

格子状 FRP 緊張材を用いたプレストレストコンクリートの開発

関 島 謙 蔵*
二 川 稔**
平 賀 寿 雄***

1. はじめに

プレストレストコンクリート (PC) の分野において、高張力鋼の代わりに繊維強化プラスチック (FRP) を緊張材に用いることを目的とした研究が活発に行われている。その理由として、FRP は耐食性に優れ、高強度かつ軽量であるという特徴のほか、一般に PC 鋼材に比べて弾性係数が小さいので、プレストレス導入時のコンクリートの弾性変形、クリープや乾燥収縮等によるプレストレスの損失が小さいという利点が挙げられる。なお、従来より研究されている FRP 緊張材は引抜き成形法 (Pultrusion 法) によって製作されたもので、主としてポストテンション方式の PC 部材を対象としているために、特殊な定着具を必要としている^{1),2)}。

ところで、筆者らは鉄筋の代わりに一方向強化 FRP を格子状に成形した新しいコンクリート用補強材を既に開発し³⁾、各種の実験を行っており⁴⁾、特にトンネル関係における使用実績も増加してきた。この格子状 FRP 筋は格子交差部の強度が高く、コンクリート内に埋め込まれた格子交差部が定着の役割を果たすので、プレテンション方式の PC 用緊張材としても使用可能である。本報告では、格子状 FRP 緊張材の開発に至った経緯とこれを使用した PC 床版の特性の概要について述べる。

2. 格子状 FRP 緊張材の開発の経緯

2.1 格子状 FRP 筋の開発の目的

格子状 FRP 筋と緊張材の使用方法は異なるが、材料自体は本質的に同じものである。そこで、最初に格子状 FRP 筋が開発された目的について述べる。

近年、コンクリート中の鉄筋の腐食によるコンクリート構造物の劣化が問題となっている。このため、鉄筋を保護するのに被りを大きくする等の対策をとることもあるが、不経済であり、しかも構造物の重量が増加するという欠点もある。

一方、従来のガラス繊維に加えて炭素繊維やアラミド繊維等の新素材繊維が次々に登場してきた。これらの繊維は鋼材より強度が高く、しかも軽量であり、さびることがないので、これらをコンクリートの補強材として使用することによりコンクリート構造物の耐久性を向上させ、さらに構造物の軽量化をはかるという点に着目して、多くの機関で研究・開発が進められている。

従来より、耐アルカリガラス繊維や炭素繊維を短く切断し、直接コンクリート中に混入して補強する繊維補強コンクリート (FRC) が知られているが、コンクリート中に繊維がランダムに配向し、繊維の混入量も比較的少量に留まるため、その補強効果も限られている。一方、樹脂等のマトリックスで被覆された連続繊維を鉄筋のように構造上必要な方向のみに配置することが可能であれば、補強効果は極めて高くなる。このような背景から、連続繊維一方向強化プラスチックから成る格子状 FRP 筋が開発されるに至った⁵⁾。

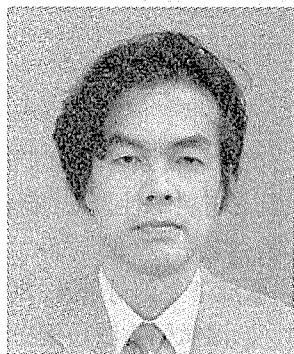
2.2 格子状 FRP 筋の特徴

異形鉄筋はコンクリートとの付着を確保するために表面にふしが設けられている。また、部材端等でフックを設けることによって定着効果を増加させることもできる。FRP では異形鉄筋に相当する異形ロッド等が知られている。

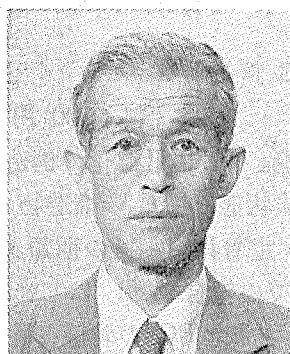
格子状 FRP 筋は、耐アルカリ性、耐酸性、耐薬品性に優れた樹脂を高性能連



* Kenzo SEKIJIMA
清水建設 (株) 技術本部



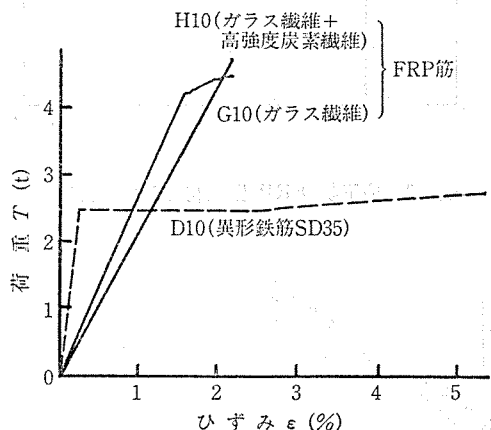
** Minoru FUTAGAWA
大日本硝子工業 (株) 開発部



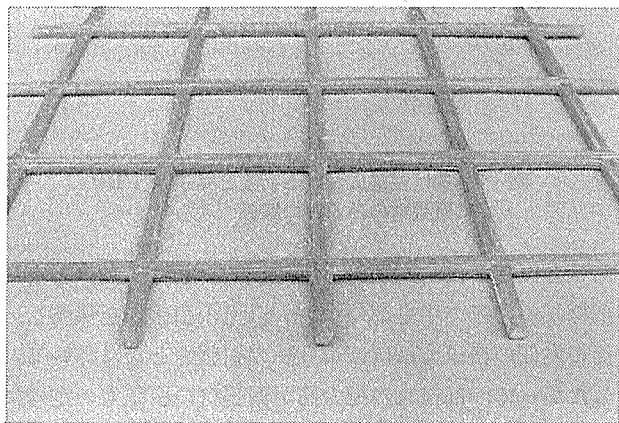
*** Hisao HIRAGA
大日本硝子工業 (株) 常務取締役

表—1 格子状 FRP 筋の特徴

●さびない	●塩害、薬品の害を受けるような苛酷な条件下で使用されるコンクリート構造物の耐久性向上
●耐アルカリ性、耐酸性、耐薬品性に優れる	●繊維の有効利用と異種繊維混合によるハイブリッド効果の発現
●連続繊維および多種類繊維の使用	●コンクリートとの定着確保
●格子交差部の強度確保	●重ね継手が可能
●軽量 (比重≒2)	●現場での生産性向上
●複雑な形状の一体成形可能	●非磁性を要求される構造物に適用可能
●非磁性	



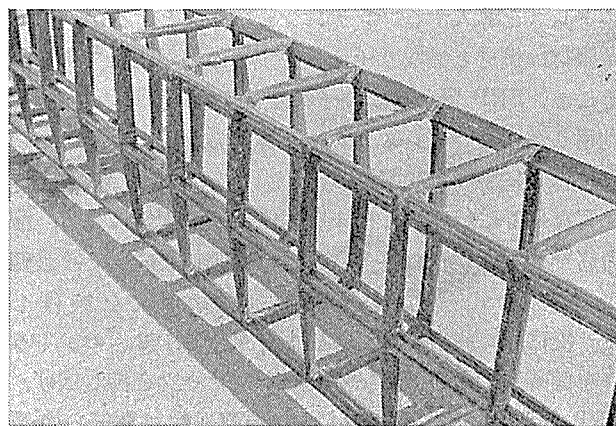
図—1 FRP 筋と異形鉄筋の引張特性の比較



写真—1 平面格子状 FRP 筋

連続繊維で強化し、フィラメントワインディング法により平面、曲面または立体の格子状に成形したコンクリート補強用複合材料である。格子状 FRP 筋は繊維束を樹脂に含浸させながら格子状に成形するが、交差部では繊維束が交互に交差して何層も重なり合うことになり、その結果、格子交差部の強度が確保されるのである。このことから、直交筋によってコンクリートとの付着および定着が確保され、さらには重ね継手が可能となる⁵⁾。

格子状 FRP 筋の主な特徴を 表—1 に示す。図—1 は異形鉄筋 D10 (SD35) およびこれに相当する FRP 筋 G10 (ガラス繊維) と H10 (ガラス繊維+高強度炭素繊維) の引張特性の比較を示したものである。G10 のよ



写真—2 立体格子状 FRP 筋

うに1種類の繊維で強化した FRP 筋は、荷重とひずみの関係が破断時までほぼ直線である。一方、H10 のように2種類の繊維で強化したものは伸びの小さい炭素繊維から破断し、伸びの大きいガラス繊維の破断で終局となり、鉄筋の降伏に似た現象を示す (ハイブリッド効果)。なお、格子状 FRP 筋の平面および立体格子状の成形例を 写真—1 と 写真—2 に紹介する。

2.3 格子状 FRP 筋の PC 用緊張材への適用

筆者らは、スターラップにも FRP 筋を使用し、主筋とともに3次元構造に一体成形した立体格子状 FRP 筋 (写真—2) を鉄筋の代わりに用いたコンクリート梁の曲げ試験を行った⁶⁾。その結果、図—1 に示すように FRP 筋は鉄筋と比べると剛性 (または弾性係数) が小さいので、曲げひびわれ発生後に中立軸がかなり上昇して曲げ剛性が低下するため、ひびわれ幅およびたわみが大きくなることが明らかになった。FRP 筋は耐食性に優れているので、ひびわれ幅が大きくてもコンクリート構造物の耐久性に関しては問題とされないが、ひびわれにより美観を損ねる場合もあるので自と制限される。また、たわみ等の変形を制限される構造物への適用は困難な場合もあり得ると予想される。

ところで、格子状 FRP 筋は格子交差部の強度が高く、コンクリート内に埋め込まれた格子交差部が定着の役割を果たすので、プレテンション方式の PC 用緊張材としても使用可能である。そして、PC 構造とすることによって上記の問題は解決される。なお、格子状 FRP 緊張材の繊維体積含有率 V_f は 40% 前後であり、引抜き成形法による緊張材 ($V_f=50\sim70\%$) に比べて小さい。

3. 格子状 FRP 緊張材を用いた PC 床版の特性

3.1 プレストレスの導入方法

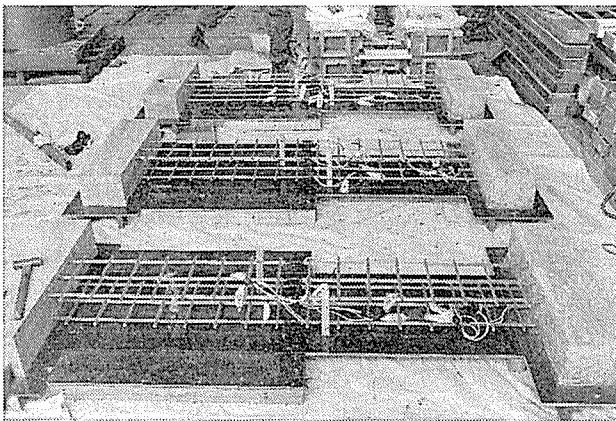
格子状 FRP 緊張材を緊張した状態でコンクリートを打設し、硬化後に緊張材を切断してコンクリートにプレ

ストレスを導入するプレテンション方式とするが、FRP 緊張材は鋼材と異なりチャックすることが困難である。そこで、FRP 緊張材の格子交差部の強度が高い特徴を利用した新しいプレストレスの導入方法を考案したので、以下に手順を説明する。

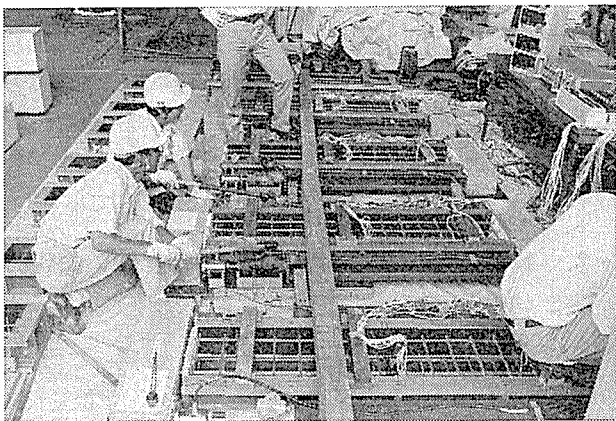
写真—3 に示すように床版本体よりも両端に長く、配力筋を2本ずつ含む格子状 FRP 緊張材を成形し、最初に両端部にコンクリートを打設してブロックを製作した。次に、ロードセルおよび鋼材を介し、2台のジャッキを同時に加力してコンクリートブロックを押し広げ、FRP 緊張材に引張力を与えた(写真—4)。藤崎らの重ね継手の実験によれば、格子状 FRP 筋は1ます以上ラップさせればほぼ全強が伝えられることが確認されている⁹⁾。したがって、この緊張方法を用いれば FRP 緊張材をかなりの高応力まで緊張可能であると思われる。

3.2 格子状 FRP 緊張材の伝達長

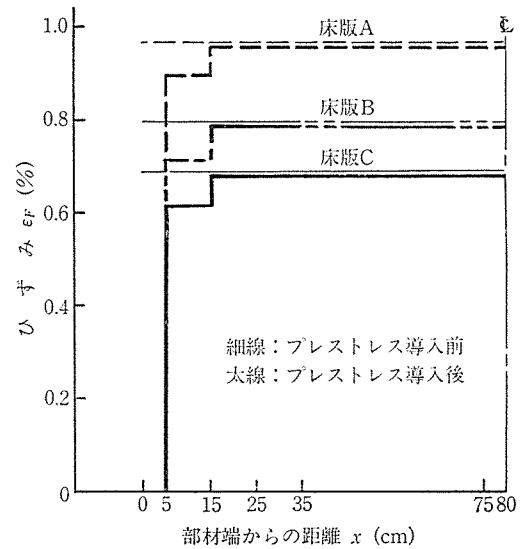
プレテンション方式の PC 部材では緊張材の伝達長が重要である。図—2 はプレストレス導入前後における3体のコンクリート床版内のガラス繊維を使用した格子間隔 10 cm の FRP 緊張材のひずみ分布を示したものである。FRP 緊張材は主に格子交差部でコンクリートとの付着を確保しているので、格子間ではひずみは一定で



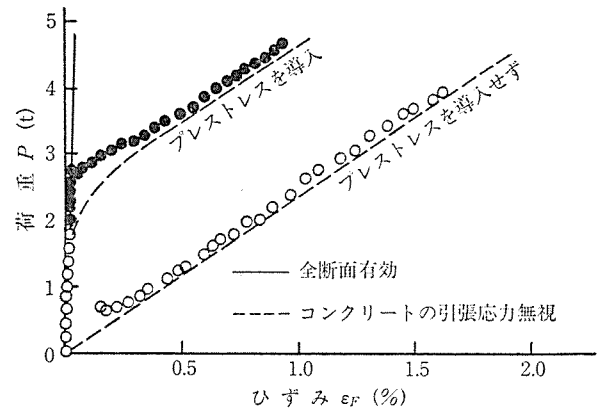
写真—3 両端部に打設したコンクリートブロック



写真—4 格子状 FRP 緊張材の緊張方法



図—2 格子状 FRP 緊張材のひずみ分布



図—3 曲げ試験における荷重と格子状 FRP 緊張材のひずみの関係

あると仮定した。同図から明らかのように、3体ともに部材端の格子で中央部の 90% 以上の引張力を保持し、その内側の格子ではほぼ 100% の引張力となっている。したがって、部材端の配力筋が緊張材の引張力の定着に大きく寄与している。格子状 FRP 緊張材の伝達長は部材端から2本目の配力筋までの距離 (15 cm) であり、極めて短いことが明らかになった。ただし、格子交差部の強度は樹脂(この場合はビニルエステルを使用)の強度に大きく依存しているので、伝達長は時間の経過とともに増大する可能性があると思われる。

3.3 PC 床版の曲げ特性

格子状 FRP 緊張材を用いてプレストレスを導入したコンクリート床版の曲げ試験を行ったので、その結果の一部を紹介する。図—3 はスパン中央における下段の FRP 緊張材のひずみと荷重の関係を示したものである。曲げひびわれ発生前は全断面有効と仮定した弾性計算値とほぼ等しく、曲げひびわれ発生後はコンクリートの引張応力を無視して求めた弾性計算値に漸近していく。

FRP 緊張材は格子交差部でコンクリートとの付着を確保しているため、これを使用した PC 部材は、従来の曲げモーメントと軸力を受ける鉄筋コンクリート部材の弾性理論が適用できることが確認された。

4. おわりに

鉄筋に代わるコンクリート用補強材として開発された格子状 FRP 筋を PC 用緊張材に適用するに至った経緯を述べ、これを使用したプレテンション方式の PC 床版の特性の概要を説明した。

格子状 FRP 緊張材は平面状のみならず、円筒状または立体格子状にも成形可能であり、せん断補強筋も一体成形した緊張材とすることができる。今後は床版のみならず、円柱および円筒断面、矩形断面の PC 部材への展開もはかかっていきたいと考えている。

最後に、格子状 FRP 緊張材を用いたプレストレストコンクリートを開発するに当たって御指導を頂いた東京大学工学部土木工学科教授 岡村 甫先生に厚く御礼申

上げます。

参 考 文 献

- 1) 小林, 趙: 繊維強化複合材料製プレストレストコンクリート用緊張材の開発研究 (その1), 生産研究, Vol. 36, No. 8, 1984年8月
- 2) 高木兼士: FRP のプレストレストコンクリートへの適用性, 強化プラスチック, Vol. 33, No. 12, 1987年12月
- 3) 平賀寿雄: 新しいコンクリート補強材, タフティワインド・ニューファイバーメッシュ (NFM), 強化プラスチック, Vol. 32, No. 10, 1986年10月
- 4) Fujisaki, T., Sekijima, K., Matsuzaki, Y. and Okamura, H.: New Material for Reinforced Concrete in place of Reinforcing Steel Bar, IABSE Symposium in Paris-Versailles, September 1987
- 5) 藤崎, 杉田, 中辻: 鉄筋に代わる FRP 構造材料の開発 (その1) 重ね継手性能確認実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 1986年8月
- 6) 小沢, 関島, 岡村: FRP で補強したコンクリートはりの曲げ疲労性状, コンクリート工学年次論文報告集, 第9巻, 1987年7月

【昭和 63 年 5 月 9 日受付】

◀刊行物案内▶

PC 斜 張 橋

(本誌第 29 巻第 1 号特集号)

現在, 世界的にも, また我が国でも有力な橋梁施工法として台頭し始めた PC 斜張橋を特集した本書は, その歴史, 変遷から始まって, 将来展望に関する座談会, 斜張ケーブルの現状, 既に実施された, または計画中の代表的な斜張橋 (白屋橋, 東名足柄橋, 猪名川第 2 橋梁, 衝原大橋, 呼子大橋, 新丹波大橋) の報告等, 多岐にわたり収録してあります。PC 橋梁の設計・施工関係技術者にとっては必携の参考図書と確認します。

在庫数が限られていますので, ご希望の方は至急代金を添え (現金書留か郵便振替東京 7-62774) プレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体 裁: B 5 判 108 頁

定 価: 1 500 円 送 料: 150 円