(52) 一部繊維化したCFRP材による 非抗圧性ブレース材の提案と性能評価

濵﨑 瑞生¹・松本 幸大²・田口 孝³・清水 啓介⁴・小宮 巖⁵・ 中島 浩二⁶

> ¹正会員 豊橋技術科学大学 大学院 建築・都市システム学専攻 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1) E-mail: hamasaki.mizuki.ay@tut.jp

²正会員 豊橋技術科学大学 准教授 建築・都市システム学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1) E-mail: y-matsum@ace.tut.ac.jp

 ³正会員 矢作建設工業(株) エンジニアリングセンター 主席研究員 (〒480-1342 愛知県長久手市茨ケ廻間1533-74)
 E-mail: t-taguchi@yahagi.co.jp

 ⁴正会員 矢作建設工業(株) エンジニアリングセンター 主任研究員 (〒480-1342 愛知県長久手市茨ケ週間1533-74)
 E-mail: k-shimizu@yahagi.co.jp

⁵正会員 福井ファイバーテック(株) 生産技術部(〒441-3106 愛知県豊橋市中原町岩西5-1) E-mail: i-komiya@fukui-fibertech.co.jp

⁶福井ファイバーテック(株) 生産技術部(〒441-3106 愛知県豊橋市中原町岩西5-1) E-mail: k-nakajima@fukui-fibertech.co.jp

鋼構造物において多用されている鋼製ターンバックルブレースは,設計上,圧縮側耐力は無視されるが, 圧縮変形時には早期に座屈し,面外への大きな変形が生じることから,周辺の仕上げ材に損傷を与えたり, 座屈に伴う端部等の局所的な塑性化が発生し,繰返し変形により破断したりする可能性がある.筆者らは, ブレース部材に軽量・高強度なCFRP材,また,定着について既存のパイプ式ターンバックル胴に着目し, 圧縮力が作用せず接合も容易なブレース構造に関する研究開発を行っている.本報告では,既往の材料試 験,および,接合部耐力試験の結果を踏まえ,実大鋼構造フレームに提案する非抗圧性ブレースを組み込 み,水平加力試験を行った場合の力学特性について述べる.

Key Words : brace, partially fiber, CFRP, full-scale test, cyclic loading

1. はじめに

鋼構造物において多用されている鋼製ターンバックル (以下,TBと記す)ブレースは,設計上,圧縮側耐力 は無視されるが,圧縮変形時には早期に座屈し,面外へ の大きな変形が生じることから,周辺の仕上げ材に損傷 を与えたり,座屈に伴う端部等の局所的な塑性化が発生 し,繰返し変形により破断したりする可能性がある.こ うした課題に対して,圧縮変形が生じても部材に圧縮力 が作用しない接合金具を用いたブレース機構¹⁾,部材を 構成する材料自体の圧縮抵抗力を無くすよう紐状の材料 を用いたブレース³などが提案・応用されている.

筆者らは、ブレース部材に軽量・高強度な CFRP 材、 および、定着について既存のパイプ式 TB 胴³に着目し た圧縮力が作用せず接合も容易なブレース構造に関する 研究開発を行っている⁴⁷.提案する非抗圧性 TB ブレー スは、CFRP 棒材の一部を、成形段階で樹脂含浸を行わ ずに一部繊維化した CFRP 材(Partially Fibered CFRP 材、 以下 PFCFRP 材と記す)を用い、図-1 に示すように繊維 化された部分で圧縮変形時の変形を吸収することで、ブ レースには引張力のみが作用し、座屈変形も生じないブ レースである.また、鋼製 TB ブレースを併用している ため塑性変形能力に期待できる. PFCFRP 材の成形には, 生産性と機械的性質の安定性を考慮して引抜成形を採用 し, 図-2 のように一定区間において樹脂含浸を行わな いことで実現する. CFRP 材の定着・接合法の検討は既 に行っており,図-3 のようにパイプ式 TB 胴を用いる方 法を提案している ⁹. パイプ式 TB 胴を用いることで, その両端に加工されているネジ部のうち,定着側と逆側 のネジを用いることで取り付けが極めて容易となり,既 存鋼製 TB ブレースからも交換可能な手法である.使用 する PFCFRP 材の定着試験,および,材料試験は既に行 っており,本研究で提案する PFCFRP を組み込んだブレ ース(以下, PFCFRPブレースと記す)は既存の鋼製 TB ブレースの代替として使用可能であることを確認してい る.

本論文では,既往の定着試験,および,材料試験の結 果を踏まえ,実際に鋼構造フレームに PFCFRP ブレース を組み込み,実大スケールの水平加力を行った場合の力 学特性について報告する.







図-2 PFCFRP 材の作成方法



2. 耐力評価

(1) 耐力評価の概要

本研究で提案するPFCFRPブレースに用いるCFRP材の 耐力評価,および,定着部の耐力評価は既に示されてい る⁷が,本論文でも重要であるため,本章において概要 を示す.使用したCFRP材の物性値を**表-1**に示す.

表-1 CFRP材の物性値

	D8	D12
炭素繊維種類	Zoltek	x PX35
繊維強度 ⁸⁾ (N/mm ²)	41	.37
繊維弹性率 ⁸⁾ (N/mm ²)	242	2000
フィラメント数(本)	50	000
外径(mm)	8	12
繊維束本数(本)	15	33
繊維含有率(%)	61.8	60.5
繊維耐力理論值(kN)	129	283

(2) 定着方法

PFCFRP材を既存鋼製TBブレースに組み込むにあたり, 図-3のようにパイプ式TB胴の40%の長さでPFCFRP材を 定着し、反対側のネジ部を用いて接合する手法を用いた. 定着方法は、TB胴の内部に楔によって端部を広げられ たCFRP部分を挿入し、鉄球(1.2mm径)とエポキシ樹脂 (コニシ製: E2300W)を充填することで、楔によって広 げられたCFRP部分が樹脂によって固められた鉄球層に 引っかかることで機械的に抵抗する方法とした.

(3) 試験方法

a) 定着試験

定着試験では、繊維化していないCFRP材を使用して 各定着耐力の測定を行った.各定着部におけるCFRP材 の埋め込み長さは既存鋼製TBブレースに組み込むため に、TB胴全長の40%としている.なお、M12のTB胴には D8の、M16、M20にはD12のCFRP材を使用する.試験は 万能試験機を使用した準静的な引張試験とした.試験体 数は各10体である.

b) 材料試験

材料試験ではD8とD12のPFCFRP材,および,CFRP材 の材料強度の測定を行った.試験は万能試験機を使った 準静的な引張試験とした.CFRP材の定着法は定着試験 の方法を応用し,パイプ式TB胴を介して試験体を試験 機にセットした.材料試験では定着耐力を材料強度に比 べて十分大きくする必要があるため,D12のCFRP材には M30を,その他の試験体にはM20のパイプ式TB胴を使用 し,埋め込み長さはTB胴全長の70%とした.試験体数は D8のCFRP材が5体,それ以外が10体である.

(4) 試験結果

定着試験・材料試験より得られた結果を,図-4に示す. 図-4の縦軸には、定着試験・材料試験から得られたそれ ぞれの耐力の平均値、および、最大・最小の範囲をプロ ットしている.横軸は、TBサイズを示している.さら に、鋼製TB主材の破断軸力(TS)、降伏軸力(YP)の 上限値も合わせて示している.

M16として用いる際には定着部、繊維部分ともに鋼製 TBブレース主材の破断まで破壊が生じることはないこ とがわかる.一方、M12、M20として用いる際には鋼製 TBブレース主材が降伏後のひずみ硬化域において PFCFRP材が破断する可能性があることがわかる.

CFRP材を繊維化することによる影響に注目すると, CFRP材に対してPFCFRP材の耐力は, D8は40%, D12で は55%程度まで低下した.







3. 実大試験による性能評価

(1) 実大試験の概要

PFCFRPブレースを実構造物に適用させる場合,圧縮 軸力を受ける方向のブレース材が変形に抵抗できないた め,既存鋼製TBブレースと同様に2本のブレースを設置 されることが想定される.実大試験では2本のPFCFRPブ レースをX型に配したフレーム試験装置に対して正負方 向に繰返し加力を行うことで,PFCFRPブレースの力学 特性を把握するとともに既存鋼製TBブレースとの比較 を行う.

(2) 試験方法および試験体

図-5に試験装置の概要図を示す. 試験装置はピン支承 によって支持された柱と載荷梁からなる内側のフレーム と,水平力を作用させるための油圧ジャッキ,および, その反力をとる外側のフレームからなる. 載荷梁,およ び,外側のフレームにガセットプレートを設置し,内法 寸法を梁方向・柱方向のいずれも4000mmとして, 5000mmのブレースが45度方向に取り付けられるように している. 図-5の左上から右下に取り付けられているブ レースをブレースA,右上から左下に取り付けられてい るブレースをブレースBと称する.

載荷サイクルを図-6に示す.載荷は油圧ジャッキによ ってフレームに作用させる水平力,および,内側のフレ ームの水平変位によって制御した.図-5の左向きの方向 を正とし,各サイクル正負2回ずつ漸増繰返し載荷を行 った.



図-5 試験装置

載荷サイクルは、4サイクル目までは荷重制御とし、それ以降の振幅は変位制御としている.荷重制御は鋼製 TBブレースの軸力が保証荷重%に相当する水平荷重

(M12: 14.6kN, M16: 27.1kN, M20: 42.6kN)を基準とし、変 位制御は最大で相関変形角が1/33に相当する120mmまで とした.

本試験では、ブレースを取り付けるためのガセットプレートを利用し、ブレースと並行にワイヤー変位計を取り付けることで、それぞれのブレースの軸方向変位を測定している.本報告の水平変位は、ワイヤー変位計により測定したブレースの軸方向変位を水平方向に変換したものを使用している.また、鋼製TBブレース主材の両



図-6	載荷サイク	ル
-----	-------	---

M12-S		
M12-PF-L1000	1000	
M16-S		
M16-PF-L1000		
M16-PF-L750	750	
M20-S		
M20-PF-1000	1000	
M20-PF-800	800	
L.	5000	

図-7	試驗体-	-暫
		1771

表2	試験体名称
-1X L	IL MOVILLA D 111

TB	計驗休夕	PFCFRP材径	PFCFRP材長
サイズ	11-10天11-1-11	(mm)	(mm)
1410	M12-S	-	-
IVI12	M12-PF-L1000	D8	1000
	M16-S	-	-
M16	M16-PF-L750	D12	750
	M16-PF-L1000	DI2	1000
	M20-S	-	-
M20	M20-PF-L800	D12	800
	M20-PF-L1000	- D12	1000

表_3	- 編製 TR ブ	レース主材の機械的性質
10 0	判衣 IDノ	

	降伏応力	引張強さ	ヤング係数	伸び
	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(%)
M12	384.9	455.1	210962	20.4
M16	312.5	451.9	205927	34.5
M20	325.0	449.5	204955	36.4

端部(端部から2×呼び径(mm)),および,中央の3ヵ 所で,主材側と羽子板側の両面に添付したひずみゲージ を用いてひずみの測定を行った.図-5に,ひずみの測定 位置とその番号を示している.

試験変数は,TBサイズとPFCFRP材の長さである. M12,M16,M20の3種類のサイズを対象とした.試験体 一覧を図-7,および,試験体名称を表-2に示す.試験体 名はそれぞれ,TBサイズ,ブレースの種類,PFCFRP材 の長さを表している.

試験体は、既存の鋼製TBブレース、および、PFCFRP ブレースである. PFCFRPブレースは、図-7のように PFCFRP材の両端にパイプ式TB胴を介して、鋼製TBブレ ースに挿入し作成する. 規格化されたTB胴を用いるた め、接合が極めて容易である. PFCFRP材の材長に関わ らず、すべての試験体でブレース長さが5000mmとなる ように既存の鋼製TBブレースの長さを変更している. さらに、PFCFRP材の材長が力学挙動に及ぼす影響を確 認するため、M16、および、M20では2種類の材長で試 験を行った. ここで、PFCFRP材の長さはTB胴の中心か らTB胴の中心までの長さとしている. なお、PFCFRP材 の定着法,および,耐力は2章(2),(4)で述べたものと対 応している. また, 実大試験に使用する鋼製TBブレー ス主材の材料試験から得られた機械的性質を表-3に示す. 材料試験の試験体は実大試験に使用したものと同じロッ トの鋼製TBブレースから切り出し、試験体数はそれぞ れ5体とした.表-3には材料試験の平均値をそれぞれ示 している.

(3) 試験結果

a)水平荷重-水平変位関係

試験より得られた各試験体の水平荷重-水平変位関係 を図-8に示す.図中には材料試験の結果から算出した鋼 製TBブレースの降伏耐力,および,各ブレースに対応 した水平剛性の計算値をそれぞれ示している.

鋼製TBブレースは座屈が生じるためスリップ型の履 歴曲線を示している.PFCFRPブレースについても圧縮 変形に対して抵抗しないため、同様にスリップ型の履歴 曲線を示している.PFCFRP材の材長の違いについて、 M16-PF-L750とM16-PF-L1000では履歴挙動に大きな違い がないことがわかる.また、すべての試験体で材料試験 の結果から算出した降伏耐力と試験結果はおおむね一致 している.

試験の結果, M20-PF-L1000のみPFCFRP材の破断が確認されたが,その他の試験体では最大で相関変形角が 1/33に相当する水平変位を与えてもPFCFRP材の繊維の破断やその定着部に損傷はみられなかった.

M20-PF-L1000については、7サイクル目の正側の載荷





図-9 破断後の PFCFRP 材 (M20-PF-L1000)

でブレースAのPFCFRP材に破断が生じた. 図-8(c)の 図中の×印は破断点を示している.また,破断後の PFCFRP材の様子を図-9に示す. M20のPFCFRPブレース でPFCFRP材の破断が生じた原因としては、PFCFRP材の 耐力が低いためであると考えている. 2章(4)の耐力評価 の結果からD12のPFCFRP材はM20の鋼製TBブレースの 破断軸力の上限値を下回っており、ひずみ硬化域に到達 すると破断してしまう可能性があった.また、同様に M12もD8のPFCFRP材の耐力が鋼製TBブレースの破断軸 力の上限値を下回っていたがM12のPFCFRPブレースで は破断が生じていない. これは、一部繊維化することに よる張力のばらつきが関係していると考察される. すな わち、CFRP材では繊維のわずかな張力のばらつきを樹 脂が伝達することで分散し安定した耐力を実現している のに対し、PFCFRP材では一部繊維化しているため、わ ずかな張力の差が耐力に現れたためであると考えられる. 加えて、図-9の破断後のPFCFRP材では、すべての繊維 が破断していないことからも繊維化することで張力にば らつきがあったものと思われる.よって、本試験では M20-PF-L1000のみPFCFRP材の破断が生じ, M12-PF-L1000,および,M20-PF-L800では破断が生じなかったが, M12-PF-L1000, および, M20-PF-L800についても破断が 生じる可能性はあると考えられる.

b) 水平剛性

水平剛性の実験値と計算値の一覧を表-4に示す.また, 実験値と計算値の比較のために実験値を計算値で除した 値も合わせて示している.水平剛性の実験値は,保証荷 重が作用する載荷サイクル(3,4サイクル目)において 載荷,および,除荷の荷重勾配に対して最小二乗法によ る直線近似を行い,その傾きとしている.すなわち図-6 の載荷サイクルからわかるように,3,4サイクルの間で は上り勾配と下り勾配の合わせて5つの傾きが得られる ため,その平均値を実験値とした.また,弾性域におけ る既存の鋼製TBブレースの水平剛性の計算値は(1)式か ら算出することができる.他方,PFCFRPブレースの水 平剛性の計算値は(2)式から計算している.鋼製TBブレ

	表─4 水半剛性					
	試驗休夕	実験値	計算値	実験値	計算値※	実験値
	1-~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	(kN/mm)	(kN/mm)	計算值	(kN/mm)	計算值※
	M12-S	1.90	1.94	0.98	-	-
	M12-PF-L1000	1.40	1.41	0.99	1.28	1.09
	M16-S	3.30	3.49	0.95	-	-
	M16-PF-L750	2.81	2.97	0.94	2.78	1.01
	M16-PF-L1000	2.54	2.83	0.90	2.60	0.97
-	M20-S	5.30	5.43	0.98	-	-
	M20-PF-L800	3.66	3.94	0.93	3.59	1.02
	M20-PF-L1000	3.19	3.69	0.86	3.31	0.96
	M20-PF-L800 M20-PF-L1000	3.66 3.19	3.94 3.69	0.93 0.86	3.59 3.31	1.02 0.96

※ PFCFRP 材のヤング係数が CFRP 材に比べて 20%低下していると仮定して計算している.

ースとPFCFRP材部分の軸剛性を直列系で接続することで計算した.ブレース長さLbは5000mmとし、PFCFRP材の長さLgはTB胴の中心からTB胴の中心までとした.なお、ブレース角度のは45°で近似している.鋼製TBブレースAsの断面積は軸部主材の外径の実測値から算出した値

(M12: 92.1mm², M16: 169.4mm², M20: 264.7mm²), CFRP材 の断面積*A_f*についてもCFRP材の外径の実測値から算出 した値(D8: 49.5 mm², D12: 115.4 mm²)としている. 鋼 製TBブレース,および, CFRP材のヤング係数*E*s, *E_f*は材 料試験から得られた値をそれぞれ使用しており,鋼材は **表**-3に示す値, CFRP材は, D8では137097N/mm², D12で は144300N/mm²である.

$$K_{s} = \frac{P}{\delta_{h}} = \frac{E_{s}A_{s}}{L_{b}}\cos^{2}\theta \tag{1}$$

$$K_{PF} = \frac{P}{\delta_h} = \left(\frac{L_s}{E_s A_s \cos^2 \theta} + \frac{L_{pf}}{E_{cf} A_{cf} \cos^2 \theta}\right)^{-1}$$
(2)

P:水平荷重, δ_h :水平変位 L_b :ブレース長さ(5000mm), L_{pj} :PFCFRP材長さ L_s :鋼製TBブレース長さ(L_b - L_{pj}), θ :ブレース角度(45°) A_s , A_{cj} :鋼製TBブレース,CFRP材断面積 E_s , E_{aj} :鋼製TBブレース,CFRP材ヤング係数

水平剛性の実験値と計算値を比較すると、多少の誤差 はあるもののすべての試験体でおおむね一致している. しかし、M16、および、M20のPFCFRPブレースでは PFCFRP材の材長が長くなるにつれて実験値と計算値の 差は大きくなっていることがわかる.2章(4)の耐力評価 では、CFRP材を繊維化することで材料の耐力が低下し ていることを示したが、CFRP材を繊維化することで炭 素繊維それぞれに伝わる張力が不均一になるため、ヤン グ係数も低下することが考えられる.そこで、CFRP材 を繊維化することでCFRP材のヤング係数から20%低下 すると仮定して剛性の計算を行った.その結果を表-4に 合わせて示している. M16,および,M20のPFCFRPブレースの水平剛性については、CFRP材のヤング係数を20%低下させた場合,計算値と実験値の差は少なくなっている.しかし,M12のPFCFRPブレースではCFRP材のヤング係数20%低下させた場合,計算値が実験値を過大評価する結果となった.CFRP材を繊維化することでヤング係数が低下する可能性については、今後の課題であり、材料試験を実施し明らかにする必要があると考える. 今後、材料特性を明らかにすることでPFCFRPブレースの水平剛性についても、(2)式のように鋼製TBブレースとPFCFRP材部分の軸剛性を直列系で接続することで評価することが可能であると考えられる.

c)水平荷重-ひずみ関係

図-10にM20-S,および,M20-PF-L800のブレースAにおける水平荷重-ひずみ関係を示す.M20-Sでは、実験時にG10の位置のひずみゲージが破断したため、G10でのひずみは計測できていない.

M20-Sでは水平荷重が引張変形方向から圧縮変形方向 に変わる付近で端部では主材側(G12)のひずみが減少 し羽子板側(G11,G13)のひずみが増加している.ま た,中央部では主材側(G14)のひずみが増加し羽子板 側(G15)のひずみが減少していることがわかる.これ は,座屈によって曲げ変形が生じているためである.一 方,M20-PF-L800では,水平荷重が引張変形方向から圧 縮変形方向に変わる際にひずみの増減がほとんど生じて いないことから,座屈による曲げ変形が生じていないこ とがわかる.

d) 面外変形量

図-11に一例として, M20-SとM20-PF-L800の最大変形 (水平変位+120mm)時の様子をそれぞれ示している. また,図-11 (b)の図中にはM20-PF-L800のPFCFRP材の 拡大図も合わせて示している. M20-Sでは,正面からで もブレースBが座屈し面外に変形している様子がわかる.







(a) M20-S

(b) M20-PF-L800

図-11 試験の様子(+120mm 変形時)





対して, M20-PF-L800では図-11 (b) の図中の拡大図か らも明確なように, PFCFRP材が変形を吸収する(たわ む)ことで面外変形がほとんど生じていないことを確認 している.

図-12にM20-SとM20-PF-L800の最大変形時の3次元デー タ,および、その時点の面外変形量を示す.3次元デー タは試験の最大変形時に様々な方向から20枚程度写真を 撮影し、SfMソフトウェア VisualSFM^{10,11}を用いて3次元 点群にしたものである.なお、面外変形量については、 3次元データにおいて、ブレース接合部間の座標距離と 面外変形の座標距離の比からおおよその値を算出した. M-20-Sの最大変形(+120mm)時の面外変形量は約 483mmであったが、M-20-PF-L800の面外変形量は約 63mmであることからもPFCFRPブレースが想定通り圧縮 軸力作用時に変形を吸収し、面外変形が生じていない.

4. まとめ

本研究では、鋼製TBブレースの座屈による被害低減 を目的として、提案した一部繊維化したCFRP材を用い た非抗圧性ブレースを鋼構造フレームに組み込み繰返し 水平加力試験を実施した.その結果、以下の知見を得た. (1)パイプ式TB胴を応用することでPFCFRP材を既存鋼製 TBブレースに容易に接合できる.

- (2) PFCFRPブレースの履歴挙動は鋼製TBブレースと同様 にスリップ型の履歴挙動である.
- (3) PFCFRPブレースの水平剛性は、PFCFRP材部分と鋼製 TBブレース部分の軸剛性を直列系で接続して算出す ることにより、鋼製TBブレースと同様の方法で評価 が可能である.
- (4) PFCFRPブレースは圧縮軸変形時に繊維化したCFRP材 が変形を吸収することで圧縮軸力が作用しない、およ び、鋼製TBブレースに比べて面外変形量を著しく低 減できる.

謝辞:本研究の一部は、令和二年 国土交通省 建設技 術開発助成制度として行われた.本研究の実施には、元 豊橋技術科学大学大学院 建築・都市システム学専攻 松井健良修士、豊橋技術科学大学工学部 建築・都市シ ステム学課程 Tsogbayar Tsendjav氏、山本梨乃氏の協力 を得た.ここに記して謝意を示す.

参考文献

- 玉井宏章,高松隆夫,松尾彰:ノンコンプレッションブレースの耐震性能向上について,日本建築学会構造系論文集第70巻第595号,pp.131-138,2005
- 2)山口界堂,高橋治,立岡善典:高機能繊維の建築構造部材 への実用化に関する研究―金物接合と手結びによる接合の 開発―,日本建築学会関東支部研究報告集 第88巻,pp.509-512,2018
- 3) JIS A 5541
- 4) 松本幸大,三枝玄希,田口孝,小宮巌,Yoresta Fengky, Phan Viet Nhut,松井健良,米谷翼:一部繊維化した FRP 材のブレ ースへの応用に関する基礎検討,2019 年度日本建築学大会 (北陸学術講演概要集, PP.1515-1516,2019.9)

- 5) 芳谷晴香,松井健良, P. V. Nhut, F. S. Yoresta,松本幸大,小 宮巌,田口孝:一部繊維化した CFRP の建設構造への応用, 64th FRP CON-EX 2019 講演会講演要旨集, pp.182-184, 2019.10
- 6) 松井健良,松本幸大,田口孝,小宮巌:一部繊維化した FRP 材のブレースへの応用に関する基礎検討 その2 外径 12mmの FRP 材の材料とその定着耐力,日本建築学会大会学 術講演梗概集(関東), Vol.B3, pp.1351-1352,2020.9
- 7) 松本幸大,松井健良,田口孝,小宮巌:一部繊維化したFRP 材の強度評価とその定着・接合法に関する基礎検討,第8回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム講演概要集(CD-ROM), pp.128-134, 2020.11
- 8) https://zoltek.com/products/px35/
- 9) JIS A5540
- Changchang Wu, "VisualSFM: A Visual Structure from Motion System", http://ccwu.me/vsfm/, 2011
- 11) Changchang Wu, Sameer Agarwal, Brian Curless, and Steven M. Seitz, "Multicore Bundle Adjustment", CVPR 2011

(Received September 10, 2021)

STRUCTURAL BEHAVIOR OF COMPRESSION-FREE BRACES USING PARTIALLY FIBERED CFRP

Mizuki HAMASAKI, Yukihiro MATSUMOTO, Takashi TAGUCHI, Keisuke SHIMIZU, Iwao KOMIYA and Koji NAKAJIMA

Turnbuckle braces have been widely used for the seismic resistant member of steel structures. Although the compressive resistance of turnbuckle brace is not considered in the structural design, it buckle easily by the compressive force and the buckling deformation leads to the damage of finishing material, local plastic strain concentration and the plastic fatigue failure.

Based on these background, the authors have been developing a bracing mechanism that does not resist compressive forces using CFRP, because of its high strength and light-weight characteristics. In order to achieve the purpose, we developed the partially fibered CFRP rods to prevent the compressive axial deformation. The partially fibred CFRP rods were molded by pultrusion because of its excellent cost-effectiveness, superior mechanical performance and stability. Furthermore, we adopt the pipe turnbuckle body to connect the steel structure and CFRP rods like a sleeve joints to provide easy and useful assembly. In this paper, the structural behavior of the proposed compression-free braces are investigated through full-scale horizontal loading tests.

As the results, It is confirmed that the pipe turnbuckle body can be used to easily join the PFCFRP material to the steel TB braces in the full-scale steel structural frame. And it is shown that The proposed compression-free braces do not bear compressive axial forces and therefore significantly reduce the out of plane deformation.