

FRP ケーブル埋め込み緊張補強技術による RC 梁部材の補強効果に関する実験的研究

茨城大学工学部 正会員 呉 智深

茨城大学大学院理工学研究科 学生会員 孫 曉荷

茨城大学大学院 正会員 岩下健太郎

日鉄コンポジット株式会社 正会員 小林 朗

1. はじめに

都市インフラ構造物の構造性能を高めるための補修・補強技術としては、鋼材を構造物の周囲に巻き立てる技術や連続繊維複合材 (FRP) を構造物表面に接着する技術などが主流である。また、PC 鋼材を緊張状態で構造物に設置することで構造物にプレストレスを導入する PC 技術が、飛躍的な曲げ耐力の向上効果や死荷重への補強が可能となるなどの優れた補強効果から注目され、実構造物に対する適用例が増加してきている。最近では高度な引張強度や耐候性、形状の自由な変化が可能であるなどの優れた性能を有する繊維複合材料を PC 鋼材に変わる緊張材として適用する研究が盛んに行われ、実施工も見受けられるようになった¹⁾。一方、PC 技術としては、外ケーブル PC 技術（以下、アンボンド PC 技術）の適用事例が増加しているが、構造物との付着がないため、初期ひび割れ荷重やひび割れ抑制および鉄筋降伏荷重といった使用性指標への補強効果が小さいことや、定着部設置により生じる構造物への負荷が大きくなることなど、改良の余地がある²⁾。そこで、緊張材を構造物表面の溝に埋め込むことで緊張材と構造物との間の完全接着（以下、ボンド PC）を実現した FRP ケーブル埋め込み PC 技術を提案する。また、RC 梁部材の曲げ試験を実施し、初期ひび割れ荷重や鉄筋降伏荷重といった一般的な曲げ補強効果を評価した。

2. 外ケーブル PC 技術と埋め込み外ケーブル PC 技術

外ケーブル PC 技術においては、無緊張技術と比べて死荷重に対する補強が可能になるという利点があるが、緊張材とコンクリート間に付着がないため、各種使用性指標や終局耐力に対する補強効果が小さいことが指摘されている。また、設計計算において断面保持の仮定が適用できないという問題もある。そこで、本研究では、緊張材と構造物間に完全接着を実現できる

埋め込み緊張技術を提案する。

3. ケーブルの緊張・埋め込み手法の提案と実験的検討

3-1 緊張・埋め込みの工程と端部定着

埋め込みケーブル PC 技術の工程は、まず、構造物の引張力が生じる部分のかぶりに深さ 20mm ~ 40mm 程度の溝を長手方向に掘り、溝内にケーブルを配置し、緊張したまま樹脂を充填・硬化させる。そして、樹脂が十分に硬化したのを確認した上で、緊張力を徐々に解放することで構造物にプレストレスが導入される。このとき、構造物とケーブルの接着端部には局部的に大きなせん断応力が生じるため、特別な定着手法を必要としており、定着部にくさび形の機械式定着具や、樹脂や膨張材を用いた充填式の定着具に関する研究³⁾が過去に盛んに行われ、ケーブルの固定方法は確立されつつある。しかしながら、埋め込み緊張技術においては、補強時に構造物に掘った溝に樹脂を充填するため、構造物との接着確保によるケーブルの定着効果が期待できる。そこで、本研究では樹脂の充填以外の端部定着を行わずに緊張力を導入した。

3-2 緊張解放とひずみ分布

図-1 に示す RC 梁部材に対して緊張力（緊張材の破断強度の 14.5%）を導入し、解放時の RC 梁部材の変状をひずみゲージにより計測した（図-2）。すると、導入緊張力と RC 梁部材のスパン中央におけるひずみの関係が線形挙動となることが読み取れる。

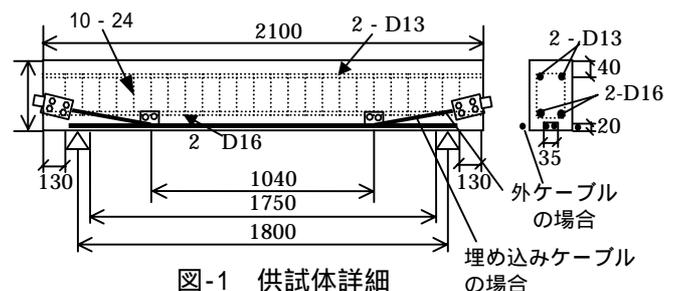


図-1 供試体詳細

外ケーブルの場合
埋め込みケーブルの場合

キーワード：補強、外ケーブル、埋め込みケーブル、プレストレス

連絡先：〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科

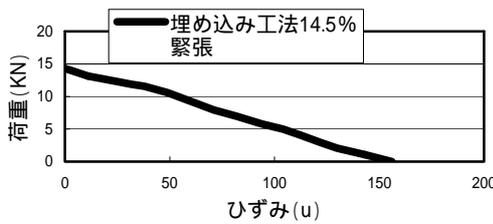


図-2 緊張解放時のスパン中央のケーブルひずみ

表-1 CFRP スtrandケーブルの物性

公称断面積	42.78mm ²
引張強度	2084N/mm ²
ヤング率	94900 N/mm ²

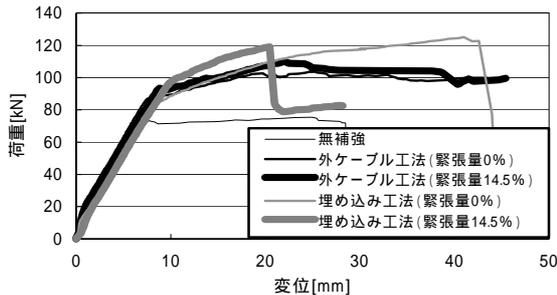


図-3 各補強工法の荷重-変位の関係

3-3 載荷試験概要

CFRP ケーブル（物性値は表-1 に示す）を使用した埋め込み工法の補強効果を曲げ試験により検証する。補強効果の比較対象として外ケーブル PC 技術により補強した梁部材についても同様の実験を行う。実験パラメータは緊張材に導入する緊張応力のレベル（無緊張，14.5%（CFRP ケーブル設計強度を基準））である。試験に用いた供試体と補強概要は図-1 に示す。試験方法は2000kN 加圧試験機を用いて荷重速度を1kN/minで制御し、スパン長 1800mm、載荷幅 600mm の2点載荷で行った。

3-4 各種 PC 補強技術による補強効果の比較

一連の曲げ試験より得られた荷重と変位の関係を図3に示す。無補強梁の挙動は、ひび割れ発生 ひび割れ本数の増加 鉄筋降伏 荷重は上がらず変位のみ増加のようであり、さらに載荷を進めると梁上縁部におけるコンクリート圧縮破壊に至る。一方、外ケーブル PC 技術により補強した梁（緊張力の有無は問わない）の曲げ挙動は、鉄筋降伏までは無補強梁と同様だが、鉄筋降伏後に鉄筋が負担しきれなくなった応力を FRP ケーブルが負担するため、その後も荷重が増加する。ただし、その後に生じる梁上縁での圧縮破壊以後は荷重の上昇はほとんど見られなくなり、変位のみが増加する挙動に変化する。次に、外ケーブル PC 技術

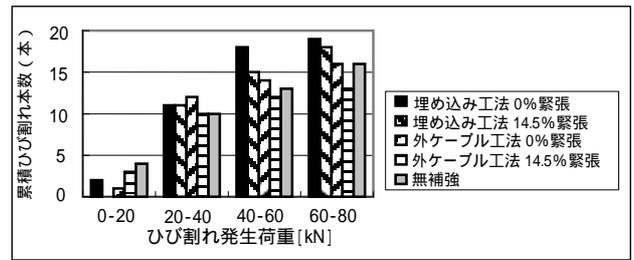


図-4 累積ひび割れ本数

表-2 ひび割れの状況

	緊張量 %	ひび割れ間隔 mm	初期ひび割れ荷重 kN
埋め込み工法	0	73.7	18.5
	14.5	83.3	23.2
外ケーブル工法	0	106.7	16.0
	14.5	107.7	13.5
無補強	-	80.0	10.0

により補強された梁と無補強梁の各種曲げ性能を比較すると、表-2 より、鉄筋降伏荷重や終局耐力は飛躍的に向上しているが、初期ひび割れ荷重がほとんど増加していないことがわかる。また、ひび割れ間隔や図-4 に示した累積ひび割れ本数がほとんど増加しておらず、ひび割れの分散効果が小さいことが確認できる。一方、埋め込み緊張技術により補強された梁は、外ケーブル PC 技術で補強した梁に比べて初期ひび割れ荷重、鉄筋降伏荷重、および終局耐力が飛躍的に向上していることがわかる。また、ひび割れ間隔がより小さくなっており、累積ひび割れ本数が増加していることから、ひび割れの抑制効果が確認できた。

4. おわりに

- 1) 外ケーブル PC 技術を応用して考案した埋め込み緊張 PC 技術において、RC 梁に対する緊張力導入実験により、断面保持が成立することを実験的に確認した。
- 2) 埋め込み緊張 PC 技術により、外ケーブル PC 技術より飛躍的に高度な使用性向上効果が得られることが実験的に示された。また、より高い終局耐力の補強効果が得られることが実験的に明確となった。

参考文献

- 1) 花森信行、呉智深、岩下健太郎、樋口哲郎：PBO 連続繊維シート緊張接着による PC 桁の曲げ補強に関する検討、コンクリート工学年次論文集、2001
- 2) 睦好宏史、町田一輝他：外ケーブル PC 部材の曲げ性状および曲げ耐力算定法に関する研究、1995
- 3) コンクリートライブラリー72、土木学会、1992