

論文 プレテンション用緊張材として用いた中空 PC 鋼棒の定着に関する研究

今井 昌文*¹・出光 隆*²・橋本 潤平*³

要旨：パイプ状に加工した中空 PC 鋼棒を、プレテンション方式の PC 部材に使用する際のコンクリートへの定着は、主として鋼棒端ネジ部の付着により行われるが、今回用いた中空 PC 鋼棒（径φ32mm、初期緊張力294kN）の場合、緊張力の導入に必要なネジ部の長さは200mm以上、伝達長は250mm程度であることが確認された。中空 PC 鋼棒の規格引張荷重に対する定着耐力は、ネジ部を300mm程度設けることにより確保できるが、端部にナットを装着することにより、相乗効果による定着耐力の向上が確認された。

キーワード：プレテンション、中空 PC 鋼棒、伝達長、

1. はじめに

本試験は、パイプ状に加工された中空 PC 鋼棒を用いることによる、アバット装置を必要としないプレテンション方式の実用化を目的としている。この方式による PC 部材の製作工程を図-1 に示す。

システムの特徴は外側の中空 PC 鋼棒に導入する引張力の反力を、内側に配置した PC 鋼棒に取ることにより、独立した形で「プレストレス入りの PC 鋼棒」を製作できることにある。しかし中空 PC 鋼棒とコンクリートとの付着強度は通常の PC 鋼棒と同程度であり、PC 鋼より線を用いたプレテンション方式のように、PC 鋼材とコンクリートとの付着によりコンクリートに緊張力を伝達するには、そのままでは非常に長い伝達長を必要とする。

PC 部材の定着域はより小さいことが望ましく、かつ緊張材引張力を確実に定着できることが要求される。本試験では中空 PC 鋼棒の定着方法の確立を目的に、以下の実験的研究を実施した。

2. 試験概要

プレテンション方式の定着方法には、より短い伝達長、確実な定着耐力に加えて簡便であることが要求される。そこで特別な加工や処理を必要としない、PC 鋼棒の既存のネジ部および標準ナットに着目した。まず予備実験として中空 PC 鋼棒の引き抜き試験を行い、ネジ部の付着強度が約 $f_{bo}=16\text{N/mm}^2$ 、ナットの定着耐力が $F_n=430\text{kN}$ となることを確認した。この結果から、ナット定着とネジ部付着の併用による定着方法が考案された。しかしながら、両定着方法は図-2 に示すように荷重-自由端すべり量曲線の勾配（以下、付着すべり剛性 [2] と呼ぶ）が異なるなど付着

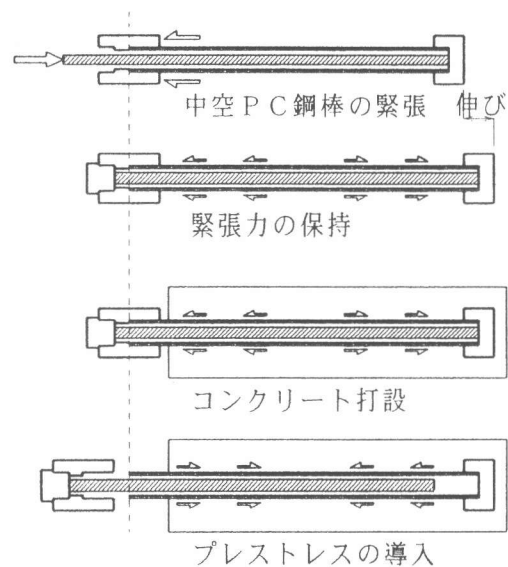
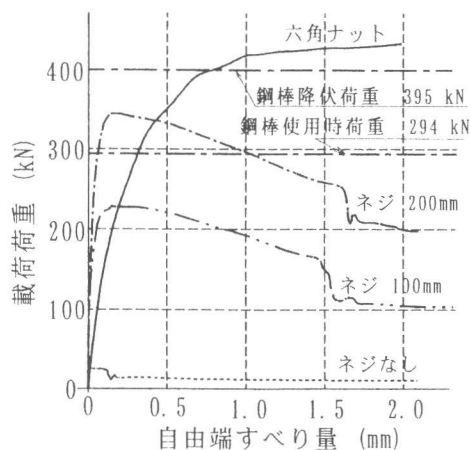


図-1 中空鋼棒による PC 部材の製作工程

* 1 オリエンタル建設（株） 技術研究所 （正会員）

* 2 九州工業大学教授 工学部設計生産工学科、工博 （正会員）

* 3 九州工業大学大学院 工学部設計生産工学科



試験用供試体寸法 (B*H*L=200*200*200 mm)
 図-2 荷重-自由端すべり量図

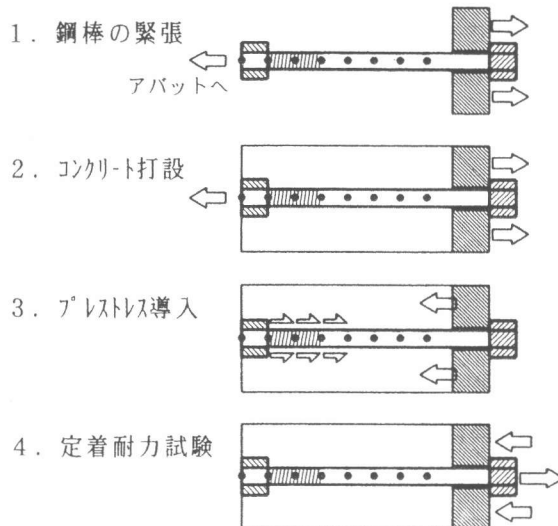


図-3 供試体の製作および試験手順

性状の違いが見られるため、本研究では、プレテンション部材の定着端部をモデル化した供試体を用いて、図-3に示す手順によって、①プレストレス導入時の定着状態の把握、②プレストレスの導入された定着部の定着耐力および定着機構の把握、の2項目の試験を行った。

2. 1 供試体形状寸法および使用材料

表-1 供試体定着部仕様

	ナット	ネジ長 (mm)
N-100	有り	100
N-200	有り	200
N-300	有り	300
B-100	無し	100
B-200	無し	200
B-300	無し	300

表-2 コンクリート仕様

圧縮強度 (N/mm ²)	29.4
ヤング係数 (N/mm ²)	23900

表-3 中空P C鋼棒仕様

公称外径 (mm)	32
断面積 (mm ²)	424.1
規格引張荷重 (kN)	457
規格降伏荷重 (kN)	395
初期緊張力 (kN)	294
ヤング係数 (N/mm ²)	196000

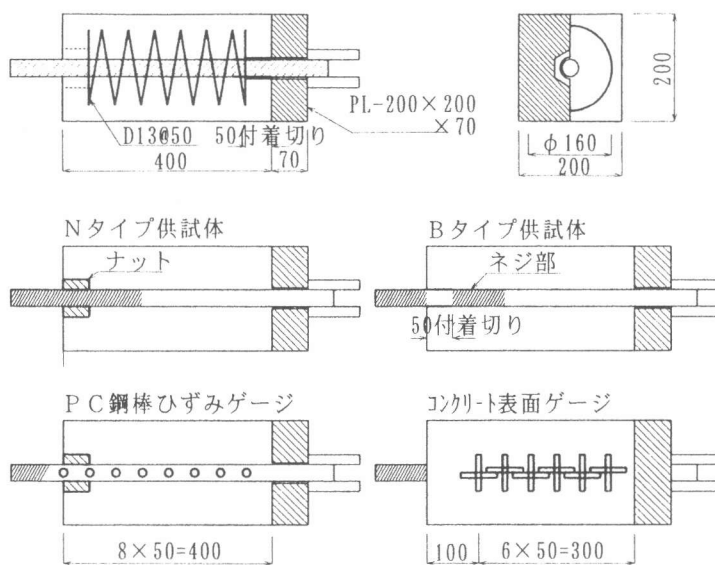


図-4 供試体の形状寸法および測定項目、位置 (mm)

試験に用いた供試体の形状寸法およびひずみゲージ貼付位置などを図-4に、定着部の試験要因を表-1にそれぞれ示す。

中空P C鋼棒のひずみゲージは、ネジ部の付着を損なわないように中空P C鋼棒中空部に、各断面2枚ずつ貼付した。

用いたコンクリート、中空P C鋼棒の仕様を表-2、3に示す。一般にプレテンション方式はP C工場製品に用いられ、プレストレス導入時に必要とするコンクリート圧縮強度は35N/mm²である

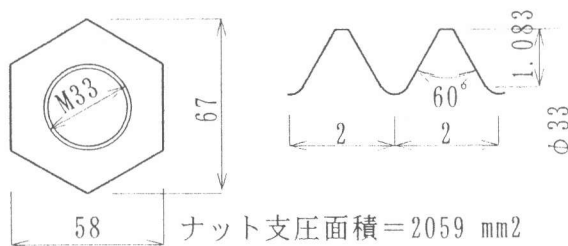


図-5 ナットおよびネジの仕様 (mm)

が、本試験は場所打ち部材をも考慮し導入時および試験時のコンクリート圧縮強度を 30N/mm^2 とした。中空PC鋼棒は、通常のPC鋼棒と同等の機械的性質を有している。図-5には定着部で用いている、標準ナットの仕様およびネジの仕様を示す。

2. 2 プレストレス導入試験

プレテンション方式は、PC鋼材の緊張力を付着力によってコンクリートに伝達するものであり、通常用いられるPC鋼線では、主としてPC鋼材のポアソン効果によって発生する接触圧による摩擦抵抗力が導入緊張力をコンクリートに伝達する付着力であるとされ、PC鋼材の緊張力をコンクリートに伝達するための長さ（伝達長）は 65ϕ （ ϕ ：PC鋼材直径）程度を必要とする。

これに対し、異形鉄筋のように鋼材の表面に設けたフシにより付着強度を向上させた場合の定着時の付着力は、フシによる機械的抵抗力が主であり、伝達長はフシ形状、フシ間隔等を要因とする付着すべり剛性に依存するとされる。[1][2]

本定着方式のネジ部は、異形鉄筋と同様の定着性状を示すものと想定される。試験では、プレストレス導入時のコンクリートひずみ分布より伝達長を求めるとともに、中空PC鋼棒の張力分布より、ネジ部の付着応力状態およびナット定着の機能程度を検討した。供試体の製作は、前述したようにアバット装置を用いて図-3に示す1～3の手順で行い、鋼棒緊張時、緊張解放時には鋼棒およびコンクリートのひずみを測定した。

2. 3 定着耐力確認試験

通常のPC鋼棒を用いたポストテンション方式では、緊張材の規格引張荷重作用時の支圧版背面のコンクリート応力は P_u/A_{pl} （ P_u :緊張材の規格引張荷重、 A_{pl} :支圧板面積） $=35\text{N/mm}^2$ 程度であるのに対し、ナット定着のみの場合は P_u/A_n （ A_n :ナット支圧面積） $=214\text{N/mm}^2$ と約6倍の値となる。しかし、本方式の定着機構はネジ部の付着力とナット定着との併用であることから、実際にナットに作用する引張力は小さいものと考えられる。よって定着部の補強は行わず、プレテンション部材の定着端部をモデル化した供試体（プレストレス導入試験用供試体）を用いて図-6に示す方法により定着試験を行い、定着耐力を確認するとともに、外力作用時の力の伝達状態、ネジ部付着力とナット定着の分担状態、等の定着機構についての検討を行った。

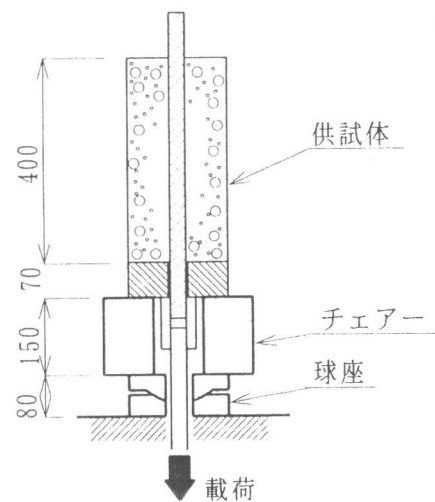


図-6 荷重方法図 (mm)

3. 試験結果および考察

3. 1 プレストレス導入試験

各供試体のプレストレス導入時のコンクリートのひずみ分布状態を図-7に示す。図中の測定位置とは 0mmが導入端 400mmが支圧板断面である。ネジ部長さが100mmのN-100、B-100は初期緊張力（ $P_i=294\text{kN}$ ）に対する定着耐力の不足により、コンクリートにプレストレ

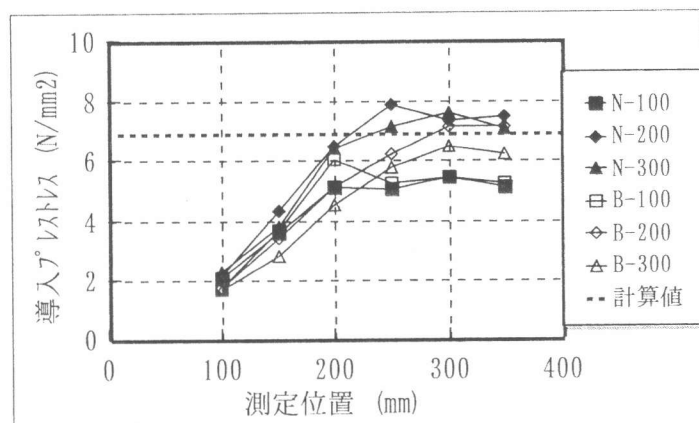


図-7 導入プレストレス状態図

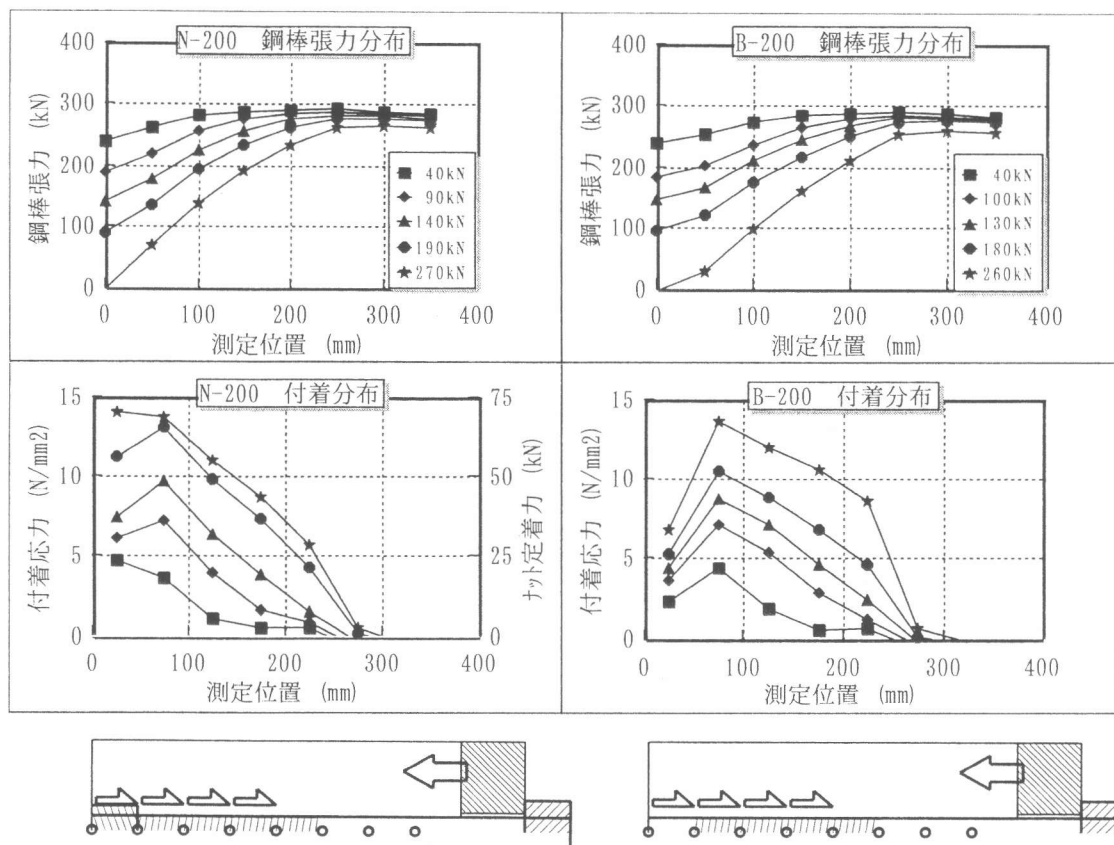


図-8 中空P C鋼棒張力分布および付着応力分布

スが導入されていない。プレストレス導入直後の鋼棒張力はB-100では $P_x=170\text{kN}$ であり、事前に求めたネジ部の付着強度 ($16\sim 19\text{N/mm}^2$) より算出した定着耐力と一致している。これに対しN-100では $P_x=210\text{kN}$ であり、ナット定着が 40kN 程度負担していると想定される。ネジ部長さ 200mm 以上の供試体では、伝達長 250mm 程度で所定のプレストレスが導入されることが確認された。図-8に、プレストレス導入時の鋼棒張力および付着応力分布を示す。同図より定着端部にナットを配置したNタイプ供試体において、ナットの分担する定着力は各導入段階に応じて増加していることが確認された。ナットの分担する定着力は各導入段階ともに概ね導入張力の $23\sim 29\%$ であった。鋼棒ネジ部とコンクリート間に生じる付着応力は導入端が最も大きく、内部へ向かうに従ってその値は小さくなっており、この低下する傾きは同一供試体においては導入荷重レベルに関係なくほぼ一定の傾向を示している。図中の付着応力は中空P C鋼棒のひずみ測定間のひずみ差 (張力差) より求めたものであり、張力を伝達する上でその区間の付着すべり剛性が大きいほど張力差は大きくなる。付着すべり剛性が大きいと、より短い付着長さで力 (この場合、導入張力) を分担できるが、生じる付着応力は大きくなる。このように付着すべり剛性は、定着に必要なネジ部長さ、ネジ部に必要な付着耐力および伝達長に影響するとともに、ナット定着との力の分担程度にも影響していると考えられ、使用方法 (縦方向配置、横方向配置等)、定着材料 (コンクリートの強度、モルタル等への応用) についての検討が今後の課題である。

3. 2 定着耐力確認試験

試験結果の一覧を表-4に、載荷荷重と自由端のすべり量の関係を図-9に示す。所要の定着耐力を確保しなかったB-100、B-200は、いずれも付着切れによる破壊であり、定着耐力はネジ部長さにほぼ比例し、両供試体ともに定着耐力とネジ部長さより求めた付着強度は約 19N/mm^2 であった。

表-4 定着耐力試験結果一覧表

	最大荷重 (kN)	荷重分担 (N/mm ²)		破壊状態および最終状態
		付着応力	ナット支圧	
N-100	441	10.3	164	350kN時ナット背面より約50mmの付近に縦ひびわれ発生。最終荷重時、横ひびわれ発生。定着耐力はPu×0.95 5分間保持。
N-200	442	11.0	107	400kN時ナット背面より100mm～250mm付近に縦ひびわれ発生。定着耐力はPu×0.95 5分間保持。
N-300	442	12.2	36	ひびわれ、異常無し。定着耐力はPu×0.95 5分間保持。
B-100	196	19.5	—	ネジ部付着切れによる抜けだし。供試体外観は異常無し。
B-200	383	19.0	—	ネジ部付着切れによる抜けだし。破壊後、定着端より50mm～300mmにかけてひびわれを確認。ひびわれ幅は0.04以下。
B-300	440	14.6	—	最終荷重時、定着端より100mm～250mm程度にかけてひびわれ発生。ひびわれ幅は0.04mm以下。定着耐力はPu×0.95 5分間保持。

Pu:中空P C鋼棒規格引張荷重

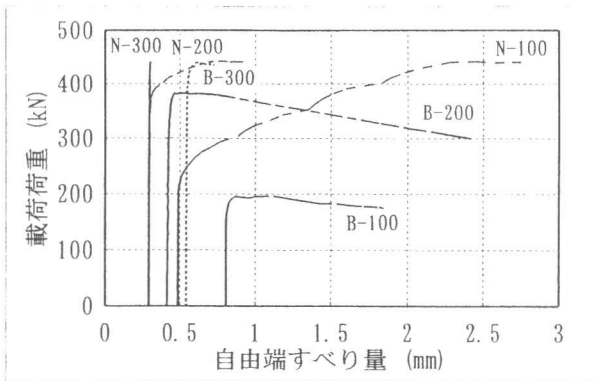


図-9 荷重-自由端すべり量図

ネジ部長さ300mmのB-300では最大荷重時にひびわれを生じたが0.04mm以下であり、十分な定着耐力が確認された。ネジ部とナットを併用したNタイプ供試体では、N-100、N-200ともネジ部長さの等しいBタイプ供試体の破壊荷重相当より自由端のすべり量が漸増し始めたが、耐力はその後も上昇し、特にN-100供試体では自由端すべり量が3mm程度となっても所要の定着耐力を保持した。上記のように、ナットを配置することにより定着耐力を向上させたNタイプ供試体のナットとネジ部における載荷荷重の分担状態を図-10に示す。供試体はプレストレスを導入

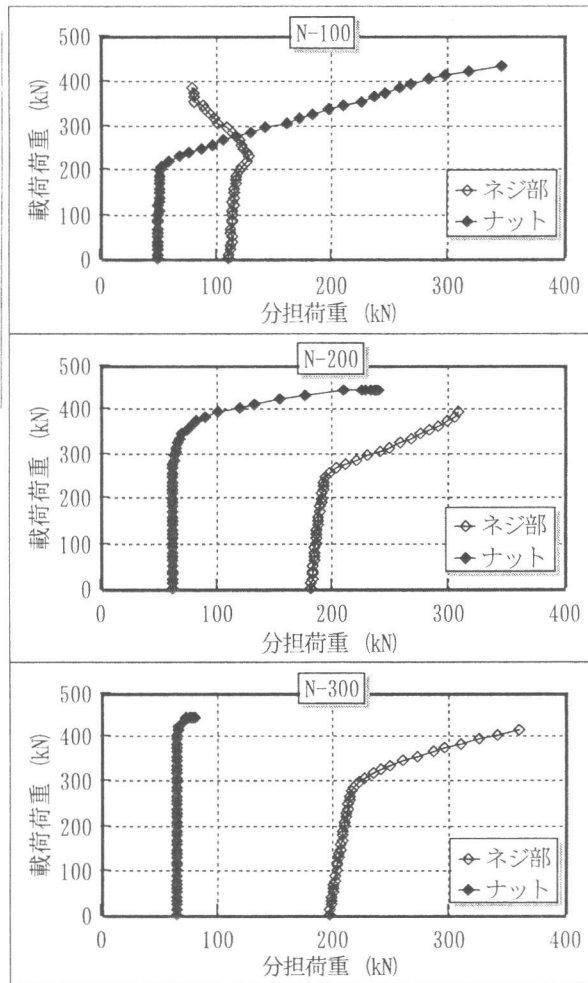


図-10 荷重分担図

されているため、載荷荷重が導入緊張力を越えるまで中空P C鋼棒張力の変化はほとんどなくプレストレス導入時の張力を保持している。載荷荷重が導入緊張力を越えた荷重（以下増加荷重とする）に対して中空P C鋼棒張力は増加するが、N-200、N-300に見られるように、増加荷重はネ

ジ部の付着力によって負担される。ネジ部の付着力が付着耐力に達した後、N-100、N-200に見られるようにナットの分担荷重は増加し始める。ナット分担荷重の増加傾向と自由端すべり量の増加傾向は良く一致している。図-2のネジ200mmに見られるように、自由端すべり量が著しく増大すると、ネジ部の付着耐力が低下する傾向に有ることより、定着端部にナットを配置しすべり量を抑制することは、ネジ部の付着耐力を保持するうえで有用であり、また

ネジ部の付着耐力はナットの分担する荷重を低減できることより、本定着方式の定着耐力に関してナット定着とネジ部付着定着の相乗効果が確認された。図-1 1はコンクリートに生じた軸直角方向ひずみを示したものである。プレストレス導入時のひずみ状態は、N-200はB-200に比べてナット背面に近い5、6断面でのひずみが大きくなっている。これは、ナット定着の影響と思われるが、70 μ 程度でありひびわれを生じさせる値には至っていない。増加荷重によるひずみの増加傾向もN-200の方が著しいが、最終耐力が大きいにも関わらず、供試体に発生したひびわれはB-200と同程度であった。

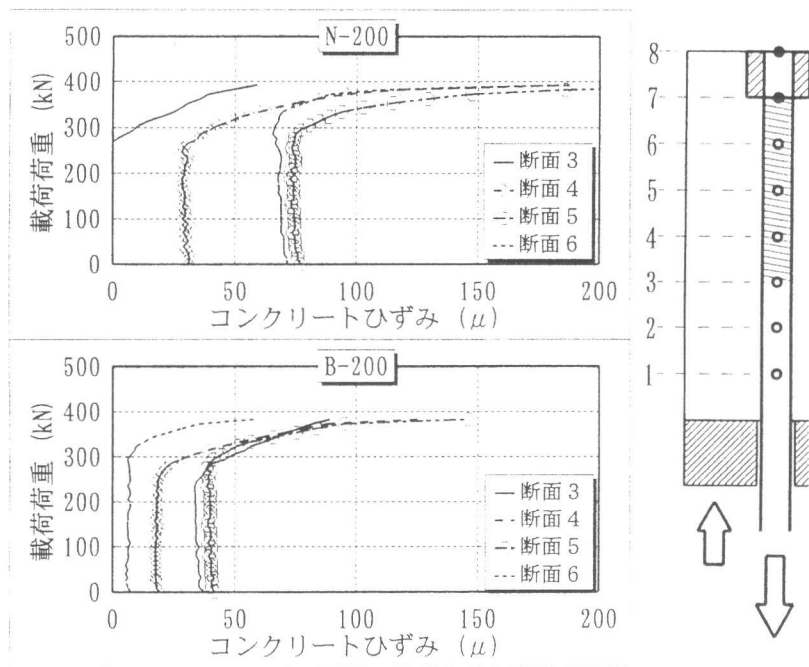


図-1 1 軸荷軸直角方向ひずみ図

4. まとめ

本試験より得られた結果をまとめると、以下の通りとなる。

- (1) $\phi 32\text{mm}$ のPC鋼棒の既設ネジ部は $12\sim 17\text{N/mm}^2$ の付着強度を有することが確認された。
- (2) $\phi 32\text{mm}$ の中空PC鋼棒をプレテンション方式で使用する場合のプレストレス導入時の定着は、主に鋼棒ネジ部の付着により行われ、その伝達長は250mm程度であった。
- (3) 圧縮強度 30N/mm^2 程度のコンクリートでも初期緊張力294kNのPC鋼材を定着し、所要のプレストレスを導入できることが確認された。
- (4) 本実験で用いた、鋼棒ネジ部の付着とナット定着を併用した定着方式では、先に付着すべり剛性の大きいネジ部の付着力が作用し、ナット定着はネジ部の付着力が付着耐力に達した後作用し始めること、またナット定着により、PC鋼材のすべり量を抑制し、ネジ部付着力の低下を抑制できることが確認された。

参考文献

- [1] 出光 隆ほか：鉄筋のPC緊張材としての利用に関する研究、プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム、1990、pp. 1-6
- [2] 赤司 二郎ほか：コンクリート強度と鉄筋のふし形状が付着特性に与える影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 13、No. 2、pp. 127-132