

既設構造物に NAPP ユニットの削孔定着する NAPP アンカー工法の開発

オリエンタル白石(株) 正会員 工修 ○原 健悟
 オリエンタル白石(株) 正会員 工修 阿部 浩幸

1. はじめに

NAPP 工法¹⁾ (Non Abutment Pretensioning Prestressing Method) は、取り扱いが容易で、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。既設コンクリート構造物に削孔を行い、削孔部にモルタルを充填して NAPP ユニットの定着する方法 (以下、NAPP アンカー工法²⁾ と呼ぶ) の基礎的な定着性能は今井らにより報告³⁾されている。しかしながら、既設コンクリート構造物が低強度である場合は、付着強度が低下し、NAPP ユニットの引張荷重を保持する付着力を確保するためには、長い削孔定着が必要と考えられる。

著者らは、NAPP アンカー工法を低強度のコンクリート構造物に適用するため、**図-1**に示すように削孔内面に環状の溝を設ける内面処理を行い、付着力を改善した場合の定着性能について検討した。NAPP アンカー工法では、NAPP ユニットの引張荷重を保持する定着長およびプレストレス分布を決定する必要があり、定着長は 8ϕ (ϕ : NAPP ユニットの中空 PC 鋼棒の外径) で満足することを確認した⁴⁾。しかしながら、低強度コンクリートでのプレストレス分布は確認されていない。

このようなことから、低強度コンクリートにおける NAPP アンカー工法の適用を目的として、プレストレス分布を明らかにするため実験を行った。同時に定着性能を向上するため、中空 PC 鋼棒ねじ部の間に薄肉ナットを配置した場合について検討した。また、設計に反映するため、実験結果をもとに FEM 解析により最小配置間隔、最小縁端距離を検討した。以下に結果を報告する。

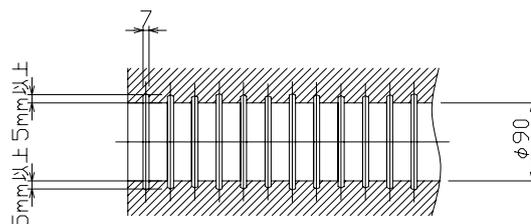


図-1 既設コンクリート内面処理 (φ90mm)

2. プレストレス分布の確認実験

2.1 実験概要

NAPP アンカー工法を低強度コンクリートに適用した場合のプレストレス分布を確認するために実験を行った。実験要因を**表-1**に示す。実験では、コンクリート強度、プレストレス導入時のモルタル強度、中空 PC 鋼棒標準部の付着の有無、中空 PC 鋼棒の径 (NAPP ユニットの種類) および中空 PC 鋼棒のねじ部への中間ナットの配置の有無による比較を行った。

試験体は、既設側 (削孔し、内面処理を行った部位) と場所打ち側からなり、断面は、削孔する関係から削孔機械を設置するため 500×500 mm とし、長さはそれぞれ 1000 mm とした。削孔径は NAPP40T では 90 mm, 20T では 77 mm とし、削孔面には内面処理を行った (**図-1**参照)。定着長は NAPP40T では 320 mm ($8\phi=8 \times 40$ mm), 20T では 232 mm ($8\phi=8 \times 29$ mm) とした。**図-2**に試験体の形状を示す。

試験体の製作は、既設側のコンクリートを打設し、約 2 週間後に削孔を行い、内面処理を施した。次に、NAPP ユニットの配置し、

表-1 実験要因

場所打ち側のコンクリートを打設し、材齢 28 日以降にモルタルを注入した。その後、モルタル強度が 30N/mm^2 および 50N/mm^2 を

No.	コンクリート強度 (N/mm ²)	モルタル強度 (N/mm ²)	削孔部	削孔径	NAPP ユニット	標準部の付着	モルタル注入方向
1-1	18	50	内面処理	φ90mm	40T	有	横注入
1-2						無	
2-1					40TWナット		
2-2					無		
2-3	30	50		φ77mm	20T		
2-4				φ90mm	40T		

上回ることを確認しプレストレスを導入した。

プレストレスの分布は鉄筋およびコンクリートのひずみにより判断した。それぞれのひずみ計測位置の一例を図-3に示す。

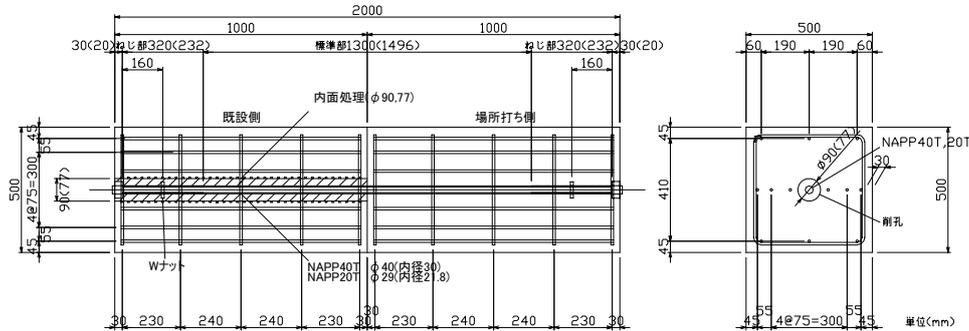


図 - 2 試験体形状図

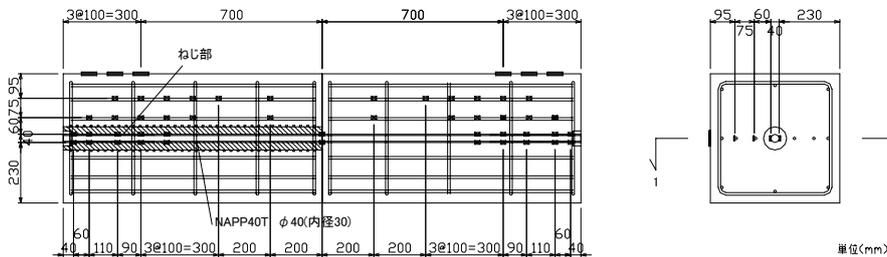


図 - 3 計測位置図 (一例: 試験体 No. 2-1)

2. 2 実験結果および考察

コンクリートおよびモルタルの圧縮強度と弾性係数を表-2, プレストレス導入率を図-4に示す。導入率は、次式により算出した値である。

$$\text{プレストレス導入率} = (\text{初期ひずみ} - \text{ひずみ変動量} + \text{弾性変形ひずみ}) / \text{初期ひずみ}$$

ここで、初期ひずみ : NAPPユニット緊張時の中空PC鋼棒のひずみ

ひずみ変動量 : プレストレス導入時の中空PC鋼棒のひずみ変動量

弾性変形ひずみ : 導入プレストレスから計算により求めた弾性変形ひずみ

図-4より、No.2試験体ではNo.1試験体と比較して、試験体中央の導入率が小さくなった。これは標準部の付着を無くしたことによるものと考えられる。

導入時のモルタル強度が30N/mm²のNo.1-1試験体と50N/mm²のNo.1-2試験体の導入率は、定着ナットから約400mm離れた位置でそれぞれ73%および81%であり、モルタル強度による影響が大きい。モルタル強度が50N/mm²であるNo.1-2試験体の場合、ナッ

表 - 2 材料試験結果

No.	削孔側コンクリート		場所打ち側コンクリート		モルタル	
	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
1-1	16.1	20.9	17.0	20.6	30.8	16.5
1-2					51.7	23.9
2-1~3	19.6	19.9	13.7	17.1	70.7	20.8
2-4	27.1	23.1	21.8	21.4		

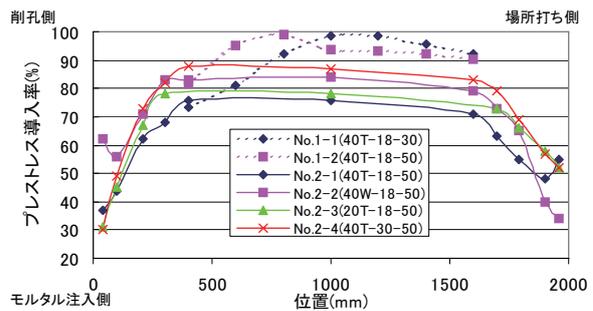


図 - 4 プレストレス導入率

ト背面より 560mm (14φ, φ: NAPP 中空鋼棒外径) で導入率 93~95% を示した。

プレストレス力が違う NAPP40T を配置した No.2-1 試験体と NAPP20T の No.2-3 試験体では、ねじ部端部(ナット背面より 8φ の位置でそれぞれ 320mm と 232mm) のひずみおよび勾配が概ね同じことから、同等の付着挙動を示していると考えられる。

既設側と場所打ち側のコンクリート強度が 18N/mm² の No.2-1 試験体と 30N/mm² の No.2-4 試験体を比較した場合、コンクリート強度の高い No.2-4 試験体の導入率が大きく、付着性能がよい傾向を示している。

薄肉ナットをねじ部中間に追加配置して定着させる W ナットとした No.2-2 試験体と通常定着の No.2-1 を比較した場合、No.2-2 試験体の方が既設側および場所打ち側において導入率が大きい。また、コンクリート強度 30N/mm² の No.2-4 試験体とほぼ同じひずみ挙動を示し、W ナット定着とすることで定着性能が向上し、その効果はコンクリート強度 30N/mm² の通常定着する性能に相当すると考えられる。

図-5 に NAPP 導入時のナット引込み変位置量の比較を示す。引込み変位置量は、プレストレス導入率と

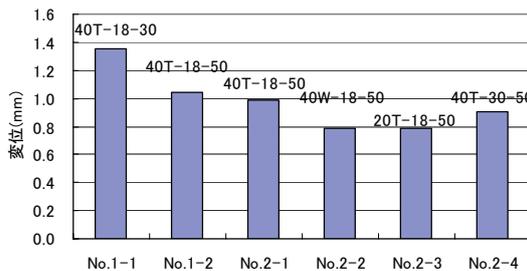


図-5 引込み変位置

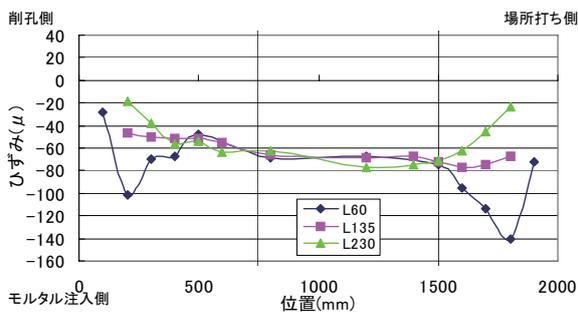


図-6 導入時ひずみ分布 (No. 1-1 : 40T-18-30)

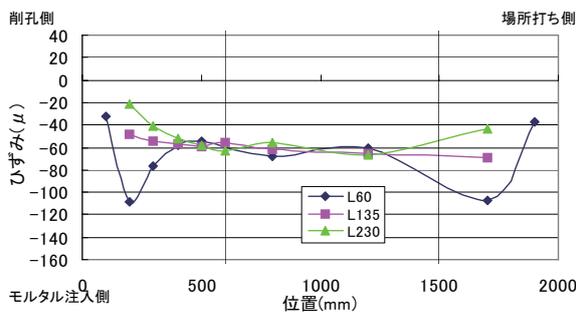


図-7 導入時ひずみ分布 (No. 1-2 : 40T-18-50)

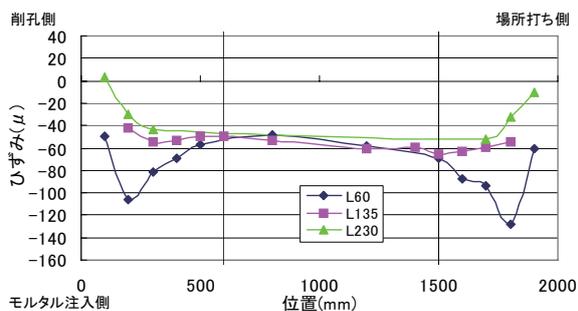


図-8 導入時ひずみ分布 (No. 2-1 : 40T-18-50)

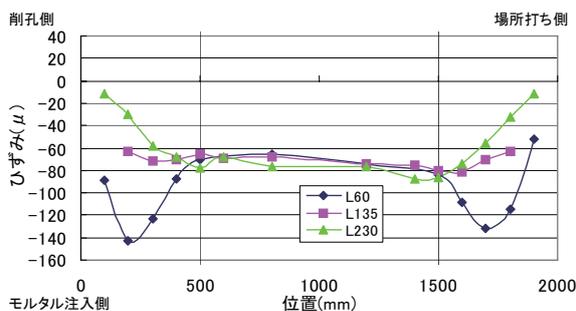


図-9 導入時ひずみ分布 (No. 2-2 : 40W-18-50)

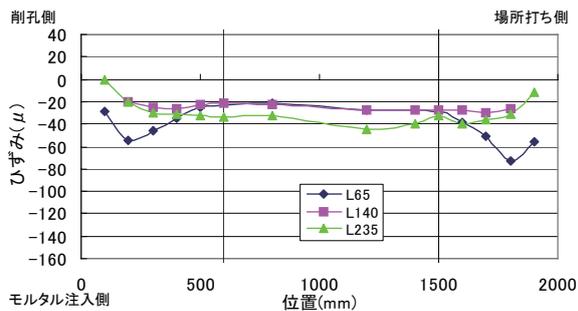


図-10 導入時ひずみ分布 (No. 2-3 : 20T-18-50)

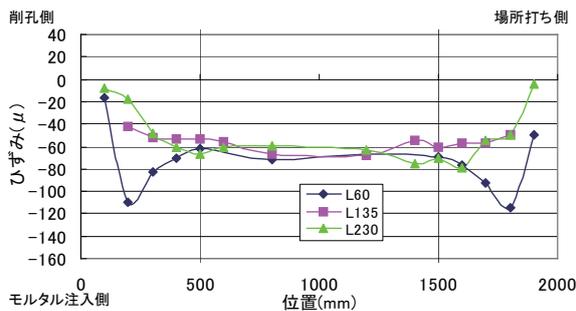


図-11 導入時ひずみ分布 (No. 2-4 : 40T-30-50)

相関があり、モルタル強度およびコンクリート強度が高いほど小さくなった。また、W ナットにより、定着性能が向上していることが確認できる。

図-6~11に各試験体の鉄筋(中空 PC 鋼棒表面から NAPP40T で 60mm および 135mm, NAPP20T で 65mm および 140mm 離れた位置)およびコンクリート表面(同様に NAPP40T で 230mm, NAPP20T で 235mm 離れた位置)の軸方向ひずみ分布を示す。

No.1-1 試験体および No.1-2 試験体は、既設側端部よりそれぞれ 800mm, 600mm の位置で断面全体のひずみが試験体長さ中央のひずみとほぼ同じ値を示している。実験結果の定着性能から、プレストレス導入時のモルタル強度は 50N/mm² 以上とした。また、プレストレス分布は、分布角度を 33.7 度とした場合、NAPP ユニットねじ部中央(定着ナット背面より 4φ)が分布開始点となる。

No.2-2 試験体と No.2-4 試験体では、端部より 500mm の位置でひずみがほぼ一定となっている。No.2-1 試験体および No.2-3 試験体は 600mm の位置で安定していることがわかる。このことから、W ナット定着およびコンクリート強度を上げることで定着性能が改善されることがわかる。

図-12に中空 PC 鋼棒ひずみの挙動を示す。導入時の結果からモルタル強度 50N/mm² 以上とした試験体について経時変化を引き続き計測した。経時変化の減少量は各試験体とも同様な傾向を示し、また長期挙動は急激に変化することなく安定して推移し、クリープ・乾燥収縮により変動したと考えられる。

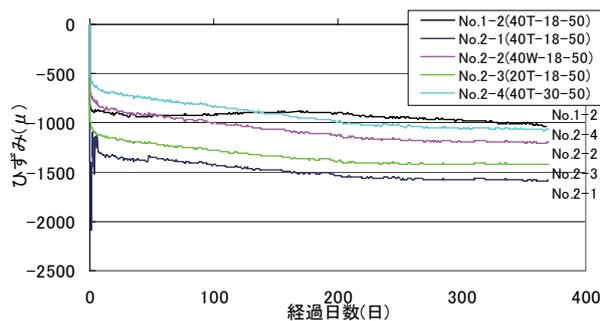


図-12 NAPPひずみ経時変化

3. 実験結果の解析的検証

3.1 解析概要

NAPP アンカー工法の最小配置間隔および最小縁端距離を FEM 解析により決定するため、実験結果が再現できるモデルを設定した。モデルを決定するために用いた実験結果は、解析を簡易化するため中空 PC 鋼棒の標準部の付着を無くした No.2-1(NAPP40T)および No.2-3(NAPP20T)とした。

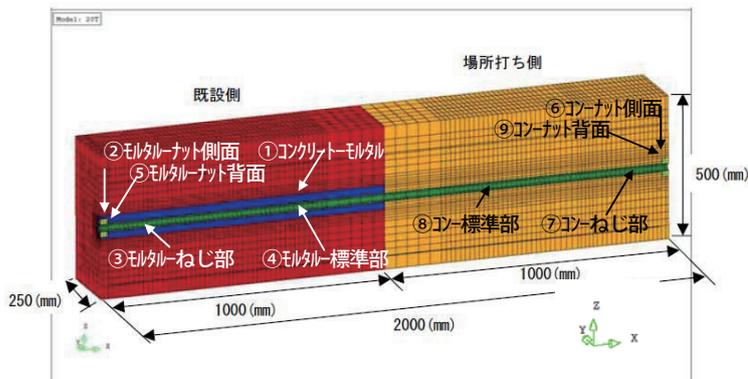


図-13 解析モデル

最小配置間隔および最小縁端距離の決定は、使用状態においてコンクリートに有害なひび割れが発生しないことを確認するものであり、基本的には定着部のコンクリートの応力集中が再現できるモデルとすればよいことから以下のような境界条件を設定した。

既設部のコンクリートとモルタルは固定、既設部のモルタルと中空 PC 鋼棒の標準部、場所打ち部のコンクリートと中空 PC 鋼棒の標準部、既設部および場所打ち部のナット側面は付着なし、既設部のモルタルおよび場所

表-3 境界要素

部位	境界	条件	バネ値 N/mm ² /mm
既設部	①コンクリート-モルタル	固定	10 × 10 ¹⁰
	②モルタル-ナット側面	付着なし	0.1
	③モルタル-中空PC鋼棒のねじ部	せん断バネ	7.6
	④モルタル-中空PC鋼棒の標準部	付着なし	0.1
	⑤モルタル-ナット背面	軸方向バネ	30.0
場所打ち部	⑥コンクリート-ナット側面	付着なし	0.1
	⑦コンクリート-中空PC鋼棒のねじ部	せん断バネ	5.0
	⑧コンクリート-中空PC鋼棒の標準部	付着なし	0.1
	⑨コンクリートナット背面	軸方向バネ	20.0

打ち部のコンクリートとナット背面は軸方向バネ, 既設部のモルタルおよび場所打ち部のコンクリートと中空 PC 鋼棒のねじ部はせん断バネとした。なお,せん断バネおよび軸方向バネは線形バネとした。

また,コンクリートおよびモルタルの弾性係数は実験結果(表 - 2参照)を,中空 PC 鋼体および鉄筋は $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ とした。図 - 13 に解析モデルを,表 - 3 に境界条件を示す。

3.2 解析結果

NAPP40T および NAPP20T の実験結果と解析結果の比較により決定したせん断方向の剛性値を表 - 3 に併記し, 図 - 14 に中空 PC 鋼棒のひずみ分布の実験結果と解析結果の比較, 図 - 15 に定着ナット引込み変位の比較を示す。また, 図 - 16 に NAPP40T の鉄筋ひずみ (中空 PC 鋼棒表面から 60mm および 135mm 離れた位置) 分布の比較を示す。実験結果と解析結果の比較から精度良く解析できている。

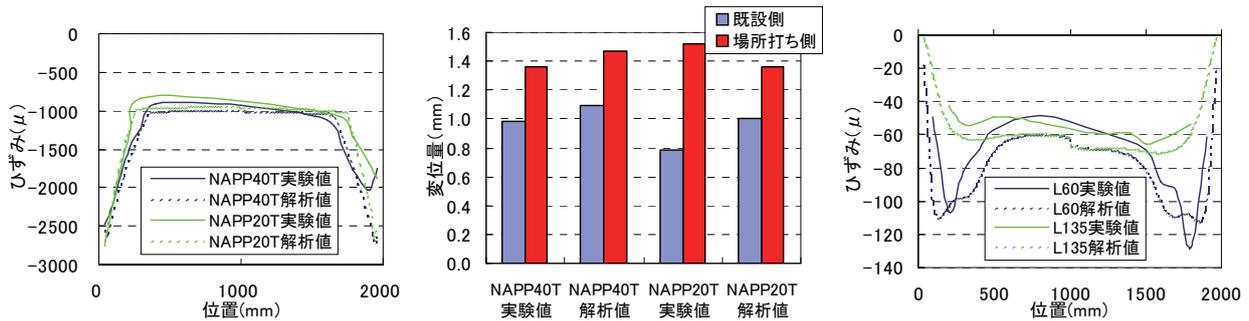


図 - 14 NAPP ひずみ分布比較 図 - 15 引込み変位量比較 図 - 16 NAPP40T ひずみ分布比較

4. 最小配置間隔および最小縁端距離の検討

4.1 検討モデル

最小縁端距離および最小配置間隔を FEM 解析により検討した。検討した最小縁端距離および最小配置間隔は, 図 - 17 に示す NAPP 工法設計・施工マニュアル¹⁾に記載されている値とし, 矩形断面内に最小縁端距離および最小配置間隔で配置した 4 本の NAPP40T および 20T を削孔定着した構造とした。解析は, 対称性を考慮して 1/4 部分について行った。解析モデルは, NAPP40T の場合, 図 - 18 に示す $250 \times 250 \text{mm}$ 断面の中心に NAPP を削孔定着したもので, 各境界面の条件を図の様に設定した。NAPP20T については, $180 \times 180 \text{mm}$ 断面とした。また, 解析に用いた材料物性値を表 - 4 に示す。想定したコンクリートおよびモルタル強度はそれぞれ 18N/mm^2 および 50N/mm^2 である。

表 3.1.1 定着部の最小配置間隔 (単位: mm)

ユニットの呼び名	a	b
20T	160 (180)	80 (90)
30T	190 (220)	100 (110)
40T	220 (250)	110 (125)

注) () 内数値は高強度スパイラル補強筋を省略した場合の最小間隔を示す

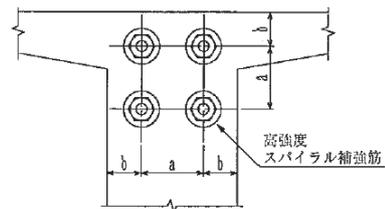


図 3.2 定着部の配置

図 - 17 NAPP 最小配置間隔および縁端距離

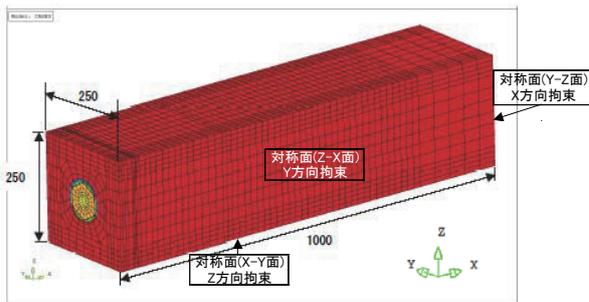


図 - 18 解析モデルおよび境界条件

表 - 4 材料物性値

部位	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	密度 (N/mm ³)
コンクリート	1.988×10^4	0.2	23.0×10^{-6}
モルタル	2.0×10^4	0.2	21.0×10^{-6}
中空PC鋼棒	2.0×10^5	0.3	77.0×10^{-6}
ナット	2.0×10^5	0.3	77.0×10^{-6}

4. 2 検討結果

図 - 19 に NAPP40T の解析結果を、図 - 20 に NAPP20T の解析結果をそれぞれ示す。

NAPP40T 解析結果は、隣り合う境界面の最大主応力で 0.88N/mm^2 、自由面のそれは 1.55N/mm^2 であった。

同様に NAPP20T 解析結果は、隣り合う境界面の最大主応力で 0.92N/mm^2 、自由面のそれは 1.58N/mm^2 であった。

コンクリート強度 18N/mm^2 の場合の引張強度（コンクリート標準示方書の引張強度式 $f_c=0.23f'ck^{2/3}$ ）は 1.58N/mm^2 であり、解析結果はこの値を下回っている。

以上のことから、解析の範囲においては、両者ともコンクリートにひび割れが発生しないものと推察される。

しかしながら、NAPP アンカー工法は既設構造物を削孔して定着するため、安全を考慮し最小縁端距離については、解析値に削孔径の半分を付加することとした。NAPP30T についても同様に検討し、NAPP アンカー工法における NAPP ユニットの最小配置間隔および最小縁端距離を表 - 5 に示す。

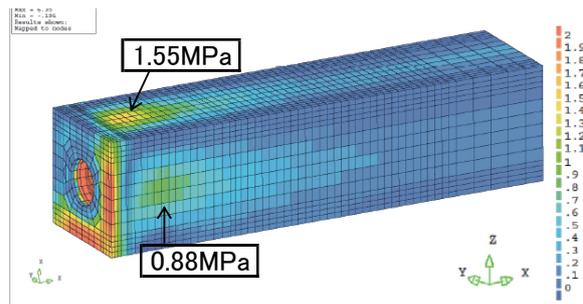


図 - 19 NAPP40T の最大主応力カラー図

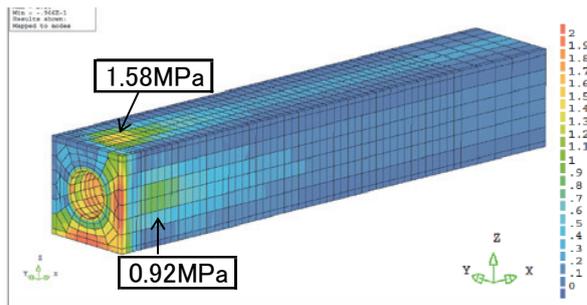


図 - 20 NAPP20T の最大主応力カラー図

表 - 5 最小配置間隔および最小縁端距離

ユニットの呼び名	最小配置間隔(mm)	最小縁端距離(mm)		
		解析値	削孔径	規定値
20T	180	90	77	130
30T	220	110	77	155
40T	250	125	90	170

5. まとめ

本実験結果より以下の事項が確認された。

- (1) プレストレス導入は、モルタル強度に影響を受ける。コンクリート強度 18N/mm^2 、モルタル強度 50N/mm^2 の場合、定着ナットより 14ϕ の位置でプレストレスが伝達されることが確認された。
- (2) プレストレス分布は、モルタル強度が 50N/mm^2 以上の場合、分布角度を 33.7 度とすると、NAPP ユニットねじ部中央（定着ナット背面より 4ϕ ）が分布開始点となる。
- (3) 長期の挙動は、クリープ・乾燥収縮によるもので、安定した挙動を示している。
- (4) 中空 PC 鋼棒ねじ部の中間に薄肉ナットを配置することで、定着性能が向上する可能性がある。
- (5) 解析により NAPP アンカー工法における NAPP ユニットの最小配置間隔および最小縁端距離を決定した。

参考文献

- 1) NAPP 工法技術研究会：NAPP 工法設計・施工マニュアル，2003 年 1 月
- 2) NAPP 工法技術研究会：NAPP アンカー工法設計・施工マニュアル，2006 年 4 月
- 3) 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
- 4) 原・阿部・粟津：NAPP 工法の削孔定着に関する実験的研究，第 14 回 PC シンポジウム，pp.487-490，2005 年 11 月