

高強度中間帯鉄筋「ナットバー[®]」の定着具強度とじん性補強効果

田中 浩一 江尻 讓嗣

Experimental Test Focusing on Strength of Mechanical Anchorage and Lateral Confining Effect Using High-Strength Steel Cross Tie “Nut-Bar[®]”

Koichi Tanaka Joji Ejiri

Abstract

After the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake, the design code was revised to require cross ties to be placed at intervals of 1.0 m or less. Therefore, the reinforcement bar-arrangement in recent RC structures has become overcrowded, which makes placing the concrete difficult. The high-strength cross tie “Nut-Bar” was developed in order to reduce the labor involved in placing the concrete and reinforcing bars. This paper describes the experimental results of a tensile strength test of a mechanical anchor and a cyclic loading test using an RC column. The followings characteristics were revealed. (1) The mechanical anchor performance of “Nut-Bar” exceeded the JSCE standard for anchorages and joints. (2) Even though the lateral reinforcement was reduced to 1/4 as a result of utilizing “Nut-Bar”, the cover didn’t drop when the ductility factor was 4.

概 要

兵庫県南部地震以降、土木構造物では耐震性の観点から主鉄筋やせん断補強筋が増加しただけでなく、じん性確保の観点から中間帯鉄筋は1.0m未満の間隔で配置することが義務づけられた。これにより近年の土木構造物は過密配筋となり、鉄筋組立やコンクリート打設が困難となっている。著者らは、過密配筋の要因である中間帯鉄筋を高強度化し、かつ両端部に機械式定着具を配置すれば、中間帯鉄筋の配置本数削減と配筋施工効率の向上の両方が期待できると考え、高強度の中間帯鉄筋「ナットバー」を開発した。本研究では、ナットバーに使用する定着具の引張強度、ならびにナットバーを用いた鉄筋コンクリートの曲げ降伏後における変形性能を実験により確認した。その結果、ナットバーの定着具は土木学会鉄筋定着・継手指針の要求性能を満たすこと、ナットバーの使用によりせん断補強鉄筋比を1/4にしても、塑性率4までかぶりの剥落は生じないことがわかった。

1. はじめに

兵庫県南部地震において橋脚などの耐震一次部材に被害が集中した。その被害は、せん断補強筋の不足を主な要因とするせん断破壊が多かった。そのため、地震直後に道路橋示方書の暫定設計コードである「復旧仕様」で中間帯鉄筋の配置を義務付け、平成8年に改定された道路橋示方書へ反映された。その後、現在に至るまで橋脚断面において1.0m以下の間隔で中間帯鉄筋を配置することが義務付けられている¹⁾。これを契機に、道路以外の土木構造物においても、変形性能を確保する観点から、中間帯鉄筋を配置するのが一般的となった。

中間帯鉄筋の効果は、主に主鉄筋の座屈防止効果²⁾と、コンクリートを拘束する効果³⁾である。前者は、かぶりの剥落を遅らせて曲げ耐力が低下する終局変位を大きくする効果である。後者は、拘束効果によりコンクリートの応力ピーク後の挙動を延性的にすることと、作用せん断力に抵抗するコンクリートの斜め圧縮ストラット⁴⁾の反力を確保する効果である。

中間帯鉄筋を配置することは、耐震設計上有意義である。しかしながら、中間帯鉄筋が増えたことは、中間帯鉄筋の端部に設けたフックが他の鉄筋と干渉するため、

鉄筋組立の効率低下やコンクリートの打設しやすさが損なわれた一因となっている。加えて、土木分野において、せん断補強筋や中間帯鉄筋に使用する鉄筋の強度はSD345が主流であり、高強度化によって中間帯鉄筋の本数を削減して過密配筋を避ける工夫がされてこなかった。

そこで著者らは、中間帯鉄筋の降伏強度を1275N/mm²まで高めて中間帯鉄筋の本数を削減し、かつ、鉄筋組立の施工効率の向上とフックによる鉄筋干渉を回避することを目的に、中間帯鉄筋の両端部に円形の定着具を設けた「ナットバー」を開発した⁵⁾ (Photo 1)。

ナットバーを用いる上で懸念されるのは、高強度化に関する課題であり、次章で詳述する。

2. 中間帯鉄筋の高強度化に関する課題

第一の課題は、高強度化した中間帯鉄筋のせん断補強効果⁶⁾である。これに対しては、著者らが行ったせん断実験結果⁵⁾から、ナットバーのせん断負担分は降伏強度を考慮して算定してもよいことがわかっている。

第二の課題は、鉄筋コンクリート部材の塑性ヒンジ形成部における中間帯鉄筋に求められる主鉄筋の座屈防止効果やコンクリートを拘束する効果に関する懸念である。



Photo 1 ナットバー
Nut-Bar

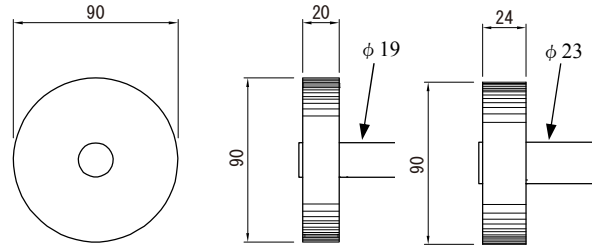


Fig. 1 定着具の形状寸法
Dimensions of Mechanical Anchorage

Table 1 定着具の引張強度の試験体一覧
Outline of Tensile Strength Test of Mechanical Anchor

記号	実験 名称	試験体の本数		着目点
		φ19 (本)	φ23 (本)	
A	引張強度	3	3	応力-ひずみ (σ-ε) 曲線 降伏強度、引張強度
B	嵌合部の 残留すべり量	3	3	残留変位 (標点間距離=約20mm)
C	勾配引張強度	3	3	応力-ひずみ (σ-ε) 曲線 降伏強度、引張強度

Table 2 PC鋼棒の材料試験結果
Mechanical Properties of High Strength Steel Bars

PC鋼棒	*** 実験	降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (×10 ⁻⁶)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
φ19	A	1432 *	6918 **	1498	207
	C	1428 *	6966 **	1480	205
φ23	A	1490 *	7198 **	1549	207
	C	1492 *	7208 **	1550	207

*: 0.2%耐力。 **: 0.2%耐力をヤング係数で除した値。
***: 降伏に至らない実験Bは記載なし。

その理由は、高強度化によって中間帯鉄筋の配置間隔が従来よりも大きくなり、主鉄筋の座屈防止効果が低下することが懸念されるためである。

第三の課題は、ナットバーに用いる定着具の強度である。通常強度の鉄筋を対象とした定着具には様々なものがある。それらの中で、鉄筋と嵌合で固定した定着具には、タフナットがある⁷⁾。タフナットは嵌合部の隙間に高強度のスパイラル状の鋼線を配置して定着具の遊び(ガタつき)を打ち消している。一方、ナットバーは丸ナットに設けた雌ネジの遊びを最小限にして、ガタつきを抑えている。嵌合の具現化に少し違いがあるものの、いずれも支圧接合で鋼棒反力を定着具へ伝達している。タフナットは、土木学会「鉄筋定着・継手指針[2007年度版]⁸⁾(以下、継手指針と称す)における引張強度および勾配引張強度の実験を行い、定着具が十分な強度を有していることを確認している。ナットバーの定着具は、タフナットの約4倍の引張強度を有するPC鋼棒の反力を

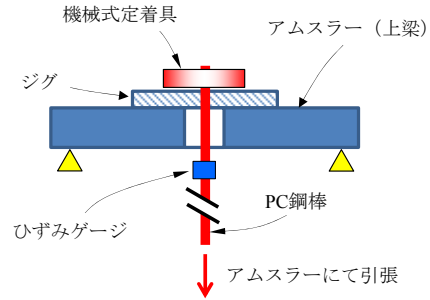


Fig. 2 実験Aの荷重方法
Set-Up for the Test-A

伝達する必要がある。しかしながら、この定着具とPC鋼棒との嵌合部の強度は未確認であった。

本研究では、ナットバーに使用する定着具が継手指針で要求される引張強度、嵌合部の残留すべり量、勾配引張強度の性能を満足することを実験で確認する。次に、ナットバーを用いた壁状の鉄筋コンクリートの繰り返し曲げ荷重実験を行い、変形性能や破壊性状を確認し、ナットバーを用いた場合の許容じん性率を提案する。

3. 定着具の強度実験

3.1 試験体とパラメーター

試験体一覧をTable 1に示す。実験の種類はA, B, Cの3種類であり、それぞれ、継手指針「3.4 定着具の性能評価基準」の(i)引張強度、(ii)嵌合部の残留すべり量、(iii)勾配引張強度、を確認する実験に相当する。各実験の計測項目も表中に示した。

実験に用いたナットバーの定着具の形状寸法をFig. 1に示す。用いた鋼棒は、φ19およびφ23であり、いずれもPC鋼棒D種(SBPR 1275/1420)の強度クラスである。実験結果から得られた材料特性を、Table 2に示す。

3.2 荷重方法

3.2.1 引張強度 Fig. 2に示すように、機械式定着具に曲げが生じないようにアムスラーにて単調荷重を行った。荷重する荷重レベルは、ナットバーの母材であるPC鋼棒D種の規格引張強さ(1420N/mm²)に相当する荷重以上とし、この荷重が作用しても定着具が力を伝達できることを確認した。

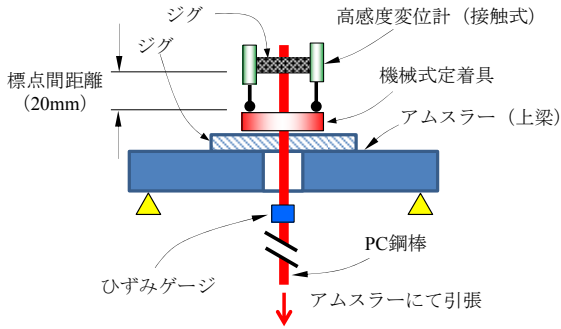


Fig. 3 実験Bの荷重方法
Set-Up for the Test-B

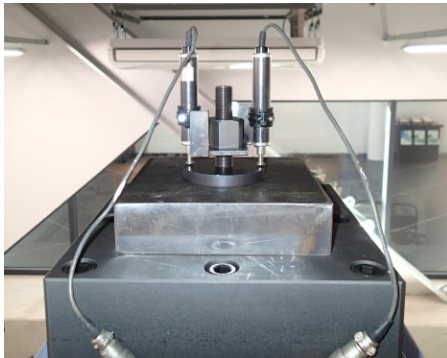


Photo 2 実験Bの荷重状況
Top of the Set-Up for the Test-B

3.2.2 嵌合部の残留すべり量 Fig. 3, Photo 2に示すように、継手指針の解説図3.4.2(b)の「貫通タイプ」と同様の方法で、機械式定着具のすべり変位を計測した。標点間距離は約20mmで行った。PC鋼棒の降伏強度規格値 σ_y (1275N/mm^2) の0.95倍まで荷重した後、 $0.02\sigma_y$ まで除荷した。そして、除荷時の残留すべり量が 0.3mm 以下であることを確認した。

3.2.3 勾配引張強度 Fig. 4, Photo 3に示すように、機械式定着具に曲げが生じるよう、勾配が1/20のテーパを有するジグを挟み、アムスラーにて単調荷重を行った。荷重する荷重レベルは、ナットバーの母材であるPC鋼棒D種の規格引張強さに相当する荷重以上とし、この荷重を定着具が伝達できることを確認した。

3.3 実験結果

3.3.1 引張強度 ナットバー $\phi 19$ のPC鋼棒に生じた応力とひずみの関係をFig. 5に示す。応力は荷重荷重をPC鋼棒の公称断面積で除した値であり、ひずみはPC鋼棒に貼付したひずみゲージの値である。PC鋼棒は引張強さを発揮した後、ひずみが急増している。ナットバー $\phi 23$ も同様の傾向であった。このことから、ナットバーの母材であるPC鋼棒D種の規格引張強さに相当する荷重が作用しても、定着具は力を伝達できることが確認できた。 $\phi 19$ の実験終了後の状況をPhoto 4に示す。 $\phi 19$, $\phi 23$, いずれも母材破断(PC鋼棒で破断)であった。

3.3.2 嵌合部の残留すべり量 ナットバー $\phi 19$ におけるPC鋼棒に生じた応力と嵌合部における変位との関

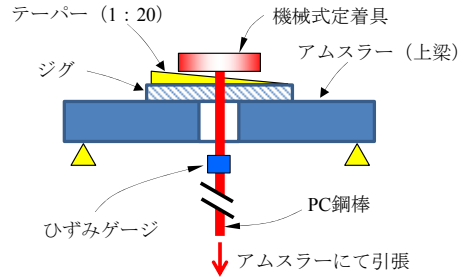


Fig. 4 実験Cの荷重方法
Set-Up for the Test-C

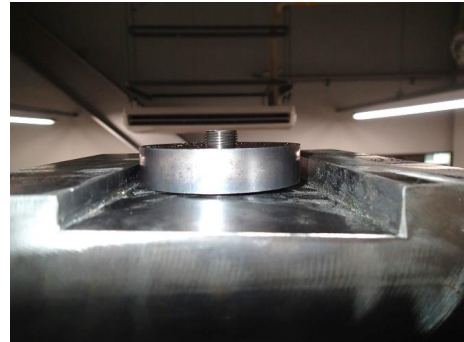


Photo 3 実験Cの荷重状況
Top of the Set-Up for the Test-C

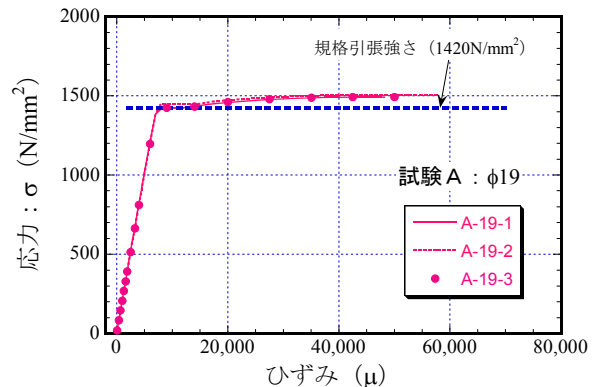


Fig. 5 応力-ひずみ関係 (実験A: $\phi 19$)
Stress-Strain Relationship in the Test-A ($\phi 19$)



Photo 4 破断状況 ($\phi 19$)
State of the Nut-Bar after the Test-A ($\phi 19$)

係をFig. 6, Fig. 7に示す。嵌合部における変位は、上部に取り付けた変位計2台の平均値とした。試験体3本のう

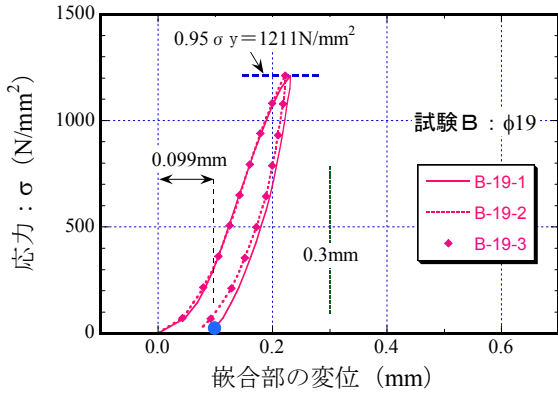


Fig. 6 応力と嵌合部の変位との関係 (φ19)
Stress-Displacement Relationship at Mechanical Joint between Bar and Anchor (φ19)

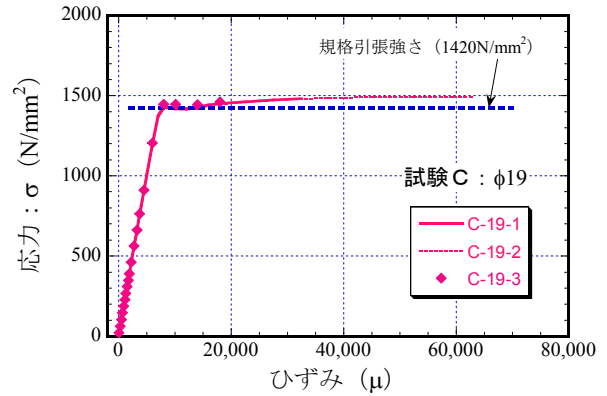


Fig. 8 応力-ひずみ関係 (実験C : φ19)
Stress-Strain Relationship in the Test-C (φ19)

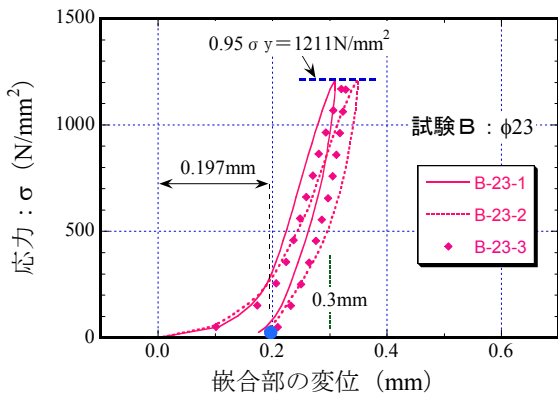


Fig. 7 応力と嵌合部の変位との関係 (φ23)
Stress-Displacement Relationship at Mechanical Joint between Bar and Anchor (φ23)

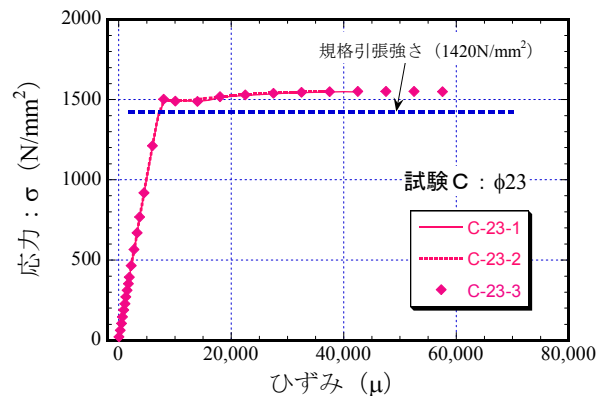


Fig. 9 応力-ひずみ関係 (実験C : φ23)
Stress-Strain Relationship in the Test-C (φ23)

ち、残留すべり値の最大値は、φ19の場合では0.099mm、φ23の場合では0.197mmであった。したがって、φ19、φ23、いずれも残留すべり量は0.3mm以下であることが確認できた。なお、载荷荷重が母材降伏強度の規格値の0.95倍と小さいため、φ19、φ23、いずれも母材破断は生じなかった。

3.3.3 勾配引張強度 ナットバーのPC鋼棒に生じた応力-ひずみ関係をFig. 8, Fig. 9に示す。φ19, φ23, いずれの場合も、支圧面に勾配を設けた状態においても定着具は規格引張強さを伝達できることが確認できた。φ23はすべて母材破断したが、φ19は、1本が母材破断、残り2本は定着具の嵌合部にすべり破壊した(Photo 5)。応力-ひずみ関係から、このすべり破壊は引張強さを発揮した後に生じたことがわかる。

4. 繰返し曲げ载荷実験

4.1 試験体とパラメーター

試験体の諸元をTable 3に示す。試験体は、両端に半円フックを有する従来の中間帯鉄筋を用いた基準試験体「RC-PW032」の1体と、ナットバーを用いた試験体「NB-PW009」「NB-PW015」の2体、計3体である。



Photo 5 嵌合部のおねじ破壊状況 (φ19)
The External Thread Failure at the Joint (φ19)

RC-PW032の帯鉄筋比は0.32%とした。また、NB-PW009, NB-PW015の帯鉄筋比は、それぞれ0.09%, 0.15%とした。なお、RC-PW032の中間帯鉄筋の半円フックの余長(ストレート部分の長さ)は8φ(128mm)とした。

せん断余裕度(曲げ耐力に対するせん断耐力の比)は、RC-PW032では約2.0, NB-PW009, NB-PW015では、それぞれ約2.0, 2.8とした。

試験体の形状寸法をFig. 10に示す。いずれの試験体もフーチングを有する柱型試験体である。いずれも断面寸

Table 3 繰返し載荷実験の試験体一覧
Outline of Specimens for Cyclic Loading Test

試験体名	断面形状		せん断補強鉄筋					せん断耐力 計算値 Vu (kN)	降伏荷重 計算値 Py (kN)	せん断 余裕度 Vu/Py
	断面幅 B (mm)	断面高さ D (mm)	種類	降伏強度 (N/mm ²)	本数×ピッチ	帯鉄筋比 pw (%)	拘束応力 pw・σy (N/mm ²)			
RC-PW032	2000	600	鉄筋D16 (SD345)	345 *	6.5本×200	0.32	1.11	1,849 **	909 ***	2.03 ****
NB-PW009	2000	600	ナットバー φ19	1275 *	1.5本×240	0.09	1.13	1,863 **	909 ***	2.05 ****
NB-PW015	2000	600	ナットバー φ19	1275 *	2.5本×230	0.15	1.96	2,570 **	909 ***	2.83 ****

*: 規格値。 **: 土木学会コンクリート標準示方書に基づいて算定。 ***: 主鉄筋の材料試験結果（降伏強度：371N/mm²）を反映した計算値。
****: 最大到達荷重の計算値は956kNとなり、せん断余裕度はそれぞれ1.93、1.95、2.69。

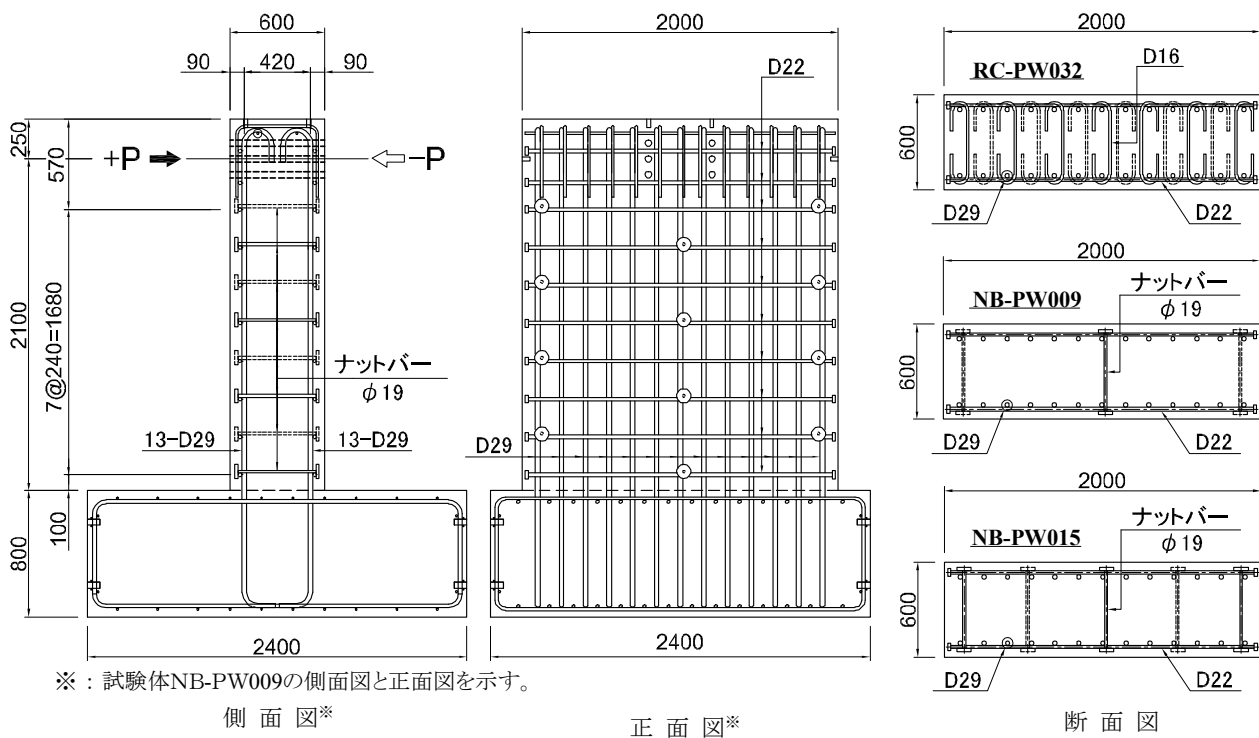


Fig. 10 繰返し載荷実験に用いた試験体の構造配筋図
Shape and Reinforcement Details of Specimens of Cyclic Loading Test

法は2000mm×600mm、せん断スパンは2100mm、せん断スパン比 (a/d) は4.11である。引張鉄筋はD29を13本配置し、引張鉄筋比 (p_t) を0.82%とした。かぶり (表面から主鉄筋中心位置までの距離) は90mmとした。配力筋はD22を用いて主鉄筋の外側に設置し、配力筋両端部には平面ひずみ状態を模擬するため機械式定着を設けた。

4.2 使用材料

使用したコンクリートは、設計基準強度21N/mm²、スランプ12cm、粗骨材最大寸法20mmとし、セメントには早強セメントを用いた。実験時におけるコンクリートの材料試験結果をTable 4に示す。また、使用した鋼材の材料試験結果をTable 5に示す。

Table 4 コンクリートの材料試験結果
Mechanical Properties of Concrete

試験体名	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	材令 (日)
RC-PW032	28.8	25.8	31
NB-PW009	28.3	25.8	40
NB-PW015	28.4	23.9	61

ナットバーφ19に取り付けた定着具 (丸ナット) は、Fig. 1と同じ形状とした。

Table 5 鋼材の材料試験結果
Mechanical Properties of Steel Bars

鋼材	降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ (×10 ⁻⁶)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
主鉄筋：D29 (SD345)	371	1883 **	572	197
配力筋：D16 (SD345)	362	1856 **	533	195
ナットバー：φ19 (SBPR1275/1420)	1443 *	6904 **	1528	209

*: 0.2%耐力 **: 0.2%耐力をヤング係数で除した値。

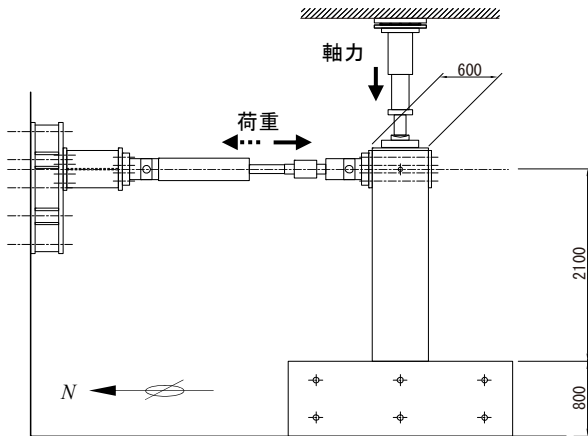


Fig. 11 繰返し曲げ載荷実験の装置
Testing Set-Up for Cyclic Loading Test

4.3 載荷方法

載荷装置を、Fig. 11に示す。いずれの試験体も、軸力は2400kN(単位面積あたりの軸力： $\sigma_0=2.0\text{N/mm}^2$)とし、鉛直方向に軸力を導入した後、押し引きジャッキにより水平方向に正負交番載荷を行った。水平方向の変位振幅は、主鉄筋が降伏した時の変位(降伏変位： $1\delta_y$)の整数倍($\pm 1\delta_y, \pm 2\delta_y, \pm 3\delta_y, \dots$)とした。各変位振幅における繰返し回数は3回とした。なお、RC-PW032の正載荷と負載荷の降伏変位は、それぞれ14.24mm, 13.94mmであった。そこで、変位制御に用いる降伏変位は、大きい方の14.3mmとして、その整数倍で変位制御を行った。NB-PW009, NB-PW015の載荷において変位制御に用いる降伏変位も、基準試験体と同じ値とした。

4.4 実験結果

4.4.1 荷重-変位関係 実験により得られた各試験体の荷重-変位関係をFig. 12~Fig. 14に示す。また、諸荷重をTable 6に示す。変位は載荷点位置に設置した東西2つの変位計の平均値であり、壁柱のねじりをキャンセルした値である。図中には、主鉄筋が降伏した時の荷重をP- δ 効果を考慮して示した。正載荷と負載荷の降伏荷重の平均値は、RC-PW032, NB-PW009, NB-PW015それぞれ928kN, 922kN, 918kNであり、降伏荷重の計算値(909kN)とほぼ同等であった。一方、コンクリートのみのせん断耐力が907kNであるにもかかわらず、いずれの試験体も最大耐力1000kN程度を發揮し、せん断破壊するこ

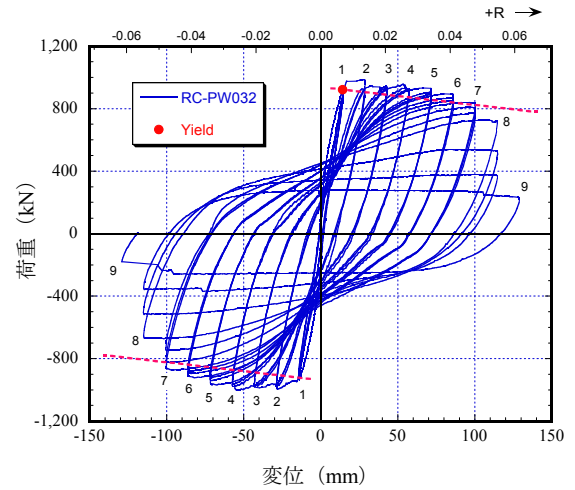


Fig. 12 荷重-変位関係(RC-PW032)
Load-Displacement Relationship (RC-PW032)

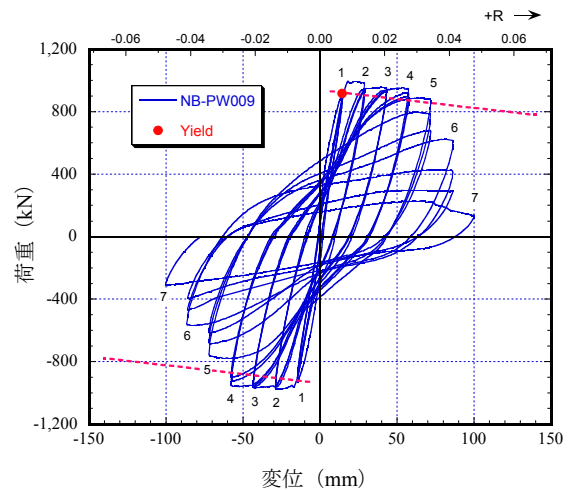


Fig. 13 荷重-変位関係(NB-PW009)
Load-Displacement Relationship (NB-PW009)

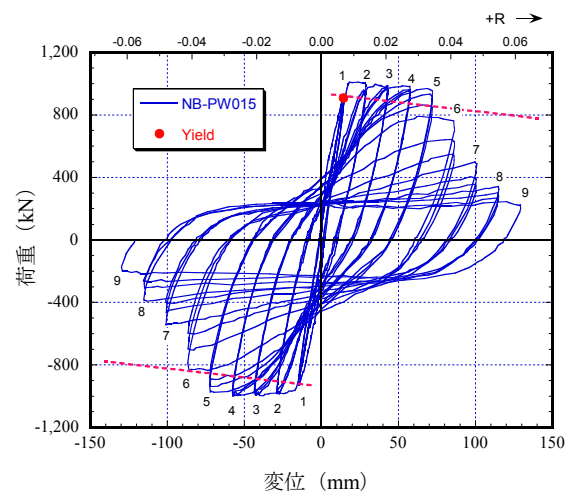


Fig. 14 荷重-変位関係(NB-PW015)
Load-Displacement Relationship (NB-PW015)

となく曲げ破壊した。このことから、ナットバーがせん断補強効果を有していることがわかる。基準試験体RC-PW032では、主鉄筋座屈に伴うはらみ出しは $6\delta_y$ の3サ

Table 6 実験結果の一覧
Summary of Experimental Results about Cyclic Loading Test

試験体	主鉄筋降伏 ^{*1)}				かぶり剥落 ^{*3)}			靱性率		
	降伏荷重 (kN)		降伏変位 (mm)		変位 (mm)	塑性率	終局変位 ^{*5)} (mm)		靱性率 ^{*4)}	
RC-PW032	正	920.0	正	14.24	正 (cycle)	100.1 (1)	7	正	100.5	7.0 (100%)
	負	-935.8	負	-13.94				(塑性率) (7.0)		
	平均	927.9	平均	14.09	負 (cycle)	-85.8 (3)	6	負	-102.5	
			δ_y ^{*2)}	14.30				(塑性率) (7.17)		
NB-PW009	正	910.8	正	14.20	正 (cycle)	71.5 (2)	5	正	72.7	4.4 (63%)
	負	-933.5	負	-14.40				(塑性率) (5.1)		
	平均	922.2	平均	14.30	負 (cycle)	-71.5 (1)	5	負	-63.3	
			δ_y ^{*2)}	14.30				(塑性率) (4.4)		
NB-PW015	正	906.9	正	14.37	正 (cycle)	71.5 (3)	5	正	79.4	5.6 (80%)
	負	-928.5	負	-14.54				(塑性率) (5.6)		
	平均	917.7	平均	14.46	負 (cycle)	-71.5 (3)	5	負	-84.2	
			δ_y ^{*2)}	14.30				(塑性率) (5.9)		

*1) : 主鉄筋 (D29) の材料試験結果に基づいた降伏ひずみ (1883 μ) に達したときで定義。

*2) : 試験体RC-PW032の正負降伏変位 (実験値) の内、大きいほうの値を各試験体共通の変位制御に用いる降伏変位とした。

*3) : 目視により確認。 *4) : 終局変位の小さいほうを降伏変位 (14.3mm) で除して算定。() 内の値はRC-PW032に対する百分率。

*5) : 降伏荷重を920kN, 降伏変位を14.3mm, 鉛直荷重を2400kNとしてP- δ 効果を考慮した降伏荷重を下回る変位。

イクル目で生じた。その後、8 δ_y では主鉄筋が低サイクル疲労により破断して荷重が大きく低下した。これに対して、ナットバーを用いた試験体、NB-PW009, NB-PW015では、いずれの場合もRC-PW032より早めに主鉄筋座屈に伴うはらみ出しが生じ、荷重が低下した (Photo 6 ~ Photo 8)。なお、ナットバーを用いた試験体では、主鉄筋の座屈長が基準試験体に比べて長かったため、主鉄筋の破断は生じなかった。主鉄筋が座屈した後、顕著な沈下やコアコンクリートの破壊などは生じることなく、作用させた軸力を保持していた。

4.4.2 じん性率 主鉄筋の座屈に伴うかぶりの剥落が生じたときの塑性率は、RC-PW032が6~7であるのに対して、ナットバーを用いた試験体、NB-PW009, NB-PW015では、いずれの場合も5となっており、RC-PW032の約70%であった。P- δ 効果を考慮した降伏荷重を下回ったときの変位を降伏変位で除して算定したじん性率は、せん断余裕度が等しい場合、RC-PW032が7.0であるのに対して、NB-PW009では4.4と小さい。このことから、せん断余裕度が等しい場合、じん性率は通常のRC構造に比べて約60%となることが確認された。RC-PW032よりもせん断余裕度を約1.4倍に高めた場合でも、ナットバーを用いた試験体NB-PW015のじん性率は5.6とRC-PW032の約80%であった。せん断余裕度を等しくしてもナットバーを用いた場合に変形性能が低下する原因は、せん断補強筋の固定間隔が広くなり、壁を均等に拘束しにくくなるためであると考えられる。

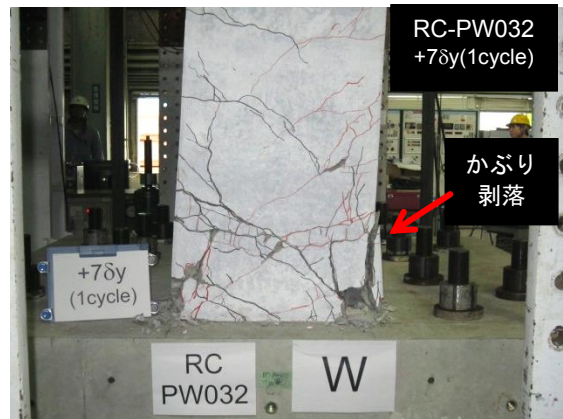


Photo 6 主鉄筋のかぶり剥落開始 (RC-PW032:7 δ_y)
State of Concrete Cover Separation (RC-PW032:7 δ_y)

4.4.3 エネルギー吸収性能と復旧性能 各試験体における2サイクル目の履歴吸収エネルギーと塑性率との関係をFig. 15に示す。ナットバーを用いた試験体、NB-PW009, NB-PW015が、エネルギー吸収の観点からRC-PW032と同等の挙動をするのは、塑性率で5程度までと言える。これは、ナットバーを用いた試験体、NB-PW009, NB-PW015では、いずれも塑性率が5において、かぶり剥落が生じたことに起因すると考えられる。地中構造物では、背面側 (地盤側) にかぶりの剥落が生じると復旧ができないだけでなく、地下水などにより鉄筋の腐食が進み、地震後の供用期間が短くなる恐れがある。すなわち

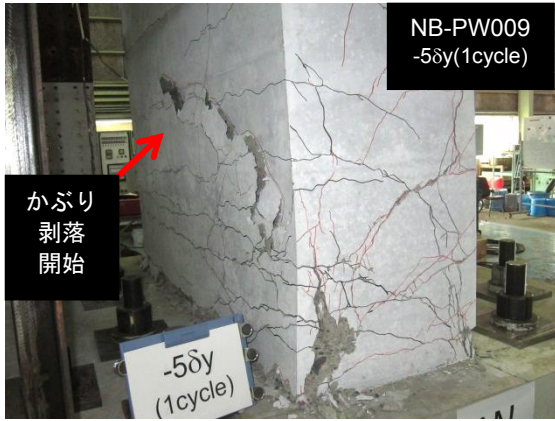


Photo 7 主鉄筋のかぶり剥落開始 (NB-PW009:5 δ_y)
State of Concrete Cover Separation (NB-PW009:5 δ_y)

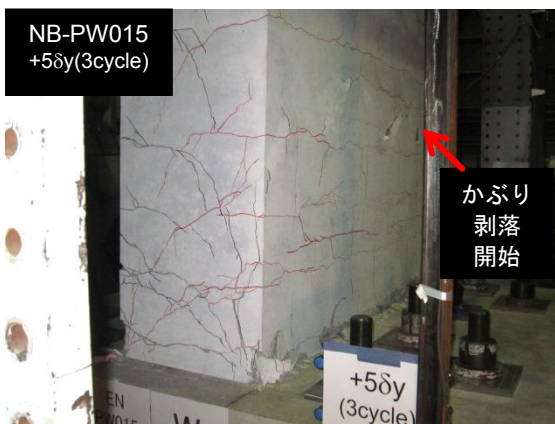


Photo 8 主鉄筋のかぶり剥落開始 (NB-PW015:5 δ_y)
State of Concrete Cover Separation (NB-PW015:5 δ_y)

耐久性、復旧性が著しく低下する。これらのことから、ナットバーを用いてせん断余裕度を約2.0とした場合、許容できる変位じん性率を4.0とすれば安全側であることが確認できた。

5. まとめ

新設の鉄筋コンクリート工事における過密配筋を解消するため、機械式定着具を両端に配した高強度の中間帯鉄筋帯鉄筋「ナットバー」の実用化に向けて、その定着具の強度実験およびナットバーを用いた壁状鉄筋コンクリート部材の繰返し曲げ荷重実験を行い、変形性能や破壊性状を確認した。

その結果、以下のことがわかった。

- 1) ナットバーに使用する定着具の引張強度および勾配引張強度は、ナットバーの母材であるPC鋼棒D種の規格引張強さ以上であった。
- 2) 母材降伏強度の規格値 σ_y の0.95倍まで載荷しても、ナットバー定着具の嵌合部における残留すべり量は0.3mm以下であり、継手指針の要求性能を満足していた。

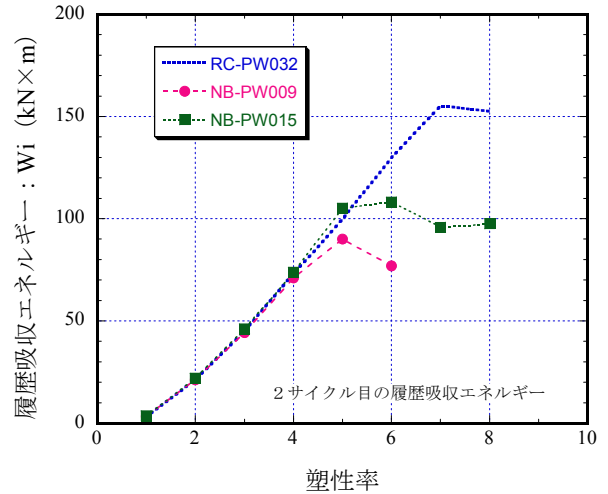


Fig. 15 履歴吸収エネルギーと塑性率との関係
Relationship between Absorbed Energy and Displacement Ductility Factor

- 3) 機械式定着具に曲げが生じる引張荷重を行った場合、 $\phi 19$ ではナットバーの定着具が嵌合部においてすべり破壊したものの、勾配引張強度は規格引張強さ以上であった。
- 4) せん断補強鉄筋比を1/4とした大幅な低減により、ナットバーを用いた鉄筋コンクリート部材の降伏耐力を保持できるじん性率は、せん断余裕度が等しい通常の鉄筋コンクリート部材の約60%となる。
- 5) ナットバーを用いた鉄筋コンクリート部材の軸力保持機能は、せん断余裕度が等しい通常の鉄筋コンクリート部材と同等であった。
- 6) せん断余裕度が等しい通常の鉄筋コンクリート部材と比較して、ナットバーを用いた鉄筋コンクリート部材のエネルギー吸収量は、塑性率5までは同等であった。
- 7) ナットバーを用いた鉄筋コンクリート部材の耐久性、復旧性の観点から、応答塑性率を4以下とするべきである。応答塑性率が5以上となると、かぶりの剥落が生じる。そのため、ナットバーは、地中構造物のような応答塑性率の小さな部材、例えば、開削トンネルの壁や底版などにナットバーを適用できることがわかった。
- 8) じん性を高めるためにはせん断補強筋比を増加させる必要があり、せん断補強筋比を低減して過密配筋を回避する本技術と相反する。したがって、橋脚のように大きなじん性率を必要とする部材へナットバーを適用することは今後の検討課題である。また、実用化に向けて、ナットバーの疲労寿命の確認も、今後の課題である。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，丸善出版，pp.201-212，2012.3

- 2) 井ヶ瀬良則, 緒方紀夫, 田村陽司: 壁式橋脚の耐震補強工法に関する試験検討, 土木学会構造工学論文集, Vol.43A, pp.1295-1300, 1997.3
- 3) 堺淳一, 川島一彦: コンクリートの横拘束効果に及ぼす横拘束筋の配置間隔と中間帯鉄筋の影響, 土木学会論文集, No.717/I-61, pp.91-106, 2002.10
- 4) 梁田真広, 渡辺健, 二羽淳一郎: 支圧板幅と圧縮ストラット形状に着目したRC ディープビームのせん断耐力に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.217-222, 2010.7
- 5) 田中浩一, 江尻讓嗣: 高強度中間帯鉄筋「ナットバーTM」の付着特性とせん断負担の評価, 大林組技術研究所報, No.78, 2014.12
- 6) 黒岩俊之, 谷村幸裕, 岡本大, 佐藤勉: 高強度せん断補強鉄筋を用いたRCはりのせん断耐力に及ぼすコンクリート強度の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp.955-960, 2004.7
- 7) (一財)土木研究センター: 建設技術審査証明報告書「タフナット」, 2012.4
- 8) 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], pp.63-64, 2007.8