

高強度繊維複合材の耐震補強ブレースへの活用

持田 泰秀¹

¹正会員 立命館大学教授 理工学部建築都市デザイン学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1丁目1-1)
E-mail:mochida@fc.ritsumei.ac.jp

現在の日本では、建築物において建築基準法に適合する事が、社会的な要求事項として必要な位置付けとなっている。高強度繊維複合材を、新築建物での構造材料で活用するには、JIS規格、JASS規格並びに建築基準法における指定材料化や、地震応答解析新等を用いた個別の大臣認定等による計算法の取組みが必要となる。一方、耐震補強ブレース材としての高強度繊維複合材の活用では、既存不適格建物への目標耐震性能への確保活用、文化財建物等への耐震性能の向上活用などが進められている。後者の活用が進められている理由に、防火性能や耐火構造に関する要求に差のあることがあげられる。

本論では、活用事例を通じて、高強度繊維複合材の部材材料の活用・開発、接合部の開発、活用度など、各々の特徴を示し、今後の活用・開発の参考となり、更なる発展に活用されることを期待する。

Key Words : FRP, Brace, Earthquake-Resistant Repair, Productivity, economical

1. はじめに

本論は、現在の日本における高強度繊維複合材を用いた耐震補強ブレースの代表的な3つの取組み事例を中心に述べる。これらの特徴には、設計にあたって材料技術者と設計技術者の協働作業により、新材料に対して的確な設計が実行されている点が上げられる。設計技術者は、設計対象の構造物の要求性能およびFRP材料の機械的性質を熟知し、FRP材料を用いることの利点・欠点を理解した上で設計を実施している。材料技術者は、設計対象の構造物の要求性能・環境条件を熟知し、適切な成形法・材料選定・添加剤選定・表面仕上げに関する役割を担って設計に参加している。今後、マーケティングを狙った斬新な開発進化を、材料と設計技術者が柔軟に取組み、信頼性の高い的確な実用に努めることが重要と考えられる。

2. 事例紹介① : ACMブレース・耐震ブレースX

(1) ACMブレース・耐震ブレースXの開発概要

ACMブレースと耐震ブレースXは、2007年のRC造耐震補強から始まり、これまでRC造4棟、S造1棟、W造4棟の耐震補強の活用実績がある。耐震性向上のために、各構造種別の特性に合わせて、炭素繊維やアラミド繊維を用いた高強度軽量素材を骨組ブレースによる耐震補強工法及び炭素繊維シートを用いた構造物の補強工法等の開発、研究及び普及を行ってきた。

開発者は、京都大学名誉教授故小野紘一氏をはじめ、

舞鶴工業高等専門学校建設システム工学科教授高谷富也氏、(株)川嶋建設、三菱樹脂(株)、コニシ(株)等を中心としたACMブレース研究会の活動である。

(2) ACMブレース概要

このACMブレース工法による建築物の耐震化は、従来工法に比べて、廉価、短期施工、軽量であり、施工中の騒音、振動が少ないという長所がある。更に、それらにより施工性と安全性、素材の長期安定性などに優れ、また、施工後の建物景観に及ぼす影響も少ないという利点もあり、広く社会へ普及し地震などの自然災害の被害軽減に資することを目指すものである。

ACMブレース工法とは、Advanced Composite Materialの略称であり、特徴は、施工性向上や環境負荷低減の点では、基本的に外表面だけで施工する為、建築機能を止めることない耐震補強を可能とした。建物との接合部だけの部分的な作業により、廃棄物がより低減され、騒音・振動もほとんどなく、使用する敷材はコンパクトで重機等を使用する必要がない。部材は軽量で施工性・安全性・長期安定性に優れる。後期短縮や経済性では、作業工程はシンプルで短期間施工が可能で極めてローコスト経済性を実現する。建物景観の点では、補強部材は細く外観は建物デザインを大きく変えることなく、また内部からの景観の遮りが無い。耐震診断や耐震補強設計での耐震性能の点では、耐震診断し耐震指数(Is値)が不足する場合は本ブレース工法により、Is値を満足する設計とする。性能は、スリーブ定着部目標耐力500kN、力学試

験結果661kN, 材料構成, CFRPロットD10×3本使用, 引張強度16,500kg5/本(三菱樹脂製リードライン10mm中インデンテッドタイプ), スリーブ充填材E2308 K-3エポキシ樹脂(ユニシ(株)製), 鋼管スリーブ70削孔径30mmL=600.

施工順序は, ①アンカー部コア抜: 躯体鉄筋を探索し、アンカー取付用コアを抜く。②炭素繊維シート補強: 定着部のコンクリート破壊を防ぐため、炭素繊維シートを貼り補強する。③アンカー部固定: アンカー金物をボルトで固定し、抜いたコアとの隙間に樹脂を注入する。④タイロッドの作成: スリーブ金物にCFRPロッドを差し込み、樹脂を注入固定する。⑤取付: アンカーにタイロッドを取付け、ナットで緊結する。⑥完成: 固定部にカバーを取付け、足場を撤去し完成。



写-1 接合部充填



写-2 接合部



写-3 接合部



写-4 接合部炭素繊維シート取付



写-5 ブレース取付



写-6 ブレース取付外観



写-7 ブレース材運搬



写-8 接合部取付



写-9 RC造適用外観



写-10 S造適用外観

(3) ACMブレース補強工法の定着部耐力試験概要

表-1 使用材料一覧

材料	仕様	備考
定着アンカー	SS400	—
鋼板	SS400	—
定着アンカー充填材	No.1,2: エポキシ樹脂 (E200) No.3,4: エポキシ樹脂 (E2300JW)	ユニシ製
炭素繊維シート	MRK-M2-30 (高強度 300g 目付け)	三菱化学産資製
CFRP 積層板	MRK-M2-30(高強度 300g 目付)×5層積層	—
あと施工アンカー	M6 ホールインアンカー M20 樹脂アンカー	—

表-2 試験体種類と実験結果

供試体番号	仕様	最大荷重 (kN)	破壊性状
No.1	通常アンカー +炭素繊維シート補強	600kN	供試体の割裂破壊
No.2	先細りアンカー	460kN	供試体の割裂破壊
No.3	先細りアンカー (φ90 - 70) +CFRP 積層板補強	460kN	定着アンカーと樹脂との付着破壊
No.4	先細りアンカー (φ70 - 50) +CFRP 積層板補強	224kN	定着アンカーと樹脂との付着破壊

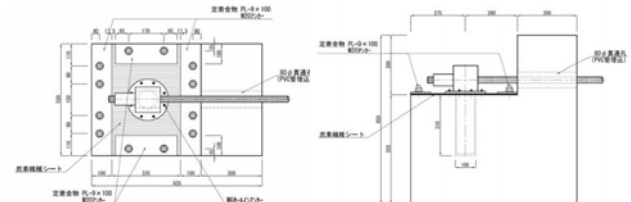


図-1 No.1供試体の詳細

表1, 表2に示す4種類の定着部の比較実験を実施した。図-1 にNo.1 供試体図を示す。No.1 は通常の配筋の供試体に炭素繊維シート補強を行った。No.2 は配筋間隔が狭く定着アンカーが先細りしているタイプ (φ90 - 70) とし、炭素繊維シート補強は行っていない。No.3 は配筋間隔が狭く定着アンカーが先細りしているタイプ (φ90 - 70), No.4は通常の配筋に定着アンカーが先細りしているタイプ (φ70 - 50) とし、共にCFRP 積層板による補強を行った。

図-2 に荷重-アンカー部変位量関係を示す。水平変位量は、炭素繊維シートを貼付けた後、M20 アンカーと鋼板により機械式定着を施した No.1 供試体が最も小さくなり、無補強の No.2 供試体に比べ耐力の増加が確認された。No.3 供試体は 460kN 付近で CFRP 積層板が剥離したため、炭素繊維による補強効果が十分に発揮されず、No.2 供試体と同程度の耐力を示す結果となったものと思われる。垂直変位量は、水平変位と同様に、耐力の低下がみられるまでは変位量が抑えられていたものの、降伏後、変位の顕著な増加が確認された。垂直変位量は、水平変位と同様に、耐力の低下がみられるまでは変位量が抑えられていたものの、降伏後、変位の顕著な増加が確認された。No.1 供試体は目標耐力である 500kN の耐力が確認され、最大耐力は 600kN となった。No.2 供試体は目標耐力には至らず、460kN で終局状態となった。No.3

供試体は CFRP 積層板の剥離が確認され、目標耐力には至らず 460kN で終局状態となった。No.4 供試体は目標耐力には至らず、224kN で終局状態となった。

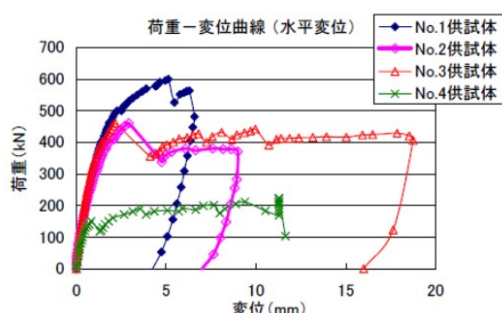


図-2 荷重-アンカー部変位量関係

(4) 耐震ブレース概要

耐震ブレースXは、高強度炭素繊維を使用し、視界障害も少なく外付けすることが出来るので、極力壁を撤去することなく耐震補強が行える。耐震ブレースXの構成は、アンカー金物に木造用ACMブレース金物・屋外用)と、高強度軽量カーボン板(炭素繊維やアラミド繊維を用いた強化プラスチック板)から成る。屋外設置の場合は、隣接植栽を撤去する様な大掛りな工事はない。経済的で短時間で施工することが可能で、リフォーム工事のために引っ越しする必要もなく、壁も一部分のみ穴を開けるだけです。施工費用が安価。経年劣化が少なく半永久的な高強度軽量カーボン板を用い、メンテナンスもほぼ必要としない。耐震補強施工後、実際に建物を揺らす振動実験を行い新耐震基準を満足する検証も行った。層間変形角が1/120(水平変位量25mm)となる場合の水平耐力及び水平耐力1.96kNに対する壁倍率は、以下の結果となった。水平耐力6.704kN、壁倍率3.43 25mm幅(E390樹脂接合、スクリュー釘 YA-S45釘全本)160mm新金具内設置、水平耐力5,109kN、壁倍率2.61 25mm幅(E390樹脂接合)160mm新金具内設置、外壁用ACMブレース



写-11 内部補強ブレース



写-12 外部補強ブレース



写-13外部ブレース接合部1



写-14外部ブレース接合部2

(5) 新素材用いた木造架構の水平耐力の確認実験概要

層間変形角が1/120に対する木造架構ごとの水平耐力と壁倍率を実験にて算出する。炭素繊維シートを固化させたe-プレート(幅 50mm,厚さ 1.2mm)を筋交いとして用いた。普通の鋸による切断作業やキリによる穿孔作業が容易な材料である。非常に大きな水平耐力や壁倍率を有しながら、靱性に乏しく 1/100の層間変形角を与えた場合に写真4. 2に見られるような破断(e-プレートが接合金物から抜ける)現象により最終段階に至っている。

なお、参考として接合金物のみの耐力実験を行った結果、最大水平耐力として 4.88kN(壁耐力比 2.76)を示し、壁倍率としては 0.80(水平耐力 1.555kN)の値を示した。今後の課題は、接合金物が有する靱性とe-プレートが有する強度を融合させるような連結方法が必要。例えば、緩衝用高減衰ゴムを使用した接合。また、両端部に炭素繊維シート部を有するe-プレートの開発や接合金物部分でのエポキシ樹脂接着など。耐震ブレースXは、TVメディアのビフォーアフターにて、屋根ブレースによる補強事例を発表した。

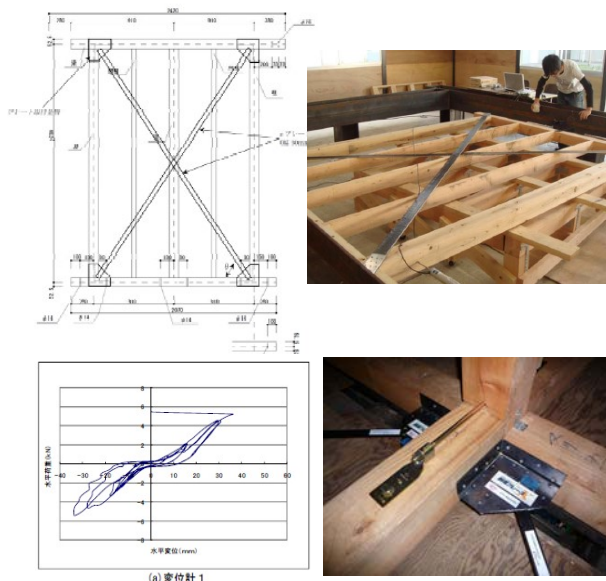


図-3 木造架構の実験概要

3、事例紹介②：カボコーマ・ストランドロッド

小松精練(株)と隈研吾建築都市設計事務所(構造設計：江尻建築構造設計事務所)により、2015年RC造耐震補強等でfa-bo(ファーボ)で実施し、文化財(善光寺、富岡倉庫等)などの木造の耐震改修で実施が進められている。特徴は、熱可塑性樹脂を用いている点で、ストランドロッドの価格は1m当り3000円程度 2018年中をめどに、耐震補強材としてJIS 旧本工業規格)化される見込み。本論では、小松精練旧本社のfa-bo(ファーボ)を紹介する。

(1) fa-bo(ファーボ)耐震補強概要

カボコーマ・ストランドロッドは、日本の伝統産業

である組紐の技術と現代の炭素繊維技術を融合した、強さとしなやかさを有するロープ状の部材である。図1に示すように、部材構造は中心から、炭素繊維・エポキシ樹脂・高強度繊維の3層構造で形成する。接着剤の機能を持つエポキシ樹脂に芯となる炭素繊維を浸し円柱状に乾燥。最後に外側の高強度繊維(ガラス繊維)を組紐状の形状に仕上げる。炭素繊維には東レのトレカ®T700SCを用いた。母材樹脂には可変性、酸やアルカリに対する耐久性の観点から熱可塑性エポキシ樹脂を用いる。

対象建築は、鉄筋コンクリート造3階建ての事務所ビル、既存建物の竣工は1968年である。写15、写16に全景写真、内部耐震補強姿写真を示す。工期は、2015年2月12日～11月10日である。

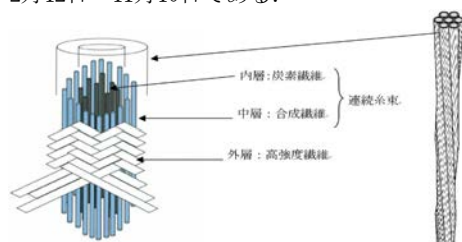
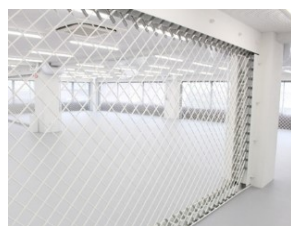


図-4 複合材の部材構成



写-15 全景



写-16 内部



図-5 1階平面図

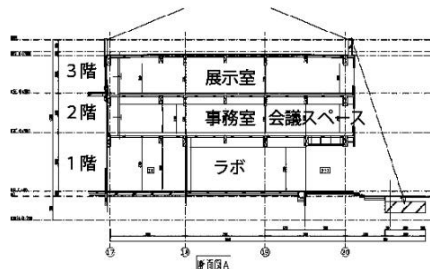


図-6 断面図

本建築物は、x方向の1、2階およびy方向全階で耐震性に疑問ありと判断された。そのため、x方向の1、2階

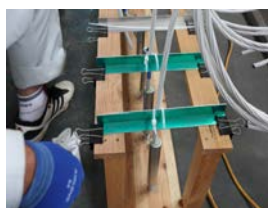
およびy方向全階において、耐震補強が必要である。CFRTPは非常に強度が高い素材であるので、本来なら建物を全面的に補強できる性能があり、当初は、CFRTPでの補強案の検討もなされたが、認可の関係から、基本的な耐震補強はRCの耐震壁や耐震スリットの新設といった従来の工法に任せ、CFRTPは耐震性能の向上に付加的に機能させた。

(2) CFRTP取付け工事概要

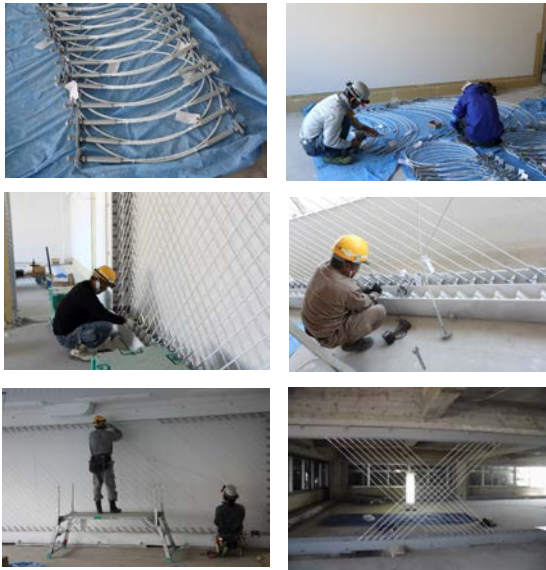
屋外では、建物の上辺と地面をロッドで連結し、緊張力によって揺れを抑制する役割としてCFRTPが使用されている。屋内では、CFRTPを網目上に配置し耐震壁として使用されている。今回使用したCFRTPの強度は、単位長さあたりの質量1.58kg/mの鋼材(16φ)と同等であり、単位長さあたりの質量0.089kg/m であることから鋼材の質量の約1/20の軽量な材料である。CFRTPと鋼材(16φ)の施工生産性の違いから取付日数の変化が予想される工事である。内装工事では、4t車で、CFRTPを搬入後、手作業で各部屋に揚重し、アンカーフレームにCFRTPを網目上に取付た。外部工事では、4t車で、CFRTPを搬入後、揚重機械を用いて屋上に揚重し、ロッドの方側を屋上に取付る。ロッドをロープを使用し地上に下ろした後、もう片側を地面に接地したアンカーフレームに取付ける。



写-17 外部ブレース施工



写-18 接合部製作



写 - 19 内部ブレース施工

鋼材で代替した場合のロッド取付けに関する工程表と、CFRTP取付けに関する工程表を比較したものを表3に示す。内部、外部でのCFRTP取付けに掛かる期間は、鋼材の取付けに掛かる期間と比べて半分程度となった。

表-3 CFRTP-鋼材取付け工程表比較

		工 程 表											
		開始日 完了予定日	責任者 作成者	作成日	更新日								
		2015 年 8月	2015 年 9月	2015 年 10月	2015 年 11月	2015 年 12月	2016 年 1月						
		10日 20日 31日	10日 20日 31日	10日 20日 31日	10日 20日 31日	10日 20日 31日	10日 20日 31日						
内装	内部 鋼材												
外装	北側掘削、アンカーフレーム取付												
	東側掘削、アンカーフレーム取付												
	西側掘削、アンカーフレーム取付												
	東側鋼材取付												
	西側鋼材取付												

4、事例紹介③：高強度アラミド繊維を使った ひもブレース

2018年3月に完成した、木造耐震補強に高強度アラミド繊維を使ったひもブレースを用いた取組みを紹介する。室内のむき出しになった柱の間に、高強度アラミド繊維のひもがクロスさせたブレースは、mm（東京都品川区）が設計し、設計協力者にDN・Archi（構造）、ひもブレースに東京理科大学高橋治研究室が参画した。「耐震改修はコストや工期が厳しいケースが多い。もっと手軽にできる方法はないかと考え、DIY感覚で取り組めるひもに着目した耐震補強の裾野を広げる方向へと、つながていきたい」とmm主宰の常山氏は述べる。ひもブレースを施して透視性の高い空間を生み出す「補強の可視化」を実現した。補強した壁は構造用合板を仕上げとして現し、既存壁との違いがひと目で分かるようにした。ひもブレースの周りも、接合部金物を含めた仕組みをそのまま見せた。補強箇所を露出させることで、建物を支える構造の仕組みを使用者に伝えられるようにした。

将来のメンテナンスのしやすさも考慮したひもブレースは、2スパンに配した2本1組の片ブレースをたすき掛けにし、柱脚と柱頭に固定した金物（八潮建材工業）に結び付ける。ステンレス製のボックス金物をボルトをねじ込み張力を調整つなぐ。ひもを設置する際には、ひもの片側を軸に、対角に配した金物のボルト先端の輪に反対側を、それぞれ結び付ける。その後、ブレース長さの1%に当たる30mm弱をねじで締め付ける。

1本当たり壁倍率1相当の強度を想定し、ひもの張り具合を手で確認しながらボルトをねじ込んだ使用中に緩んだら、改めてネジを締めればよい。DIYでもできる分かりやすい仕組みと、シンプルなデザインを意識させる。ひもの結び方は引張実験を行って4種類の結び方を比較検討し、強度や結びやすさなどを勘案してもやい結びを選んだ。改修前の保有耐力/必要保有耐力が、1階0.65、2階0.78から1階1.02、2階1.32に引き上げた。



写 - 20 接合部詳細

参考文献

- 1) ACMブレース工法, ACMブレース研究会リーフレット, 2008. 05
- 2) CFRP ロッド（リードライン）を用いたブレース補強工法における 定着部 耐力確認試験報告書, ACMブレース工法協会, 2008. 01
- 3) 耐震ブレースX, ACMブレース研究会リーフレット, 2008. 05
- 4) 新素材（ACM）を用いた木造架構の水平耐力の確認実験について（ACMブレースを用いた木造住宅の耐震補強工法の開発）, 高谷, 2010. 04
- 5) すぐ使える新世代素材, 日経アーキテクチャ, P. 52～57, 2008. 05

5、最後に

今回紹介した高強度繊維複合材の耐震補強ブレースへの活用を通して、建設商品の開発において多くの取組み方法のある事に気付かされた。私自身も、ストランドロッドの耐震補強材としての開発に携わってきた中で、事例①の様に、評定などの第三者評価を得ることで、マーケットが広がると考えて開発を進める方法や、事例②の様に、デザイン性を高めることで実績をつくり、その上で規格化を進める方法が頭に浮かぶ。それらの手法は、

最終的にマーケットの拡大による経済性の向上をもたらすことを期待している。一方、事例③にある様に、ファッションビリティ・エコノミー・ワーカビリティなどに優れた高強度繊維複合材の良さを柔軟に発揮させることも重要と考える。今後、これまでにないテンポラリーにスピーディに建物に付ける事の出来るアクセサリ様の様に、あいまいではあるが耐震性能を付加させ、美と機能を提供させる、例えばDIYの様に、施主のオリジナルの商品を創出することも期待したい。

UTILIZATION AS BRACE FOR EARTHQUAKE-RESISTANT REPAIR METHOD USING HIGH STRENGTH FIBER REINFORCED PLASTICS

Yasuhide MOCHIDA

Currently in Japan, complying with Building Standards Law in buildings is a necessary position as a social requirement. In order to utilize this high strength fiber reinforced plastics as a structural material in a newly built building, it is necessary to designate it as specified materials in JIS, JASS and Building Standards Law. In conformity with the calculation method, measures such as approval by the minister etc. are required.

Meanwhile, the utilization of high strength fiber reinforced plastics as earthquake-resistant reinforced brace material has been promoted, such as securing and utilizing the existing seismic performance for ineligible buildings, improving seismic performance for cultural property buildings, etc. The reason why utilization of the latter is promoted is that there are differences in requirements regarding fire protection performance and fire resistant structure. In this paper, we demonstrate the characteristics of utilization and development of material materials of high strength fiber reinforced plastics, development of joint part, degree of utilization etc. by utilization examples. We hope that it will be a reference for future utilization and development and will be utilized for further development.