

(58) NAPP工法の後施工利用に関する基礎的研究

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 工学部 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

「プレストレス力入りのPC鋼棒」であるNAPPユニットを用いる工法は、取り扱いが簡単で、プレストレス導入に際して重い機材や大きな作業空間を必要としないことから、既設コンクリート構造物への部分的なプレストレスの導入に

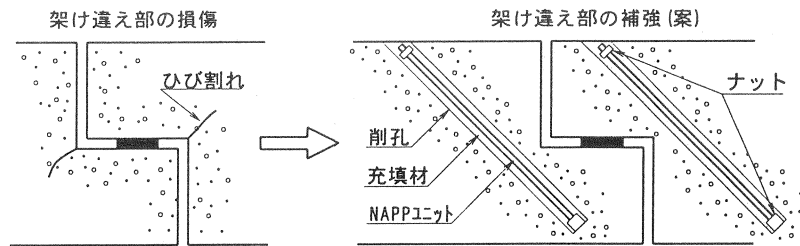


図-1 NAPP工法の後施工例(架け違え部補強案)

非常に適した工法と考えられる。NAPP工法を既設コンクリート構造物へ利用する場合には、図-1に示すように、既設コンクリート構造物に削孔し、その削孔部に充填材を介してNAPPユニットを定着する(以下、後施工利用と呼ぶ)。その際、通常の場所打ちコンクリート部材にNAPP工法を用いた場合(以下、場所打ち利用と呼ぶ)には、NAPPユニットの緊張力は直接コンクリート部材に伝達されるのに対して、後施工の場合には、NAPPユニットの緊張力は充填材を介してコンクリート部材に伝達されることとなる。NAPP工法の後施工利用については、対象物件毎に定着耐力などの確認実験は行っているが、基礎的な定着性能についての検討は行われていない。本論文は、その検討を行ったものである。

2. 実験概要

NAPP工法の後施工利用時には、NAPPユニットの緊張力は充填材を介してコンクリートに伝達される。よって本研究では、既設コンクリート削孔面と充填材および中空PC鋼棒ねじ部と充填材との付着性状についてそれぞれ検討を行った。また、はり試験体により、プレストレスの経時変化についても検討を行った。今回の研究で対象としたNAPPユニットは、初期緊張力400kN(中空PC鋼棒外径φ40mm)タイプであり、充填材には実用している市販の無収縮モルタルを使用した。既設コンクリートと充填材との付着面は、通常のコアボーリングマシンによる削孔面そのままとし、特別な表面処理は施していない。

2.1 試験体形状寸法および試験方法

(1) 既設コンクリート削孔面と充填材との付着試験

試験体一覧を表-1に、試験体形状寸法を図-2にそれぞれ示す。試験要因は、充填方向、削孔径および付着長である。充填方向は、充填材の充填状態が付着強度に及ぼす影響を把握するために、充填が容易な鉛直充填と空気が残りやすく完全充填が困難な水平充填の2種類とした。削孔径は、付着強度に及ぼす削孔径の影響を把握するために、NAPPユニットが配置可能な最小径φ90mmと、挿入の作業性を考慮し

表-1 コンクリート-充填材付着試験体一覧

試験体名称	充填材 充填方向	削孔径 φ (mm)	付着長 L (mm)
H-90-100	水平	90	100
H-90-125			125
H-90-150			150
H-110-100		110	100
H-110-125			125
H-110-150			150
V-90-100	鉛直	90	100
V-90-125			125
V-90-150			150
V-110-100		110	100
V-110-125			125
V-110-150			150

たφ 110mm の2種類とした。付着長は、既設コンクリートと充填材の付着強度に及ぼす付着長の影響を考慮するために3種類とした。載荷試験は、引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法(案)(JSCE-G 503-1988)を参考に図-3に示す方法により行った。載荷速度は、0.5kN/secで破壊まで単調増加載荷した。

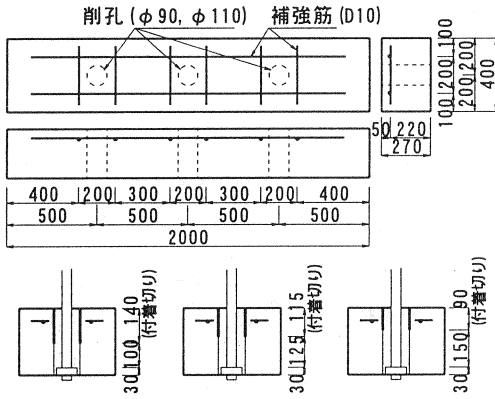


図-2 削孔部付着試験体形状寸法図

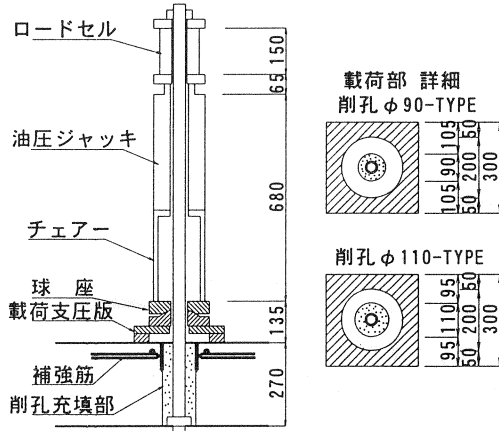


図-3 削孔部付着試験方法図

(2) 中空P C鋼棒ねじ部の付着試験

試験体一覧を表-2に示す。試験要因は、中空P C鋼棒の被付着材と中空P C鋼棒の配置方向である。被付着材は、場所打ち利用時と後施工利用時の付着性状の比較を目的に、それぞれコンクリートと充填材(無収縮モルタル)とした。また、一般に鋼材の付着強度は、水平配置と鉛直配置では異なることより、これについて比較した。試験体形状寸法を図-4に示す。試験体寸法および付着長は、引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法(案)(JSCE-G 503-1988)を参考に定めた。後施工利用を想定した試験体は、径φ 110mmで削孔を行い充填材を充填した。コンクリート削孔面と充填材との付着耐力は、中空P C鋼棒の降伏荷重以上を有している(後述参照)。載荷試験方法を図-5に示す。中空P C鋼棒と被付着材とのすべりは、載荷端と自由端で測定した。載荷速度は、0.45kN/secで破壊まで単調増加載荷した。

表-2 ねじ付着試験体一覧

試験体名	被付着材 (NAPP 利用方法)	P C鋼棒 配置方向
NH-1~3	コンクリート	水平
NV-1~3	(場所打ち利用)	鉛直
CH-1~3	充填材	水平
CV-1~3	(後施工利用)	鉛直

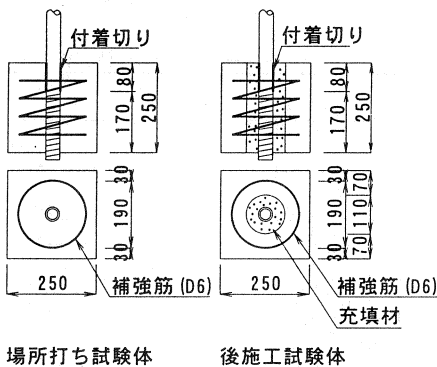


図-4 ねじ部の付着試験体形状寸法図

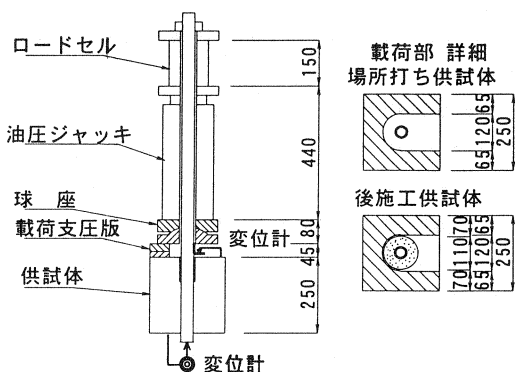


図-5 ねじ部の付着試験方法図および測定位置図

(3) はり試験体による定着性能確認試験

図-6に示すはり試験体により、NAPP工法後施工利用の定着性能を、場所打ち利用および通常のポストテンションと比較した。ポストテンション試験体は、後施工利用、場所打ち利用それぞれについて、荷材材齢を同一とした。また、ダミー試験体を製作し、プレストレスの作用以外による部材のひずみ変化を測定した。後施工利用試験体の削孔は、通常用いられているコアボーリングマシンを用いて径φ110mmで行った。充填材は水平充填し、既設コンクリート削孔面との付着長は、両端それぞれ400mmとした。

NAPP工法場所打ち利用時の伝達長は、通常、中空PC鋼棒径の8倍(320mm)としていることより、最小定着域を想定して充填材の付着長を定めた。

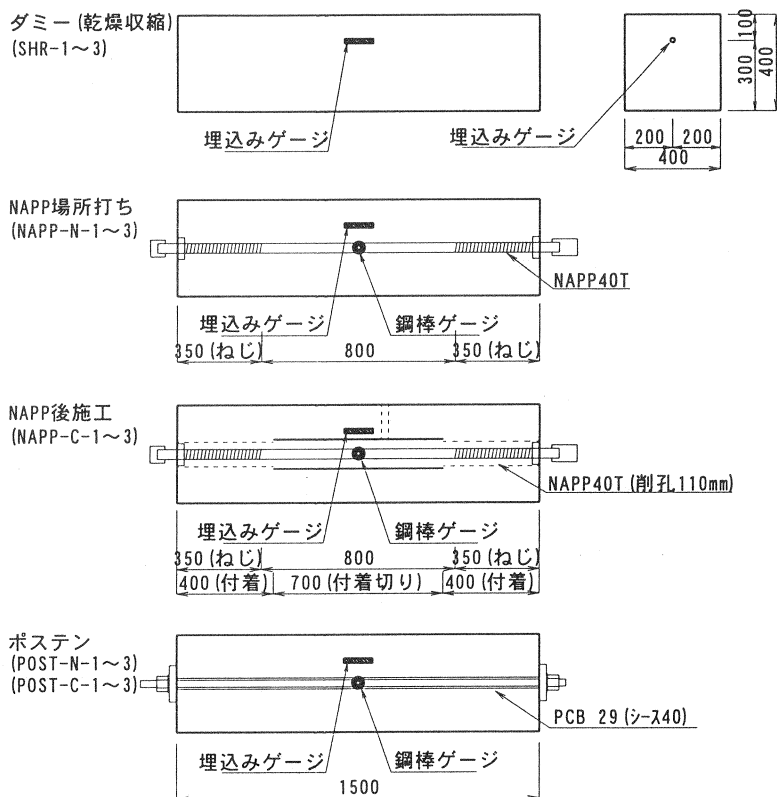


図-6 はり試験体形状寸法および測定項目位置図

3. 試験結果および考察

(1) 充填材と既設コンクリート削孔面との付着性状

表-3 材料試験結果

	コンクリート	充填材
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	31.0	46.8
ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	28200	21000

試験に用いたコンクリートと充填材の荷重試験時の品質試験結果を表-3に示す。コンクリート材齢は10日、充填材材齢は4日である。充填材のヤング係数はコンクリートの約2/3程度であったが、これは、充填材はモルタルであり粗骨材を有していないためである。表-4に充填材と既設コンクリート削孔面との付着強度(以下、削孔付着強度と呼ぶ)結果の一覧を示す。充填材を鉛直充填した場合には、削孔径の大きさに依らず、削孔付着強度は約10N/mm<sup>2</sup>であったが、水平充填した場合は鉛直充填した場合より小さく、削孔径φ110mmで約6.6N/mm<sup>2</sup>、削孔径φ90mmで約8.3N/mm<sup>2</sup>と、削孔径が大きいほど小

表-4 削孔付着強度一覧

試験体名称	最大荷重 (kN)	付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	平均値 (N/mm <sup>2</sup> )
H- 90-100	298	10.55	8.32 ( 79)
H- 90-125	267	7.56	
H- 90-150	291	6.87	
H-110-100	204	5.91	6.57 ( 63)
H-110-125	280	6.47	
H-110-150	380	7.34	
V- 90-100	321	11.35	10.47 (100)
V- 90-125	345	9.77	
V- 90-150	436	10.29	
V-110-100	422	12.23	10.14 ( 97)
V-110-125	378	8.76	
V-110-150	489	9.44	

さくなる傾向にあった。この原因として、充填材の充填状態の相違が考えられたことより、付着破壊面の観察を行った。図-7に各試験要因毎の破壊面状態を示す。鉛直充填した充填材の破壊面は円周方向に沿って均一に破壊しているが、水平充填した充填材の破壊面は、上側と下側では異なっている。上側には気泡が多く見られ、充填材のせん断破壊(図中の斜線部)も生じていないことより、既設コンクリートとの付着があまり良くないことが想像された。今回の試験では、削孔径が大きい程この付着低下面積が大きい傾向にあり、削孔付着強度が小さくなったと想定される。このように、充填材の水平充填は気泡が残りやすく充填材の密実な施工が困難であることより、若干でも勾配を付けて削孔することが良好な充填には効果的と考えられる。

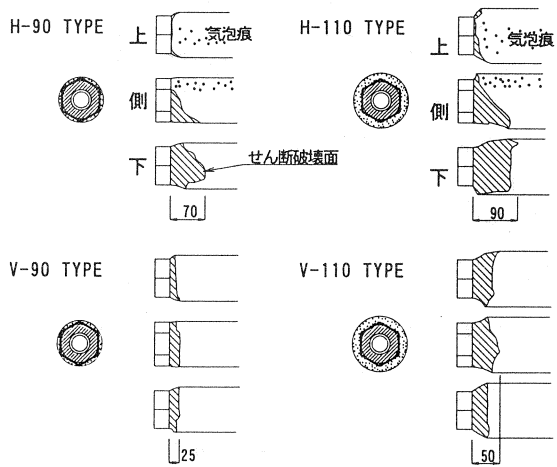


図-7 削孔付着破壊面状態

(2) 中空PC鋼棒ねじ部と充填材との付着性状

充填材と中空PC鋼棒ねじ部の付着試験結果を表-5に示す。場所打ち利用試験体では、中空PC鋼棒ねじ部とコンクリートとの付着強度を、後施工利用試験体では中空PC鋼棒ねじ部と充填材との付着強度を表す。また、表中の〔 〕は場所打ち利用と後施工利用の付着強度比を、( )は鋼材の鉛直配置と水平配置の付着強度比を示す。後施工利用の付着強度は場所打ち利用より低く、鋼材の鉛直配置で場所打ち88%、水平配置で81%程度であった。また鋼材の水平配置の付着強度は鉛直配置より低く、場所打ち利用で84%、後施工

表-5 中空PC鋼棒ねじ部の付着試験結果

	鋼材配置方向 (NAPP利用方法)	0.002D すべり時 付着応力 (N/mm <sup>2</sup> )		最大荷重時 付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
			平均		平均
NH-1	水平配置 (場所打ち利用)	8.8	[100]	11.1	[100]
-2		8.3	8.7	11.1	11.2
-3		8.9	( 73)	11.3	( 84)
NV-1	鉛直配置 (場所打ち利用)	11.7	[100]	13.6	[100]
-2		11.4	11.9	12.8	13.3
-3		12.5	(100)	13.6	(100)
CH-1	水平配置 (後施工利用)	8.1	[ 95]	9.4	[ 81]
-2		7.4	8.3	7.9	9.1
-3		9.5	( 73)	10.0	( 78)
CV-1	鉛直配置 (後施工利用)	10.3	[ 95]	10.8	[ 88]
-2		11.6	11.3	12.1	11.7
-3		11.9	(100)	12.2	(100)

\* [ ] : 場所打ち利用を100とした後施工利用の付着強度比  
( ) : 鉛直配置を100とした水平配置の付着強度比

利用で73%程度であった。以上より、中空PC鋼棒ねじ部の付着強度は、施工方法によって大きく異なり、最も付着強度が小さい後施工の水平施工における付着強度は、最も付着強度が大きい場所打ち鉛直施工時の約68%程度となることが確認された。次に、中空PC鋼棒とコンクリートおよび充填材との付着応力-すべり関係について検討を行う。付着強度は主に定着耐力に影響するのに対し、付着応力-すべり関係は伝達長に影響する。水平配置試験体の、載荷荷重と自由端および載荷端の鋼材すべりとの関係を図-8に示す。載荷荷重と自由端すべりの関係には、後施工利

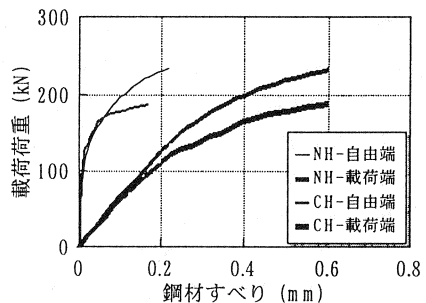


図-8 載荷荷重-鋼材すべり関係

用と場所打ち利用に顕著な差は見られないが、載荷端すべりは、載荷荷重 100kN あたりから後施工利用が大きくなっている。ここで、載荷荷重をねじ部面積で除した平均付着応力と、自由端すべりと載荷端すべりの平均すべりとの関係を図-9に示す。鋼材平均すべり 0.01mm あたりより、同一すべりに対する付着応力は、後施工の方が小さくなっている。この平均付着応力-鋼材平均すべり曲線の傾きを付着剛性としたとき、中空PC鋼棒ねじ部と充填材との付着剛性は、コンクリートとの付着剛性より小さいことが確認された。

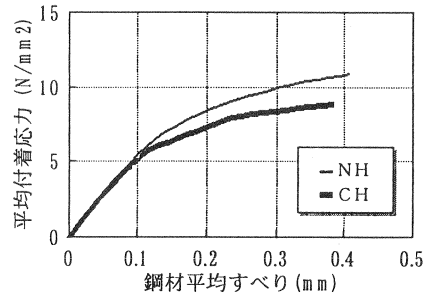


図-9 平均付着応力-鋼材平均すべり関係

(3) はり試験体におけるNAPP工法定着性能

表-6にプレストレス導入時の材料試験結果を、表-7に、プレストレス導入時におけるPC鋼棒張力およびコンクリートはり部材中央ひずみ(以下、中央ひずみとする)をそれぞれ示す。ポステン試験体の緊張力は、プレストレス導入時の中央ひずみがNAPP工法試験体で導入したコンクリートひずみとなるよう調整した。表-7に示すように、場所打ち利用、後施工利用ともにNAPP工法のプレストレス導入時における中空PC鋼棒ひずみ変化量は、コンクリート部材の弾性変形によるひずみ変化量と一致していることに加えて、中央ひずみが導入緊張力より算出した計算値とほぼ等しい

表-6 はり部材試験 材料試験結果一覧

	コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )			充填材 (N/mm <sup>2</sup> )		
	材齢	圧縮強度	ヤング係数	材齢	圧縮強度	ヤング係数
場所打ち	5	30.2	25800	-	-	-
後施工	18	36.0	26300	4	46.8	21000

表-7 プレストレス導入時測定結果一覧

プレストレス導入方式	載荷材齢 (日)	鋼棒張力 (kN)		導入時歪変化	
		導入前	導入後	鋼棒	コンクリート
NAPP 場所打ち利用	5	365	355	-79	-79 (-86)
		-	367	-	-81
NAPP 後施工利用	18	380	370	-82	-90 (-88)
		-	348	-	-89

( )内数値は、導入後鋼棒張力よりの計算ひずみ

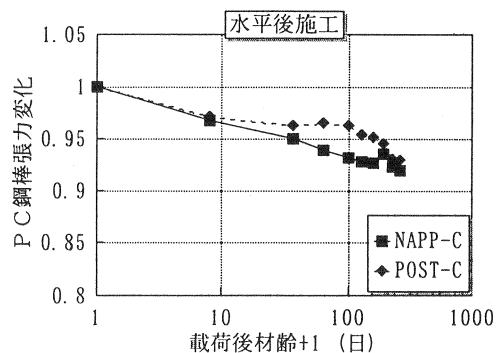
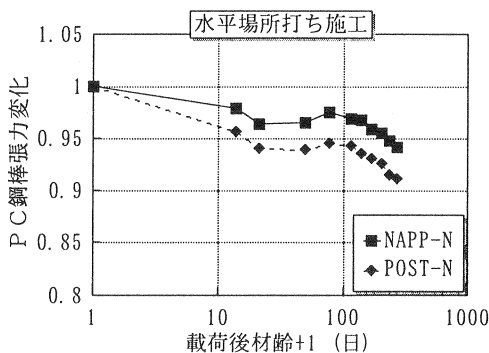


図-10 PC鋼棒張力の経時変化

ことより、NAPP工法は後施工においても通常のプレテン方式と同等の定着性能を有していると判断される。図-10に、中空PC棒およびPC鋼棒のひずみより算出した張力変化を示す。横軸は、コンクリート試験体の温度変化を考慮した有効材齢としている。PC鋼棒の経時による張力の減少程度は、いずれの試験

体もほぼ同程度であることより、NAPP工法後施工利用の経時定着性能も、場所打ち利用と同様に、通常のポステン方式と同等であると判断される。

#### 4. まとめ

既設コンクリート構造物の補修・補強へのNAPP工法の適用を目的に行った本試験範囲内において、以下の項目が確認された。

- (1) 充填材を鉛直充填した場合の既設コンクリートとの削孔付着強度は約  $10\text{N/mm}^2$  であった。
- (2) 充填材を水平充填した場合の既設コンクリートとの削孔付着強度は、削孔径が  $\phi 90\text{mm}$  の場合で約  $8.3\text{N/mm}^2$ 、 $\phi 110\text{mm}$  の場合で約  $6.6\text{N/mm}^2$  と鉛直充填時より小さい値であった。
- (3) 充填材を水平充填する場合には、削孔部上側に気泡やブリーディングなどによる充填不良個所が生じ易いことより、充填方法について留意する必要がある。
- (4) 中空PC鋼棒ねじ部と充填材の付着強度は、コンクリートとの付着強度の約8～9割程度であった。
- (5) 鋼材を水平配置した場合の、中空PC鋼棒ねじ部と充填材との付着剛性は、コンクリートとの付着剛性より小さくなる傾向にあることが確認された。
- (6) 本試験に用いたはり試験体では、NAPP工法後施工は、場所打ちと同等の定着性能を有することが確認された。

#### 5. おわりに

今回提案したNAPP工法の後施工利用は、既設コンクリート構造物の補修・補強に有用な工法であると考えているが、現状の定着システムではナットを要することより(図-1参照)、NAPPユニットの配置に比較的大きい削孔径を必要とする。今後は、中空PC鋼棒ねじ部の付着性状について研究をすすめ、ナット不要のねじ付着定着を確立することにより、既設コンクリート構造物への削孔径の縮小化を図りたいと考えている。

#### 参考文献

- [1] 土木学会、平成8年制定、コンクリート標準示方書[基準編]
- [2] 今井 昌文ほか、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、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18、No.2、pp521-526、1996
- [3] 出光 隆ほか、鉄筋のPC緊張材としての利用に関する研究、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム、pp1-6、1990、
- [4] 渡辺 明、ボンド定着プレテンション部材の鋼線定着に関する実験的研究、土木学会論文集第125号、pp21-35、1966