

機械式定着工法『TPナット鉄筋』

前田建設工業株式会社

1

はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物は、耐震性向上の観点から大きな耐力と変形性能が要求されるため、鉄筋量の増加によって配筋が過密状態となっている。そのため、従来のフック定着の代わりに鉄筋端部へ定着金物を取り付けた機械式定着工法の採用が増えている。そこで、写真1に示すような機械式定着工法（TPナット鉄筋）を開発した。TPナット鉄筋の定着部は、鉄筋端部にネジ加工を施した雄ネジと、雌ネジ側となる定着金物（ナット）により構成される。雄ネジはネジ基端部を加締めた後、基端側から先端側へテーパを付けて切削加工を施したものである。定着金物は直径が鉄筋径の2.5倍であり、雄ネジに螺合する雌ネジを有している。雄ネジの加工は工場だけでなく建設現場内で小型の装置を用いて加工できるため、現場合わせの対応が可能である。また、ナットの取り付けには特殊な接着剤は不要であること、鉄筋の節形状の指定はなく、あらゆる節形状の鉄筋に定着金物を取り付け可能であるなどの特徴を有する。

本稿では、このような鉄筋端部に雄ネジを切削加工して取付けた機械式定着について各種性能確認実験を行い、その結果について紹介する。

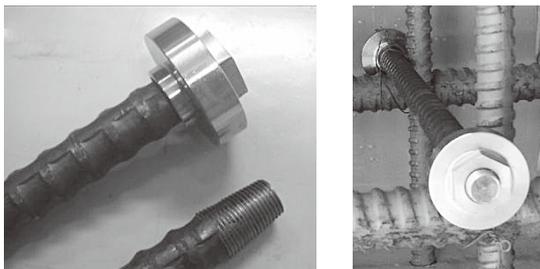


写真1 TPナット鉄筋

2

ネジ部（定着具）の性能

① 実験要因

定着具の性能評価実験は、鉄筋定着・継手指針¹⁾に基づき、引張強度、嵌合部の残留すべり量、勾配引張強度の3種類を実施した。実験要因の一覧を表1に示す。試験体は、鉄筋の節形状として竹節鉄筋とネジ節鉄筋の2種類を、鉄筋径としてD16、D25、D35の3種類を、鉄筋の強度としてSD295、SD345、SD390、SD490の4種類を用いた。載荷方法は、鉛直引張・勾配引張の2種類とした。試験体は、実験パラメータごとに3本とした。

② 実験方法

定着具の引張試験方法を図1に示す。引張強度と嵌合部の残留すべり量は、図1（左）に示すように治具で定着具を固定し、定着具に対して鉄筋を鉛直方向に引っ張ることで実施した。拔出し変位（すべり量）の計測は、図1（左）のように定着具に治具を介して取り付けられたカンチレバー型変位計を用いて鉄筋との相対変位を計測した。嵌合部の残留すべり量は引張強度と併せて実施し、最初に上限応力として0.95 f_{yn} まで加力した後、下限応力の0.02 f_{yn} まで除荷して拔出し変位の計測を行った。その後、鉄筋が破断するまで再度加力を

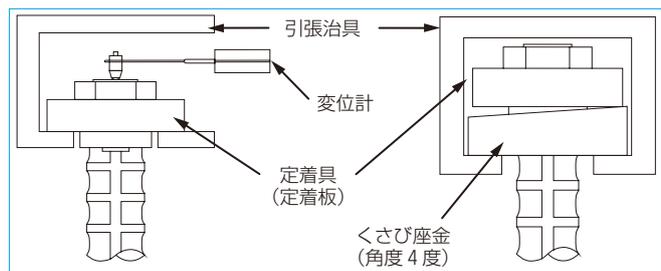


図1 引張試験方法（左：鉛直引張、右：勾配引張）



写真2 定着具の引張試験状況 (左:鉛直引張、右:勾配引張)

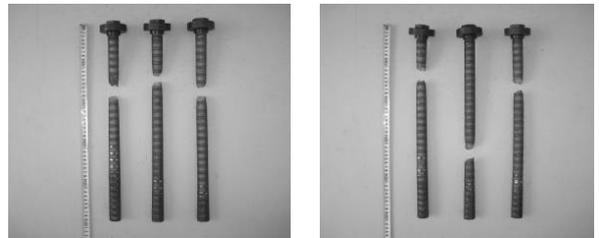


写真3 定着具の引張試験結果 (D25、SD345 (竹節))

行い、引張強度を測定した。ここで、 f_{yn} は鉄筋の規格降伏強度である。勾配引張強度は、[図1](#) (右) に示すように、4度の勾配を持つくさび型の座金を引張治具と定着具の間に挟みこむことで実施した。鉛直引張試験状況を[写真2](#) (左) に、勾配引張試験状況を[写真2](#) (右) に示す。

③ 実験結果

[写真3](#) に引張試験後の破断状況 (D25、SD345) の一例を、[表1](#) に実験結果の一覧を示す。残留すべり量は鉄筋の強度、径、節形状に関わらず0.05mm以下の非常に小さい値 (上限値0.3mm¹⁾) であるとともに、定着具の鉛直引張試験、勾配引張試験のいずれにおいても鉄筋の母材部分で破断することを確認した。以上より、定着具 (ネジ部) としての性能は十分な強度を有していることが確認された。

3 定着体の性能

① 実験要因

定着体の性能評価実験として、鉄筋定着・継手指針¹⁾に従って高応力繰返し実験を実施した。実験要因の一覧を[表2](#)に示す。軸方向鉄筋を対象とした[図2](#)に示すようなかぶりを有するタイプと、横方向鉄筋を対象とした[図3](#)に示すようなかぶりの剥落を考慮したタイプの2種類の引抜実験を実施した。鉄筋はD19 (SD345) を使用し、コンクリート強度の目標値はいずれも30MPaとし、パラメータごとに3体ずつ引抜実験を実施した。定着の形状は、標準フックおよび定着具の直径を鉄筋径の2.5倍としたものの2種類とした。

② 荷荷方法

荷荷は、上限応力0.95 f_{yn} と下限応力0.02 f_{yn} で30回繰返した後、規格引張強度を超える荷重まで荷荷した。ここで、 f_{yn} は鉄筋の規格降伏強度

表1 定着具の引張試験結果一覧

呼び径	鉄筋		勾配 (度)	引張強さ (N/mm ²)		残留すべり量 (mm)	破断位置
	鋼種	節形状		試験結果 (3本の平均値)	規格値		
D16	SD295	竹節	0	571	440~600	0.036	母材
			4	583		-	
	SD345	竹節	0	572	490以上	0.024	母材
			4	578		-	
SD345	ネジ節	0	609	490以上	0.011	母材	
		4	617		-		母材
D25	SD345	竹節	0	647	560以上	0.023	母材
			4	652		-	
	SD345	ネジ節	0	577	490以上	0.026	母材
			4	579		-	
	SD345	ネジ節	0	563	490以上	0.016	母材
			4	560		-	
SD390	竹節	0	625	560以上	0.017	母材	
		4	623		-		母材
SD390	ネジ節	0	643	560以上	0.015	母材	
		4	640		-		母材
D35	SD345	竹節	0	726	620以上	0.038	母材
			4	731		-	
	SD345	ネジ節	0	584	490以上	0.002	母材
			4	585		-	
	SD345	ネジ節	0	556	490以上	0.000	母材
			4	555		-	
SD490	竹節	0	710	620以上	0.000	母材	
		4	706		-		母材

表2 定着体の実験要因一覧

呼び径	鋼種	形状	対象	かぶり	定着板 (呼び径)	コンクリート強度 (MPa)	試験数
D19	SD345	標準フック	軸方向	あり	-	33.5	3
		機械式			2.5D	29.1	3
		標準フック	横方向	なし	-	33.3	3
		機械式			2.5D	31.6	3

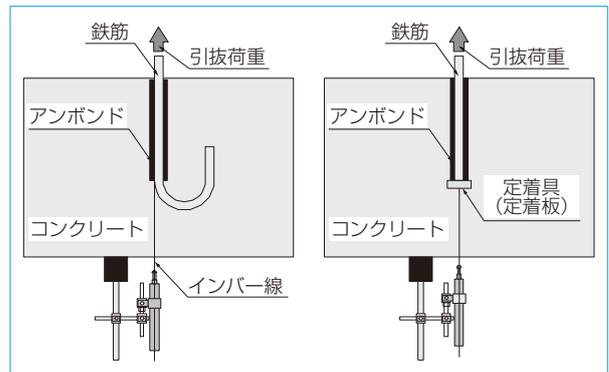


図2 引抜実験の模式図 (かぶりあり)

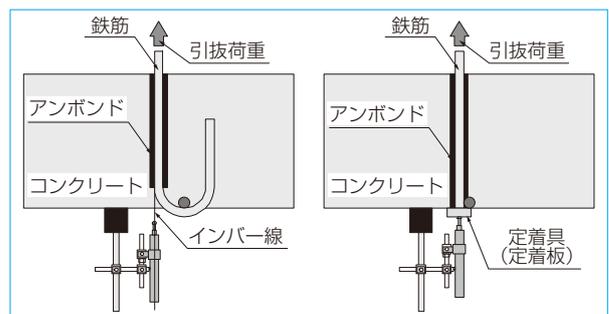


図3 引抜実験の模式図 (かぶりなし)

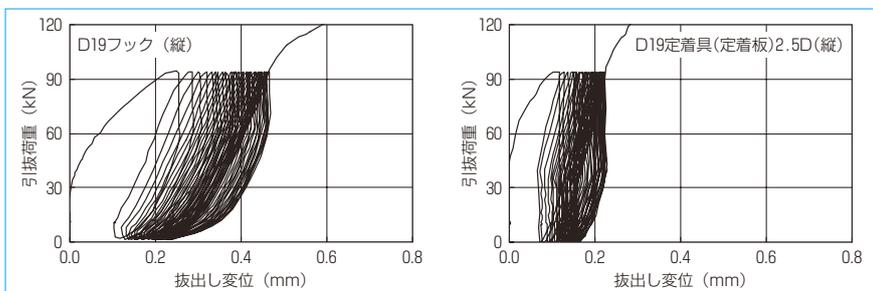


図4 引抜実験結果 (D19フック (縦))

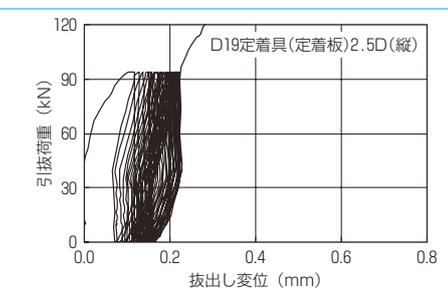


図5 引抜実験結果 (D19定着具2.5D (縦))

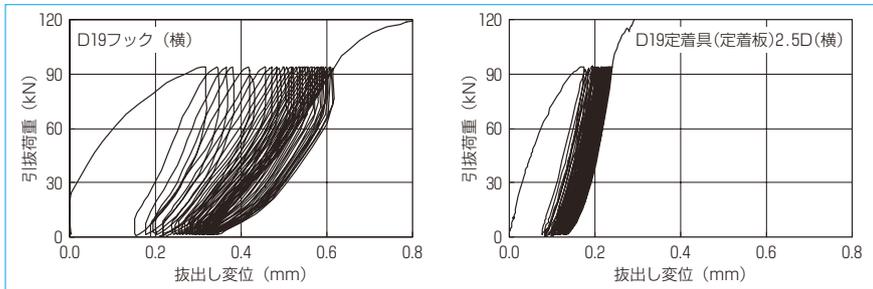


図6 引抜実験結果 (D19フック (横))

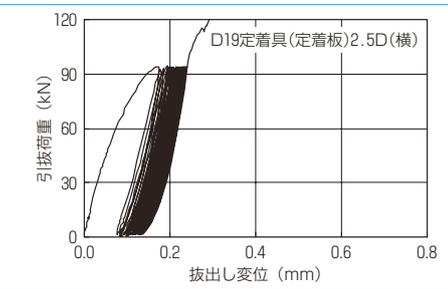


図7 引抜実験結果 (D19定着具2.5D (横))

である。測定項目は、引抜荷重と拔出し変位とした。かぶりのない機械式定着の拔出し変位は、定着具底面の鉄筋に直接変位計を接触させて拔出し変位を計測した。それ以外の試験体の拔出し変位は、図2と図3に示すようにインバー線を試験体外に引き出して変位計で計測した。なお、標準フックのステンレス線は、折り曲げ開始位置に取り付けた。

③ 実験結果

引抜荷重 - 拔出し変位関係の実験結果を図4～図7に示す。標準フックは3体の中で最も拔出し変位が小さいもの、機械式定着は最も拔出し変位が大きいもので比較を行った。30回繰返し後の拔出し変位について、TP ナット鉄筋を使用した場合は、軸方向鉄筋、横方向鉄筋を対象とした試験ケース共に標準フックと比較して拔出し変位が半分以下となった。したがって、本機械式定着は標準フックと同等以上の定着性能を有していると考えられる。

4

せん断補強性能

① 試験条件および試験体形状

TP ナット鉄筋のせん断補強性能を確認するため、表3に示す3体の梁曲げせん断試験を実施した。B-1、B-2、B-3の外形状は全て同じであり、図8および図9に示すように高さ600mm (有効高さ500mm)、幅500mm、長さ5400mmとした。

主鉄筋は、せん断破壊が先行するようにD41 (USD685) の高強度鉄筋を上下4本ずつ配置し、確実にせん断破壊する条件とした。配力筋はD16 (SD345) を250mm ピッチで配置した。B-1は、せん断補強鉄筋の無い基準試験体である。B-2は、せん断補強鉄筋を標準フック鉄筋としたもの、B-3はせん断補強鉄筋をTP ナット鉄筋としたものである。B-2とB-3のせん断補強鉄筋は、配力筋と同じ250mm ピッチで2本ずつ配置した。

② 載荷方法

載荷は、図8の側面図に示すように梁両端から500mm の位置を支点として、等曲げ区間を700mm、せん断スパンを1850mm として正負交番載荷とした。計測は、載荷点と支点にロードセルと変位計を取り付けて荷重と変位を計測し、載荷点の荷重の和と載荷点の変位の平均で制御を行った。加力は、B-1とB-2は予備載荷後、せん断破壊まで単調で載荷を行い、正側でせん断破壊した後に正負に繰返し載荷を行った。B-3は、B-1のせん断破壊時の変位の整数倍で正負交番載荷を実施した。

③ 荷重変位履歴曲線

交番繰返し載荷実験を行った場合の荷重変位履歴曲線を図10～図12に示す。せん断補強鉄筋の無いB-1は400～500kN の範囲で曲げひび割れから進展した斜めひび割れの発生が確認され、正側載荷では459kN、負側載荷では-469kN で斜めひび割れが圧縮縁へ貫通して荷重が低下した。標準フック鉄筋を用いたB-2では正側は1048kN で荷重が低下し、負側載荷では正側より若干大きい-1266kN で荷重が低下した。TP ナット鉄筋を用いたB-3は、B-1、B-2と同様に正側、負側とも±400kN～±500kN の範囲で斜めひび割れの発生が確認され、正側は1090kN (変位22mm) で荷重が低下した。一方、負側は変位-22mm で荷重1155kN に達しても荷重の低下は確認されな

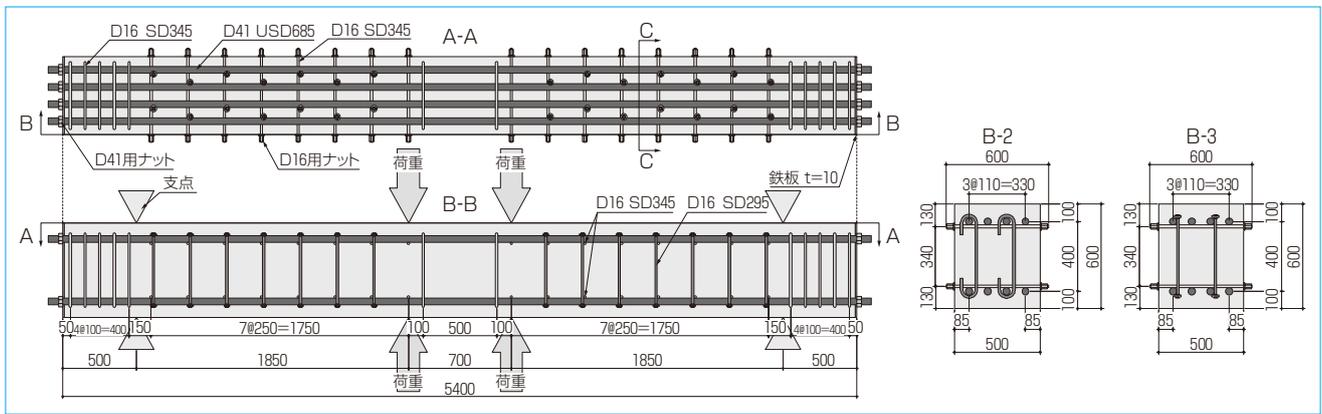


図8 B-3試験体（上：平面図、下：側面図）

図9 C-C断面図（左：B-2、右：B-3）

表3 梁試験体の実験要因一覧

番号	形状			コンクリート		主鉄筋			せん断補強筋			
	幅 b_w (mm)	有効 高さ d (mm)	せん断 スパン比 a/d	強度 f_c (MPa)	骨材 寸法 G_{max} (mm)	降伏 強度 f_y (MPa)	呼び 径 D (mm)	降伏 強度 f_{wy} (mm)	呼び 径 D (mm)	本数 n (本)	配置 間隔 S_s (mm)	端部 定着
B-1	500	500	3.70	34.1	20	701	41	-	-	-	-	-
B-2	500	500	3.70	33.8	20	701	41	358	16	2	250	フック
B-3	500	500	3.70	37.4	20	691	41	355	16	2	250	機械式

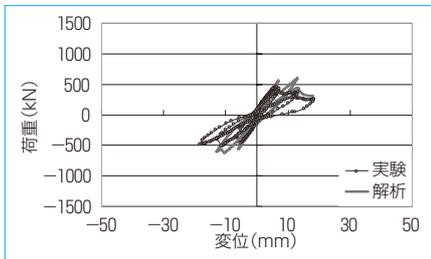


図10 B-1の履歴曲線

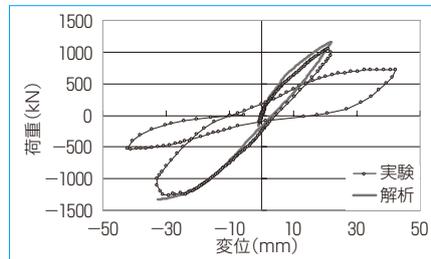


図11 B-2の履歴曲線

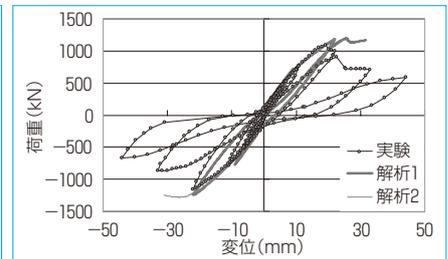


図12 B-3の履歴曲線

かったが、正側と同じ変位に合わせて荷重を反転させた。その後、B-3の荷重は正側、負側ともにそれまでの最大荷重に達することはなく、破壊が進行した。

せん断補強筋にフック定着を用いたB-2と機械式定着を用いたB-3の正側における最大荷重はほぼ同じ結果であったが、負側ではB-2の荷重が若干大きい結果となった。これは載荷履歴の違いによるものであり、その影響を排除すればB-2、B-3のせん断耐力はほぼ同等となることが解析により確認されている（図12中の「解析2」グラフ²⁾）。したがって、TPナット鉄筋のせん断補強性能は、標準フック鉄筋と同等であると考えられる。

5

まとめ

鉄筋端部に雄ネジの加工を施して定着金物を取り付けた機械式定着（TPナット鉄筋）を開発し、各種性能確認実験を行った。得られた結論を以下にまとめる。

- ① 定着具のネジ部の性能は、鉄筋径D16～D35、鋼種SD295～SD490の範囲において、節形状が竹節・ネジ節に関わらず鉄筋母材で破壊可能な性能を有していることを確認した。
- ② 定着具のネジ嵌合部の残留すべり量は、鉄筋定着・継手指針に示されている基準値0.3mmよりも大幅に小さい値となった。
- ③ 定着体の高応力繰返し引抜実験の結果、30回繰返し後の拔出し変位が標準フックよりも小さく、定着性能は同等以上であることを確認した。
- ④ せん断破壊先行型の梁部材のせん断補強筋として適用した結果、標準フックと同等のせん断補強性能を有していることを確認した。

《参考文献》

- 1) 土木学会『コンクリートライブラリー128鉄筋定着・継手指針 [2007年版]』2007.8
- 2) 米田大樹、舟橋政司、吉良拓人、伊藤始、島弘『鉄筋端部にネジ加工を施して取付けた機械式定着の性能評価』土木学会 構造工学論文集、Vol56A、pp.901-914、2010.3