

プレストレス内部補強工法の固定定着部に用いる小径緊張材の引抜き実験と有限要素解析

山口大学大学院 学生会員 ○宮地和博

極東興和株式会社 正会員 三原孝文

東京製綱インターナショナル株式会社 正会員 小野雅樹

山口大学大学院 正会員 吉武 勇

1. はじめに

既設コンクリート構造物に拡径削孔により内部くさびを形成し、セメント系の先端部充填材を用いて PC 鋼材を固定定着し内部からポストテンション方式でプレストレスを導入する補強工法が開発された¹⁾。また、特定の高強度モルタルを用い、かつ緊張材を定着する既設コンクリート部材断面の一边が 400mm 以上であれば、緊張材として $\phi 23\text{mm}$ の PC 鋼棒 B 種 1 号の適用性が確認されている。本研究では、コンクリート橋張出し床版部などの厚さ 250mm 以下となる薄い部材にも上記の補強工法を適用できるように小径の緊張材を用いるため、緊張材を定着するコンクリートの部材寸法と緊張材種をパラメータとして引抜き力に対する固定定着部の定着性能について調べた。

2. 引抜き実験および有限要素解析方法

引抜き実験では、緊張材の引張破壊が先行するように PC 鋼棒 B 種 1 号の規格引張荷重値以上の荷重を作用させるため、C 種 1 号 $\phi 13\text{mm}$ と $\phi 17\text{mm}$ および $\phi 10.5\text{mm}$ と $\phi 12.5\text{mm}$ の CFRP スtrand (7 本より線) を定着した異なる寸法のコンクリート供試体を用いた。固定定着部の定着耐力を調べる目的で、各緊張材の規格引張荷重値 (P_n) 以上の引抜き力を載荷した (図-1)。使用した緊張材とコンクリート部材寸法の組合せを表-1 に示す。緊張材として検討した CFRP スtrand は、PC 鋼棒と比べてリングナットと同様の先端加工が困

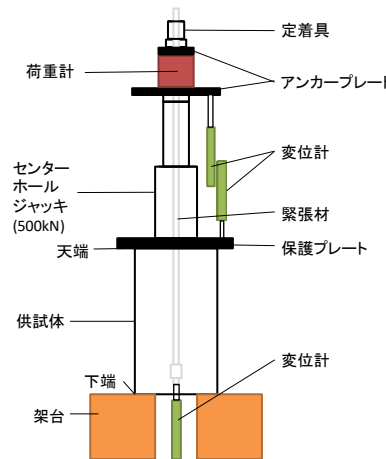


図-1 引抜き実験



(a) スリーブ式



(b) 解撚式(一房)

図-2 先端加工形状

難であるため、鋼管と膨張材を用いて作製したスリーブ式 (図-2(a)) と先端部の単線を解いて房を形成した解撚式 (図-2(b)) との 2 種類の加工を施した緊張材を準備した。また、コンクリート表面に長さ 60mm のひずみゲージを緊張材の軸方向および周方向に貼付した。充填材には既往の研究において十分な定着性能が確認されている高強度モルタルを使用した。

$\phi 13\text{mm}$ と $\phi 17\text{mm}$ の PC 鋼棒 C 種 1 号を用いた場合の引抜き実験の結果を踏まえて FEM ソフトウェア (ANSYS) を用いて供試体高さが載荷面の寸法の 2 倍以上の寸法である $150 \times 150 \times 500\text{mm}$ のモデルを作成し、プレストレス力の伝達挙動を把握するために有限要素解析 (以下、FE 解析) を行った。FE 解析に用いた材料物性を表-2 に示す。また既往の研究から緊張材

表-1 要素供試体一覧

緊張材	PC 鋼棒		CFRP スtrand	緊張材	CFRP スtrand		
	$\phi 13$	$\phi 17$	7 本より $\phi 12.5$		7 本より $\phi 12.5$	7 本より $\phi 10.5$	
規格引張荷重	143.3kN	245.2kN	184kN ^(a)	規格引張荷重	184kN ^(a)	141kN ^(a)	
先端加工形状	リングナット	リングナット	解撚式一房	先端加工形状	解撚式二房	スリーブ式	スリーブ式
150×150×350mm	1	1	1	150×150×600mm	-	1	-
200×200×350mm	1	1	1	200×200×600mm	1	1	1
250×250×350mm	1	1	1	250×250×600mm	1	1	1

(a) 実験当時の規格引張荷重 (2019 年)

キーワード プレストレス, 内部補強, 小径緊張材, 先端加工, CFRP スtrand, FE 解析

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 TEL0836-85-9306

表-2 材料物性値

材料	ヤング係数 (GPa)	ポアソン比	圧縮強度
			割裂強度
コンクリート	30.5	0.19	38.7MPa
			3.16MPa
モルタル	39.2	0.23	116.1MPa
			7.26MPa
PC 鋼棒	201	0.30	
CFRP ストランド	155	0.30	

と充填材の付着による荷重伝達が行われているという結果を考慮し、緊張材と充填材が完全に接着したモデルを採用した。

3. 実験および解析結果

各引抜き実験における最大引抜き荷重を表-3 に示す。いずれの緊張材とコンクリート部材寸法の組合せにおいても緊張材の規格引張荷重値 (P_u) 以上の荷重に対してコンクリート部材が破壊することなく、固定定着部は十分な性能を有していた。

$\phi 13\text{mm}$ および $\phi 17\text{mm}$ の PC 鋼棒を使用した場合、引抜き力が通常の使用状態におけるプレストレスング中において緊張材に導入される緊張力 $0.8P_u$ の時点で、部材寸法が 150mm のコンクリート側面の周方向引張ひずみはそれぞれ最大 58.7×10^{-6} 、 95.2×10^{-6} であり、コンクリートの割裂強度から求めたひずみ (104×10^{-6}) を下回る値であった。図-3 に CFRP ストランドを使用した場合のコンクリートの周方向ひずみについて、代表して部材寸法が 250mm の結果を示す。先端加工が解燃式一房および二房の場合、引抜き荷重が $0.8P_u$ 時点でひずみが概ね一致することから、解燃式二房について供試体下端から数えて一つ目の解燃房が、くさび形の荷重伝達構造へ与える影響は小さいと考えられる。また、スリーブ式に関しても解燃式と同程度のひずみ分布を示した。

引抜き荷重が $0.6P_u$ (設計プレストレス力) の時点におけるコンクリート表面の FE 解析による軸方向ひずみ分布を図-4 に示す。PC 鋼棒 $\phi 17\text{mm}$ の固定定着部周辺におけるコンクリート表面の軸方向ひずみは、内部くさびの先端から 45° 方向へ表面に達したコンクリートの天端から $150 \sim 250\text{mm}$ の区間で一定となった。これは、既往の研究¹⁾において緊張材として $\phi 23\text{mm}$ の PC 鋼棒 B 種 1 号、モデル寸法を $400 \times 400 \times 1300\text{mm}$ とした解析と同様の伝達挙動を示した。これにより小径化した PC 鋼材 $\phi 13\text{mm}$ 、 $\phi 17\text{mm}$ を用いても同様の伝達挙動を示したことから、本研究の範囲内では、PC 鋼棒の直径やコンクリート断面寸法の大きさにはよら

表-3 最大引抜き荷重 (kN)

供試体	$\phi 13$	$\phi 17$	解燃 1 房 $\phi 12.5$	解燃 2 房 $\phi 12.5$	SL ^{a)} $\phi 12.5$	SL ^{a)} $\phi 10.5$
□150 ^{b)}	163.8	260.6	199.6	N/A	200.6	N/A
□200 ^{c)}	165.6	269.5	200.2	190.1	184.0	150.7
□250 ^{d)}	164.2	269.3	200.2	200.4	200.2	151.3

^{a)}SL=スリーブ ^{b)} $150 \times 150\text{mm}$ ^{c)} $200 \times 200\text{mm}$ ^{d)} $250 \times 250\text{mm}$

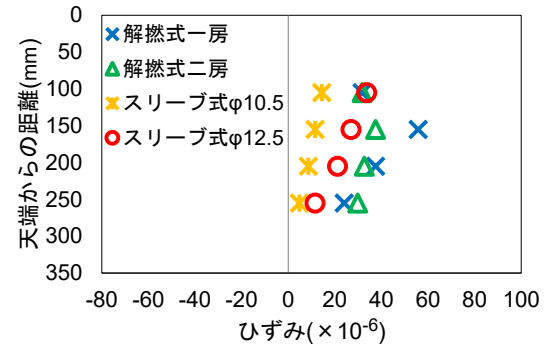


図-3 コンクリート表面の周方向ひずみ
(引抜き荷重 $0.8P_u$ 時点)

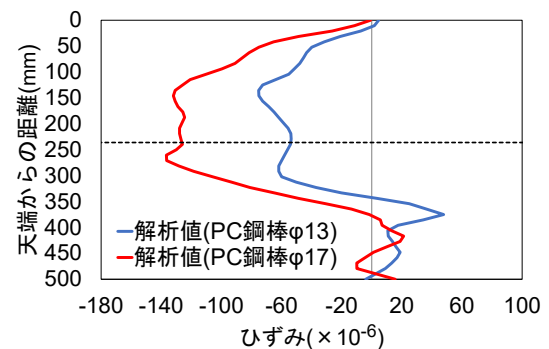


図-4 コンクリート表面の軸方向ひずみ
(引抜き荷重 $0.6P_u$ 時点)

ず、コンクリート部材にプレストレス力を適切に導入できることがわかった。

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた結論を以下に示す。

- (1) すべての緊張材とコンクリート部材寸法の組合せにおいて、固定定着部は各緊張材の規格引張荷重値 (P_u) 以上の耐荷性能を有していた。
- (2) CFRP ストランドを使用した場合、引抜き荷重が $0.8P_u$ 時点でコンクリート表面の周方向ひずみが概ね一致したことから、各種先端加工形状を使用した固定定着部は同程度の定着性能を示した。
- (3) PC 鋼棒 $\phi 13\text{mm}$ と $\phi 17\text{mm}$ においても、既往の研究と同様のプレストレス力の伝達挙動を示すことを FE 解析より確認した。

【参考文献】

- 1) 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.