

建築分野における利用の現状

平居孝之*

連続繊維によるコンクリートの補強の建築における適用は、この数年間でめざましい進展を見せている。適用の分野は主として緊張材、補強筋、補強メッシュ、既存構造物の補強の4種類であり、耐久性や施工性などで従来の鋼材にない高性能を有する補強材として、実際に使われまた試験的に施工されている。

1. 緊張材

コンクリート補強の緊張材に用いたときのリラクゼーションが小さく、導入したプレストレスの長期間の保持能力が優れており、ひびわれ耐力と曲げ耐力を向上させ薄肉化による軽量化が図れる、また緊張材そのものが軽量なため運搬や工事に必要な機械設備が少ないなど、従来のPC鋼材を適用した場合に比べて利点が多くある。

写真-1は栃木県にある2階建てRC造の東京北ゴルフ倶楽部正門であり、長さ21mの大ばりとなっている2階部分に、炭素繊維複合材料ケーブル（東京製綱、商品名CFCC）を緊張材として用い、ポストテンション方式

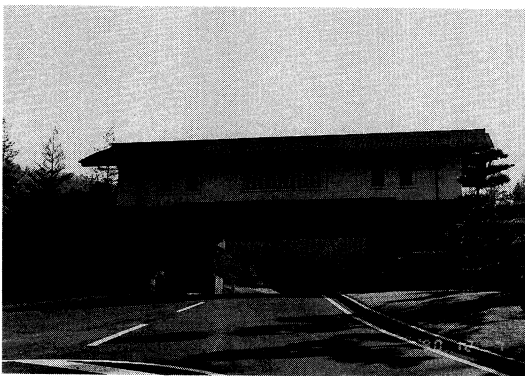


写真-1 CFCC緊張材を用いたRC構造物（熊谷組提供）

* ひらい・たかゆき／大分大学教授 工学部 共通講座（正会員）

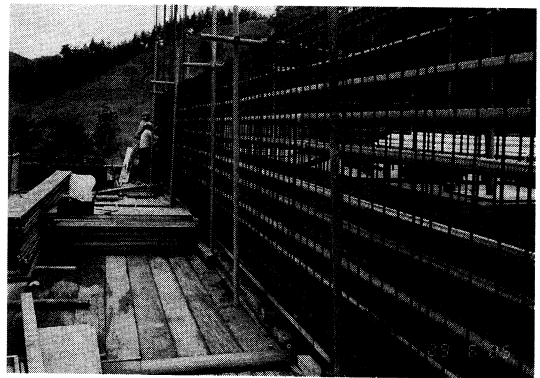


写真-2 CFCCシースの施工状況（熊谷組提供）

でプレストレスを導入して熊谷組が1989年に施工したものである。またこの建物には、炭素繊維複合材料ケーブル（CFCC）がスターラップ筋としても使われている。

写真-2は、写真-1のRC構造物の施工で、緊張材を入れるためのシースのセット状況である。

炭素繊維複合材料ケーブル（東京製綱、商品名CFCC）は、PAN系炭素繊維（東邦レーヨン、商品名ベスファイト）のストランドにエポキシ樹脂を含浸させてより合わせ、樹脂を硬化させて作られたもので、径1.5～6.0mmの単線、径5.0～40.0mmのより線、アコーディオン式連続筋などの形状をしている。

CFCCは1989年、京都府の木造の茶室で、柱間隔を大きくとるため、径120mmの丸太のはりにプレテンション方式でプレストレスを導入した際の緊張材として使われており、また1990年には、長野県の佐久GCクラブハウスで、アウトケーブル方式の緊張材として使われている。

写真-3は茨城県つくば市にある三菱化成の研修センターのエントランスゲートである。上部の長さ41mのコンクリートはりの部分にプレストレスを導入するため

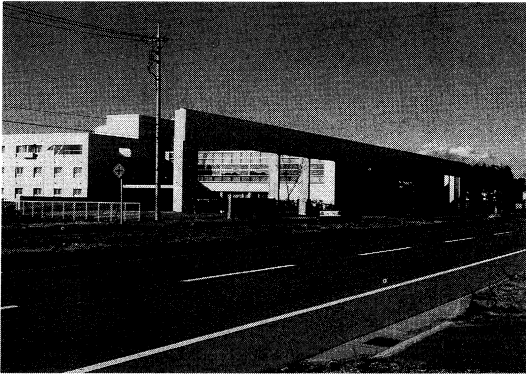


写真-3 エントランスゲート (三菱化成提供)

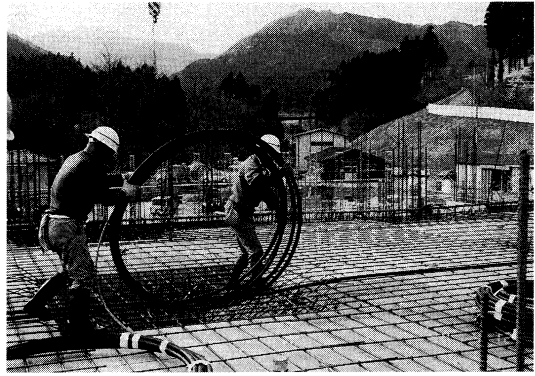


写真-5 スラブ緊張材の施工状況 (三井建設提供)

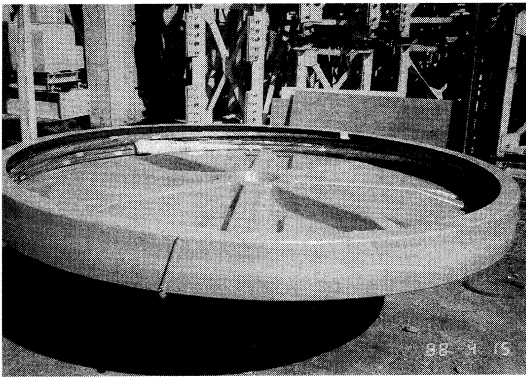


写真-4 CFRP ロッド輸送用 FRP ドラム (三菱化成提供)

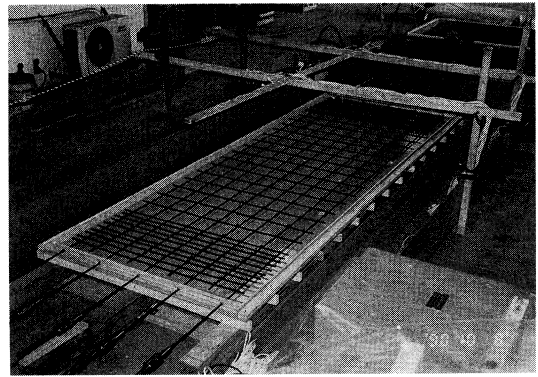


写真-6 薄肉 PS カーテンウォールの製作状況 (大林組提供)

に CFRP ロッドを緊張材として用いている。はりは幅 30 cm、高さ 3 m であり、下部の開口は地上高さ 7 m で、最大のスパンは 21.5 m である。CFRP ロッド (炭素繊維強化プラスチックロッド) は石炭ピッチ系炭素繊維 (三菱化成、商品名ダイアリード) をエポキシ樹脂で固めた径 8 mm の丸棒状ロッド (三菱化成製造) であり、全体工事を大成建設が、連続繊維補強コンクリート関係工事をピー・エス・コンクリートが 1988 年に施工した。

写真-4 は写真-3 で説明した緊張材の CFRP ロッドを輸送するために製作されたドラムであり、厚さ 20 cm、直径 240 cm の強化プラスチック製で軽量である。径 8 mm の CFRP ロッドを 1 000 m 収納できる。CFRP ロッドは軽量でフレキシブルであり、長尺のもの輸送ならびにシース管への配筋などで PC 鋼材の場合に必要なウインチなどの機械を必要としない。

アラミド、炭素、ガラスなどの連続繊維を組紐状に編み、樹脂を含浸させて一体化したものが緊張材に使われている (三井建設、商品名 FiBRA)。ハードタイプとフレキシブルなセミハードタイプがあり、また表面にコンクリートとの付着を良くするために砂を付けたものがあ

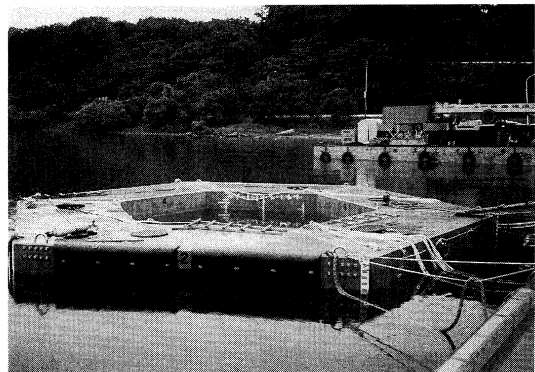


写真-7 組立て式海洋浮体構造物 (三菱化成提供)

る。写真-5 は、セミハードタイプをコンクリートフラットスラブのプレストレス緊張材として使用しているところである。

写真-6 は炭素繊維ロッドを緊張材としてプレストレスを導入した PC 板の製作状況である。厚さ 4 cm、幅 120 cm、長さ 350 cm の寸法であり、薄肉化で軽量化が図られている。曲げ性能試験により、カーテンウォールとしての性能を有することが認められている (大林組)。

写真-7は福島県猪苗代湖における運輸省第二港湾建設局の組立て式海洋浮体構造物の実用化試験体であり、底辺6m、高さ2.3mの台形のコンクリートブロック部材を6個水上で組み立てて六角形の浮体構造物(HMS)を製作したものである。六角形の対角線の位置にCFRPロッド(炭素繊維強化プラスチックロッド)の緊張材を入れて、ブロック部材を緊結している。CFRPロッドは写真-3で説明したのと同じ石炭ピッチ系炭素繊維をエポキシ樹脂で固めた径8mmの丸棒状ロッド(三菱化成製造)であり、全体工事を五洋建設が、連続繊維補強コンクリート関係工事をピー・エス・コンクリートが1988年に施工した。

アラミド繊維(帝人、商品名テクノーラ)をビニルエステル樹脂で固めた連続繊維筋(帝人、商品名テクノーラFRPロッド)が土木の分野で緊張材として使われた実績があり、建築でも利用が試みられている。丸断面棒状、丸断面上にらせん状異形を付けた異形丸断面棒状、矩形断面棒状、より線状ストランドなどがある(帝人と住友建設の共同開発)。

2. 補強筋

腐食性溶液やガスに対して長期間の耐久性が要求されるところや、非磁性が望まれるところ、また施工面で運搬と切断加工および配筋の容易さが必要とされるところなどで、コンクリート用の超高性能の補強材として用いられている。

軽量であることから、すでに配筋された形状に製作しておき、不陸のある地盤など複雑な形状に現場で合わせて切断し型わくに組み込んでコンクリートを補強できるので、機械設備が制約されたりあるいは技能工が少ないような条件においても、工期の短縮と品質向上を実現できるなど、有用性はいちじるしい。

写真-8は、連続繊維筋で補強されたコンクリートパネルを製作しているところであり、写真-9はそのパネ

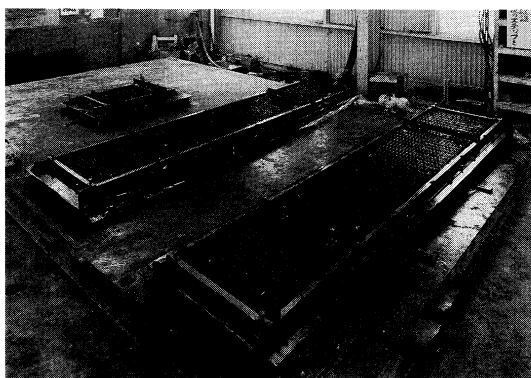


写真-8 間仕切りパネルの製作状況 (鹿島建設提供)

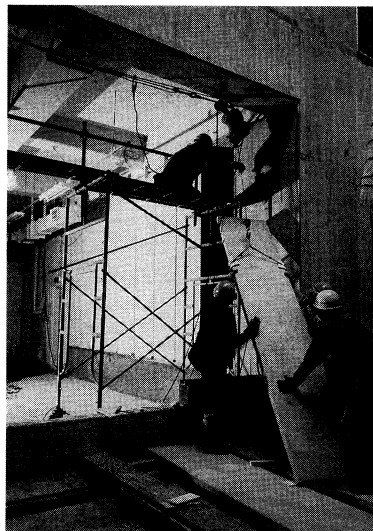


写真-9 間仕切りパネルの建込み (鹿島建設提供)



写真-10 パラペットパネル (鹿島建設提供)



写真-11 東京歯科大学水道橋ビルのパラペット (鹿島建設提供)

ルを、東村山浄水場塩素貯蔵室の間仕切りパネルとして建て込んでいところである（鹿島建設）。

写真-11は、写真-10に示すアラミド繊維の連続繊維筋で補強されたコンクリートパネルをパラペットに使った東京歯科大学水道橋ビルである（鹿島建設）。

写真-12は、セメントをマトリックスとする炭素繊維複合材料（CFRC）の外壁パネルを使った大成建設西浜生物学研究所研究員棟である。外壁パネルはファブリカーボという名称であり、連続炭素繊維束を開織しセメント粒子を充填したプリプレグシートを積層して製作される（大成建設と東邦レーヨンの共同開発）。

写真-13は、連続炭素繊維と連続ガラス繊維をビニルエステル樹脂で固めた径約10mm、格子間隔100mmの格子筋（ネフコム、商品名ネフマック）で補強した軽量コンクリートのカーテンウォールを、鉄骨骨組みに取り付けていところである。カーテンウォールは30分耐火構造の大臣認定を受けてい。1989年の清水建設の

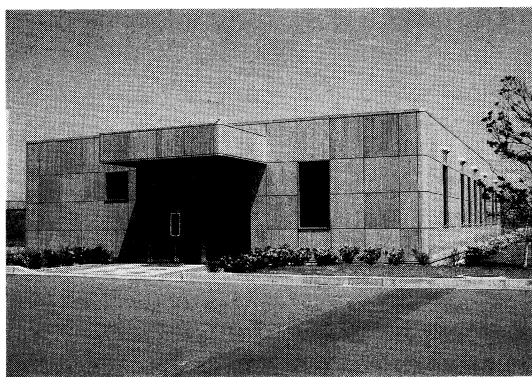


写真-12 CFRC外壁パネルを用いた建物（大成建設提供）

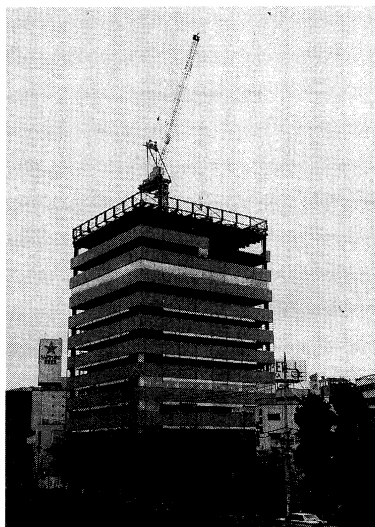


写真-13 カーテンウォール（ネフコム提供）

施工による。

国立極地研究所設営専門委員会建築分科会（会長：佐藤稔雄日本大学教授）のもとで、南極昭和基地の建物の大規模な改築ならびに増築の整備計画案が策定され、平成2年度から9年間の工期で南極観測隊により建設が行われているが、そのメインの建物である延床面積639m³の3階建てで、センターコアの屋根を透光性のドームとする管理棟の基礎ばりとスラブを構成するコンクリートの補強に、連続炭素繊維を樹脂で固めた補強筋（ネフコム、商品名ネフマック）が使われている。

写真-14は南極昭和基地の管理棟建設で、基礎ばりに必要寸法にあらかじめ製作した格子状の連続繊維補強筋を内地から搬入し、不陸のある岩盤の上に納まるよう余長を切断しながら配筋したところである。写真-15は1階スラブに連続繊維補強筋を配筋してコンクリートを打設しているところである。写真-16はコンクリートの打設が終わり、コンクリート基礎、1階コンクリートスラブ、1階鉄骨および2階デッキプレートコンクリートスラブの初年度に予定された工事が完了したところである。2階コンクリートスラブの下端筋に鉄筋を用いた以外は、コンクリートの補強筋のすべてに連続繊維補強筋が用いられている。

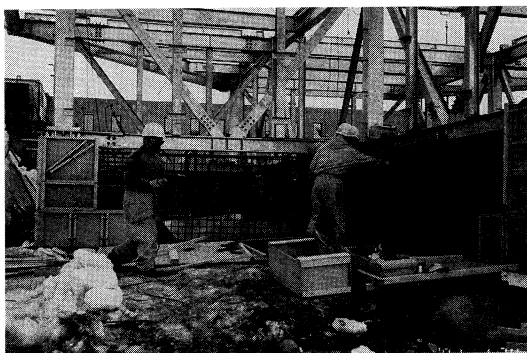


写真-14 基礎ばりの配筋（ネフコム提供）



写真-15 床スラブコンクリートの打設（ネフコム提供）



写真-16 南極昭和基地管理棟 (ネフコム提供)

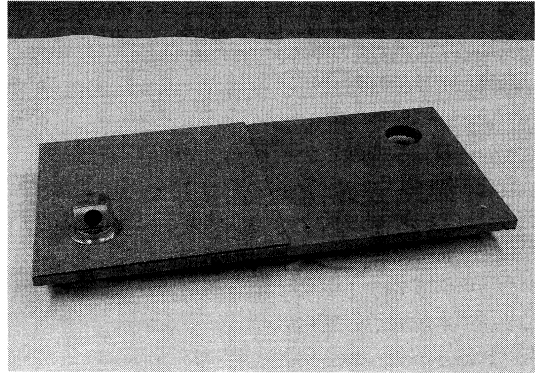


写真-18 OAフロアパネル (三井建設提供)

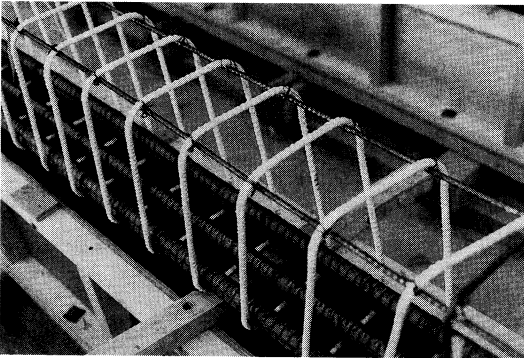


写真-17 アコーディオン式スターラップ筋 (クラレ提供)

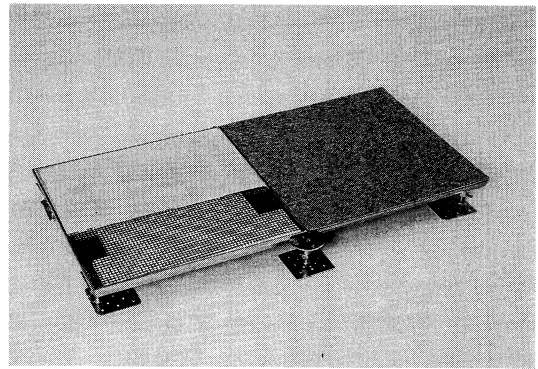


写真-19 フリーアクセスフロアパネル (新日本製鐵提供)

ビニロン繊維またはポリアリレート繊維をエポキシ樹脂で固めたものが、壁や床の補強用として製作されている(クラレ, 商品名クラテックロッド, ベクトランロッド)。表面がストレートのもの, 綾巻加工して異形にしたもの, またアコーディオン状のスターラップ筋より線のものがある。写真-17は, 継目のないアコーディオン式のスターラップ筋である。

炭素, ガラス, またはアラミドの連続繊維をビニルエステル樹脂で固めたロッドとし, 表面にらせん状に同じ種類の連続繊維を巻き付けて樹脂で固めて表面が異形になるようにした, らせん糸巻状 FRP ロッドの開発が行われている(奥村組)。

3. 補強メッシュ

床材や壁材に用いるセメント 2 次製品の補強に, また現場打設のコンクリートやモルタルのひびわれ防止に, 補強メッシュとして用いられる。パネルの補強に用いる場合は, 高強度で薄く軽量のパネルが可能であり, また金網補強では無理な電磁特性が得られる。

写真-18は, 写真-5のところで説明した FiBRA ハードタイプ(アラミド繊維を使用)を用いて製作したメッシュで補強した OA フロアパネルであり, 2 重床

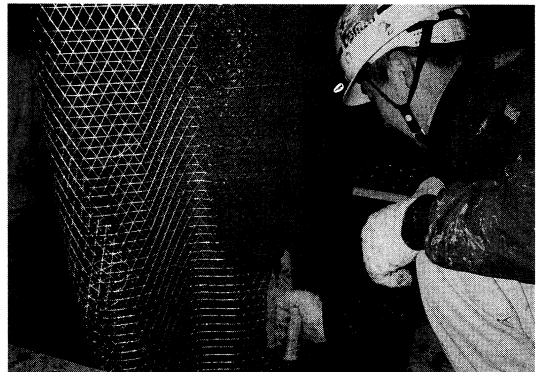


写真-20 仕上げモルタルの補強 (ユニチカ提供)

システムに用いられる(三井建設)。

写真-19は, ピッチ系連続炭素繊維(新日本製鐵製スカイエイノス)または PAN 系連続炭素繊維をエポキシ樹脂で固めた CFRP メッシュで補強したコンクリート製のフリーアクセスフロアパネルである(新日本製鐵)。メッシュ間隔は 7.5~25 mm, パネルの寸法は 500×500×20~25 mm, 補強鉄筋は入っていない。厚さが薄いので床高さを抑えることができる。1987 年から施工され

実績がある。

ビニロンメッシュがコンクリートやセメント2次製品の補強に使われている。写真-20はビニロン繊維の3軸スクリム(ユニチカ製, 商品名トリネオ)を補強材に用いて柱の仕上げモルタルを塗り付けているところである。

4. 既存 RC 構造物の補強

RC 部材のコンクリートの表面に、連続繊維のストランドまたはプリプレグを樹脂で貼り付けて、既存の構造物の補強を行う。せん断強度、靱性、曲げ耐力を向上させ、ひびわれによるたわみを低減させ、温度応力によるひびわれを防止する。

写真-21は既存の RC スラブの下面に炭素繊維の UD プリプレグを樹脂で貼り付けて、曲げ耐力を向上させ、ひびわれによるたわみを低減させるように補強しているところである(大林組)。

写真-22は既存の RC 煙突に、鉛直方向に炭素繊維の UD プリプレグを樹脂で貼り付けて曲げ耐力を向上させ、円周方向に炭素繊維のストランドを巻き付けて温

度応力によるひびわれ等を防止するように補強しているところである(大林組)。

既存の RC 柱に炭素繊維のストランドを樹脂を含浸させながら巻き付けて接着させて補強することや、既存の RC はりの下面に炭素の連続繊維を貼り付けて補強することが試みられている。せん断強度や靱性が向上して耐震性能の強化になり、また耐疲労性も向上する。その場合の耐火性また貼付け面の接着強度の耐久性については、試験により調べられている(大林組)。

タイルなど外壁の仕上げ材の剥落による事故を防止するための補修工法に、連続繊維が使われている。ガラス繊維や合成有機繊維のメッシュを仕上げ材の上からかぶせ、アンカーピン等で下地コンクリートに固定し、メッシュに樹脂モルタル等の仕上げ材を塗り付けて、劣化した旧仕上げ材を被覆固定する工法である。

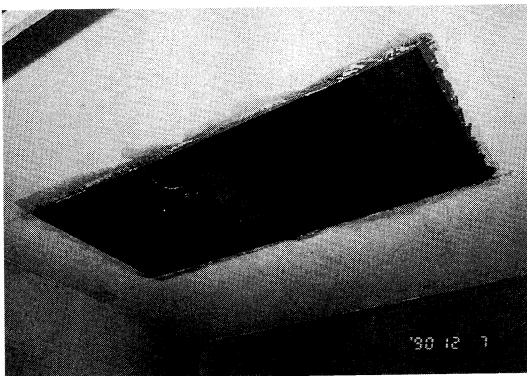


写真-21 既存 RC 造スラブの補強(大林組提供)



写真-22 既存 RC 煙突の耐震補強(鹿島建設提供)

《図書案内》

JCI-C 16 コンクリート構造物の設計に FEM 解析を 適用するためのガイドライン

A 4 判・130 ページ/定価 6 500 円(税 195 円)、会員特価 6 000 円(税 180 円)/送料 300 円

- 申込先:(社)日本コンクリート工学協会・管理課「書籍販売係」
〒102 千代田区麴町 5-7 TBR ビル 708 /電話(03) 3263-1571(担当:山口・吾子)
- <申込方法> 書籍名・送付先を明記のうえ、前金(現金書留)にてお申込み下さい。