

論文 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

三本竜彦*1・溝垣道男*2・山根隆志*3・吉武 勇*4

要旨: 既設コンクリート構造物の内部補強や新旧部材の一体化を実現する方法として、中間定着部を有するプレストレス導入工法を考案した。本稿ではその構造概要および中間定着部の構築方法を報告する。中間定着部の耐荷性能を調べるため、φ23mmのPC鋼棒を使用した実大供試体による載荷実験を行った。その結果、中間定着部はSBPR930/1080(丸鋼B種1号)の規格破断荷重を上回る耐荷性能を有すること、中間定着部におけるPC鋼材の引抜力に対する抜け出し量は、内部くさび効果が作用するため急激に増加することがないことを確認した。

キーワード: 定着, 拡径削孔, 内部くさび, プレストレス, 補強

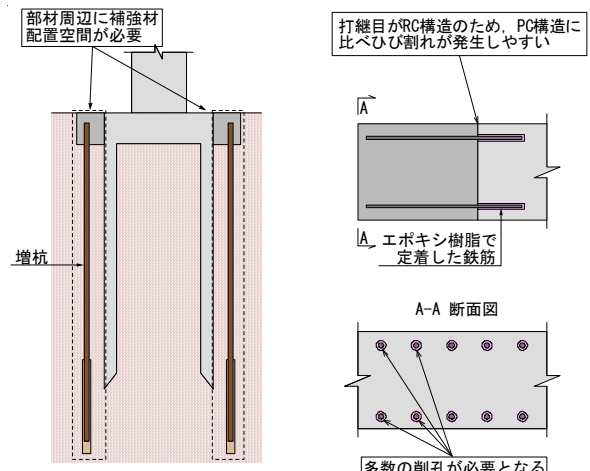
1. はじめに

これまで多くのコンクリート構造物が、人々の安心・安全を守り、生活や暮らしを向上させるための社会資本として建設されてきた。今後は、持続可能な社会を構築していくために、これまでに建設してきたコンクリート構造物を、ニーズの変化に応じて補強・改良し、有効利用していくことが求められている。

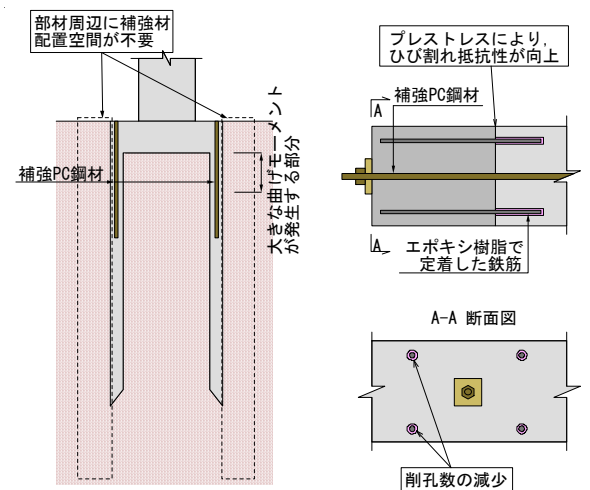
既設コンクリート構造物を補強する場合、一般に、鋼板や連続繊維シートを部材外に補強材として配置する方法、コンクリート断面を増厚する方法、部材外に配置した緊張材によりプレストレスを導入する方法等がある¹⁾。これらはいずれも補強しようとする部材の周辺に補強材を配置する空間が必要になるため、周辺環境条件やコスト、技術的な問題等により実施が困難であるケースが少なくない(図-1a)。

また、既設コンクリート構造物に新たにコンクリートを打ち足して部材を追加することがあるが、このような場合、コンクリート部材同士の接続はエポキシ樹脂等によって既設コンクリートに定着した鉄筋を用いたRC構造による接続とすることが一般的である。この構造では、既設コンクリートに鉄筋を定着するため多数の削孔が必要となることがあり、既設鉄筋を避けた位置への削孔が困難となる場合がある。さらに、耐久性の観点から弱点となりやすい打継ぎ部がRC構造であるため、PC構造に比べひび割れが生じやすい(図-1b)。

本研究では、既設コンクリート内部を拡径削孔し、埋設した(以下、中間定着と表記)PC鋼材を用いてプレストレスを導入することで、既設構造物の内部補強あるいは新旧部材の一体化を図る工法を考案した。この工法の主な特長を以下に述べる(図-2)。



a)基礎構造物を補強する場合 b)部材の追加を行う場合
図-1 既設構造物を補強・改良する場合の問題点



a)基礎構造物を内部補強する場合 b)部材の追加を行う場合
図-2 中間定着したプレストレス導入工法の利点

*1 極東興和(株) 事業本部事業推進部技術企画課 課長代理 (正会員)

*2 極東興和(株) 事業本部事業推進部技術企画課 課長

*3 極東興和(株) 事業本部事業推進部 部長

*4 山口大学大学院 理工学研究科 准教授 博(工) (正会員)

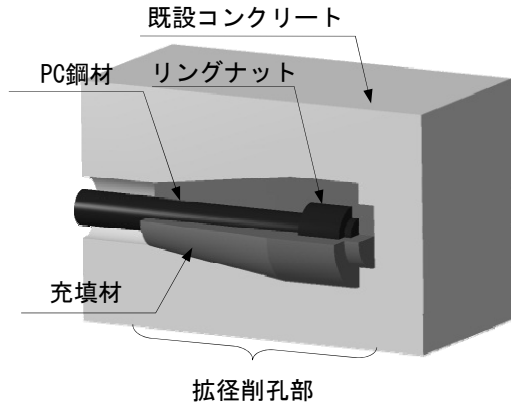


図-3 中間定着部の構造

- (1) 削孔，緊張に必要な作業空間が確保できればプレストレスによる部材補強が可能であり，部材周辺に追加部材を設置する空間が不要である。
- (2) 新旧コンクリートを一体化する場合，プレストレスにより樹脂アンカー本数を少なくできる。
- (3) 新旧コンクリートの打継目にプレストレスが作用するためひび割れ抵抗性が向上する。

本報では，中間定着部を有するプレストレス導入工法の概要を述べるとともに，中間定着部の耐荷性能を調べるため実施した実大供試体による載荷実験により得られた知見を報告する。

2. 工法の概要

2.1 中間定着部の特徴

本工法ではコア削孔した既設コンクリート内に挿入した PC 鋼材の先端部を固定するため，図-3に示す中間定着部を構築する。中間定着部は削孔した既設コンクリート，リングナットを装着した PC 鋼材，中間定着部の既設コンクリートと PC 鋼材の空隙部に注入する充填材で構成され，中間定着部の既設コンクリートは定着構造をコンパクトにするため，円錐台と円筒を組み合わせた形状で拡張削孔している。この削孔形状により，PC 鋼材に緊張力が作用した際に充填材がコンクリート内で“内部くさび”の役目を果たし，引抜力に対して抵抗する効果が期待できる。

2.2 拡張削孔方法

拡張削孔は写真-1に示す専用の拡張ビットを用いて行う。拡張ビットはコンクリート面を削るセグメントを取り付けたケーシングと，先端リングと結合したシャフトから構成されており，シャフトの外径は途中で野球バットに類似した膨らみを有する形状となっている。コア削孔部に挿入したビットの先端リングが削孔先端に達した後，ケーシングを回転しながらさらに奥に押し込むことで，ケーシング内に格納しているセグメントがシ

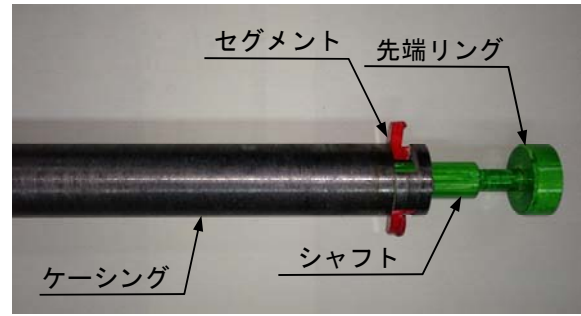


写真-1 拡張ビット

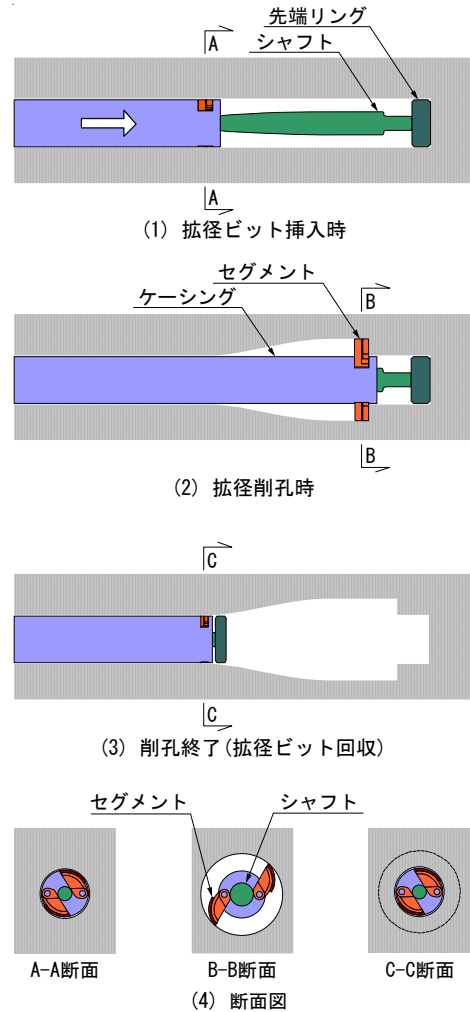


図-4 拡張ビット概要図

ャフトの形状に応じて外周へ徐々に押し出され，コンクリート内部に円錐台と円筒を組み合わせたダクトを形成するように拡張削孔する（図-4）。先端リング付近のシャフトには膨らみがないため，ケーシングを先端まで押し込むと，拡張削孔前のビットと同様にセグメントをケーシング内に格納することが可能であり，削孔後に拡張ビットを引き抜いて回収することができる構造となっている。

拡張ビットによる削孔形状を確認するため，拡張削孔後の内部に型取り材を充填して硬化させたサンプルを



写真-2 拡径削孔形状

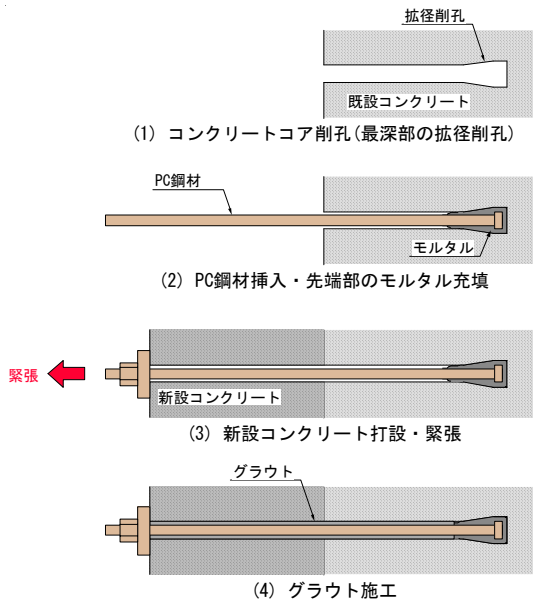


図-5 施工手順

写真-2に示す。

2.3 施工手順

本工法の施工手順を以下に示す(図-5)。

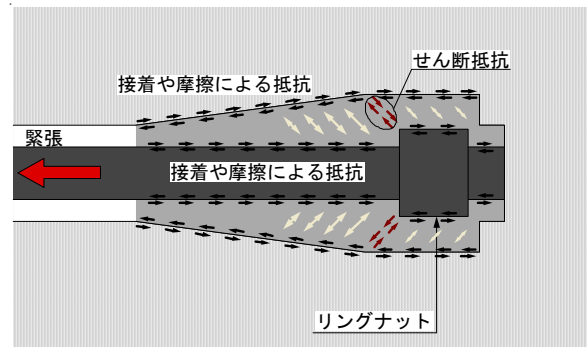
- (1) 既設コンクリートにコア削孔した後、最深部を拡径削孔する。
- (2) リングナットを装着したPC鋼材先端を充填材により固定する。
- (3) 部材増設の場合は、新設コンクリート部材を施工する。
- (4) 中間定着部の充填材および新設コンクリートの強度が所定の値に達した後に、PC鋼材を緊張する。
- (5) PC鋼材周辺にグラウトを充填し、PC鋼材の防錆および部材との一体化を図る。

3. 中間定着部の耐荷性能実験

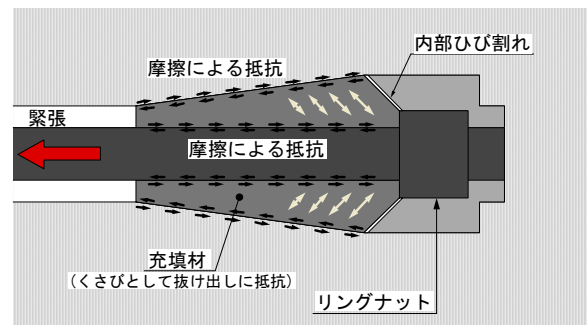
3.1 中間定着部の荷重伝達機構

中間定着部の荷重伝達機構は、緊張力の増加によって以下のように推移するものと予測される(図-6)。

引抜力の小さい緊張初期の状態 a)では、リングナット



a) 緊張初期の荷重伝達機構



b) 内部ひび割れが生じた後の荷重伝達機構

図-6 中間定着部の荷重伝達機構

と充填材の機械的な噛み合いによって生じる充填材のせん断抵抗と、充填材とPC鋼材や既設コンクリートの接着や摩擦による抵抗によって、緊張力が既設コンクリートに伝達する²⁾。このうち充填材の接着による抵抗は相対ずれが生じた時点で喪失すると考えられ、その後は充填材のせん断抵抗と摩擦抵抗により荷重を伝達する。

緊張による引抜力が増加して充填材に内部ひび割れが生じたb)の状態においては、リングナット前面の充填材がコンクリート内で“内部くさび”となって、PC鋼材の若干の抜け出しを伴いながら引抜力に抵抗する。このとき充填材の円周直角方向には圧縮力が作用するため、充填材とPC鋼材や既設コンクリートの摩擦による抵抗も増加する。

このように複雑な荷重伝達機構を有すると推定される中間定着部の耐荷性能を把握するため、実大サイズの要素試験体を用いた載荷実験を実施した。

3.2 材料および試験体形状

(1) PC鋼材

本実験では、既設構造物への適用を踏まえてφ23mmのPC鋼棒を使用した。用いたPC鋼棒はJIS G 3109に適合する種類のうち、引張強さおよび降伏耐力が最も高いSBPR1080/1230(丸鋼C種1号)である。

(2) 削孔形状

標準のコア削孔部の削孔径は、PC鋼棒の挿入や防錆のためのグラウト充填等を考慮してφ42mmとした。拡径

削孔部は拡径ビットで削孔可能な形状とし、内部くさび形状に影響する円錐台削孔部はφ70mmへの削孔径変化を100mmの長さで削孔する形状とした。φ70mm一定径の区間は50mmの長さとしたが、これはリングナットから伝達される充填材の圧縮力分布が45°で分布すると仮定したとき、円錐台の削孔面に圧縮力（支圧力）が有効に作用するように定めたものである（図-7）。

(3) リングナット

鋼棒に装着するリングナットの外径はコア削孔部の外径に対し、挿入時の余裕を考慮してφ38mmとし、ナットの高さは30mmとした。なおリングナットの材質はSS400である。

(4) 充填材

PC鋼棒と既設コンクリート部材は充填材を介して一体化すること、また拡径削孔した定着部に隅々まで充填する必要があることから、充填材に用いるモルタルにはプレストレスを伝達しうる強度のほか、流動性、無収縮性、ノンブリージングといった性能が求められる。そのため本試験では一般的に使用されている設計基準強度50N/mm²相当のモルタルではなく、SD685等の高強度鉄筋用モルタル充填継手の充填材として開発された設計基準強度100N/mm²の高強度モルタルを使用した³⁾。このモルタルはセメント、混和剤、細骨材をあらかじめ混合された材料に水を加えて練り混ぜるプレミックスタイプであり、現場で安定した品質が確保可能な無収縮性の高強度モルタルである。モルタルの配合および載荷試験時の圧縮強度（材齢8日）を表-1に示す。

3.3 供試体

本実験で用いた実大供試体の概要を図-7に示す。供試体は中間定着部を模した要素試験体とコンクリートブロックで構成している。本実験では荷重伝達における重要な要素である充填材に先行してひび割れが生じる状態を対象としたことから、PC鋼棒を中間定着するコンクリートブロック（0.5m×0.5m×1.0m）には、定着部の引抜力に対して十分な強度を確保し、またジャッキの反力台として十分な剛性を得るため、表-2に示す設計基準強度50N/mm²のコンクリートとした。なお、ブロックの中心にはコンクリート打設前に削孔を模したダクト（φ42mm～φ70mm）を設置した。

充填材の拡径部への充填は、鉛直方向へのプレストレス導入を想定して中間定着部が下となるようにコンクリートブロックを立てた状態で実施し、PC鋼棒の挿入前に注入ホースをダクト内に配置して上面から自由充填させた。モルタルを充填した後、リングナットを装着したPC鋼棒をダクト内に挿入し、屋外で8日間静置して養生した。なおPC鋼棒には実施工を想定してロックボルト用のちょうちん型スペーサーを孔内の2箇所を取

表-1 高強度モルタルの配合、圧縮強度

プレミック材	水	圧縮強度（実測）
25kg/袋	3.0kg/袋	100.0N/mm ²

※ 配合はモルタル1袋あたりの数量を示す

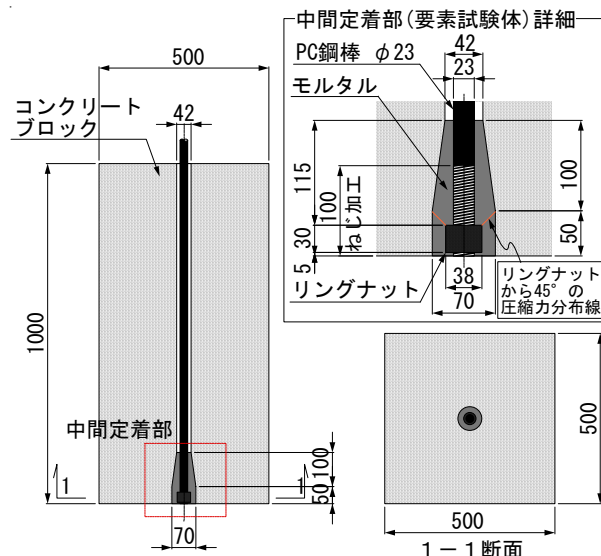


図-7 供試体形状（単位：mm）

表-2 コンクリートブロックの配合と力学物性

材 料	種 類	単 位 量 (kg/m ³)
水	地下水	151
セメント	早強セメント	419
細骨材	島根県江津産	732
粗骨材	島根県江津産	1049
混和剤	高性能減水剤	3.35
圧縮強度（実測）		52.2N/mm ²
ヤング係数（実績）		33.8~36.3kN/mm ²

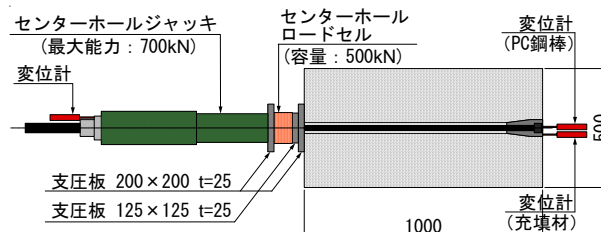


図-8 載荷試験方法（単位：mm）

り付け、削孔中心に鋼棒を配置できるように固定した。

3.4 実験方法

荷重載荷は実際の施工と同様に、緊張端に設けたセンターホールジャッキ（最大能力：700kN）によりPC鋼材にプレストレスを導入する方法で中間定着部に引抜力を作用させた（図-8）。載荷はPC鋼棒の降伏耐力（448.7kN）まで緊張力を漸増する単調載荷とした。PC鋼棒に導入した緊張力はジャッキとコンクリートブ

ックの間に設置したセンターホール型ロードセル（容量：500kN）により計測した。

またPC鋼棒の伸びと中間定着部のPC鋼棒の抜け出し量を求めるため、図-8に示す3箇所に変位計を設置した。PC鋼棒の抜け出し量は中間定着部の鋼棒先端と充填材の2箇所の計測値の差から求め、PC鋼棒の伸びはセンターホールジャッキのストローク伸び計測値からPC鋼棒の抜け出し量を差し引いて求めた。

3.5 実験結果

PC鋼棒の緊張力と伸びの関係、緊張力とPC鋼棒の抜け出し量の関係を図-9に示す。

PC鋼棒の伸びは緊張力が400kNに達するまではほぼ線形挙動を示したが、それ以降は明瞭な降伏点を示さず、伸びが増加するPC鋼材特有の非線形挙動を示した。土木学会のコンクリート標準示方書⁴⁾に従い求めたPC鋼棒の比例限界は429kNであり、試験結果は概ね一致する。

緊張力が230kNを超えたあたりからPC鋼棒の抜け出しが観察されたが、抜け出し量が急激に増加することはなく、緊張力の増加と比例して安定して増加する傾向を示した。このため、中間定着部の荷重伝達機構はPC鋼棒の抜け出しが生じた後も有効に機能するものと判断される。

PC鋼材の緊張力が降伏耐力を超える449.6kNまで達しても中間定着部は破壊に至らなかったことから、その時点で試験を打ち切り、緊張力を開放した。PC鋼棒の最大抜け出し量は1.4mmであった（写真-3）。

載荷試験後、供試体をPC鋼棒配置方向に切断し、中間定着部のひび割れ発生状況を確認した（写真-4）。充填材の内部ひび割れはリングナット周辺に多く発生しており、ひび割れ幅が0.5mm程度の比較的大きいひび割れはリングナット前面に作用する支圧分布と一致する方向に発生している。このことから、リングナットと充填材の機械的なかみ合いが中間定着部の荷重伝達に大きく寄与していることがわかる。またコンクリートと充填材の境界面に微細なひび割れの発生がみられたことから、PC鋼材の安定した抜け出しを伴いながら引抜力に抵抗する挙動を示したのは、充填材の一部がコンクリートとずれを生じながら内部くさびとして有効に機能したものと推察される。

以上の結果から、本試験で用いたPC鋼棒φ23の中間定着構造はSBPR1080/1230（丸鋼C種1号）の降伏耐力以上の耐荷性能を有することが確認できた。

4. 中間定着部の適用性について

土木学会のコンクリート標準示方書⁵⁾では、ポストテンション方式のプレストレストコンクリートに使用する定着具の性能として、緊張材の規格に定められた引張

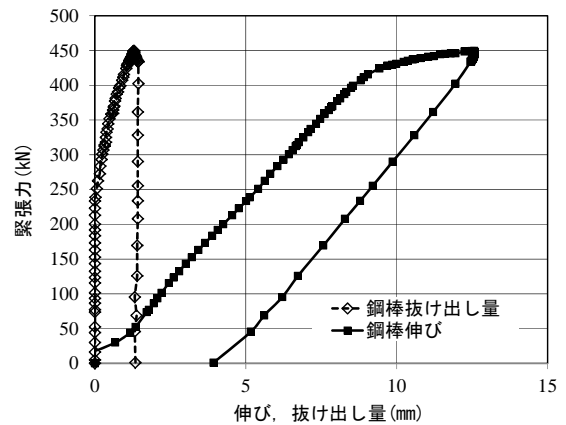


図-9 緊張力-伸び、緊張力-抜け出し量の関係

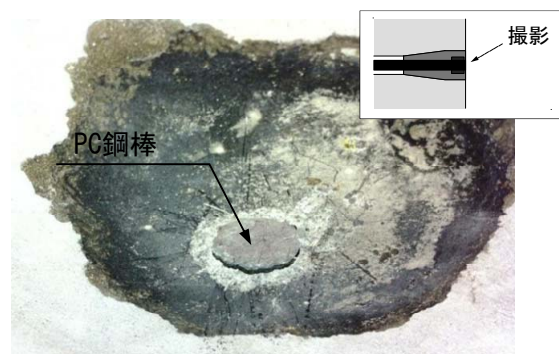


写真-3 PC鋼棒抜け出し状況(除荷後)

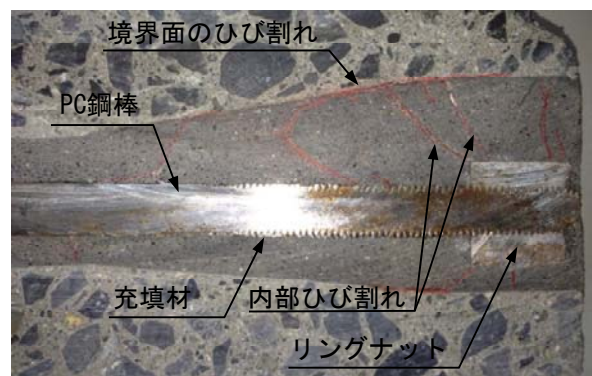


写真-4 中間定着部切断状況

荷重値に耐えることが要求されている。研究対象の中間定着構造は一般的な定着具を使用せず、PC鋼棒とリングナット、モルタルで構成する定着構造であるが、コンクリート標準示方書の規定に準じて適用性を考察した。

本試験で用いたPC鋼棒φ23mmの中間定着構造は最大荷重449.6kNまで破壊しないことを確認したが、この最大荷重はSBPR930/1080（丸鋼B種1号）の規格引張荷重値（表-3）を上回る荷重である。したがって、実構造物においてはSBPR930/1080（丸鋼B種1号）やSBPR785/1030（丸鋼A種2号）の鋼材を使用することで、定着部に求められる性能を満足することができる。

表-3 PC鋼棒φ23mmの規格値

記号(種類)	降伏耐力	引張荷重
SBPR785/1030(丸鋼A種2号)	326.1kN	427.9kN
SBPR930/1080(丸鋼B種1号)	386.4kN	448.7kN
SBPR930/1180(丸鋼B種2号)	386.4kN	490.2kN
SBPR1080/1230(丸鋼C種1号)	448.7kN	511.0kN

5. 水平方向施工への適用性について

先述の実験ではPC鋼材を鉛直方向に配置したケースを想定して検討したが、PC鋼材を水平方向に配置するケースにおいては、注入した充填材が重力によって拡径部の外に流出するのを防止するためのパッキン等を設置しなければならない。充填材の注入がPC鋼材配置前に可能である鉛直方向施工とは異なり、水平方向施工ではパッキンを取り付けたPC鋼材を配置した後に充填材を注入することが基本となる。

PC鋼材配置後に充填材を注入する場合、注入に使用するパイプはPC鋼材のクリアランスを考慮するため、最大径を9mm程度とする必要があり、モルタルでは注入が困難となることが予想された。そこで水平方向施工の場合にはパイプ径が9mm程度であっても注入が可能であるエポキシ樹脂を充填材に使用することを検討した。拡径削孔形状に加工した透明アクリルパイプを使用した充填状況の確認実験では、一部未充填箇所が残るものの内部くさびとして機能する円錐台部は良好な充填状況を示した(写真-5)。

ただし充填材は長期に渡りPC鋼材の引抜きによる支圧力を受けることから、エポキシ樹脂の耐荷性能や長期耐久性の確認が今後の課題と考えている。



(1) 注入開始時



(2) 注入完了

写真-5 エポキシ樹脂充填状況

6. まとめ

本研究では、拡径した中間定着部の実大供試体による載荷実験を実施し、PC鋼棒φ23mmを使用した場合における中間定着構造の耐荷性能を調べた。本研究で得られた主な結論を以下に示す。

- (1) 実大規模の試験体を用いた実験による最大荷重は、SBPR1080/1230(丸鋼C種1号)の降伏耐力以上であり、SBPR930/1080(丸鋼B種1号)の規格引張荷重を上回る耐荷性能を確認できた。
- (2) 中間定着部ではPC鋼棒の抜け出しは生じたものの、抜け出し量は急激に増加することなく、引抜き荷重に応じて線形的に増加する傾向を示した。このことから、PC鋼棒の抜け出しが生じた後も、内部くさび効果により中間定着部の荷重伝達機構は有効に機能することがわかった。
- (3) 水平方向施工における充填材として、注入の観点からエポキシ樹脂の使用を検討し、良好な充填結果が得られた。

今後は提案した中間定着構造を実構造物に適用する際に必要となる部材厚や鋼材間隔とコンクリート強度の関係や、設計に使用する諸数値を検証するための実験が必要であると考えている。また施工で生じる誤差等の影響を踏まえた性能確認を実施する必要がある。

謝辞：本検討を進めるにあたり、(株)シブヤ、東京ファブリック工業(株)、(株)モルテン、アオイ化学工業(株)の4社に多大なご協力を頂いた。また日本スプライススリーブ(株)には実験材料を提供して頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会:コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2009-1, 2009.3.
- 2) 村上雅英, 藤 達也, 窪田敏行:引き抜き試験によるはり主筋の機械式定着耐力の評価, コンクリート工学論文集, No.8, Vol.2, pp.1-10, 1997.7.
- 3) (社)土木学会:鉄筋定着・継手指針[2007年版], 2007.8.
- 4) (社)土木学会:2007年制定 コンクリート標準示方書[設計編], 2008.3.
- 5) (社)土木学会:2007年制定 コンクリート標準示方書[施工編], 2008.3.