

# 論文 コンクリート部材への鋼材定着用として用いたナットの定着性能に関する研究

今井 昌文\*<sup>1</sup>・出光 隆\*<sup>2</sup>

**要旨：**コンクリート部材への鋼材定着用として、鋼材端部にねじ切り加工して配置したナットの定着性能について、コンクリート圧縮強度、ナット支圧面積と定着コンクリート面積の比および補強筋量を要因に実験を行い、定着コンクリートのひび割れ耐力と破壊耐力を、コンクリート圧縮強度、ナット支圧面積と定着コンクリート面積の比および補強筋量を考慮したそれぞれの式で表した。

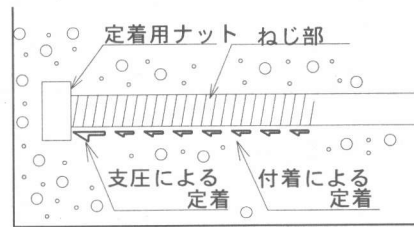
**キーワード：**定着、支圧、支圧強度

## 1. はじめに

本研究は、中空PC鋼棒を用いた「アバット装置を必要としないプレテンション方式」の実用化研究の一環として行った。同方式における鋼材のコンクリート部材への定着は、**図-1**に示すように、鋼材端部に配置したナット（以下、定着用ナットと呼ぶ）の支圧と、鋼棒ねじ部の付着とによる複合定着である。この複合定着について、鋼棒ねじ部の長さを変えて行った既往の研究<sup>1)</sup>により、定着力（鋼材への作用荷重）に対する定着用ナットの支圧と鋼棒ねじ部の付着の分担割合は、鋼棒ねじ部の長さによって異なることがわかっている。この結果から、定着力に対する両定着の分担割合には、鋼棒ねじ部の付着強度や付着長さに加えて、定着用ナットの支圧面積が影響することが推察された。ここで、定着用ナットの支圧面積は、定着力の分担割合に影響するとともに、コンクリート部材定着部（以下、定着コンクリートと呼ぶ）のひび割れ耐力および破壊耐力にも影響することが考えられる。複合定着においては、経済性および作業性の観点から、確実な定着機能を具備したうえで、ねじ部はより短く、定着用ナットはより小さいことが望ましい。ここで、定着用ナットの支圧面積を検討する上で、不測の事象によ

りねじ部の付着が無くなった場合においても、定着破壊することなく、確実に鋼材耐力を保持できることを定着用ナットに期待した。

そこで本研究は、鋼材端部に配置した定着用ナットのための支圧定着性能について試験を行い、上述の複合定着における定着用ナット支圧面積を検討する際の資料とすることを目的としている。



**図-1 複合定着概念図**

## 2. 実験概要

実験は、コンクリート圧縮強度と、定着用ナットの支圧面積と定着コンクリートの断面積の比（以下、支圧面積比と呼ぶ）を要因に行ったシリーズⅠと、補強筋量を要因に行ったシリーズⅡに大別される。試験体の仕様一覧を**表-1**に、形状寸法を**図-2**にそれぞれ示す。試験体名称の最初の2桁の数字は、コンクリート圧縮

\*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)

表-1 試験体仕様一覧

試験体名称	コンクリート 圧縮強度 $f_c$ (MPa)	定着コンクリート					定着用ナット		支圧 面積比 $\frac{A_n}{A_c}$	補強筋 半径比 $\frac{\rho^{*5}}{r_1}$	
		断面幅 a (mm)	断面幅 b (mm)	高さ h (mm)	断面積 $A_c^{*1}$ (mm <sup>2</sup> )	補強筋仮 想厚 $s^{*3}$ (mm)	径 Dn (mm)	断面積 $A_n^{*2}$ (mm <sup>2</sup> )			
シリ ーズ I	20.8	20B-Nm-1	205	220	470	44245	1.427	60	1972	0.0446	5.11
		20M-Nb-1	175	190	410	32395	"	70	2993	0.0924	2.97
		20M-Nm-1	"	"	"	"	"	60	1972	0.0609	4.04
		20M-Ns-1	"	"	"	"	"	50	1108	0.0342	6.28
		20S-Nm-1	145	160	350	22345	"	60	1972	0.0883	2.96
	34.4	30B-Nb-1	205	220	470	44245	"	70	2993	0.0676	3.76
		30B-Nm-1	"	"	"	"	"	60	1972	0.0446	5.11
		30B-Ns-1	"	"	"	"	"	50	1108	0.0250	7.94
		30M-Nb-1	175	190	410	32395	"	70	2993	0.0924	2.97
		30M-Nm-1	"	"	"	"	"	60	1972	0.0609	4.04
		30M-Ns-1	"	"	"	"	"	50	1108	0.0342	6.28
		30S-Nb-1	145	160	350	22345	"	70	2993	0.1339	2.18
		30S-Nm-1	"	"	"	"	"	60	1972	0.0883	2.96
	30S-Ns-1	"	"	"	"	"	50	1108	0.0496	4.61	
	40.4	40B-Nm-1	205	220	470	44245	"	60	1972	0.0446	5.11
40M-Nb-1		175	190	410	32395	"	70	2993	0.0924	2.97	
40M-Nm-1		"	"	"	"	"	60	1972	0.0609	4.04	
40M-Ns-1		"	"	"	"	"	50	1108	0.0342	6.28	
40S-Nm-1		145	160	350	22345	"	60	1972	0.0883	2.96	
シリ ーズ II	31.9	30'M'-Nm'-0	170	180	390	29795	0	B*C = 58*67 *4	2059	0.0691	4.15
		30'M'-Nm'-1	"	"	"	"	1.427		"	"	"
		30'M'-Nm'-2	"	"	"	"	2.534		"	"	"
		30'S'-Nm'-0	150	"	"	26195	0	"	0.0786	3.38	
		30'S'-Nm'-1	"	"	"	"	1.427	"	"	"	
		30'S'-Nm'-2	"	"	"	"	2.534	"	"	"	

- \*1 鋼棒断面積を削除
- \*2 "
- \*3 補強筋を、円筒と仮定した仮想厚さ
- \*4 B: ナット二面幅, C: ナット対角距離
- \*5 補強筋半径比

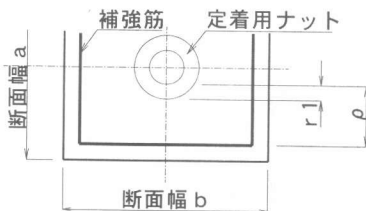


図-3 本実験の補強筋半径比の考え方

強度のレベルを表す。シリーズ I における試験体名称の B, M, S は断面幅 a がそれぞれ鋼棒径の 6.5 倍, 5.5 倍, 4.5 倍の場合を表し, 断面幅 b は断面幅 a の値より 15mm 大きくしている。これは, 観察面およびひずみ測定面を短幅

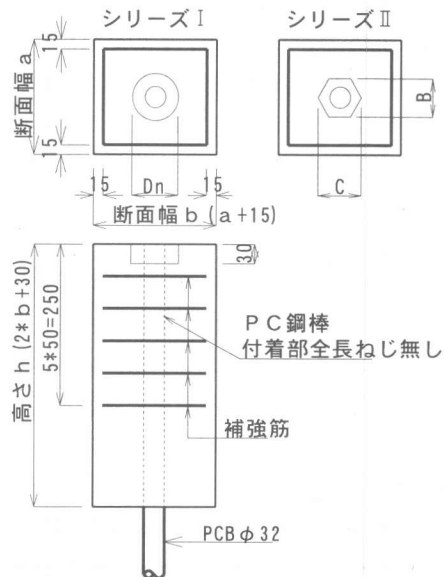


図-2 試験体形状寸法

方向の2面に限定するためである。シリーズIIにおける試験体M', Sは、断面幅aがそれぞれ鋼棒径の5.3倍, 4.7倍の場合を表している。

試験体の高さは、定着用ナット背面からの高さで、断面幅bの2倍とした。Nb, Nm, Ns, Nm'は定着用ナットの仕様を表し、試験体に用いたP C鋼棒の標準ナット(Nm'), 標準ナットと同一支圧面積の円筒ナット(Nm), 標準ナットの

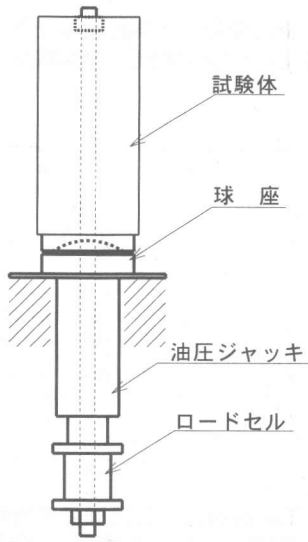


図-4 載荷試験方法図

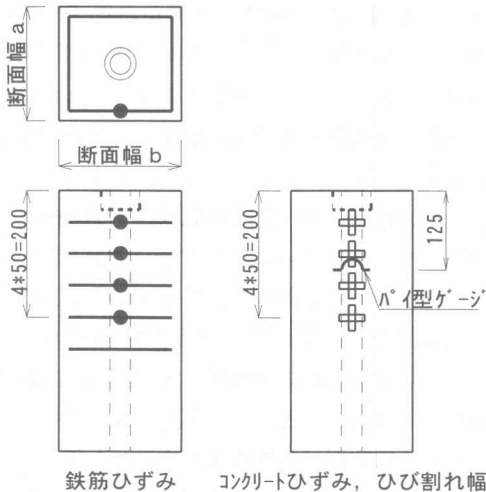


図-5 測定項目および測定位置

1.5 倍の支圧面積の円筒ナット(Nb), 標準ナットの0.5倍の支圧面積の円筒ナット(Ns)である。試験体名称の最後の数字は、補強筋を円筒と仮定した場合の仮想厚さ(s)を表し、0が補強筋無し, 1が $s=1.427\text{mm}$ , 2が $s=2.534\text{mm}$ の場合を示す。載荷方法を図-4に示す。定着用ナットへの載荷は、試験体中心に配置した外形32mmのP C鋼棒を介して行った。P C鋼棒にはねじ部を設けておらず、コンクリートとの付着はほとんど生じていない。載荷は、試験体の破壊まで単調増加させたが、その間10kN毎に、図-5に示す位置の、補強筋ひずみコンクリート表面ひずみおよびひび割れ幅を測定した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 定着コンクリートの破壊耐力

(1) シリーズI: コンクリート圧縮強度, 定着コンクリートと定着用ナットの支圧面積比を要因とした実験

本実験における定着コンクリートの破壊は、補強筋が降伏した時点とし、降伏の判定は補強筋のひずみにより行った。補強筋の降伏ひずみは、補強筋の規格降伏応力と鋼材のヤング係数から $1500\mu$ とした。補強筋ひずみ分布状態の一例を図-6に示す。凡例は、試験体名称および支圧面積比を示す。図に示すように、何れかの補強筋ひずみが $1500\mu$ となった時の補強筋ひずみ分布状態は試験体により異なった。定着コンクリートSの試験体では定着用ナット背面から20mmの位置の補強筋ひずみが最も大き

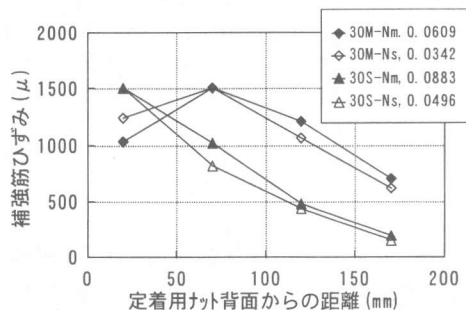


図-6 補強筋ひずみ分布の一例

くなり、定着コンクリートMおよびBの試験体では定着用ナット背面から70mm位置の補強筋ひずみが最も大きくなる傾向が見られた。この補強筋ひずみ分布形状に及ぼす影響は、定着コンクリート断面寸法が顕著であり、本実験の範囲では、支圧面積比の影響は見られなかった。本実験では、定着コンクリートの破壊を、何れかの補強筋が1500 $\mu$ に達した時点として以下の検討を行った。なお、破壊時における定着部コンクリート側面のひび割れ状態は、载荷軸直角方向のひび割れも見られたが、载荷軸方向のひび割れが主であり、定着用ナット背面から70mm位置の補強筋ひずみが1500 $\mu$ 時における、定着用ナット背面から95mm位置の载荷軸方向ひび割れ幅(図-5に示すパイ型ゲージ測定値)は、約0.25mm~0.3mmであった。

支圧面積比と支圧強度(定着コンクリートの破壊荷重を定着用ナットの支圧面積で除した値)の関係を図-7に示す。同図には、藤井らによる円柱コンクリートにおける補強筋の効果を考慮した支圧強度式<sup>2)</sup>(以下、藤井式と呼ぶ)による結果も併記した。以下に藤井式を示す。

$\rho/r_1 > 2.5$ の時

$$\frac{\sigma_u}{f_c} = K \cdot \frac{r_2}{r_1} \quad (1)$$

ここに、

$\rho$ : 補強筋の半径 (mm)

$r_1$ : 支圧版の半径 (mm)

$r_2$ : 円柱コンクリートの半径 (mm)

$r_2/r_1$ は、 $1/\sqrt{(A_n/A_c)}$ に相当と仮定

$A_n$ : 定着用ナット支圧面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_c$ : 定着コンクリート面積 (mm<sup>2</sup>)

$\sigma_u$ : 支圧強度 =  $P_u / (\pi \cdot r_1^2) = P_u / A_n$  (MPa)

$f_c$ : コンクリートの圧縮強度 (MPa)

K: 補強筋の量によって決まる常数

$$K = 0.531 \cdot s + 0.897$$

s: 補強筋を円筒と仮定した時の仮想厚さ (mm)

図に示すように、支圧面積比の平方の逆数と、支圧強度をコンクリート圧縮強度で除した実験結果の回帰直線はほぼ藤井式と一致した。回帰

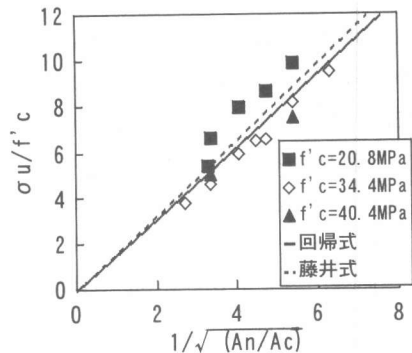


図-7 支圧面積比と支圧強度を圧縮強度で除した値との関係(補強筋量一定)

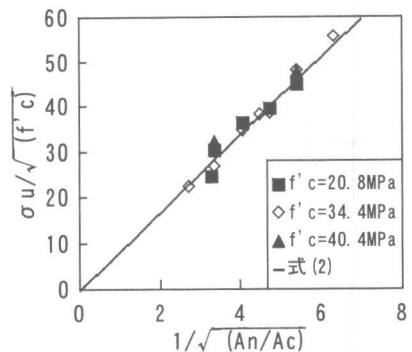


図-8 支圧面積比と支圧強度を圧縮強度の平方根で除した値との関係(補強筋量一定)

直線の相関性を表す相関係数の2乗( $r^2$ )は、0.750であった。藤井式は、中実の円柱コンクリートを用いた実験により導かれた式であるが、本実験で用いた、中心部に鋼材が配置された定着コンクリートでも適用できることが確認された。また藤井式では、適用範囲を補強筋半径で $\rho/r_1 > 2.5$ としているが、本実験では、 $\rho/r_1$ が最も小さい2.18の試験体(30S-Nb-1)についても包括している。ここで、式(1)を基に、コンクリート圧縮強度の影響を1/2乗とした、支圧強度と支圧面積比の関係を図-8に示す。

図に示すように、本実験の範囲では、支圧面積比の平方の逆数と、支圧強度に及ぼすコンクリート圧縮強度の影響を1/2乗とした値の回帰直線の $r^2$ は0.961と高い相関性を示した。回帰式を式(2)に示す。

$$\frac{\sigma_u}{\sqrt{f_c}} = 5.18 \cdot K \cdot \sqrt{\frac{A_c}{A_n}} \quad (2)$$

(2) シリーズⅡ：補強筋量，定着コンクリートと定着用ナットの支圧面積を要因とした実験試験体の破壊は，何れかの補強筋が降伏した時点とし，補強筋を配置していない試験体は最大荷重とした。実験結果を図-9に示す。図中の凡例の  $s=0$  は補強筋の無い場合を， $s=1$  は補強筋の仮想厚さ 1.427 の場合を， $s=2$  は補強筋の仮想厚さ 2.534 の場合をそれぞれ示す。図には，各補強筋量について式(2)を用いて計算した値を併記した。図に示すように，補強筋量と支圧面積比を要因として行った実験の定着コンクリートの破壊耐力は，前述の式(2)による計算結果と概ね一致した。

以上(1)シリーズⅠおよび(2)シリーズⅡに示した実験結果から，定着コンクリートの破壊耐力を，コンクリート圧縮強度，支圧面積比および補強筋の影響を考慮した式(2)により定量化することができた。

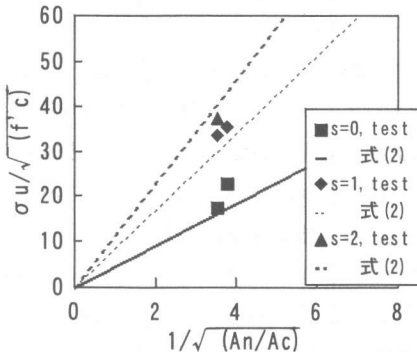


図-9 支圧面積比と支圧強度の関係に及ぼす補強筋量の影響

### 3.2 定着コンクリートのひび割れ耐力

定着コンクリートのひび割れ発生荷重は，載荷軸直角方向の定着コンクリートひずみ(図-5に示した水平に貼付したコンクリートひずみゲージによる値で以下，軸直角コンクリートひずみと呼ぶ)により判定した。軸直角コンクリ

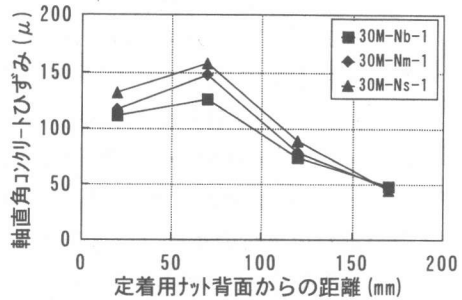


図-10 軸直角コンクリートひずみ (定着用ナット支圧面積比較)

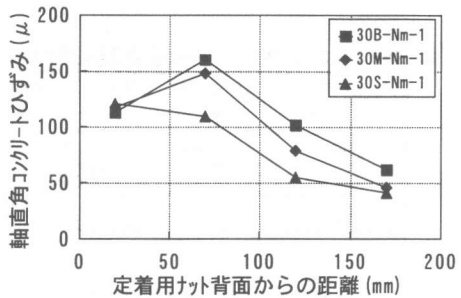


図-11 軸直角コンクリートひずみ (定着コンクリート面積比較)

ートひずみ分布を，定着用ナット支圧面積について比較したものを図-10に，定着コンクリート面積について比較したものを図-11にそれぞれ示す。図は，定着コンクリート応力(載荷荷重を定着コンクリート面積で除した値)が6MPaの時の分布を示す。同一の圧縮応力時の軸直角コンクリートひずみは，図-10に示すように，定着用ナットの支圧面積が大きいほど(Nb > Nm > Ns)小さく，また，図-11に示すように，定着コンクリート面積が大きいほど(B > M > S)大きい。以上のことは，支圧面積比が小さいものほど，同一圧縮応力時の軸直角コンクリートひずみが大きくなることを示している。この傾向は，局部支圧についての既往の研究<sup>3) 4) 5)</sup>により明らかであり，加えて，支圧面積比により，軸直角コンクリートひずみが最大となる位置も異なることがわかっている。しかしながら，本実験の測定位置では，軸直角コ

ンクリートひずみが最大となる位置の特定は行えなかったことから、本実験では定着ナット背面から 20mm および 70mm の位置の軸直角コンクリートひずみに着目した。軸直角コンクリートのひび割れひずみを 100  $\mu$  (表-2 から、 $\approx$ コンクリートの引張強度/ヤング係数) と仮定したひび割れ荷重時の定着コンクリート応力 (ひび割れ発生荷重を定着コンクリート面積で除した値) をコンクリートの引張強度で除して無次元化したものと支圧面積比の関係を図-12 に示す。

表-2 コンクリートの品質試験結果

圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
20.8	2.25	23.2
34.4	2.62	26.3
40.4	3.13	29.7

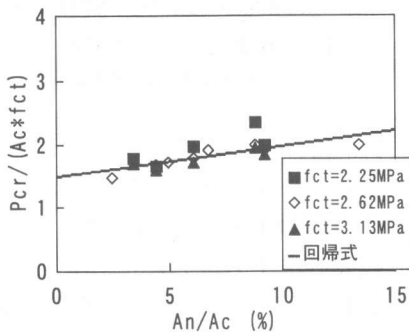


図-12 支圧面積比とひび割れ発生荷重の関係

図に示すように、定着コンクリートのひび割れひずみを 100  $\mu$  と仮定したひび割れ荷重時の、定着コンクリート応力をコンクリート引張強度で除したものと支圧面積比の間には、式(3)に示す相関性が見られた。回帰式の相関性を表す  $r^2$  は 0.760 であった。

$$\frac{P_{cr}}{A_c \cdot f_{ct}} = 4.4 \cdot \frac{A_n}{A_c} + 1.49 \quad (3)$$

$$P_{cr} = (4.4 \cdot A_n + 1.49 \cdot A_c) \cdot f_{ct} \quad (4)$$

ここに、

$P_{cr}$  : ひび割れ発生荷重 (N)  
 $A_n$  : 定着用ナット支圧面積 ( $\text{mm}^2$ )  
 $A_c$  : 定着コンクリート面積 ( $\text{mm}^2$ )  
 $f_{ct}$  : コンクリートの引張強度 (MPa)

#### 4. まとめ

定着用ナットの、コンクリート部材への定着性能の確認を目的に行った本研究の範囲において、得られた結果を以下にまとめる。

(1) コンクリート圧縮強度、支圧面積比および補強筋量を考慮した定着コンクリートの破壊耐力の算定式を、実験結果を回帰して求めた。

(2) コンクリート引張強度と支圧面積比を考慮した定着コンクリートのひび割れ耐力の算定式を、実験結果を回帰して求めた。

謝辞：本研究に際し、溝口氏をはじめ高周波熱錬(株)の皆様には御協力を頂きました。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 今井昌文, 出光 隆, 橋本順平: 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, pp.521-526, 1996.6
- 2) 藤井 学, 荒木 毅, 塩屋俊幸: 局部支圧を受ける補強コンクリートの変形と破壊, セメント技術年報, XXIX, pp.356-359, 1975
- 3) 岡本 伸: プレストレストコンクリート部材定着部に関する研究 (第1報), 日本建築学会論文報告集, 第217号, pp.35-43, 1974.3
- 4) 岡本 伸: プレストレストコンクリート部材定着部に関する研究 (第2報), 日本建築学会論文報告集, 第223号, pp.9-16, 1974.9
- 5) 岡本 伸: Dynamic Relaxation Method による連続体の応力解析, プレストレストコンクリート, Vol.14, No.2, 1972.4