

(106) 中空PC鋼棒ねじ部の疲労付着性状に関する研究

オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 ○今井 昌文  
 九州工業大学教授 設計生産工学科 正会員 出光 隆  
 オリエンタル建設(株) 技術部 正会員 横田 勉

1. はじめに

本研究は、中空PC鋼棒を用いることにより可能となった、アバット装置を必要としないプレテンション方式によるプレストレストコンクリート部材の製造(以下、NAPP工法とする)の実用化を目的とした研究の一環である。NAPP工法を用いたプレストレストコンクリート部材の施工は、図-1に示す要領で行われ、PC鋼材のコンクリート部材への定着は、プレストレス導入時および使用状態時においては、主に中空PC鋼棒ねじ部とコンクリートの付着により、また終局状態時にはねじ部の付着と定着部に配置したナットの支圧により確保される。この中空PC鋼棒の定着性能については、静的な引抜き試験により、十分な定着性能を有することを確認している[1]。しかしながら、用いる部材によっては、鋼棒長が短く、張力の変動がそのまま定着部に作用するような場合も想定される。

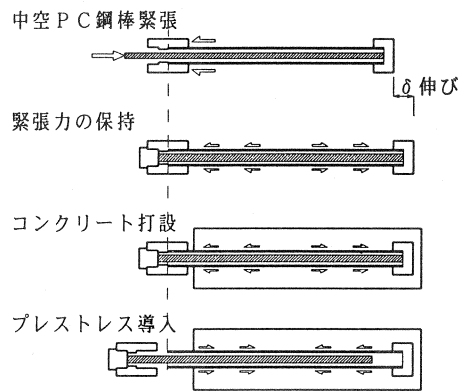


図-1 NAPP工法施工要領

本試験は、NAPP工法において使用状態時に定着を確保している、中空PC鋼棒ねじ部とコンクリートとの付着について、その疲労付着性状を確認することを目的とした。

2. 試験概要

2.1 試験体形状寸法

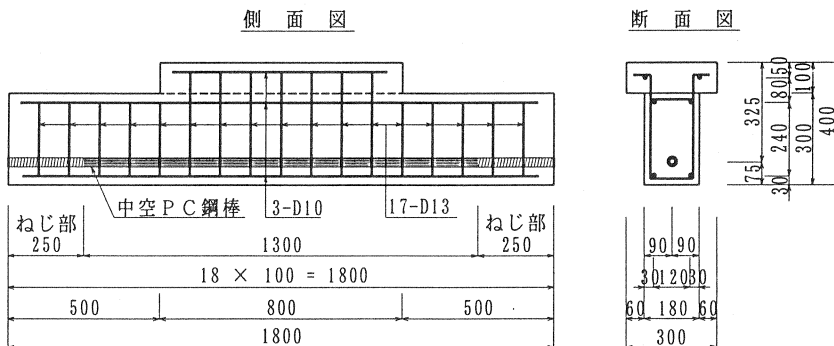


図-2 試験体形状寸法図

試験体は中空PC鋼棒を用いた、プレテンション方式のプレストレストコンクリートはり部材であり、鋼棒定着部には、公称径の約8倍のねじ部を設け、ナットは配置していない。また、鋼棒張力が直接定着部に

作用するように、丸鋼部にはフィルムを貼付してコンクリートとの付着を切っている。

2. 1 使用材料

表-1 コンクリートの仕様

プレスト	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	26.6
導入時	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	26900
載荷	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	32.5
試験時	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	28500

表-2 中空PC鋼棒の仕様

公称径 (mm)	32
中空部内径 (mm)	22
断面積 (mm <sup>2</sup> )	424.1
規格降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	930
規格引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	1080
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	196000

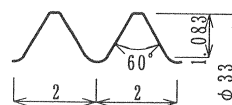
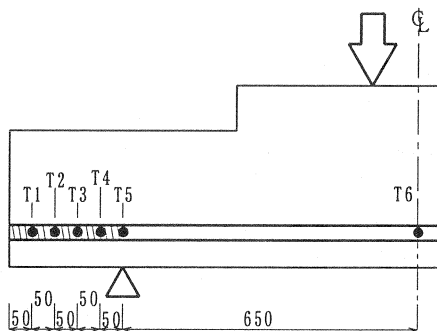


図-3 ねじ部の仕様

2. 2 計測項目および位置

図-4に示すように、ひずみゲージは、中空PC鋼棒ねじ部の付着を損なわないように、中空穴内部に貼付した。予めキャリブレーションを行い、全測定点について中空PC鋼棒張力とひずみとの関係を把握して用いた。



ひずみゲージ貼付詳細

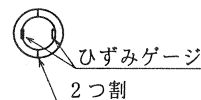


図-4 ひずみゲージ貼付位置および貼付詳細

2. 3 荷重試験方法

図-5に荷重試験装置図を、表-3に荷重試験条件を示す。曲げ疲労試験は、以下に示す要領で行った。

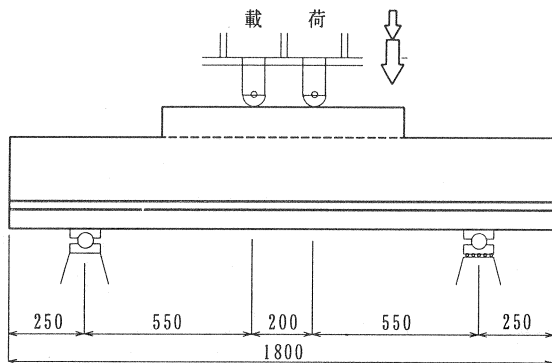


図-5 荷重試験装置図

表-3 荷重試験条件

	T6 張力目標値	
	中央値 (kN)	応力振幅 (N/mm <sup>2</sup> )
N o. 1	294	13
N o. 2	294	52

\*中央値 = (上限 + 下限) / 2

- 試験時試験体材齢：疲労試験は数日を要することより、試験中におけるコンクリート強度の増加をなるべく小さくするため、試験時の材齢は3ヶ月以上とした。
- 荷重荷重、荷重振幅：荷重荷重および荷重振幅は、T6 (試験体支間中央) 位置の中空PC鋼棒張力が表-3に示す値となるように管理して行った。
- 試験機および疲労荷重速度：動的荷重容量490 kNの疲労試験機を用いて、3 Hzの荷重速度で試験を行った。

3. 実験結果および考察

表-4 試験結果一覧表

試験体名		T 6 (支間中央) 位置鋼棒状態						備 考
		荷重 1 回目			最終時			
		張 力 (kN)	応 力 (N/mm <sup>2</sup> )	応力比 (%)	張 力 (kN)	応 力 (N/mm <sup>2</sup> )	応力比 (%)	
No. 1-1	中央値	300	707	76.0	318	750	80.6	200万回荷重、破壊に至らず 荷重条件を変えて再荷重
	振 幅	6.0	14	1.5	6.4	15	1.6	
No. 1-2	中央値	322	759	81.6	342	806	86.7	200万回荷重、破壊に至らず 荷重条件を変えて再荷重
	振 幅	13.0	31	3.3	14.3	34	3.7	
No. 1-3	中央値	345	813	87.4	365	861	92.6	200万回荷重、破壊に至らず 静荷重により破壊
	振 幅	21.5	51	5.5	20.0	47	5.1	
No. 2-1	中央値	294	693	74.5	320	755	81.2	200万回荷重、破壊に至らず 荷重条件を変えて再荷重
	振 幅	24.5	58	6.2	24.1	57	6.1	
No. 2-2	中央値	329	776	83.4	353	832	89.5	荷重回数33万回、鋼棒破断
	振 幅	39.0	92	9.9	35.1	83	8.9	

中央値 = (上限値 + 下限値) / 2、応力比 = 応力 / 規格降伏応力

荷重制御により疲労試験を行った結果を、表-4に示す。表に示すように、No. 1およびNo. 2試験体ともに、計画荷重条件下での定着部の疲労付着破壊は生じなかった。それぞれの試験体について、荷重条件を変えて疲労試験を継続したが、No. 1試験体は合計600万回の繰り返し荷重でも破壊には至らなかった。応力振幅を92 N/mm<sup>2</sup>としたNo. 2-2試験体では、荷重回数33万回でPC鋼材の疲労破断を生じたが、これは図-6に示す事前に確認した母材の引張疲労試験値と良く一致しており、本試験体の付着定着部は、母材疲労強度を上回る疲労付着耐力を有することが確認された。しかしながら、何れの試験体においても、繰り返し荷重により、PC鋼材に作用する張力が若干増加する傾向が見られた。同一荷重荷重において、PC鋼材張力が増大する原因は、繰り返し荷重に伴う、試験体の剛性低下によるたわみの増大であるが、たわみを増大させる要因としては、プレストレスの減少およびコンクリートの疲労劣化が考えられる。以下に中空PC鋼棒ねじ部の付着挙動がプレストレスに及ぼす影響について検討する。

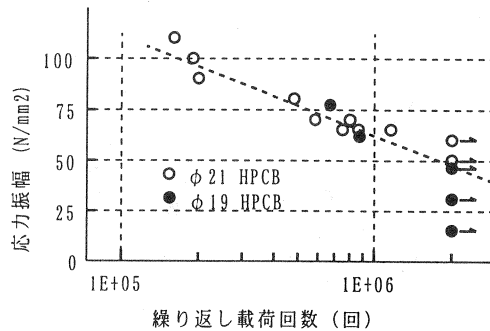


図-6 中空PC鋼棒母材疲労強度

ことが確認された。しかしながら、何れの試験体においても、繰り返し荷重により、PC鋼材に作用する張力が若干増加する傾向が見られた。同一荷重荷重において、PC鋼材張力が増大する原因は、繰り返し荷重に伴う、試験体の剛性低下によるたわみの増大であるが、たわみを増大させる要因としては、プレストレスの減少およびコンクリートの疲労劣化が考えられる。以下に中空PC鋼棒ねじ部の付着挙動がプレストレスに及ぼす影響について検討する。

図-7 (A) に中空PC鋼棒張力分布を、図-7 (B) に繰り返し荷重による張力変化を示す。前述のように、繰り返し荷重によりPC鋼材張力は増加することより、T 5位置に作用する荷重が初期荷重時(荷重1回目)と等しくなる時点での張力状態を比較している。図-7 (A) に示すように、T 5位置に作用している張力が同じであっても、繰り返し荷重により、その付着定着区間の張力分布状態は変化し、T 4位置より定着端側に作用する張力が若干増加していることが分かる。その張力の増加量は、図-7 (B) に示すように、T 5に近いT 4位置が最も大きく、定着端側になるほど小さい傾向が見られた。また、200万回荷重後におけるT 4位置の張力増加量は、各試験体ともに約10kN程度であったのに比べて、それより定着

端側の張力増加量は、張力振幅の大きい試験体ほど大きくなる傾向にあった。

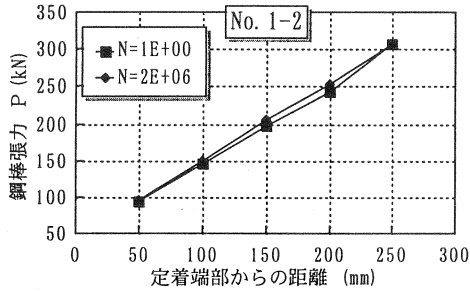


図-7 (A) 中空PC鋼棒張力分布

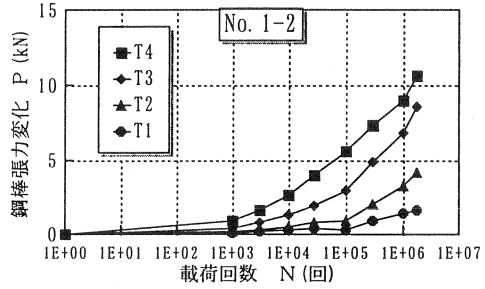


図-7 (B) 中空PC鋼棒張力変化

各張力測定点間の張力差から付着応力を求め、図-8 (A)、(C)に付着応力分布を、図-8 (B)、(D)に付着応力変化を示す。図-8 (B)、(D)に示すように、各区間に生じる平均付着応力は、(T 5位置)作用張力が同一であっても、繰り返し荷重により変化する。荷力点、T 5位置に最も近いT 5-4間の平均付着応力は繰り返し開始時より減少し、T 4-3より定着端側の平均付着応力が増加する傾向が見られた。しかしながら、試験体によっては、ある回数時よりT 4-3区間の平均付着応力も減少を始め、T 3-2より定着端側の平均付着応力が増加する傾向が確認された。このように荷重によって生じる付着応力は、繰り返し荷重により、定着端部へ移行する傾向が見られたが、その傾向は、張力振幅の大きい試験体ほど顕著であった。

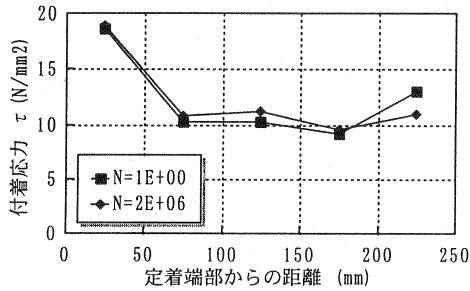


図-8 (A) 付着応力分布 (No. 1-2)

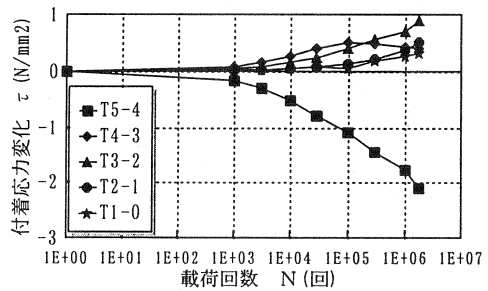


図-8 (B) 付着応力変化 (No. 1-2)

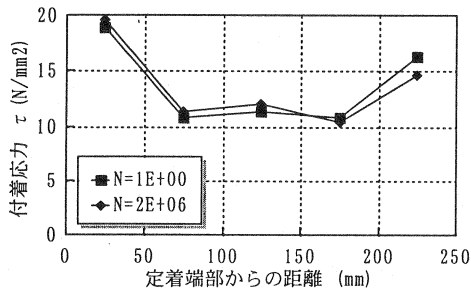


図-8 (C) 付着応力分布 (No. 1-3)

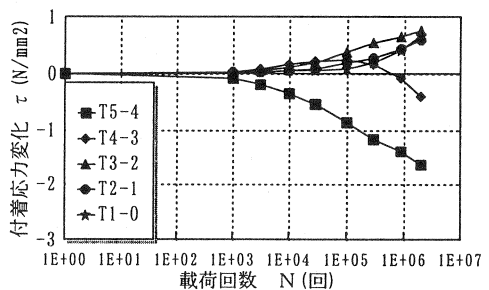


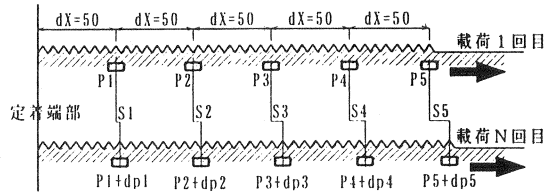
図-8 (D) 付着応力変化 (No. 1-3)

このように、ねじ定着部に作用する張力が同一であっても、付着区間におけるPC鋼材張力状態は、繰り

返し载荷により変化することが確認された。この原因として、中空PC鋼棒ねじ部とコンクリート間の付着応力 $\tau$ -すべりS関係の変化が考えられる。

最も応力変動の大きいT5-T4間について、中空PC鋼棒張力の変化より求めた平均付着応力 ( $\tau_{54}$ ) と、定着端部を基点として中空PC鋼棒ひずみ分布より求めたT5位置のすべり (S5) の関係を図-10に示す。これらの図より以下の傾向が見られた。

- ①何れの試験体も、繰り返し载荷により、同一付着応力時におけるすべりは大きくなった。(すべり同一時における付着応力は低下した。)
- ②図-10の(A)、(B)、(D)では $\tau$ -S関係の傾きは、繰り返し载荷による顕著な変化は見られなかった。
- ③図-10の(B)と(D)の比較より、繰り返し载荷によって生じるすべりSの残留は、付着応力の大きさよりも振幅の影響を受け、振幅が大きい程大きくなる傾向が見られた。
- ④図-10の(C)に示すNo. 1-3試験体は、繰り返し载荷によって、 $\tau$ -S関係の傾きが小さくなる傾向にあるのに加えて、付着応力が残留し、その残留付着応力は载荷回数が増すに従って大きくなる傾向が見られた。



$$\tau_{n-1} = \frac{dp_n - dp_{n-1}}{D \cdot \pi \cdot dx}$$

$$S_n = \frac{dp_1 + (dp_1 + dp_2) + \dots + (dp_{n-1} + dp_n)}{2 \cdot A_p \cdot E_p} \cdot dx$$

D:公称径(mm)、 $A_p$ :断面積(N/mm<sup>2</sup>)、 $E_p$ :ヤング係数(N/mm<sup>2</sup>)

図-9 付着応力-すべり概念図

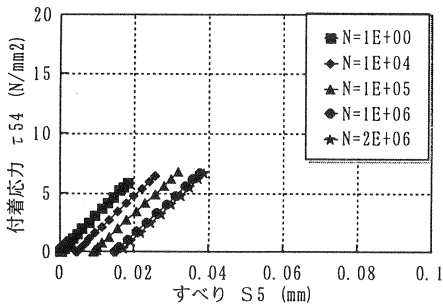


図-10 (A)  $\tau$ -S関係 (No. 1-1)

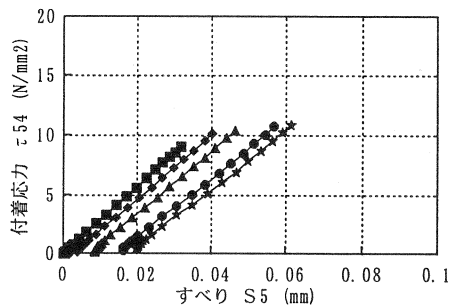


図-10 (B)  $\tau$ -S関係 (No. 1-2)

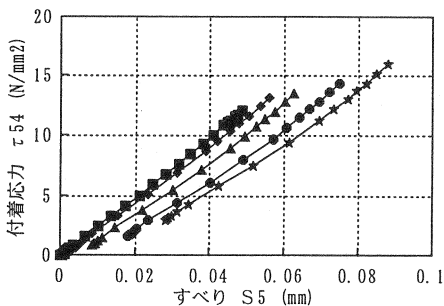


図-10 (C)  $\tau$ -S関係 (No. 1-3)

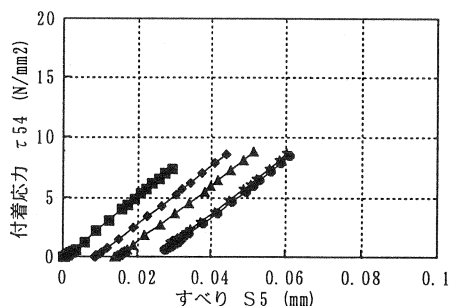


図-10 (D)  $\tau$ -S関係 (No. 2-1)

以上のように、定着部に直接変動張力が作用するような部材においては、中空P C鋼棒ねじ部とコンクリート間における付着応力(τ)ーすべり(S)関係は繰り返し载荷によって変化することが確認された。同一付着応力に対するすべりは増加し、同一すべりに対する付着応力は減少する。このことより、中空P C鋼棒ねじ部とコンクリートとの付着区間に作用張力が一定であっても、その付着区間におけるP C鋼材張力の分布は変化し、すべりは若干増大した。このすべりにより、中空P C鋼棒に導入されている緊張力は減少するものと考えられる。この付着応力ーすべり関係に及ぼす影響は、载荷によって生じる付着応力の大きさよりも、振幅の影響が大きい傾向にあった。

4. まとめ

今回行った、中空P C鋼棒ねじ部とコンクリートとの疲労付着性状についての試験より以下のことが確認された。

(1) 付着定着長さを中空P C鋼棒の公称径の8倍程度設けた定着部は、中空P C鋼棒の母材疲労耐力を上回る疲労耐力を有することが確認された。

(2) 繰り返し载荷により、中空P C鋼棒ねじ部とコンクリート間の付着応力(τ)ーすべり(S)関係は変化する。同一付着応力に対するすべりは増加し、同一すべりに対する付着応力は減少する。

(3) 繰り返し载荷が、付着応力(τ)ーすべり(S)に及ぼす影響は、付着応力の大きさよりも振幅の影響が大きい。

今回行った試験のような厳しい定着条件としては、図-11に示すような、短いP C鋼材長において、定着部に変動荷重が作用する場合が想定される。この場合、残留すべりによるP C鋼材緊張力の減少量は次式により計算できる。

$$\Delta p = \frac{(\Delta S \times 2)}{L} \times E_p \times A_p$$

$\Delta p$  : 張力減少量 (N)  
 $\Delta S$  : 残留すべり [0.03] (mm)  
 $L$  : 定着間距離 [1000] (mm)

疲労によるP C鋼材緊張力の減少量は、定着間距離(L)に反比例し、上記条件の場合では約5.0 kN(導入緊張力294 kNの約1.7%)程度の減少量であった。このように、P C鋼材長が短く、定着部に直接変動張力が作用するような厳しい条件下においても、P C鋼材緊張力の減少量は、初期緊張力の2%程度を考慮すれば良いものと想定される。

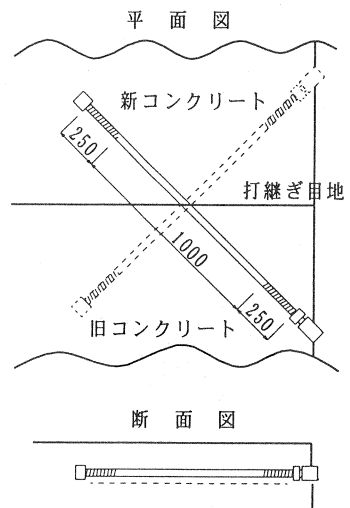


図-11 NAPP工法施工例

本試験にあたり、ご協力を頂いた溝口茂氏をはじめ、高周波熱錬株式会社の皆様には紙上を借りまして厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

[1] 今井 昌文ら：プレテンション用緊張材として用いた中空P C鋼棒の定着に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 18、No. 2、PP. 521-526、1996  
 [2] 土木学会、コンクリート標準示方書 設計編 {平成8年版}、PP. 87-88  
 [3] 出光 隆ほか：鉄筋のP C緊張材としての利用に関する研究、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、PP. 1-6、1990  
 [4] 鈴木 計夫ら：持続荷重下における異形鉄筋とコンクリートの付着特性、セメント技術年報 40、PP. 514-517、1986