

中空 PC 鋼棒を用いたアンカー工法の開発 — プレストレスを導入したアンカー工法 —

中橋 一壽*1・原 健吾*2・二井谷 教治*3・渡瀬 博*4

1. はじめに

プレストレス力入り中空 PC 鋼棒である「NAPP ユニット」は、取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適した工法である。この NAPP ユニットを既設構造物に適用する場合には、既設コンクリート構造物に削孔を行い、削孔部に充てん材を注入して NAPP ユニットを定着する方法（以下、削孔定着と呼ぶ）があり、既存の NAPP ユニットを用いてプレストレスを導入する NAPP アンカー工法を開発し、実施工に用いている。また、現場での要求により、通常の NAPP アンカー工法よりも削孔径を小さくした細径タイプの NAPP アンカー工法の開発も行っている。

ここでは、これまでの NAPP アンカー工法の実験結果および実施例について述べるとともに、細径タイプの NAPP アンカー工法の実験結果について報告する。

2. NAPP アンカー工法の概要

NAPP アンカー工法の基礎技術となる NAPP 工法とは、Non Abutment Pretensioning Prestressing Method の略称で、1992 年に中空 PC 鋼棒を利用した独自のプレストレス導入工法として考案され、開発・実用化されたものである。図 - 1 に NAPP ユニットの概要図を示す。

なお、後で述べる細径タイプの NAPP ユニットと区別するために、ここでは標準タイプと呼ぶことにする。標準タイプの NAPP ユニットは図 - 1 に示すように、中空 PC 鋼棒、反力 PC 鋼棒、アンカーナット、NAPP ホルダーおよびエンドホルダーから構成されている。

NAPP アンカー工法の削孔定着システムは、この NAPP ユニットを用いて、既設コンクリート構造物に削孔を行い、NAPP ユニットを定着する工法である。図 - 2 にその概要図を示す。

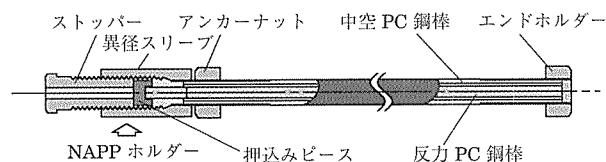


図 - 1 NAPP ユニットの概要図 (標準タイプ)

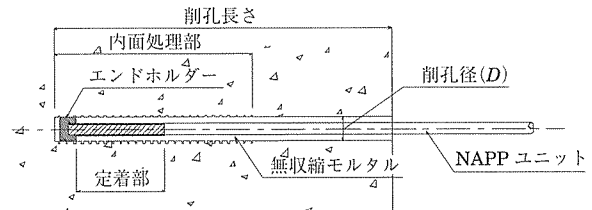


図 - 2 削孔定着システムの概要図 (標準タイプ)

3. 標準タイプ NAPP アンカー工法

3.1 実験概要

NAPP アンカー工法の削孔定着では、NAPP ユニットの緊張力は充てん材を介してコンクリートに伝達される。ここでは、既設コンクリート削孔面と充てん材の付着性状についての結果を報告する。対象とした NAPP ユニットは 20 T および 30 T (設計緊張力 220 kN および 320 kN) である。また、充てん材には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てん材との付着面は、内面処理用に開発した目荒し機 (写真 - 1) により内面処理を施している。

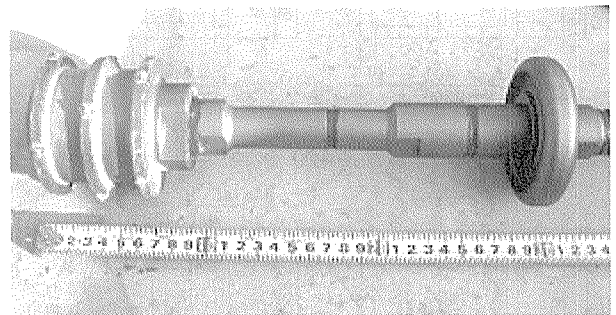


写真 - 1 目荒し機

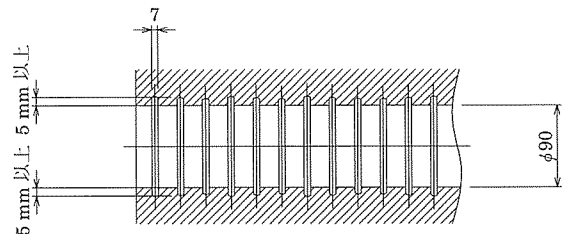


図 - 3 既設コンクリート内面処理 (φ 90 mm の場合)

*1 Kazutoshi NAKAHASHI : オリエンタル白石 (株) 本社 土木技術部

*2 Kengo HARA : オリエンタル白石 (株) 本社 土木技術部

*3 Kyoji NIITANI : オリエンタル白石 (株) 技術研究所

*4 Hiroshi WATASE : オリエンタル白石 (株) 技術研究所

これは、対象となる既存コンクリート構造物の強度が低いと付着強度は低下すると考えられ、一方、削孔定着では NAPP ユニットの引張荷重以上の耐力を保持する十分な付着力を必要とすることから、低強度コンクリートの場合、長い削孔定着が必要と考えられる。このため、削孔内面の付着力を改善するため、図 - 3 に示すような内面処理をした場合の定着性能について実験的検討を行ったものである。

3.2 試験体および試験方法

実験要因および試験体形状図をそれぞれ表 - 1、図 - 4 に示す。試験体の断面は、コアボーリングマシンを設置するために 500 mm × 500 mm とした。削孔径は ϕ 90 mm と ϕ 53 mm とし、削孔面は内面処理を行った。削孔部には NAPP ユニット 30 T および 20 T とそれぞれ外径が等しい PC 鋼棒 ϕ 32 mm および ϕ 29 mm を配置した。付着長は中空 PC 鋼棒外径 ϕ の関数とし、NAPP ユニット 30 T で 256 mm (8ϕ)、20 T では 150 mm (5ϕ) および 200 mm (7ϕ) とした。なお、NAPP ユニット 20 T については削孔径を極力小さくするため、通常の六角ナットではなく円形ナットを使用している (図 - 5)。

試験体製作は、コンクリート打設約 1 週間後に削孔作業を行い、PC 鋼棒をセット後にモルタル注入を行った。モルタル注入 7 日後にモルタル強度が 50 N/mm^2 であることを確

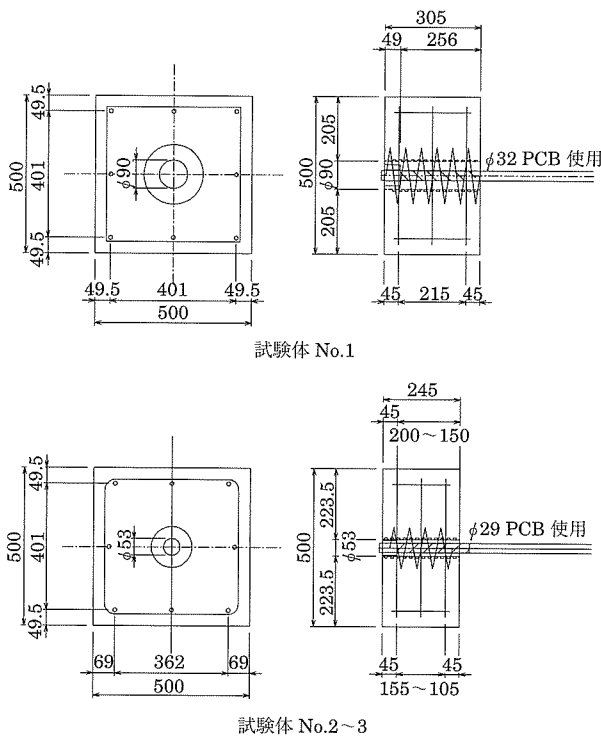


図 - 4 試験体形状図

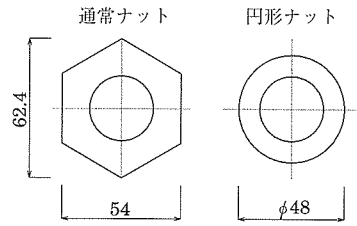


図 - 5 ナット形状 (ϕ 53 mm 用)

認し、試験を行った。モルタル注入方向は、水平方向とし、モルタルポンプにて行っている。

荷重装置を図 - 6 に示す。試験方法は、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 (JSCE - G 503 - 1999) を参考にした。本試験は、削孔面とコンクリートとの付着強度の確認を目的としているため、コーン破壊しないよう試験体にはスパイラル筋を配置し、削孔径より大きな ϕ 150 mm および ϕ 100 mm の穴を有する載荷板を用いた。載荷速度は鋼材応力度が毎分 50 N/mm^2 となるよう載荷し、固定側の PC 鋼棒の引込み量を測定した。

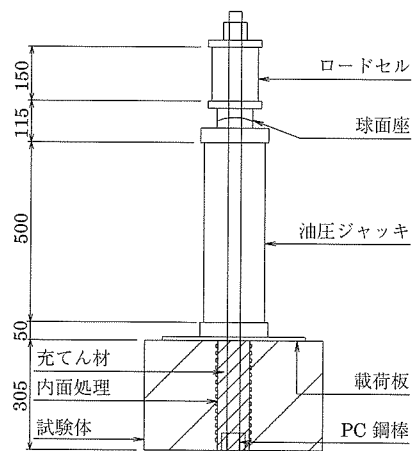


図 - 6 載荷装置

3.3 実験結果および考察

試験時の材料試験結果を表 - 2、各段階の荷重と変位を表 - 3 に示す。PC 鋼材 ϕ 32 mm、 ϕ 29 mm の破断強さを考慮し、最大載荷荷重をそれぞれ 800 kN、750 kN とした。

No.1 試験体の付着強度は、NAPP 30 T の引張荷重 435 kN を上回っているため、付着長は 8ϕ 以下で満足することが確認できた。NAPP 20 T を対象とした No.2 ~ No.3 試験体では、No.2 試験体の 1 体が下回ったものの、No.3 試験体ではすべての試験体が NAPP 20 T の引張荷重 295 kN を上回っている。よって NAPP 20 T の付着長も 7ϕ 程度あれば十分であることが分かる。また、NAPP 20 T および 30 T 設計

表 - 1 付着試験実験要因

No.	コンクリート強度 (N/mm ²)	モルタル強度 (N/mm ²)	付着長 (mm)	削孔径 (mm)	削孔部	充てん材注入方向	PC 鋼棒
1	21	50	256	90	内面処理	水平方向	SBPR930 / 1180 ϕ 32
2			150	53			SBPR1080 / 1230 ϕ 29
3			200				円形ナット使用

表 - 2 使用材料試験結果

No.	コンクリート		モルタル	
	圧縮 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
1	19.3	21.73	51.2	20.94
2 ~ 3	27.1	26.00	48.2	22.82

表 - 3 削孔面と充てん材の付着試験結果

NO.	付着長 (mm)	最大荷重時			設計緊張力時	
		荷重 (kN)	付着強度 (N/mm ²)	変位 (mm)	P = 220 kN 時変位	P = 320 kN 時変位
No.1-1	256	> 800.4	11.06	11.476	—	0.106
No.1-2		> 801.4	11.07	16.862	—	0.166
No.1-3		> 801.1	11.07	18.454	—	0.136
平均		> 801.0	11.07	15.597	—	0.136
No.2-1	150	514.4	20.60	14.250	0.900	—
No.2-2		187.0	7.49	1.700	—	—
No.2-3		333.5	13.35	6.350	1.690	—
平均		345.0	13.81	7.433	1.295	—
No.3-1	200	423.1	12.71	14.690	0.450	—
No.3-2		705.0	21.17	> 21.120	0.240	—
No.3-3		709.6	21.31	> 24.810	0.390	—
平均		612.6	18.39	20.207	0.360	—

緊張力時の変位から、それぞれの荷重においてほとんど端部の引抜き変位が発生していないことが分かる。

図 - 7 に耐力がもっとも低かった各試験体の荷重-引抜き変位関係と、NAPP 20 T および 30 T の設計緊張力を示す。また、図 - 8 には付着応力-引抜き変位関係を示す。

図 - 7 より変位が増加し始める荷重が No.1 試験体では 350 ~ 420 kN、No.2 ~ No.3 試験体では 150 ~ 300 kN であり、それまでの引抜き変位は各荷重段階でほとんど発生していない。また、図 - 8 より各試験体とも付着応力度が 6 N/mm² 付近から引抜き変位が増加している。

3.4 まとめ

本試験の結果より、下記の事項が確認された。

- (1) 付着強度を高める目的で内面処理を行った削孔定着は、NAPP ユニット 20 T、30 T で付着長 8 φ 以上とすれば、NAPP ユニットの引張荷重を定着できる。
- (2) NAPP ユニット緊張荷重作用レベルでは、内面処理タイプの固定端部の引込み変位はほとんど発生しない。

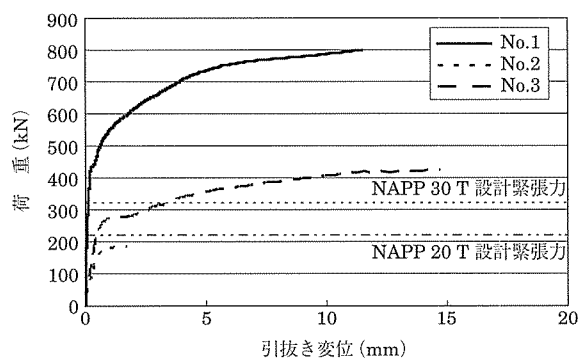


図 - 7 荷重-引抜き変位関係

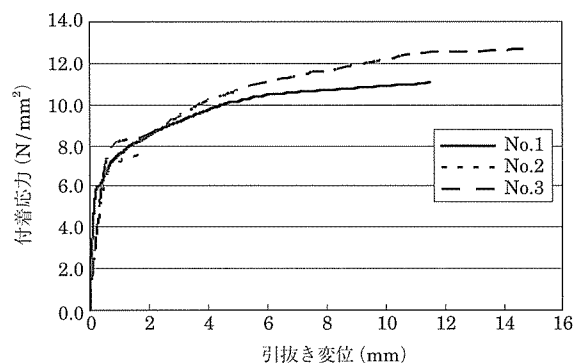


図 - 8 付着応力-引抜き変位関係

なお、同時に実施したプレストレス分布確認試験において、プレストレス導入時のプレストレス量は、内面処理タイプでは 11 % 減少したが、削孔タイプの 13 % 減少に比較して小さくなっていることを確認している。

以上の結果から、削孔定着の内面処理を行うことにより、30 N/mm² を下回る低強度コンクリート構造物にも NAPP ユニットの削孔定着できることが確認できた。

4. NAPP アンカーを用いた実施工例

標準タイプの NAPP ユニットを用いた施工例について以下に述べる。ここで取り上げる施工例は、橋梁下部の縁端拡幅を行う際に、プレキャストブロック製の拡幅部を NAPP アンカー工法を用いて、既設橋脚・橋台に接合した例である。

4.1 工事概要

対象となる橋梁は、2 径間の単純プレテンション中空床版橋であり、昭和 55 年に施工された橋梁である。この橋梁の耐震補強を行うにあたり、橋台・橋脚に変位制限装置を設置するため、縁端拡幅を行うものである。橋梁の緒元は以下のとおりである。

- 橋 長：29.000 m
- 桁 長：2@14.455 m
- 支 間：2@13.955 m
- 幅 員：7.000 m

図 - 9 に橋梁の全体図を、図 - 10 には P1 橋脚の縁端拡幅部の NAPP 配置図を示す。ここで用いた NAPP ユニットは 20 T を使用し、プレキャストブロック 1 個あたり、2 本の NAPP ユニットで削孔定着を行っている。また、既設橋台・橋脚への削孔長は 580 mm 以上を確保し、削孔径は φ 77 mm とし、付着力を確保するために写真 - 1 に示す目荒し機を用いて内面処理を行っている。なお、図 - 10 には NAPP ユニット 20 T の代わりに普通 PC 鋼棒 φ 23 を使用している箇所が 3 箇所示されている。これは、現地での鉄筋探査の結果から、NAPP ユニートを配置することが困難であることが判明したため、協議のうえ、橋脚を貫通削孔して PC 鋼棒を配置することで代案としたためである。

4.2 施 工

図 - 11 に施工フローを示す。削孔については、先に述べたように必要削孔長および削孔径を確認しながら作業を進

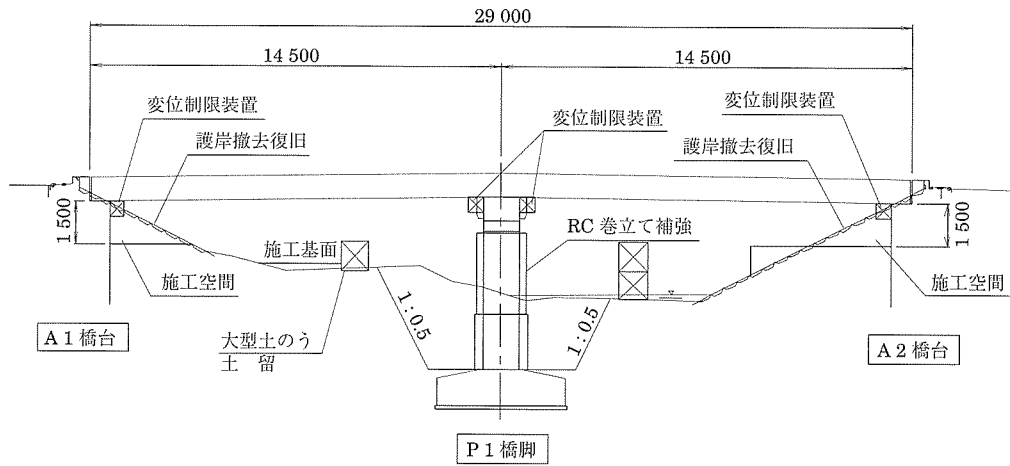


図 - 9 橋梁全体図

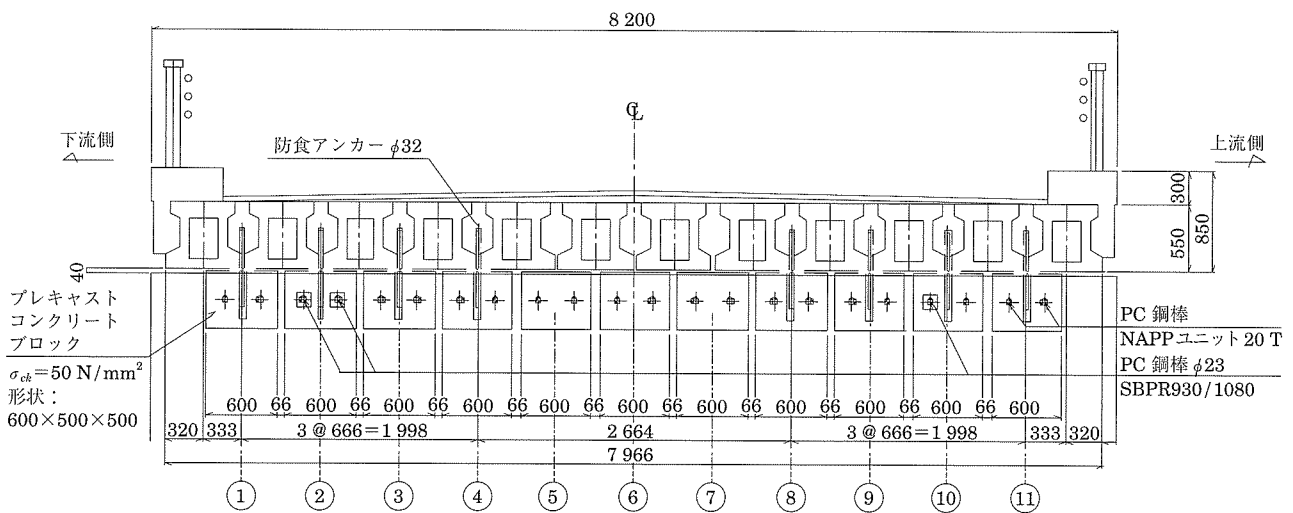


図 - 10 NAPP 配置図 (P1 橋脚)

めた。なお、既設橋台・橋脚の鉄筋位置により、正規位置に削孔が困難と判断された場合には、構造計算を満足することを確認したうえで、高さ方向に+100 mm から-50 mm に納まる範囲で、削孔位置を決定した。

内面処理については、目荒し機を用いて作業を行い、すべての内面処理作業が終了した後、集塵機およびナイロン

ブラシで孔内の切粉を除去し、検測器具を用いて所定の外径 ($\phi 87$ mm) 以上になっていることを確認した。写真 - 2 に使用機器一式を示す。

プレキャストブロックを所定の位置に設置後、下部工躯体とプレキャストブロック間および NAPP アンカー孔内に無収縮モルタルの注入を行っている。写真 - 3, 4 にプレキャストブロック設置前および設置後の状況を、写真 - 5 に

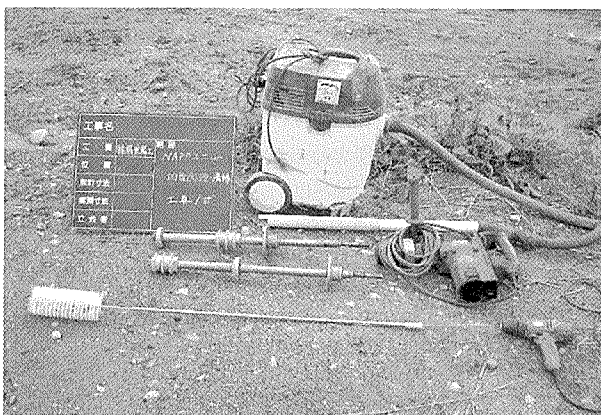


写真 - 2 内面処理用機器

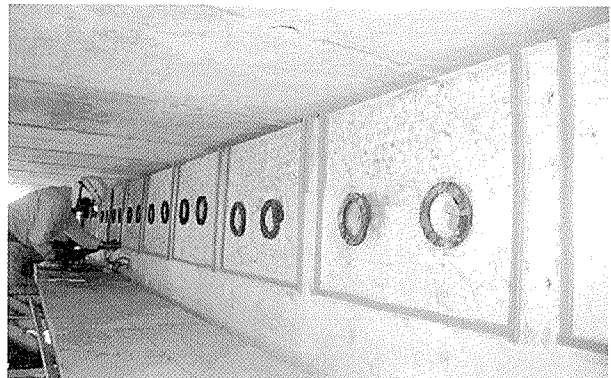


写真 - 3 プレキャストブロック設置前

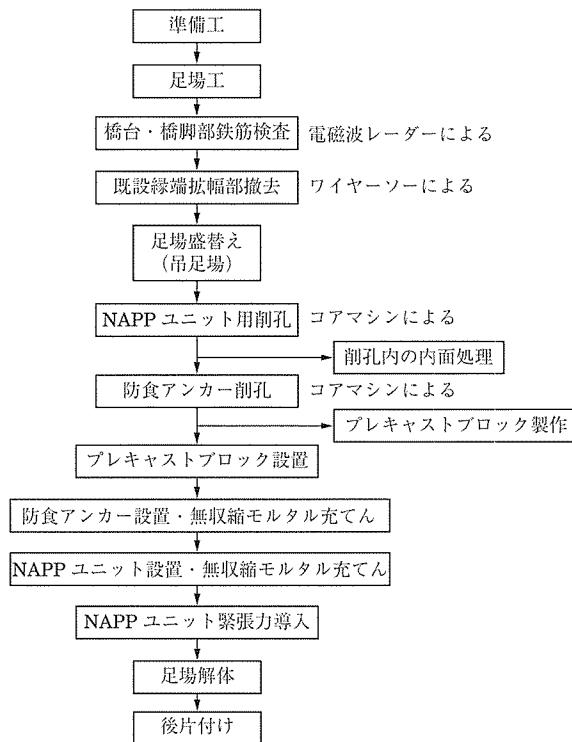


図 - 11 施工フロー図



写真 - 4 プレキャストブロック設置後

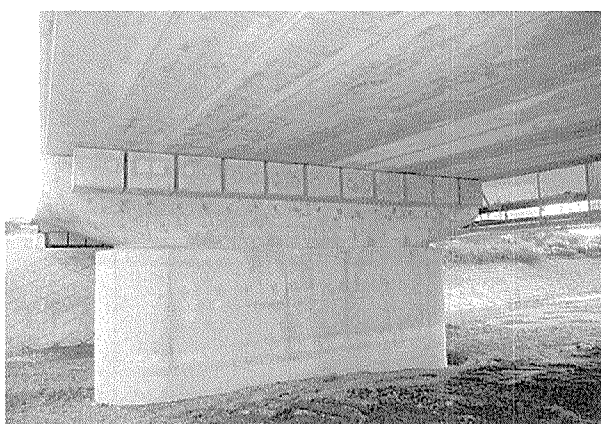


写真 - 5 完成状況 (P1 橋脚)

は P1 橋脚の完成状況を示す。

5. 細径タイプ NAPP アンカーの開発

これまで、標準タイプの NAPP アンカー工法について、その検討の一部および施工例について述べてきた。標準タイプを使用した場合、NAPP ユニット 40 T (標準緊張力 420 kN) を用いる際には、そのエンドホルダーの大きさから削孔径が $\phi 90$ mm となる。また、30 T および 20 T の場合には、削孔径が $\phi 77$ mm となる。とくに 40 T を使用する場合には、配筋量の多い部材や薄い部材に適用することが困難となる可能性が大きく、削孔径を小さくした NAPP アンカー工法が開発が望まれていた。そこで、削孔径を小さくするために開発したアンカー構造とこれを用いて行った定着確認実験について以下に述べるものとする。

5.1 削孔定着

現在使用されている標準タイプの削孔定着は NAPP ユニット 40 T を用いる場合、削孔径が 90 mm、定着部は鋼棒径に対して 8ϕ ($= 8 \times 40 = 320$ mm) のねじ切り長とエンドホルダーから構成される。一方、細径タイプで同等の緊張力を有する NAPP ユニット 40 S では削孔径を 53 mm と小さくするために、標準タイプで使用する対角寸法 86.5 mm のエンドホルダーに代わり、全ねじ鋼棒 (アンカーホルダー) と円形薄肉ナットを配置する。図 - 12 に細径タイプの NAPP ユニットの概要図を示す。また、図 - 13 に標準タイプと細径タイプの削孔定着詳細を、図 - 14 に削孔断面図を示す。

5.2 試験体および試験方法

プレテンション方式の PC 部材定着具に生じる付着には、鋼材の長さ方向に分布する要素と、PC 鋼材のポアソン効果に起因するコンクリートと PC 鋼材間の接触圧に關係する

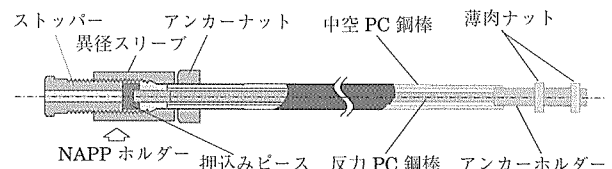
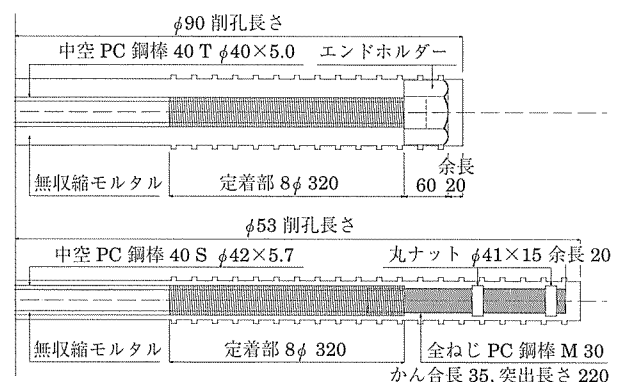
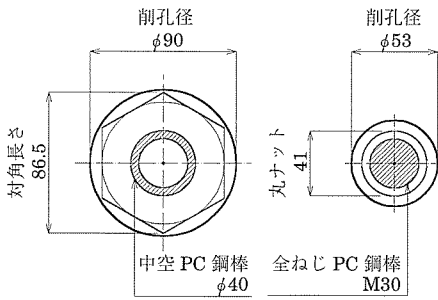


図 - 12 NAPP ユニットの概要図 (細径タイプ)



上) 標準タイプ 40 T, 下) 細径タイプ 40 S

図 - 13 削孔定着詳細



左) 標準タイプ 40 T, 右) 細径タイプ 40 S

図 - 14 削孔径の比較

要素に大別される。今井の研究²⁾によると NAPP システムの場合、接触圧の要素の割合は 4.8 ~ 5.8 % 程度と小さい。このことから、今回の NAPP システムの定着耐力確認実験では、試験体にプレテンションプレストレスを導入せずに行うものとした。

(1) 試験体

引抜き荷重により、定着耐力が NAPP ユニット 40 S のねじ部基準引張荷重 539 kN 以上であることを確認し、NAPP ユニット固定端の変位が生じないことを確認する。

試験体は 2 体とし、パラメータは全ねじ定着部の長さおよび円形ナットの配置個数である。試験体の種類と使用材料を表 - 4 に示す。

No.1 試験体の確認実験を先行して行い、その結果を検討して No.2 の試験体の定着部を設定した。試験体の形状および配筋を図 - 15 に示す。中空 PC 鋼棒の引抜き荷重であるため、コンクリートが破壊しない 500 mm × 500 mm の断面とし、長さは最大定着長として鋼棒径に対して $18\phi = 720$ mm とした。補強筋として高強度スパイラル筋を配置し、コアドリルによる削孔径は $\phi 53$ mm とした。なお、孔内は図 - 16 に示すような内面処理を全長にわたって行って

表 - 4 試験体の種類と使用材料

試験体 No.	NAPP ユニット B 種 1 号 SBPR930/1080			コンクリート		
	中空部 $\phi 40$ 埋込長 (mm)	全ねじ部 突出長 (mm)	円形ナット $\phi 40$ (mm)	削孔径 ϕ (mm)	削孔長 内面処理 長さ (mm)	設計 基準 強度 (N/mm ²)
1	320	320	3 個	53	720	27
2	320	220	2 個	53	720	27

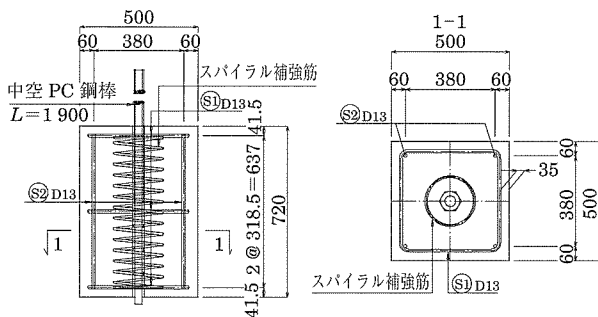


図 - 15 試験体形状および配筋図

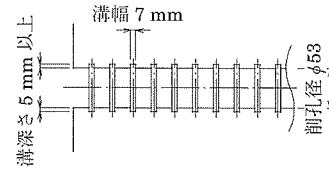


図 - 16 内面処理

表 - 5 無収縮モルタル諸元

試験体 No.	流動性 J14 ロート (秒)	プレミックス 材 (kg)	水量 (kg)	モルタル 温度 (°C)	粗骨材 最大寸法 (mm)	注入 方向
1	7.9	25	4.20	32	1 以下	水平
2	7.8	25	4.15	25		

いる。また、充てんする無収縮モルタルは、孔内の空間が小さいため、細骨材の最大寸法を 1 mm 以下の流動性が良いものを用いた。注入方法はポンプを用いて水平方向に注入している。無収縮モルタルの諸元を表 - 5 に示す。

(2) 測定項目

測定は、固定端およびジャッキ支圧板の変位、全ねじ PC 鋼棒およびコンクリート表面のひずみとした。全ねじ PC 鋼棒のひずみ測定位置を図 - 17 および写真 - 6 に、変位とコンクリートひずみ測定位置を図 - 18 に示す。なお、コンクリートひずみは No.1 試験体のみ測定した。全ねじ PC 鋼棒のひずみゲージは鋼棒のねじ山を切削して貼付した。ま

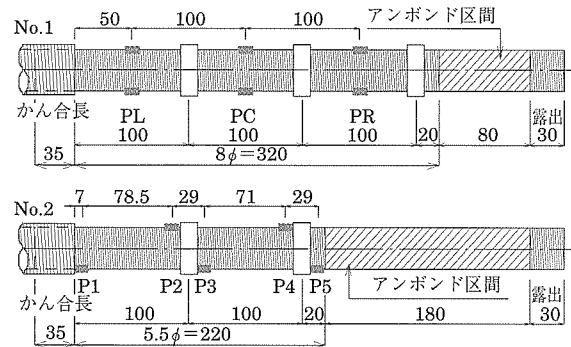


図 - 17 ゲージ位置



写真 - 6 ゲージ位置 (No.2 試験体)

た、別途引張試験を行ってひずみゲージの校正試験を行い、切削部分の有効断面積を算出している。

(3) 実験方法

荷重は1000 kN ジャッキを用いて行った。荷重装置の概要を図-18に示す。荷重は単調増加とし、ねじ部規準引張荷重の539 kNまで荷重した。その際の荷重速度は毎分50 N/mm² (30.7 kN)としている。

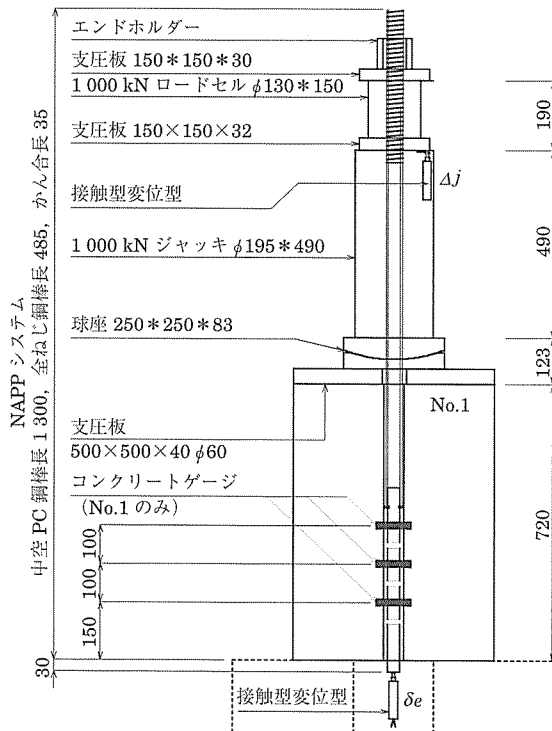


図-18 載荷装置および測定位置

5.3 実験結果と考察

試験時の材料試験結果を表-6に示す。

表-6 使用材料試験結果

試験体 No.	コンクリート		モルタル	
	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
1	30.6	24.8	59.4	23.2
2	39.8	31.3	63.3	25.2

(1) 固定端の変位

固定端の変位と引抜き荷重の関係を図-19に示す。同図にはジャッキ支圧板の変位もあわせて示している。図より、ねじ部基準引張荷重において、どちらの試験体も固定端の変位はなく、定着耐力が確保されていることが確認できた。

(2) 全ねじ部のひずみ分布

中空PC鋼棒の設計荷重時許容引張荷重 (0.6 Pu = 398 kN) 載荷時のひずみ分布を図-20に示す。横軸は中空鋼棒端部からの距離を示している。

No.1試験体のひずみ分布を見ると、PR (250 mm 位置) のひずみが 5×10^{-6} と小さくなっており、3つ目の円形ナ

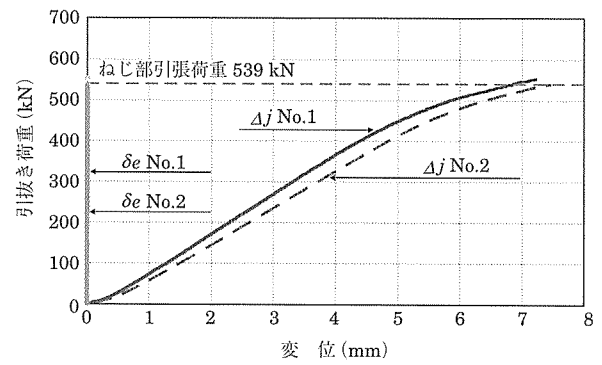


図-19 荷重と固定端変位の関係

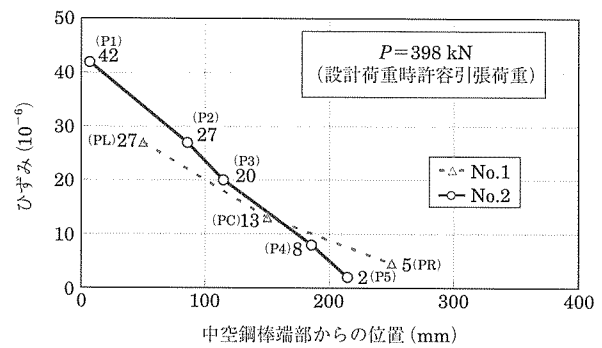


図-20 ひずみ分布 (設計荷重時許容引張荷重)

ットにほとんど荷重が作用しないことが推定できる。この結果から、No.2試験体の円形ナット数は2つとした。これは削孔長を短くする理由からである。

No.2試験体のひずみ分布を見ると、円形ナット部 (P2-P3, P4-P5間) の勾配が、ねじ部 (P1-P2, P3-P4間) の勾配に比べて若干大きくなっており、円形ナットの影響が推察できるが、その効果は小さい。これは、ナット部には支圧力が作用するが、ナット側面の付着力は小さいため、ナットの支圧効果とナット下のねじ部付着効果が相殺していることが原因と考えられる。

(3) 全ねじ部の付着応力

ひずみ分布曲線の傾きは、微小区間の中空PC鋼棒張力差を示しており、付着応力は、式(1)から求めることができる。

$$\tau = Ap Ep / \pi D \times d \epsilon s / dx \quad (1)$$

ここに、

τ : 付着応力 (N/mm²)

Ap : 鋼材の断面積 (mm²) = 594.533

Ep : 鋼材のヤング係数 (N/mm²) = 201 000

D : 鋼材の径 (mm) = 30

図-20に示したNo.2試験体のひずみ分布から式(1)より求めた付着応力を表-7に示す。同表には分担率として、それぞれの付着力を全付着力で除した値を示している。これより分担率はナット部で31.9%、ねじ部で68.1%であった。

(4) 荷重-ひずみ関係

No.1試験体のコンクリートゲージにはひずみが生じな

表 - 7 No.2 全ねじ部の付着応力度

位置	ϵ 10^{-6}	区間長 mm	ひずみ 変化率 $10^{-6}/\text{mm}$	付着 応力度 N/mm^2	付着力 kN	分担率 %	備考
P 1	42	78.5	0.19108	0.24	1.8	38.3	ネジ部
P 2	27						
P 3	20	29.0	0.24138	0.31	0.8	17.0	ナット部
		71.0	0.16901	0.21	1.4	29.8	ネジ部
P 4	8	29.0	0.20690	0.26	0.7	14.9	ナット部
P 5	2						
計		207.5			4.7	100	

った。全ねじ部の荷重ひずみ関係を図 - 21 に示す。同位置でのひずみを比較するため、No.2 試験体の P 1 - P 2, P 3 - P 4 の値を PL, PC 位置に直線補間してプロットした。PL, PC 位置では、No.1 と No.2 のひずみに大きな差異はみられなかった。このことから円形ナットが2つでも機能することが分かる。

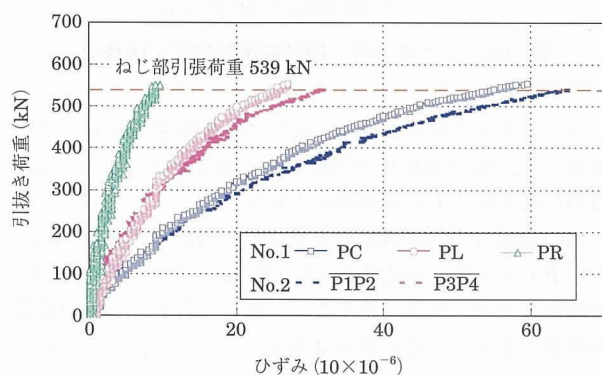


図 - 21 荷重とひずみの関係

5.4 ま と め

細径 NAPP アンカーの開発にあたり、エンドホルダーに代わる全ねじ PC 鋼棒と円形ナットによる構造を提案し、実施した実験結果から以下の結果が得られた。

- (1) 全ねじ PC 鋼棒と円形ナットの組み合わせによる定着機構は、十分な定着性能を有することが確認できた。
- (2) 円形ナットの個数は2個で、定着耐力を満足した。
- (3) NAPP ユニット 40 S の削孔定着に必要な長さは、 $8\phi + 220\text{ mm}$ (5.5ϕ) の 560 mm となった。

6. おわりに

本稿では、NAPP ユニットを用いたアンカー工法について、当初に開発した標準タイプの検討結果と実施例、および細径タイプの検討結果について報告を行った。

標準タイプに比べて削孔径を小さくできる細径タイプが実用に耐えうることを確認できたことで、その用途はさらに広がるものと考えている。ただし、同性能を有する標準タイプと細径タイプを比べた場合に、削孔長さは細径タイプのほうが長くなるので、適用する部材や条件によって、標準タイプと細径タイプを使い分けることが肝要だと考えている。

最後に、本工法の開発にあたり材料および機材の御協力をいただいた、高周波熱錬株式会社、サンコーテクノ株式会社に感謝します。

参考文献

- 1) 土木学会, 2005 年制定, コンクリート標準示方書 [基準編], pp.239 - 242
- 2) 今井・出光・横田: NAPP 工法の後施工利用に関する基礎的研究, 第 8 回 PC シンポジウム, pp.291 - 296, 1998 年 10 月

【2008 年 8 月 4 日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

貯水用円筒形PCタンク設計施工規準

頒布価格：会員特価 3,500 円 (送料 500 円)

：非会員価格 4,200 円 (送料 500 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版