

論文 内部固定定着部を用いたポストテンション方式プレストレス補強工法における小径緊張材の引抜き耐力に関する検討

三原 孝文*1・安居 紗奈子*2・小野 雅樹*3・吉武 勇*4

要旨：既設コンクリート構造物の内部補強，あるいは新旧部材の一体化を図るために，既設コンクリート部材の内部に緊張材用の固定定着部を構築し，プレストレスを導入する補強工法が開発された。本稿では，いくつかの小径緊張材を用いた引抜き試験を実施し，適用可能なコンクリート部材厚さを調べた。さらに，炭素繊維複合材ケーブルを用いた引抜き実験を通じて，最適な緊張材の先端加工方法について検討を行った。その結果，加工が容易な解燃式による先端加工を用いても引抜き耐力が緊張材の補償規格荷重以上であることを確認した。

キーワード：補強，プレストレス，緊張材，炭素繊維，引抜き耐力

1. はじめに

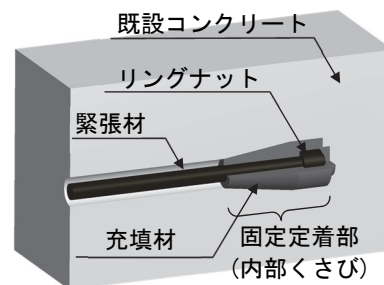
コンクリート構造物を含めた社会インフラの老朽化や災害に対する対策は，現在の社会資本整備において重点施策に位置付けられている。そうしたなか，既存コンクリート構造物を有効活用していくための技術として，既設コンクリート構造物の内部補強，あるいは新旧部材の一体化を図るために，既設コンクリート部材の内部にあと施工によって内部くさびを構築するコンパクトな固定定着部を構築し，そこに定着した緊張材を用いたポストテンション方式プレストレス補強工法（図－1）を開発し¹⁾⁴⁾，実構造物への適用を進めている⁵⁾。

しかしながら，本工法において現在適用できる緊張材は，PC 鋼棒 $\phi 23$ B 種 1 号に限定され，コンクリートの部材厚さは 400 mm 以上が必要であった。そのため，床版等の薄肉部材への適用が課題とされてきた。

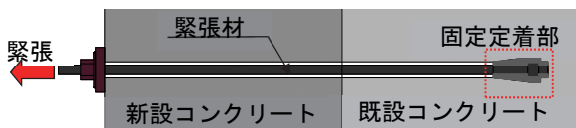
そこで本研究では，薄肉部材への適用にむけて，小径緊張材を用いた引抜き試験を実施し，その適性部材厚を調べるとともに，炭素繊維複合材ケーブルの先端加工方法について検討を行った。

である。固定定着部の構造を図－2に示す。

コア削孔した最深部を専用削孔機で円錐状に拡径削孔し，そこにリングナットによる突起を設けた緊張材を挿入し，高強度充填材で固定定着する。硬化した充填材を介して緊張材に装着したリングナットと既設コンクリートが噛み合い，内部くさびとなって引抜き力に対して定着部として機能する。本工法は，この固定定着部を用いて既設コンクリート部材にプレストレスを導入する補強法である。



図－2 固定定着部の構造



図－1 本工法の概要図

2. 内部固定定着部を用いたプレストレス補強工法

本工法の特徴は，既設コンクリート部材の内部に緊張材の先端部を固定するための固定定着部を構築すること

3. 引抜き試験の概要

薄肉部材を想定するため，部材寸法を変化させたコンクリート供試体に，異なる先端加工方法を施した各種の小径緊張材を固定定着し緊張材の引抜き試験を実施した。試験ケースの一覧を表－1に示す。

3.1 試験ケース

(1) 緊張材種別

本検討では，小径緊張材として， $\phi 13$ mm および $\phi 17$ mm の2種類のPC 鋼棒（B 種 1 号）に加えて，PC 鋼材

*1 極東興和株式会社 営業本部 補修部 （正会員）

*2 極東興和株式会社 営業本部 補修部

*3 東京製綱インターナショナル株式会社 CFCC 土木建築事業部

*4 山口大学大学院 創成科学研究科准教授 博(工) （正会員）

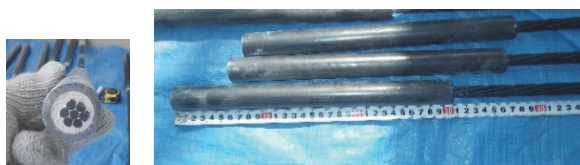
表－１ 試験ケース

緊張材		PC 鋼棒		炭素繊維複合材ケーブル		
種別		$\phi 13$	$\phi 17$	$1 \times 7-10.5 \phi$	$1 \times 7-12.5 \phi$	
規格荷重 *補償破断荷重		143.3 kN	245.2 kN	141 kN *	184 kN *	
先端加工		リングナット式 L 30 mm	リングナット式 L 30 mm	スリーブ式 L 300 mm	解撚式一房 L 140 mm	解撚式二房 L 350 mm
断面寸法	$\square 150$	1 体	1 体	—	1 体	—
	$\square 200$	1 体	1 体	1 体	1 体	1 体
	$\square 250$	1 体	1 体	1 体	1 体	1 体

より高い引張強度を有し、酸やアルカリに対しても優れた耐久性が期待できる $1 \times 7-10.5 \phi$ 、 $1 \times 7-12.5 \phi$ の 2 種類の炭素繊維複合材ケーブルを対象とした。

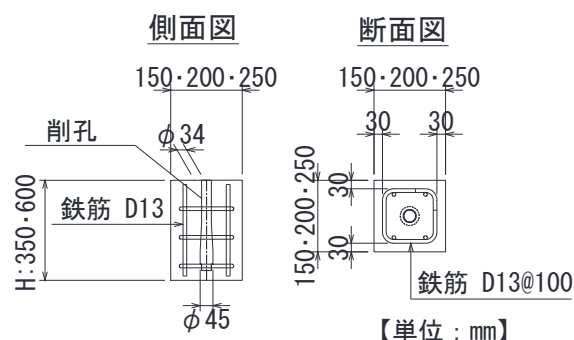
(2) 緊張材先端部の加工方法

引抜き力に抵抗するためには、緊張材先端部の加工は非常に重要な要素となる。PC 鋼棒では、既往の研究^{1)～5)}と同様に、緊張材の先端部をネジ切り加工し、そこにリングナット (L 30 mm) を装着する方法を採用した。炭素繊維複合材ケーブルでは、このようなネジ切り加工が困難なため、ストランドを解いて房を形成する 2 種類 (一房-L 140 mm, 二房-L 350 mm) の解撚式とスリーブ式 (L 300 mm) を対象として検討を行った。ここで、スリーブ式は、定着部の加工としては一般的ではあるが、加工および設置に費用と時間を要する。一方、解撚式は、現場で容易に形成・加工が可能のため、実用的な方法の一つと考えられる。それぞれの先端部加工について図－３～６に示す。

図－３ リングナット式 (PC 鋼棒 $\phi 13$, $\phi 17$)図－４ スリーブ式 (10.5ϕ , 12.5ϕ)図－５ 解撚式 (12.5ϕ 一房)図－６ 解撚式 (12.5ϕ 二房)

3.2 供試体

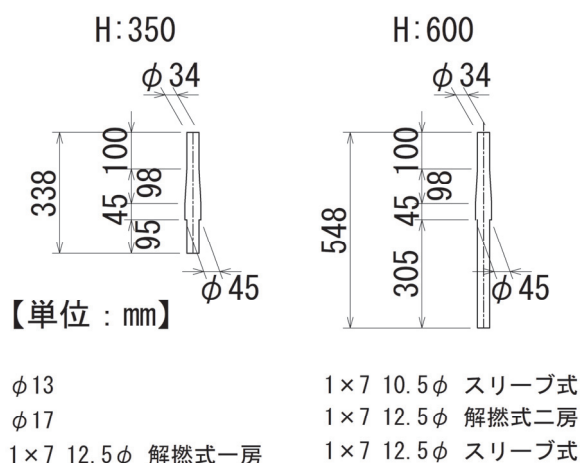
本研究では、基礎的実験の位置付けとして多様なケースについて検討するため、ケース毎に各 1 体のコンクリート製供試体を製作した。標準高さを 350 mm としたうえで、断面 150×150 mm, 200×200 mm, 250×250 mm の 3 タイプの供試体とした。また、先端部の加工方法がスリーブ式・解撚式-二房の供試体では、固定定着部の埋め込み長 300 mm, 350 mm が必要なため高さを 600 mm とした。供試体構造図を図－７に示す。



図－７ 供試体構造図

市場で一般的に使用されている $\phi 34.1$ mm (1-1/4 in.) のコアドリル径を標準径として、拡張径 34 mm～45 mm の削孔形状とした。削孔形状を図－８に示す。実際の施工と同じくダイヤモンドコアドリルを用いて削孔した。削孔状況を図－９に、拡張用削孔ビットを図－１０に示す。

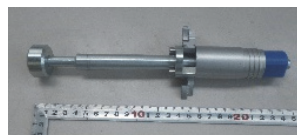
拡張削孔部に、各緊張材を挿入して充填材により固定定着した。各緊張材の固定定着要領を図－１１に、製作した供試体を図－１２に示す。



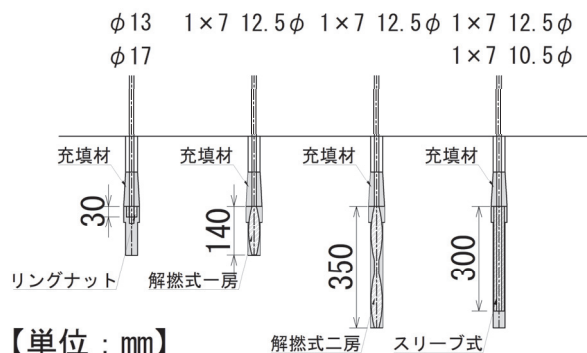
図－8 削孔形状



図－9 削孔状況



図－10 拡張削孔用ビット



図－11 固定定着要領



図－12 供試体（緊張材定着後）

3.3 使用材料

(1) コンクリート

本研究では、RC 床版を想定し、設計基準強度 30 N/mm² 程度のコンクリートを使用した。配合を表－2 に、載荷試験時の物性を表－3 に示す。

表－2 コンクリートの配合

W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)				
		W	C	S	G	AD
53.0 %	48.0 %	175	330	887	978	1.16

(スランプ：12.0 cm)

表－3 コンクリート物性(載荷試験時)

圧縮強度	割裂強度	ヤング係数	ポアソン比
38.7 N/mm ²	3.16 N/mm ²	30.5 kN/mm ²	0.19

(2) 充填材

充填材には、既往の研究で性能を確認したプレミックスタイプの専用特殊高強度モルタルを使用した⁴⁾。配合を表－4 に、載荷試験時の物性を表－5 に示す。

表－4 充填材の配合（プレミックス材）

W/B	単位量 (kg/袋)	
	W	B
11.0%	1.1	10.0

表－5 充填材物性(載荷試験時)

圧縮強度	割裂強度	ヤング係数	ポアソン比
116.1N/mm ²	7.26MPa	39.2kN/mm ²	0.23

(3) 鋼材

本研究では、D13 (SD345) の鉄筋を使用するとともにリングナットには、SS400 丸鋼φ28 mm, 32 mm, t=30 mm (M14, 18 ピッチ 2 タップ加工) を使用した。

(4) 緊張材

PC 鋼棒には、SBPR1080/1230 丸鋼 C 種 1 号 φ13 mm, 17 mm (ヤング係数 201 kN/mm²) を使用した。これは、適用を想定している丸鋼 B 種 1 号の規格引張強度以上の引抜き力を作用させるため、丸鋼 B 種 1 号より引張強度や降伏耐力が高い丸鋼 C 種 1 号を使用したものである。

炭素繊維複合材ケーブルには、1×7-10.5φ, 12.5φ (ヤ

表－6 緊張材の諸元

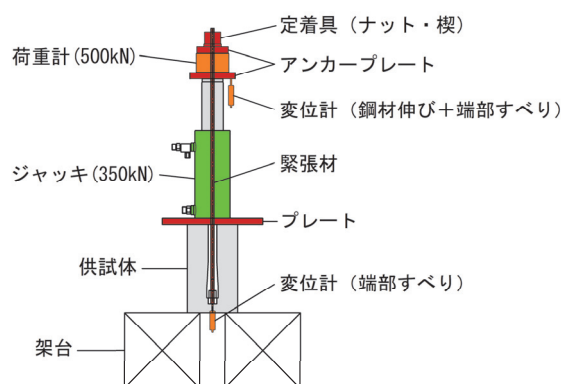
緊張材種別	PC 鋼棒		炭素繊維複合材ケーブル	
	B 種 1 号 (C 種 1 号) φ13	B 種 1 号 (C 種 1 号) φ17	1×7 10.5φ	1×7 12.5φ
規格降伏荷重 Py	123.4 kN (144)	211.1 kN (246)	—	—
規格引張荷重 Pu	143.3 kN (164)	245.2 kN (280)	141 kN	184 kN

ング係数 150 kN/mm²) を使用した。緊張材の諸元を表－ 6 に示す。

3.4 引抜き試験方法

図－ 1 3 に示すように、供試体の中心に固定定着した緊張材を、油圧センターホールジャッキ (350 kN 用) を用いて規格引張荷重まで載荷し引抜き力を作用させた。実施工を想定し、充填材の材齢 10 日にて載荷した。

また、緊張材の伸びと端部すべりを調べるため変位計を設置した。抜け出し量計測用の変位計は、緊張材を固定定着した後に、底面から削孔し計測孔を設けて配置した。抜け出し量の計測については、PC 鋼棒 (φ 13, φ 17) および炭素繊維複合材ケーブル 1×7 10.5 φ のスリーブ式にて実施した。



図－ 1 3 載荷試験要領



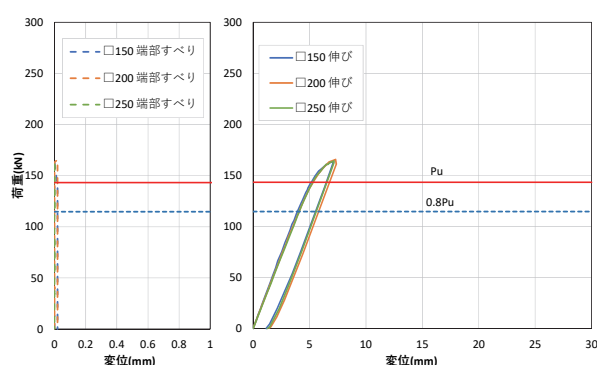
図－ 1 4 載荷試験状況

4. 引抜き試験の結果と考察

引抜き試験の最大荷重一覧を表－ 7 に示す。全ての試験で、緊張材の規格荷重以上の引抜き耐力を有していることを確認した。以下にそれぞれの緊張材について考察する。

4.1 PC 鋼棒 φ 13

荷重－変位グラフを図－ 1 5 に示す。3 体全ての供試体において B 種 1 号の規格荷重 143.3kN までは線形挙動を示しており、十分な引抜き耐力を有していることを確認した。規格荷重以降も載荷を継続したが、150kN を超えたところで降伏挙動を示したため、安全上の理由から載荷を終了した。なお最大荷重まで端部すべりは、発生しなかった。



図－ 1 5 緊張材の変位 (φ 13)

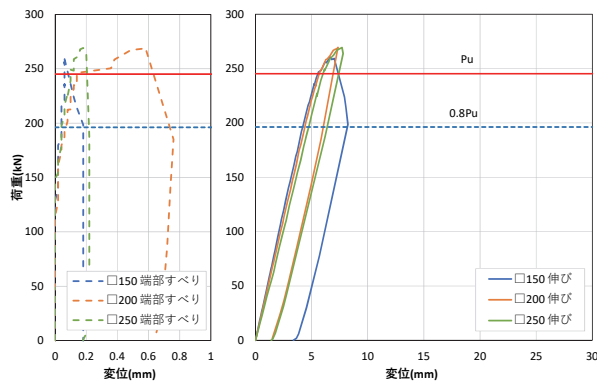
4.2 PC 鋼棒 φ 17

同様に荷重－変位グラフを図－ 1 6 に示す。□200 mm, 250 mm の供試体においては、B 種 1 号の規格荷重 245.2 kN までは、線形挙動を示し、十分な引抜き耐力を確認した。その後 250 kN を超えたところで降伏挙動が確認されたため載荷を終了した。一方、□150 mm の供試験体においては、載荷荷重 190 kN 付近で母材コンクリートに割裂ひび割れが発生した。ひび割れ発生後も載荷を継続し、規格荷重までの載荷し試験を終了した。ひび割れの発生状況を図－ 1 7 に示す。この結果から、φ 17 mm の PC 鋼棒を用いる場合、少なくとも 200 mm 以上の部材厚さがあれば割裂ひび割れは生じないと判断される。

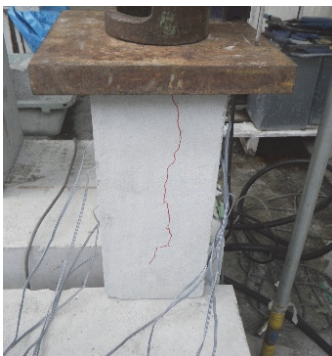
表－ 7 最大荷重

緊張材		PC 鋼棒		炭素繊維複合材ケーブル		
種別		φ 13	φ 17	1×7-10.5 φ	1×7-12.5 φ	
規格荷重 *補償破断荷重		143.3 kN	245.2 kN	141 kN*	184 kN*	
先端加工		リングナット式 L 30 mm	リングナット式 L 30 mm	スリーブ式 L 300 mm	解撚式一房 L 140 mm	解撚式二房 L 350 mm
断面寸法	□150	163.8 kN	259.2 kN (ひび割れ発生)	—	199.6 kN	—
	□200	165.6 kN	269.5 kN	150.7 kN	200.2 kN	190.1 kN
	□250	164.2 kN	269.3 kN	151.3 kN	200.2 kN	200.4 kN

また、□150 mm, 250 mm 供試体では、緊張材の端部すべりは、ほとんど発生しなかったものの、□200 mm 供試体では、最大荷重時に 0.68 mm の端部すべりがみられた。これは、緊張材の降伏後に端部すべりが大きく進行したものであるが、断面寸法との相関はうかがえない。ただし、実際の緊張時 (0.8Pu 相当) の端部すべりは、0.08 mm と極めて小さく、適用を想定する緊張材長さ 2 m における影響は 1 %未満で、ほぼ無視できるものと考えられる。



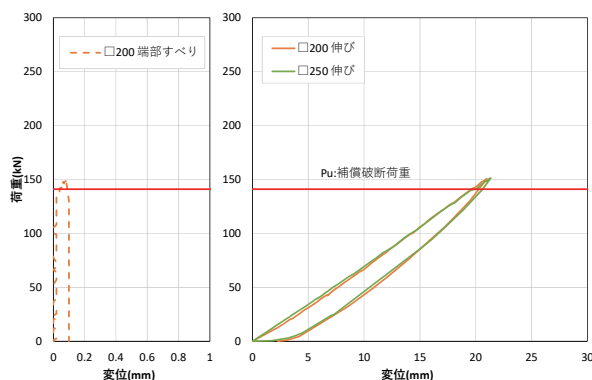
図－１６ 緊張材の変位 (φ17)



図－１７ ひび割れ発生状況(φ17-□150 190kN)

4.3 炭素繊維複合材ケーブル 1×7-10.5φスリーブ式

10.5 φ のスリーブを装着した炭素繊維複合材ケーブルの荷重－変位グラフを図－１８に示す。いずれの試験に



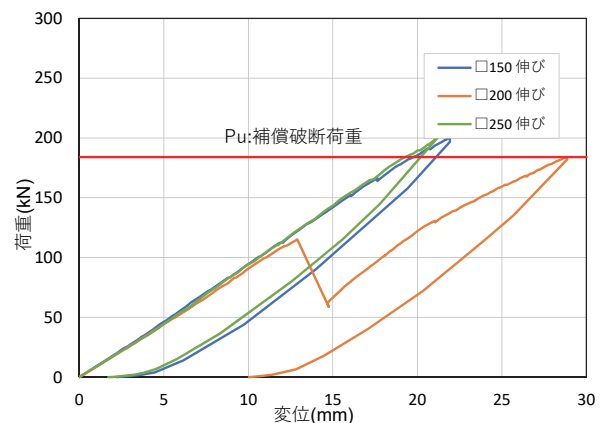
図－１８ 緊張材の変位 (10.5φ-スリーブ式)

においても補償破断荷重 141 kN を超えても線形挙動を示しており、十分な引き抜き耐力を確認した。なお最大荷重まで端部すべりは、発生しなかった。

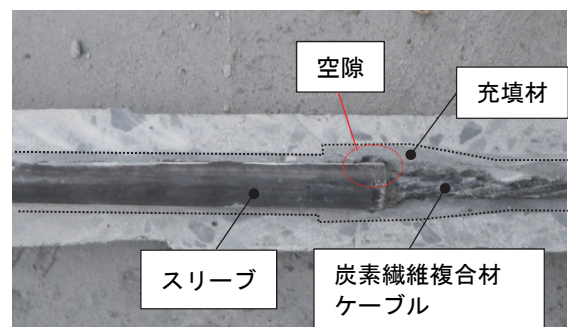
4.4 炭素繊維複合材ケーブル 1×7-12.5φスリーブ式

12.5 φ のスリーブを装着した炭素繊維複合材ケーブルの荷重－変位グラフを図－１９に示す。□150 mm, 250 mm の供試体においては、補償破断荷重 184 kN を超えても線形挙動を示し、十分な引抜き耐力を確認した。一方、□200 mm の供試体では、荷重 110 kN を超えたところで緊張材に約 2 mm の伸びが突然発生し、荷重が 50 %まで低減した。その後、再び荷重を増加でき、規格荷重まで載荷できた。

試験後に、荷重が急減した原因を調べるため、固定定着部を切り出して内部の破損状況を確認した(図－２０)。固定定着部の内部では、スリーブ部の不具合や充填材の圧壊等はみられなかったもののスリーブ端部に空隙が観察された。これは、先端部充填材を注入後、緊張材先端部を孔内に配置する際に空気を巻き込み空隙が発生したものと推察する。スリーブ式は先端加工部の充実断面延長が長くなるため、拡張削孔部内への挿入が困難となるため注意が必要である。



図－１９ 緊張材の変位 (12.5φ-スリーブ式)

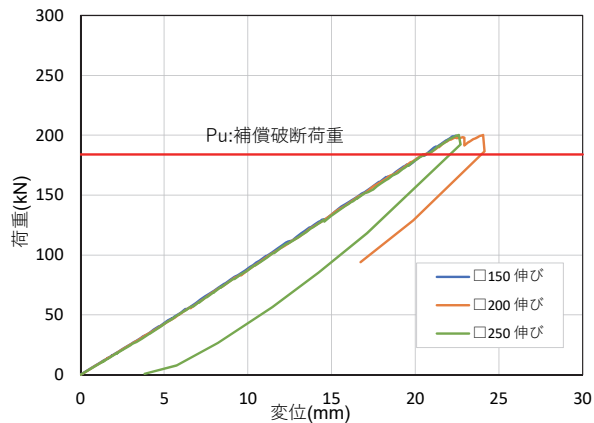


図－２０ 内部状況 (12.5φ-スリーブ式-□200)

4.5 炭素繊維複合材ケーブル 12.5φ解熱式一房

解熱式炭素繊維複合材ケーブル (一房) の荷重－変位グラフを図－２１に示す。他の試験と同様に全ての供試

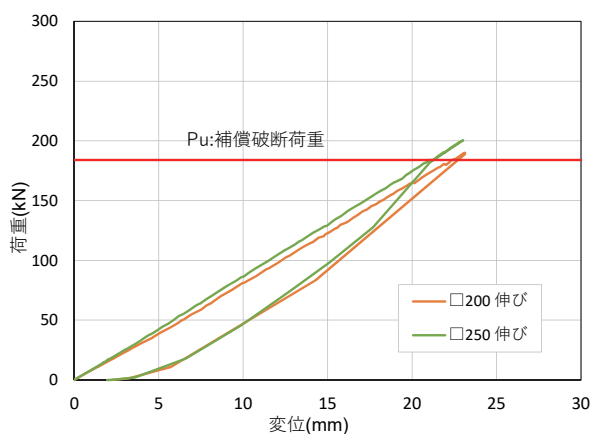
体において補償破断荷重 184 kN を超えても線形挙動を示した。最大荷重 200 kN 程度と十分な引抜き耐力を確認した。この結果は、緊張材の先端加工として、解撚式一房でも十分な引抜き耐力を発現することを意味しており、現場で容易に形成・加工が可能のため、実用性に優れるものと考えられる。



図－２１ 緊張材の変位（12.5φ-解撚式一房）

4.6 炭素繊維複合材ケーブル 12.5φ解撚式二房

解撚式炭素繊維複合材ケーブル（二房）の荷重－変位グラフを図－２２に示す。一房でも十分な引抜き耐力を示した結果から推察されるように、二房においても補償破断荷重 184 kN を十分に超過でき、優れた引抜き耐力を確認した。これらの結果より、解撚式一房でも先端加工として充分であることが分かった。



図－２２ 緊張材の変位（12.5φ-解撚式二房）

5. まとめ

本研究では、このプレストレス内部補強工法を薄肉部材にも適用できるようコンクリートの必要部材厚さを調べるとともに先端部加工方法を変えた小径緊張材の引抜き試験を実施した。得られた知見を以下に列挙する。

- ・ リングナット式の PC 鋼棒（B 種 1 号）の場合、φ 13

mm では部材厚さ 150 mm～250 mm、φ 17 mm では同 200 mm～250 mm への適用性がうかがえた。

- ・ スリーブ式の炭素繊維複合材ケーブルの場合、1×7-10.5φでは部材厚さ 200 mm～250 mm、1×7-12.5φでは同 150 mm～250 mm への適用性がうかがえるものの、施工性に課題があり、固定定着部に空隙が発生する等の懸念がある。
- ・ 解撚式の炭素繊維複合材ケーブルの場合、一房でも部材厚さ 150 mm～250 mm への適用性がうかがえ、十分な引抜き耐力が得られたこと、また現場での加工の容易性や経済性の観点から、この方法が望ましいものと判断された。

今後は、小径緊張材を用いたプレストレス補強工法の実用化に向けて、ここで得られた知見を基に、水平方向への適用性も含め実施工を想定した実物大試験を実施する予定である。

謝辞

本研究は、(株)シブヤ、日本プライススリーブ(株)の 2 社に多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 三本竜彦, 溝垣道男, 山根隆志, 吉武 勇: 中間定着部を用いたプレストレス導入工法に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.1357-1362, 2013.
- 2) Mimoto, T., Sakaki, T., Mihara, T. and Yoshitake, I. : Strengthening system using post-tension tendon with an internal anchorage of concrete members, *Engineering Structures*, Vol.124, pp.29-35, 2016.
- 3) Mimoto, T., Yoshitake, I., Sakaki, T. and Mihara, T. : Full scale flexural test of jointed concrete members strengthened with post-tension tendons with internal anchorage, *Engineering Structures*, Vol.128, pp.139-148, 2016.
- 4) 三原孝文, 三本竜彦, 児島大輔: 固定定着体を有する既設構造物プレストレス導入工法の水平施工適用実験報告, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.24, pp.445-448, 2015.
- 5) 三原孝文, 三本竜彦, 倉富芳朗, 蛇川真大, 吉武 勇: 内的固定定着部を用いたポストテンション方式プレストレス導入工法の実構造物への適用と先端部充填材に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.17, pp.587-592, 2017.