンクリート系構造物の耐震補強とし て,連続繊維シート貼付による耐震補強工法が 多く用いられるようになってきている。しかし, 今後の耐震補強の一層の促進を考えると,より 低コストで施工が容易な補強工法を提案すると ともに,その耐震性能を確認し,補強後の構造 安全性を保証しなければならない。

筆者らは、安価で施工の容易な補強方法とし て、「カーボン・ガラスの短繊維+ビニエステル 樹脂」を、コンクリート系建築構造物に対して 現場吹付けする耐震補強工法(以下,FRP吹付 け工法)に着目し、これまでに矩形柱の耐震補 強実験を行いその有効性を確認している<sup>1)</sup>。ま た、FRP吹付け工法では図-1に示すように床、 壁の多い建築構造物の表面形状に沿った形で FRPを現場成型できるため、柱付き壁や床付き 梁(T型梁)の耐震補強に対して有効である。 本研究ではFRP吹付け工法によるT型梁の耐震 補強に焦点をあて、その有効性を確認すること を目的とする。

連続繊維シートによるT型梁の耐震補強では, 梁とスラブとの入隅部でのシートの定着性状が T型梁の構造性能に影響を与えることが確認さ れている<sup>2)</sup>。本研究ではFRP 吹付け工法のメリ ットを生かすことができる「FRP スリット充填 定着」(図-2)を主とし、さらにボルトや鋼材 を使用した FRP の定着も試みている。本研究で はT型梁の実験とともに「FRP スリット充填定 着」の定着性能を把握するために JCI 型の二面 せん断付着実験も行ったので、同時に報告する。







図-2入隅部の FRP スリット充填定着

\*1 バンドー化学(株) 運搬・建設資材事業部 博士(工学)(正会員)
\*2 筑波大学講師 機能工学系 博士(工学)(正会員)
\*3 三菱化学産資(株) 複合材事業部
\*4 昭和高分子(株)

#### 2. 使用繊維および樹脂

本研究のFRP吹付け工法で使用した繊維およ び樹脂は、ガラス繊維(ロービング)およびビ スフェノール A 系ビニルエステル樹脂で, スプ レーアップ装置のスプレーガンに内蔵されてい るカッターで繊維を 1.5 インチ (38mm) に裁断 しながら樹脂とともに試験体に吹付けた。T型 梁試験体, 付着試験体とも FRP の目標吹付け厚 は 3.0mm とし、あらかじめ単位時間の吹出量を 測定しておき,目標となる吹付け厚になるよう 吹出時間によりコントロールした。本工法によ る FRP の繊維体積含有率 (v<sub>f</sub>) はおよそ 30%で ある。なお、本研究では、実験結果を既往の連 続繊維シート補強による補強実験結果と直接比 較するため、シート補強の場合と同様に下地処 理としてコンクリート表面ケレン、プライマー 塗布およびパテ処理を施している。将来的には、 これらの下地処理を省いた施工を想定している。

試験体吹付けと全く同一の条件下で,JIS K7054に基づくFRP引張試験用のA型試験片を 作製し,5体の引張試験を行った。試験結果を 表-1に示す。なお、シートの場合とは異なり、 断面積は試験片の実測値を用いている。

X							
围	厚	引張強度	弾性係数	破断歪			
(mm)	(mm)	(MPa)	(GPa)	(%)			
24.8	3.99	67.2	8.02	1.24			

表一 1 FRP の引張試験結果(平均値)

\* 応力値は試験片断面積の実測値による

# 3. FRP の付着実験

### 3.1 実験概要

試験体は図-3に示す100×100×600mmのコ ンクリートブロックで,鉄筋は試験体中央部で 切断されている。FRP 吹付け補強後,中央部の ノッチにひび割れを導入し,2MN ユニバーサル 試験機を用いて単調引張加力を行った。実験因 子はスリットの有無および寸法で,スリットの 位置は試験体中央部から 80mm,軸方向幅を 40mm,深さを 5,10,20mm の3水準とした。 スリットに充填された FRP により,機械的な



図一3 付着実験試験体

噛み合いによる定着強度増加を期待している。 同一因子で各3体ずつ,計12体の加力を行った。 コンクリートには,粗骨材に最大径20mmの砕 石を用いた普通コンクリートを使用し,試験体 加力時材令の圧縮強度および割裂強度はそれぞ れ32.8,2.70MPaであった。

- 3.2 実験結果および検討
- (1) 破壊性状および最大荷重

スリットのない試験体は FRP の剥離で,スリ ットのある試験体は FRP 母材部での破断ある いはコンクリートのせん断破壊により荷重が低 下した。実験結果の一覧を表-2に,典型的な 破壊状況を図-4に示す。

スリットのない試験体の最大荷重, すなわち 吹付け FRP とコンクリートの付着強度は, 試験 体3体の平均で20.6kN である。比較として, 同 一の軸剛性を有する連続繊維シートの場合, 文 献3)による付着強度計算値は25.7kN (有効付着 長 88.3mm) であり,本工法の吹付け FRP の付 着強度はそれの80%程度である。スリット有り の試験体では破壊形式がコンクリート破壊か FRP の破断であるのでスリットの定着強度は不 明であるが,深さが5mm でもFRP を母材破断 させるための定着強度を有していると言える。 No.2 試験体の最大荷重の平均値は, FRP の引張 試験結果より算出される破断荷重の97%である。

	スリット		最大荷重時		
試験体	幅 (mm)	深さ (mm)	荷重 (kN)	ひび割 れ幅* <sup>1</sup> (mm)	破壊 形式* <sup>2</sup>
No.1-1	なし		20.8	1.13	BF
-2			26.3	1.48	BF
-3			14.8	0.75	BF
No.2-1			24.1	1.22	CS
-2		5	24.2	1.78	FR
-3			27.1	1.41	CS
No.3-1			<b>-</b> * <sup>3</sup>	<b>-</b> * <sup>3</sup>	FR
-2	40	10	23.0	1.21	CS
-3			31.2	1.78	CS
No.4-1		20	30.2	1.46	FR
-2			16.9	0.79	FR
-3			26.3	1.37	FR

表一 2 付着実験結果

\*1 試験体中央部導入ひび割れの幅(最大荷重時) \*2 BF:付着破壊 CS:コンクリート破壊 FR:FRP 破断 \*3 測定データ不良



# 図一 4 付着試験体破壊状況

#### (2) FRP の 金分布

各変動因子試験体の FRP の歪分布を図-5 に 示す。横軸は,試験体中央部からの歪ゲージの 貼付位置である。スリットのない試験体 No.1 では,荷重段階が進むにつれて付着力負担領域 の推移が伺える。スリットの有る試験体 No.2~ 4 では,スリット位置(中央から 80-120mm) 以降の FRP の歪は非常に小さい。歪分布からも FRP スリット充填定着の有効性が分かる。

# 4. T型梁の曲げせん断実験

#### 4.1 実験概要

試験体は鉄筋コンクリート造既存不適格建物 の梁を想定した縮小モデルで,梁断面は 200× 300mm,スラブ厚 50mm,片側幅 500mm,せん 断スパン比は 2.0 である。試験体数は計4体で, 実験因子は入隅部の FRP の定着方法とし,RC 部および吹付け FRP はすべて同一である。試験 体計画時に比較用試験体として文献 2)の無補強 試験体 No.11 と,炭素繊維シート補強試験体 No.22,23 (目付量 200g/m<sup>2</sup>の CF シート1 層補 強:シートの軸剛性=26kN/mm)を想定した。 本試験体では,その炭素繊維シート補強試験体 と同程度の FRP 軸剛性を有するように FRP 厚 の目標値を 3mm に設定した(FRP の軸剛性= 24kN/mm)。





実験因子の FRP 定着方法は,入隅部の梁側, スラブ側とも幅 40mm,深さ 10mm の FRP スリ ット充填定着とした試験体 No.1,施工性を考慮 して梁側のみを FRP スリット充填定着としス ラブ側はアンカーボルトとした試験体 No.2,ス ラブ側のみをアンカーボルト定着とした試験体 No.3,炭素繊維シート補強試験体との比較を意 図し,スラブ側で鋼ブロックとアンカーボルト で定着した試験体 No.4 の4 種類である。試験体 と入隅部の詳細を図-6 に示す。

コンクリートには,粗骨材に最大径 15mmの 川砂利を用いた普通コンクリートを使用し,試 験体加力時材令の圧縮強度および割裂強度はそ れぞれ 26.9, 2.02MPa であった。鉄筋には,主 筋に D13 (降伏点 324MPa),肋筋に D4 (降伏 点 218MPa), スラブ筋に D6(降伏点 414MPa) を使用した。

加力は正負交番繰返しの建研式加力とし,加 力履歴,計測項目は文献2)と同一である。

#### 4.2 破壊経過

各試験体の最終破壊状況を図-7 に示す。各 試験体とも 1/100rad.の加力サイクルで曲げ降伏 が先行, 1/50rad.の加力サイクルで FRP に微細 な亀裂が生じ始め,最終的には FRP の破断によ り耐力低下を起こした。

試験体 No.3 は 1/50rad.の 1 回目の加力サイク ルでスラブ定着部アンカーボルト付近に FRP の亀裂が生じ始め,定着部の FRP 亀裂が拡大し て耐力低下を起こした。1/50rad.の 2 回目加力サ イクルで FRP の破断が進行し,梁側面の FRP



図- 7 最終破壊状況



図- 8 せん断カー部材角関係

がコンクリートから剥離した状態となった。

試験体 No.4 は、1/50rad.の2回目加力サイク ルで定着部鋼材周辺の FRP に亀裂が生じ耐力 低下した。その後梁側面のせん断ひび割れに沿 って亀裂が拡大し、最終的には部材長全域に FRP の破断が連なった。

試験体 No.1 および No.2 は 1/50rad.の 2 回目 加力サイクルで梁端コーナー部に FRP の亀裂 が生じ始めた。1/33rad.の1回目の加力サイクル でその亀裂が部材材軸方向に拡大し耐力低下し た。入隅部の FRP に大きな損傷は確認されなか った。

各試験体のせん断力-部材角関係を図-8 に 示す。FRP の破断による最終的な耐力低下の部 材角は, No.2>No.1>No.4>No.3 の順であった。 FRP スリット充填定着の有効性が分かる。

# 4.3 無補強・シート補強試験体との比較

試験体の設計段階において無補強およびシー ト補強試験体との比較を念頭に置いた対象試験 体である,文献2)の試験体 No.11,22,23 との 比較を行う。RC 部は本試験体と同一であり, 試験体 No.11 は無補強,試験体 No.22,23 は目 付量200g/m<sup>2</sup>の CF シート1 層補強を施し入隅 部をアングルで定着したもので,No.22 は梁ス ラブ両面に,No.23 はスラブ面のみにアンカー ボルト定着をしている。各試験体のせん断力-部材角関係の包絡線を図-9に示す。

試験体 No.11 の無補強試験体はせん断破壊で、 本試験体はいずれも曲げ降伏先行型に移行して おり, 吹付け FRP による補強効果が確認できる。 シート補強試験体と比較すると,部材角 1/50rad. までは吹付け FRP 補強も同様の耐力を維持し ているが、1/33rad.以降で差が見られる。試験体 No.1, No.2 では入隅部 FRP の損傷は見られなか ったことから、FRP 自体の強度の差に起因する ものと思われる。吹付け FRP および CF シート の軸強度(厚×破断応力)はそれぞれ 268、 541N/mm であり、本実験における吹付け FRP の強度は CF シートの半分程度である。



### 4.4 FRP の 歪発生状況

試験体 No.2, No.3 について, 梁側面およびコ



図- 10 FRP の 金分布

ーナー部に添付した歪ゲージによる各加力サイ クルピーク時の FRP の歪分布を図-10 に示す。 梁側面では,試験体 No.2, No.3 とも FRP の 最大歪は 0.3~0.4%程度である。試験体 No.2 の コーナー部では,加力サイクル 1/50~1/33rad. 時に梁端部での歪が大きくなっており,コーナ 一部から FRP が破断していった破壊経過と対 応している。一方試験体 No.3 では入隅部の FRP が破壊し,梁側面の FRP に浮きが生じたことか ら,コーナー部では曲率の反対方向に曲げ力を 受け, FRP 表面で圧縮歪が発生している様子が 伺える。

## 5. まとめ

- (1) 梁とスラブの入隅部での FRP の定着を想定 した「FRP スリット充填定着」は, JCI 型の 付着試験, T 型梁の曲げせん断実験のそれ ぞれにおいて, その有効性が確認された。
- (2)「FRP スリット充填定着」におけるスリッ ト深さは、5mm 程度でも FRP の母材破断を 生じさせるために十分な定着能力を有して いる。
- (3)「FRP スリット充填定着」により T 型梁の 入隅部の破壊は防止できたが、最終的に梁 コーナー部での FRP の破断が観察された。
   FRP 破断時の部材角は 1/50~1/33rad.程度で

あり、コーナー部での FRP 破断防止の工夫 が必要であると考えられる。

### 謝辞

本研究は、筑波大学、三菱化学産資(株)、三 菱商事(株)、昭和高分子(株)、(株) コンステ ックの共同研究の一環として実施されたもので ある。関係各位に感謝いたします。また、実験 の実施にあたっては、筑波大学卒研生土田晃博 君の協力を得た。

### 参考文献

- 根本 武,高橋啓介,竹内百合,古田智基, 福山 洋,金久保利之:FRP 吹付け工法に よる RC 構造物の耐震補強に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), C-2 構造IV, pp.339~344, 2000.9
- 有留義朗,金久保利之,古田智基,松井雅 明:CFRPシートで補強したT型梁の靭性能, コンクリート工学年次論文報告集,第20巻, 第1号, pp.455~460, 1998.7
- 金久保利之,古田智基,福山洋:等価付着ストレスブロックによる連続繊維シートとコンクリートの付着強度算定式,コンクリート工学論文集,第12巻,第3号,pp.27~37,2001.9