

48. 炭素繊維による柱耐震補強用自動巻き付け機械の開発

（株）大林組：*村橋 久弘、勝俣 英雄
伊藤 正己

1. はじめに

阪神・淡路大震災以降、既存不適格建築物の耐震性の向上は、都市防災上重要な課題のひとつとなっている。1995年12月には「建築物の耐震改修促進法に関する法律」が施行され、旧耐震基準で設計された建物の耐震診断、耐震改修が順次進められている。また、既存不適格建築物の耐震補強については、文教施設、公共施設および民間建物の耐震診断がほぼ完了し、建物のリニューアル工事で併せて今後ますます増加することが予想される。

最近、炭素繊維による既存鉄筋コンクリート造建築物の柱耐震補強工法が注目され、信頼性、施工性および経済性に優れていることから、その施工実績も増えている。

炭素繊維による柱耐震補強に用いられる材料には、炭素繊維ストランドと炭素繊維シートがあり、炭素繊維ストランドは、独自に開発した自動巻き付け機械で巻き付け、炭素繊維シートは専門工事業者の技能工のハンドレアップによる。炭素繊維ストランドを自動巻き付け機械により施工する工法は、確実な品質管理、生産性の向上、工期短縮およびコスト低減などハンドレアップより多くの利点がある。

本報告は、炭素繊維ストランドを用いた柱耐震補強用自動巻き付け機械による工法の概要、装置の仕様および施工事例などについてご紹介するものである。

2. 工法の概要

(1) 炭素繊維の特長

炭素繊維は、もともと宇宙航空分野で使用されている高級な材料である。炭素繊維は、炭素を主な構成材料とした繊維状の結晶体で、素線の直径は約7～12ミクロンという髪の毛の約10分の1の細さのものである。炭素繊維ストランドは、素線を12,000本束ねたもので、炭素繊維シートは、素線を一方方向にシート状に敷き並べたものである。

炭素繊維の主な特長を表-1に示す。

表-1 炭素繊維の特長

引張強度	： 約 30tf/cm ²	鉄の約10倍
弾性率	： 約 2,400tf/cm ²	鉄とほぼ同等
伸び	： 約 1.2%	降伏棚をもたない
比重	： 約 1.8	鉄の約4分の1
耐久性	： 錆びない	黒鉛と同じ結晶構造を持つ

また、炭素繊維は鉄筋と異なり降伏棚がなく、最大応力時までほぼ直線で近似する完全弾性体である。従って、強度は十分大きいものの弾塑性変形によるエネルギー吸収能は期待できない。

炭素繊維の応力度-ひずみ関係を図-1に示す。

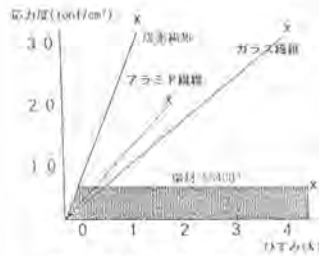


図-1 応力度-ひずみ関係

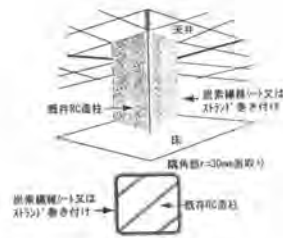


図-2 工法の概念

(2) 工法の概念

炭素繊維による柱耐震補強工法(CRS 工法:Carbon Fiber Retrofitting System と称す)とは、まず、既存柱の仕上げ材を除去し、表面をコンクリート打ちなどで平滑に整え、隅角部を樹脂モルタルで半径 $R=30\text{mm}$ 以上面取りした後、炭素繊維にポキシ樹脂を含浸させながら7-プ 状に巻き付けて、柱の強度、靱性を向上させる工法である。

炭素繊維は、それだけでは十分な強度が得られず、ポキシ樹脂を含浸させて CFRP(炭素繊維強化プラスチック:Carbon Fiber Reinforced Plastics)としてはじめて高強度、高弾性率を発揮する。

本工法の概念を図-2 に示す。また、材料と工法を図-3 に示す。



図-3 材料と工法

3. 開発の経緯

炭素繊維の土木、建築分野での用途開発は、1980年代から始まり当初は鉄筋やPC鋼棒の代替品として開発が進められ既に実用化されている。1985年から、既存鉄筋コンクリート構造物に従来の7-プ(鉄筋)に替わり、炭素繊維を巻き付けて耐震性の向上を図る研究開発が開始された。開発に際し、生産性の向上、省力化を目指して自動化による巻き付け機械の開発に取り組んだ。その際、軽量化、組み立て・解体が簡単、高さの制約を受けない、任意のピッチで巻けることそして炭素繊維にポキシ樹脂を適切に含浸させる方法等が開発の大きな鍵であった。そして、1991年既存鉄筋コンクリート造煙突、柱および土木橋脚の耐震補強工法として技術が確立され、まず既存RC造煙突の商業化が図られた。既存RC造柱と土木橋脚については、なかなか実用化の機会がなかったが、一昨年の阪神・淡路大震災以降、急激に需要が増えてきた。

炭素繊維は、建築基準法で規定する「特殊な材料」に該当することから構造材料として使用する場合は、公的な特認が必要である。そのため、平成3年9月(財)日本建築防災協会の「技術評価」を、平成8年12月(財)日本建築センターの「一般評定」と平成9年6月「建築基準法第38条に基づく大臣認定」を取得した。

自動巻き付け機械の開発の変遷を表-2 に示す。

表-2 自動巻き付け機械の開発の変遷

機械の名称	メーカー	最大巻付け寸法	重量	巻付けピッチ
1号機	(株)北井製作所	900mm 角柱	1,150kgf	2.50mm
2・3号機	(株)北井製作所	900mm 角柱	1,150kgf	2.50mm
4・5号機	三菱重工業(株)	1,000mm 角柱	614kgf	任意

4. 装置の概要

自動巻き付け機械の装置は、主に次の5つの機構から構成されている。

表-3 装置の主な機構

装置の名称	装置の機能
昇降リング	昇降リングは、天井または円形ポットから吊るされた昇降用ローチェンで支持され昇降用モータ3台で上昇または下降する。
回転リング	回転リングは、昇降リングの上段に設置され回転用モータ1台により柱の回りを回転する。炭素繊維ストランドを巻いたボビンのスタンド、レジンス(エポキシ樹脂含浸エット)および繰り出し装置を搭載する。
昇降用ローチェンおよび円形ポット	昇降リングのスポットに接続し、昇降リングを支持する。また、このローチェンを伝わって昇降リングが昇降する。
レジンス	レジンス(エポキシ樹脂系接着剤)を含浸させるエット
繰り出し装置	炭素繊維ストランドを先端から繰り出す装置で、柱に所定のピッチでスパイラル状に巻き付ける。

昇降リングの昇降運動と回転リングの回転運動の制御は、インバータ制御方式でそれぞれ独立に行えるので炭素繊維ストランドの巻き付けピッチは自由に設定できる。

自動巻き付け機械を写真-1 に示す。また、装置の部分詳細を写真-2 に示す。



写真-1 自動巻き付け機械

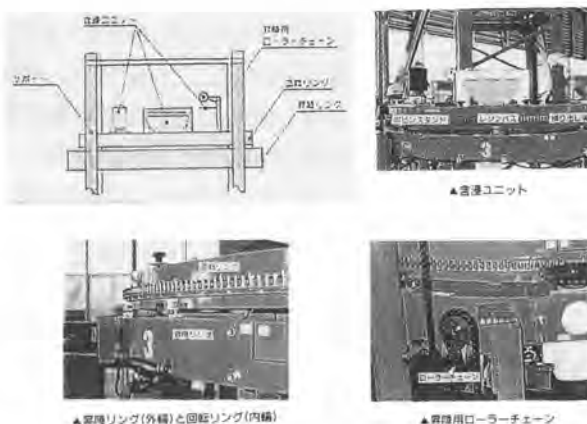


写真-2 装置の部分詳細

自動巻き付け装置の仕様を表-4 に、自動巻き付け機械の概略図を図-4 に示す。

表-4 装置の仕様

名 称		仕 様
装置の寸法	外 径	約 2,200mm
	高 さ	約 900mm
重 量	総重量	約 615kgf
	可動部	400kgf
	固定部 (吊りリング等)	71kgf
	その他 (制御盤,台車)	166kgf
6分割時最大部品重量		75kgf
速 度	昇降速度	25～300mm/min
	回転速度	1.4～15 rpm
電 源		単相 100V 50Hz/60Hz
モーター (インバータ制御)	昇降用	60W 3台
	回転用	400W 1台
CF 張力制御		0～5 kgf

自動巻き付け機械の特長は、次のとおりである。

表-5 自動巻き付け機械の特長

軽量、コンパクト	………	人力で解体、運搬、組立が可能
インバータ制御方式	………	昇降速度と回転速度を任意に制御可能
昇降用ローチェン	………	巻き付け高さ無制限
省エネルギー	………	家庭用電源で使用可能

5. 品質管理

本工法は、炭素繊維やポキシ樹脂といった土木・建築分野と馴染みの薄い新材料を取り扱うので、正しい品質管理が最も重要である。そこで、施工に際しては、次のような品質管理基準に沿って工事を行っている。

- (1) 施工に先立って、炭素繊維ストランドの巻き付けピッチなどを記述した「炭素繊維割付け図」を作成する。
- (2) 使用材料の炭素繊維ストランド、プライマーおよびポキシ樹脂については、事前にメーカーから材料試験成績表を提出してもらい監理者の承認を得る。
- (3) 一方、現場でCFRPストランドの試験片を作成し、引張強さ、弾性率の試験を行い、管理値を満たすことを確認する。
- (4) 施工時は、技能研修、教育を受けた作業員が施工管理チェックリストに沿って適切に施工する。

6. 施工事例

炭素繊維シート[®]の自動巻き付け機械による施工事例は、次のとおりである。

表-6 自動巻き付け機械による施工事例

No	工事名称	所在地	工事年月	用途	柱本数	炭素繊維重量
1	学校法人園田学園	兵庫県尼崎市	1995.3	学校	1	1.433
2	近鉄桜井駅	奈良県桜井市	1995.5	鉄道	4	33.258
3	M'ランド'ハウス	兵庫県神戸市	1995.6	マンション	5	22.534
4	丸の内ビル	東京都千代田区	1995.11	事務所	6	23.646
5	港区ビル	東京都港区	1995.12	事務所	6	63.470
6	第2虎ノ門ビル	東京都港区	1996.2	事務所	8	20.339
7	大阪城天守閣	大阪市中央区	1996.5	博物館	27	357.459
8	国際ビル	東京都港区	1996.8	事務所	20	130.569
9	工業本本社ビル	東京都港区	1996.9	事務所	46	172.362
10	浜松市砂丘小学校	静岡県浜松市	1996.11	学校	4	14.553
11	成田山新勝寺	千葉県成田市	1996.12	宗教施設	8	95.150
12	静岡県企業局施設	静岡県庵原郡	1997.2	事務所	19	97.348
13	日生博多駅前ビル	福岡市博多区	1997.7	事務所	18	126.260
合 計					172本	1,158.381kgf

7. 今後の課題

炭素繊維による柱耐震補強を行う場合、炭素繊維シートを技能工がハンドレイアップで巻き付ける方法もあるが、信頼のおける品質管理、生産性の向上、工期短縮などを考慮すると、自動巻き付け機械による自動化工法のほうが施工上得策である。軽量かつコンパクト化により解体、運搬は簡便になったが、巻き付けられる柱の最大径が1,000mm角迄なので、今後は大型構造物にも対応出来るような軽量かつ小型の自動巻き付け機械の開発に取組みたい。

[参考文献]

- [1] 法律第123号:建築物の耐震改修促進に関する法律、平成7年12月25日施行
- [2] 小島:RC煙突耐震補強工事の機械化施工、建設の機械化、1990
- [3] 加藤・小島・小島:炭素繊維を用いたRC煙突の耐震補強工法、建設機械と施工法シボジウム、平成元年度
- [4] 小島:CRS工法、建設機械と施工法シボジウム、平成7年度
- [5] 村橋:炭素繊維による既存RC造建築物の耐震補強工法の現状、建築の研究、1996
- [6] 勝俣・外園:阪神・淡路大震災における被災RC造建物の補修例、大林組技術研究所報、1996
- [7] 勝俣・荒川・村橋:炭素繊維による耐震補強、建築技術、1996
- [8] 大阪城天守閣監修:甍った大阪城、大阪城天守閣「平成の大改修」写真集、1997
- [9] 辻・松本・村橋・菊永:炭素繊維による事務所ビルの耐震改修、建築技術、1997