

# CFRP より線の力学的特性に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科  
榎本 剛

近年、コンクリート構造物の維持管理の観点から、連続繊維補強材は、高耐久性が要求される補修補強材料としてますます期待が高まってきている。その中でも CFRP より線は、高強度、高耐久性、軽量であり、かつ、長尺物でも容易に巻取ることができるため、グラウンドアンカー工法や外ケーブル工法あるいは一般の PC 部材、さらには斜張橋や吊橋のケーブルなど緊張材に適用することで、材料特性を最大限に発揮できると考えられている。本論文は、CFRP より線を緊張材として用いる場合、これまで断片的に調査されてきた設計上必要とされる力学的特性の中で、特に重要な静的引張特性、リラクゼーション特性、曲げ引張特性、引張疲労特性を中心に、新たな知見も加えて総括的に取りまとめたものである。

本論文は、最初の序論から最後の結論まで、7つの章で構成している。

「第1章 序論」では、本研究の背景として、これまで20年余りの間に行われてきた CFRP より線の開発や適用研究の経緯や土木構造物への適用例を述べた。また、それらの背景に伴い、必要となった本研究の目的を述べた。

「第2章 CFRP より線の定着方法」では、緊張材として使用する際に必要となる端部の定着・固定の重要性とともに、CFRP より線における定着の難しさを述べた。さらに、現状での CFRP より線に適した定着方法をまとめ、その中で、特に、本研究でも利用している HEM 定着法の詳細について述べた。

「第3章 CFRP より線の静的引張特性」では、力学的特性の最も基本となる静的な引張特性に関して、これまで行った約550本の引張試験結果を整理し、それらを一般的に引張破断荷重の製品管理で用いられている正規分布として取り扱うことの妥当性を示すとともに、保証引張耐力の算出方法について述べた。また、CFRP より線の直径の違い、使用炭素繊維の強度の違い、定着法の違いによる影響についても言及した。静的引張強度に定着方法がどのような影響を及ぼすかについても検討した。

「第4章 CFRP より線のリラクゼーション特性」では、まず、CFRP より線のリラクゼーションがどのような挙動を示すのか、初期荷重や温度履歴の影響も含めて、従来の PC 鋼より線と比較しながら検討した。また、土木学会規準では、1,000時間の試験結果を使用して100万時間リラクゼーション値を算出しているが、3万時間の試験結果と比較す

ることによって、その妥当性についても検討した。さらに、使用される環境温度の違いを想定したリラクセーション試験を実施し、各種温度環境下での設計に適用できるリラクセーション曲線を求めた。また、炭素繊維の強度が高くなっても、リラクセーション特性は従来と同様に取り扱えることを明らかにした。

「第5章 CFRP より線の曲げ引張特性」では、一方向強化材である CFRP より線を外ケーブルなどのように、偏向部で曲げた状態で緊張材として使用する場合を想定し、曲げによる CFRP より線の引張耐力低下の要因とメカニズムについて実験的な検討を行った。その結果、「曲げ角度」と「曲げ半径」が曲げ引張耐力の低下に影響することを明らかにした。また、曲げ引張時の偏向具と CFRP より線の接触力に着目することで、これまで無かった、曲げ引張耐力の算定式を「曲げ角度」と「曲げ径比」の関数の積の形として導くことができた。さらに、その式は、使用条件を選定することで、CFRP より線を外ケーブルとして用いる場合の偏向具や導入緊張力の設計に利用できることが分かった。

「第6章 CFRP より線の引張疲労特性」では、一般に優れているといわれている CFRP より線の引張疲労特性について、これからの構造物設計の際に、どのように取り扱い、利用することができるかを検討した。まず、蓄積してきた引張疲労試験結果を整理し、金属疲労と同様に、CFRP より線の  $S-N$  関係を検討するなかで、修正 Goodman の関係が成立することを明らかにした。また、応力振幅と平均応力の関係式を導くことができた。さらに、エポキシ樹脂定着と HEM 定着において、定着法の違いが疲労特性に影響を及ぼすことを確認し、その原因とメカニズムについても考察した。なお、CFRP より線の引張疲労特性が、従来の鋼ケーブルと比べてはるかに優れていることは確認できたが、この優れた疲労耐久性を十分活かすためには、今後、 $S-N$  線図の定式化も含めて、安全率を考慮した CFRP より線の設計上の疲労強度（許容応力範囲）をより詳細に検討する必要があることも分かった。今後の技術的な課題である。

「第7章 結論」では、各章で得られた重要な知見を総括して結論とした。

本論文は、CFRP より線を緊張材として用いた構造物の維持管理や新設構造物の設計の基礎的な資料として重要な役割を果たすものと考えられる。