



# 付着強度の低い超高強度鉄筋を主筋に用いた逆対称曲げRC柱の履歴挙動に及ぼす主筋配筋形式の影響

東山, 諒太  
竹内, 崇  
藤永, 隆  
孫, 玉平

---

**(Citation)**

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 19:128-136

**(Issue Date)**

2015-03

**(Resource Type)**

departmental bulletin paper

**(Version)**

Version of Record

**(JaLCD0I)**

<https://doi.org/10.24546/81011476>

**(URL)**

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81011476>



# 付着強度の低い超高強度鉄筋を主筋に用いた逆対称 曲げ RC 柱の履歴挙動に及ぼす主筋配筋形式の影響

## Effect of arrangements of rebars on seismic behavior of RC columns reinforced by high-strength rebars having low-bond-strength

東山 諒太<sup>1)</sup>  
Ryota Higashiyama  
竹内 崇<sup>2)</sup>  
Takashi Takeuchi  
藤永 隆<sup>3)</sup>  
Takashi Fujinaga  
孫 玉平<sup>4)</sup>  
Yuping Sun

概要：逆対称曲げ RC 柱部材の主筋に付着強度の低い超高強度鉄筋を用いた場合、柱中央で主筋定着が必要であり、さらにその定着に起因する割裂ひび割れを抑制する必要がある。本研究では、付着強度の低い超高強度鉄筋を主筋に用いた逆対称曲げせん断変形を受ける正方形断面 RC 柱の履歴挙動に及ぼす主筋配筋形式の影響を明らかにすることを目的として、逆対称曲げ試験体の一定軸力下における繰り返し載荷実験を実施した。その結果、主筋の一部を X 形配筋とすることで、柱中央定着部を簡略化することが出来、柱中央定着部を起点とした割裂ひび割れによる耐力低下を抑え、大変形域まで耐力を維持し、残留変形を小さく抑えることが出来ることと、さらに鋼板横拘束を施せば、柱中央定着部付近での割裂ひび割れを抑制し、大変形域で高い 2 次剛性を持たせることが出来ることを示した。

キーワード：X 形配筋, 主筋ひずみ, せん断耐力, 残留変形, 鋼板横拘束

### 1. はじめに

今後の巨大地震に備えるためには、建築物は従前の粘り強さに加え、地震後の使用性や修復性に優れたレジリエンス（復元性）を併せ持つ必要がある。著者らは表面にスパイラル状の溝を有し、付着強度が低い超高強度鉄筋（規格降伏強度  $1275\text{N/mm}^2$ ）を RC 柱部材の主筋に使用することにより、主筋の降伏をできるだけ遅らせることで、レジリエンスの高い RC 部材の開発を目指した研究を行ってきた<sup>1-6)</sup>。

片持ち柱の実験では、主筋の端部に機械式定着を施せば、部材角が  $0.04\text{rad}$  となる大変形まで水平抵抗力が低下することなく非常に安定的な履歴挙動を示し、除荷後の残留部材角を小さく抑えられることが明らかになった<sup>3)</sup>。さらに、逆対称曲げの実験を行い、逆対称曲げを受ける状況下で高いレジリエンスを保つには、柱反曲点近傍において主筋にすべり止め策を講じる（以下、これを柱中央定着と称す）ことと、さらに同位置に生じるコンクリートの割裂ひび割れおよび剝離を防ぐことが必要であることを明らかにした<sup>5)</sup>。柱中央定着を設けない場合、主筋に生じる応力は付着すべりにより柱頭から柱脚までほぼ均一化され、逆対称曲げモーメントに対する抵抗力が著しく低下する。また、柱中央定着を設けた場合は、その位置の定着板に上下鉄筋の応力が合力として作用し、周辺のかぶりコンクリートに割裂ひび割れを生じやすくさせる原因となる。柱中央定着として上下主筋間に定着鋼板を挟み込んだだけの試験体は、部材角が  $0.015\text{rad}$  程度で定着鋼板付近のコンクリートに割裂ひび割れを生じ、柱の水平抵抗力が頭打ちとなるが、柱を炭素繊維シートあるいは鋼板で拘

束した試験体は、柱中央定着部付近での割裂ひび割れの発生および進展を抑え、部材角 0.03rad.まで耐力が上昇し続けると共に残留変形を小さく抑える安定した履歴性状を示し、それ以降も大きな耐力低下はなかった<sup>5,6)</sup>。

本研究では、付着強度の低い超高強度鉄筋を主筋に用いた逆対称曲げを受ける RC 柱の履歴挙動に及ぼす、主筋の配筋形式の影響を明らかにすることを目的としている。水平抵抗力頭打ちの原因である柱中央定着部付近に生じる割裂ひび割れを抑制するために、主筋の一部を X 形配筋とする。主筋を X 形に配筋することで、柱頭側と柱脚側の圧縮鉄筋どうしおよび引張鉄筋どうしが接続されるため、柱中央で主筋のすべり止め対策を講じる必要がなく、柱中央定着部で炭素繊維シートや鋼板で柱断面を拘束しなくとも安定した履歴性状を期待できる。また、船戸らが提案した付着すべりを考慮できる部材解析手法<sup>4)</sup>が、主筋の一部を X 形配筋とした柱部材に対しても適用可能かどうか検討を行う。

## 2. 柱の逆対称曲げ実験

### (1) 試験体概要

試験体の一覧を表-1 に、試験体寸法および配筋詳細を図-1 に示す。試験体は高層建築物の下層階の柱を模擬した 1/3 縮小モデルの逆対称曲げを受ける RC 柱 4 体で、上下に加力スタブを持つ 250mm の正方形断面でせん断スパン比 2 の RC 柱である。

コンクリートには調合強度 40N/mm<sup>2</sup> のレディーミクストコンクリートを使用した。粗骨材の最大粒径は 20mm で、使用したセメントは普通ポルトランドセメントである。実験時材齢の圧縮強度を表-1 に示す。

主筋には、規格降伏強度 1275N/mm<sup>2</sup> の超高強度鉄筋 (SBPDN1275/1420) を用いた。公称直径 12.6mm (呼び U12.6) のものを断面周辺に沿って均等に 12 本配置し、主筋比は 2.4% である。本鉄筋は、丸鋼にスパイラル状の溝を加工した異形鉄筋で、通常の異形鉄筋と丸鋼の中間的な付着性状を有する。主筋すべりを生じやすく、折り曲げ定着のみでは十分に定着できないため、主筋の上下端部にねじ切り加工を施し、ナットと鉄板を用いて機械式定着とした。四隅の主筋は、柱中央部に幅 45mm 厚さ 12mm の定着鋼板 (SS400) を配し、この鋼板を介して上下鉄筋をナットおよびカップラーを用いて機械的に接合することで主筋の定着を図った。荷重方向に対して、2 段目と 3 段目に位置する主筋は、柱中央定着を設

表-1 試験体一覧

試験体	a/D	n	f <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	主筋			横補強筋		追加 横拘束	Q <sub>exp</sub> (kN)	R <sub>exp</sub> (×0.01rad.)
				配筋	配筋形式 (区間)	p <sub>g</sub> (%)	配筋	p <sub>w</sub> (%)			
DC-N	2	0.33	42.9	12-U12.6	平行	2.4	single D6 @30	0.85	-	219	1.49
DC-2DX			X形(2D)		244					2.75	
DC-4DX			X形(4D)		232					3.00	
DC-2DXT			X形(2D)		0.85 (4.3)			鋼管 PL4.5	357	4.99	

ここに、a/D：せん断スパン比、n：軸力比、f<sub>c</sub>：シリンダー強度、p<sub>g</sub>：主筋比、p<sub>w</sub>：横補強筋比 (( )内は鋼管込)、Q<sub>exp</sub>：最大水平力 (正負平均)、R<sub>exp</sub>：Q<sub>exp</sub>時部材角 (正負平均)

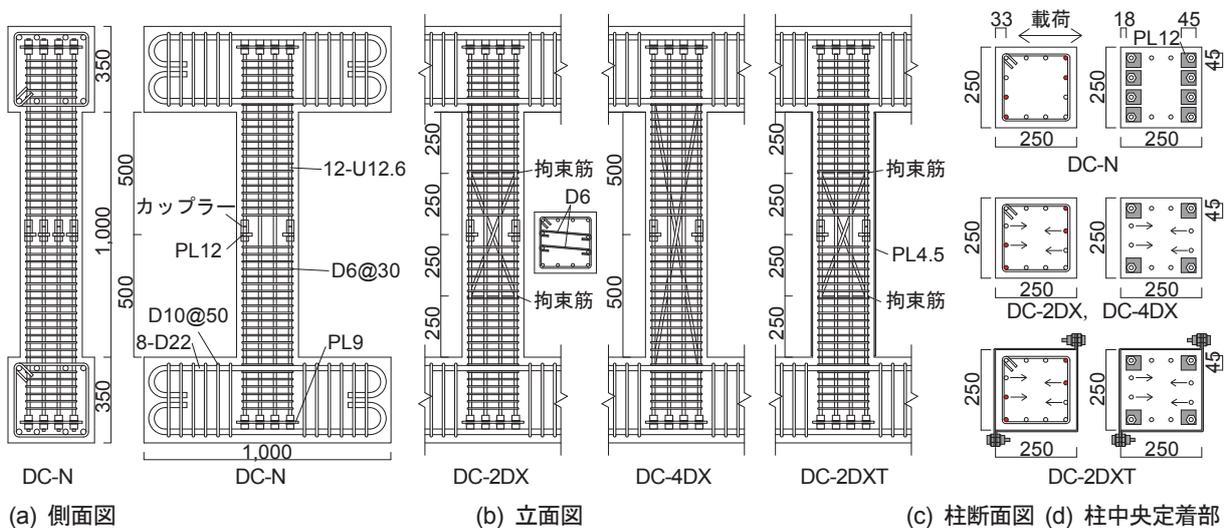


図-1 試験体図

表-2 鋼材の力学特性

	規格	ヤング係数 ( $\times 10^3 \text{N/mm}^2$ )	降伏点応力 ( $\text{N/mm}^2$ )	降伏ひずみ ( $\times 0.01$ )	引張強さ ( $\text{N/mm}^2$ )	破断伸び ( $\times 0.01$ )
U12.6*	SBPDN1275/1420	215	1377	0.84	1463	9.9
D6	SD295A	191	384	0.22	510	28.3
PL4.5	SS400	208	376	0.20	462	38.2

\*は0.2%オフセット耐力により降伏点応力を決定

けず、通し鉄筋とした。最外縁内側の主筋の配筋形式が実験変数であり、1体は従来の直線状の配筋とし、四隅と同様の柱中央定着を設けた。残り3体はX形配筋とし、2体は柱中央2D(D:柱せい)区間をX形、1体は上下スタブ主筋位置間のおよそ4D区間をX形とした。いずれの試験体も横補強筋には、異形鉄筋D6(SD295A)を30mm間隔で配筋したが、柱中央定着部近傍はカップラーや定着鋼板により横補強筋を配置できなかったため、横補強筋間隔が130mm程度空いている。2D区間をX形配筋とした試験体は、折り曲げ開始位置に拘束筋として、横補強筋と同様のD6を追加で配置している。また、試験体DC-2DXTは、さらに柱外部を厚さ4.5mmの鋼板を折り曲げたものを2枚組み合わせ高力ボルトで接合し拘束した。鋼板横拘束は、コンクリートの拘束と共に柱中央部のコンクリートの損傷低減を目的としており、鋼板に曲げおよび軸力による軸方向応力を直接負担させない。そのため鋼板と加力スタブの間には6mm程度のクリアランスを設けている。表-2に使用した鋼材の力学特性を示す。

## (2) 載荷および測定方法

図-2に載荷装置を示す。1000kN油圧ジャッキで軸力比0.33となる軸力に加え、500kN油圧ジャッキ(押し:500kN, 引き:300kN)を2台使用して正負交番繰り返し載荷を行った。載荷は柱の部材角Rにより制御し、載荷プログラムは部材角0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01, 0.015と0.02radの各変位振幅で2回ずつ、部材角0.025, 0.03, 0.035, 0.04と0.05radの変位レベルで1回ずつの正負交番繰り返し載荷である。

主筋、横補強筋および拘束筋にひずみゲージを貼付し、鉄筋のひずみを測定した。隅部の主筋は材軸方向に沿って6箇所、内側の主筋は材軸方向に沿って9箇所(試験体DC-Nは8箇所)、図-1(c)中に赤で示す4本の主筋に1箇所1枚ずつひずみゲージを貼付した。横補強筋は、柱材軸方向に沿って6箇所に計8枚のゲージを貼付した。拘束筋は材軸に沿って2箇所に計2枚のゲージを貼付した。試験体DC-2DXTでは、鋼板横拘束材のウェブおよびフランジ側の面の中央部でひずみゲージを周方向に貼付した。ウェブ面5箇所、フランジ面3箇所に2軸のひずみゲージを貼付し、鋼板の周方向と軸方向のひずみを計測した。

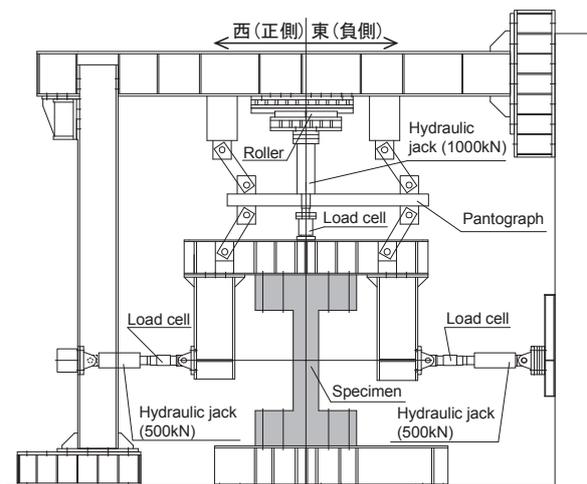


図-2 載荷装置概要

## 3. 実験結果および考察

### (1) 損傷状況および破壊性状

図-3に試験体DC-N, DC-2DXおよびDC-4DXの損傷状況の変遷を、試験体DC-2DXTの載荷終了後に鋼管を取り外した後の損傷状況を示す。鋼板横拘束を施していない試験体は、いずれも部材角 $R=0.0025\text{rad}$ の載荷サイクルの途中で曲げひび割れが確認され、その後、 $R=0.0075\sim 0.01\text{rad}$ の載荷サイクルで、柱脚および柱頭において圧縮側で縦ひび割れが確認された。試験体DC-Nは部材角 $R=0.01\text{rad}$ の載荷サイクルで柱中央部の主筋定着部付近で割裂ひび割れが発生した。部材角 $R=0.015\text{rad}$ の載荷サイクルで斜めひび割れが発生し、部材角 $R=0.03\text{rad}$ の載荷サイクルで、 $R=+0.03\text{rad}$ 到達直前に、柱中央部から-150~+200mmの位置に生じたせん断ひび割れが拡大し、せん断破壊に至った。試験体DC-2DXは部材角 $R=0.02\text{rad}$ の載荷サイクルで隅部主筋定着部付近での割裂ひび割れおよび斜めひび割れが発生し、部材角 $R=0.035\text{rad}$ の載荷サイクルでX形主筋の折り曲げ位置付近のかぶりコンクリートの浮き上がりを確認した。その後、部材角 $R=0.05\text{rad}$ の載荷サイクルにおいて、部材角 $R=+0.039\text{rad}$ で柱頭から300mmの区間に発生していたせん断ひび割れが大きく開き、せん断破壊に至った。試験体DC-4DXは部材角 $R=0.02\text{rad}$ の載荷サイクルで隅部主筋定着部付近での割裂ひび割れおよび斜めひび割れが発生し、その後、かぶりコンクリートやひび割れの損傷が進展していったが、大きな耐力低下はなく、所

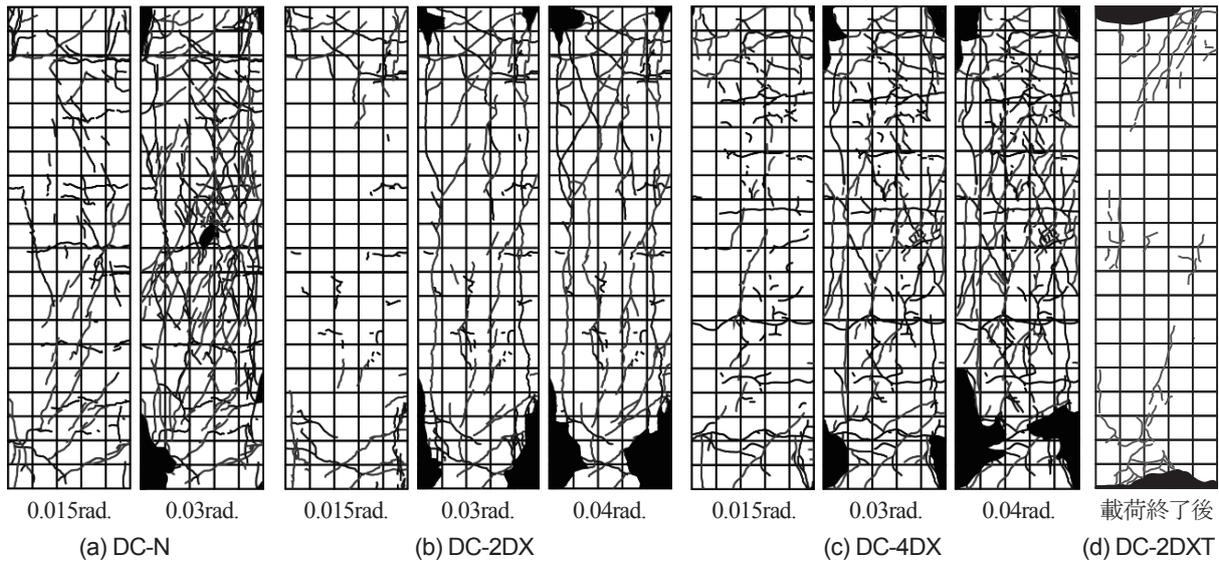


図-3 損傷状況

定の載荷を終了した。試験体 DC-2DXT は所定の載荷を終了しても、耐力低下が見られなかったため、追加して部材角  $R=+0.08\text{rad}$  まで片振り載荷を行い、部材角  $R=+0.075\text{rad}$  で耐力低下し始めることを確認した。載荷後、鋼管を取り外し、損傷状況を確認したところ、かぶりコンクリートの大きな剥落はなく、ひび割れも非常に少なく抑えられていた。柱頭および柱脚部からせん断ひび割れが発生していることが確認されたが、そのせん断ひび割れが1方向にのみ発生していることから、このひび割れは追加載荷時に生じたものと思われる。

## (2) 水平力—部材角関係

図-4 に実験で得られた水平力—部材角関係を、図-5 に水平力—部材角関係の包絡線の比較を示す。図-4 中の破線は  $P-\delta$  効果による水平耐力の低下を示す。 $R=0.015\text{rad}$  の載荷サイクルまでは、試験体間に大きな差は見られず、いずれも原点指向性の履歴挙動を示した。しかしながら、試験体 DC-N は  $R=0.015\text{rad}$  で最大耐力に達し、その後部材角の増大に伴い水平

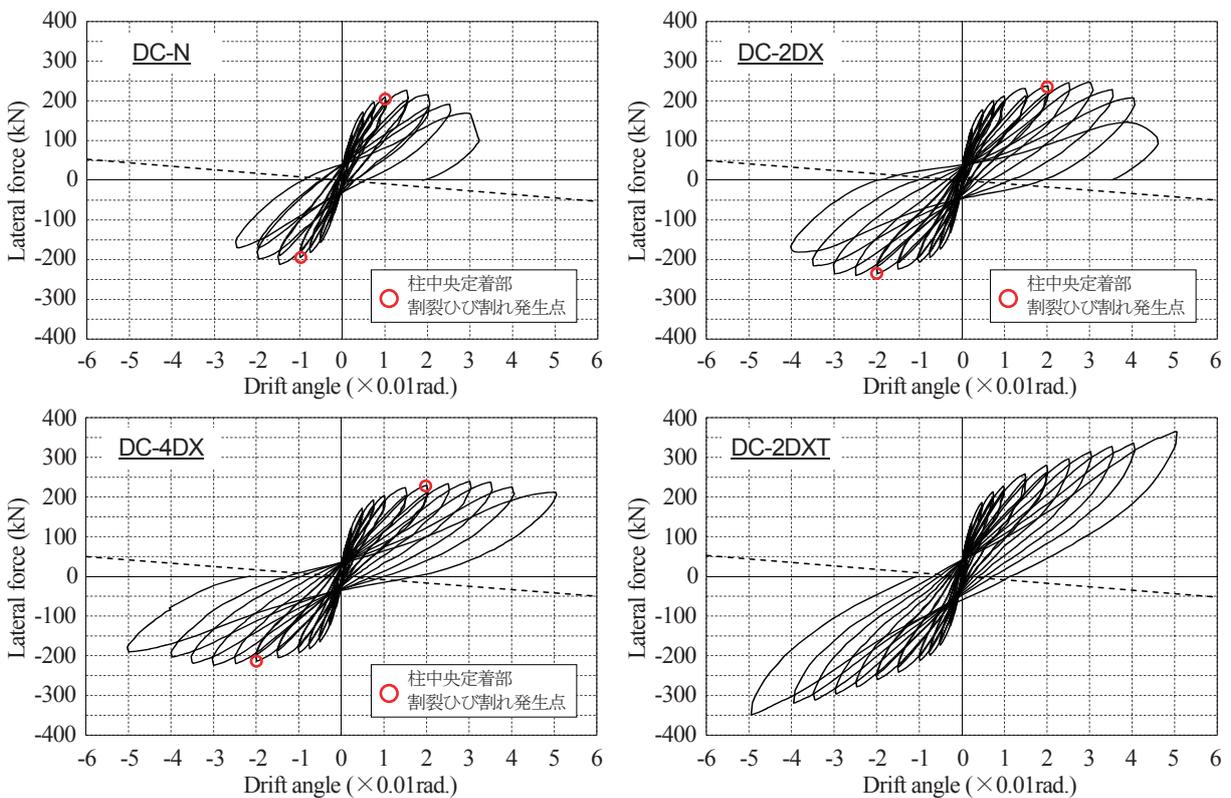


図-4 水平力—部材角関係

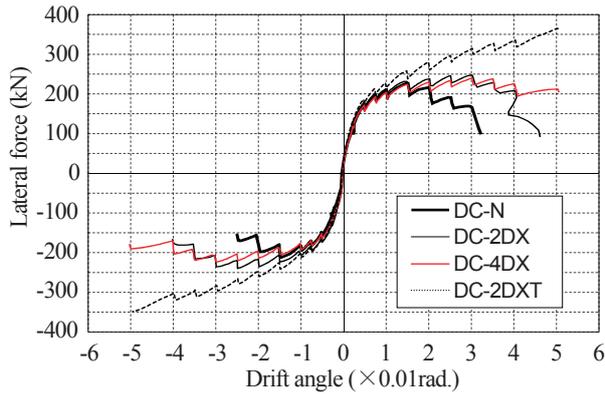


図-5 水平力—部材角関係の包絡線の比較

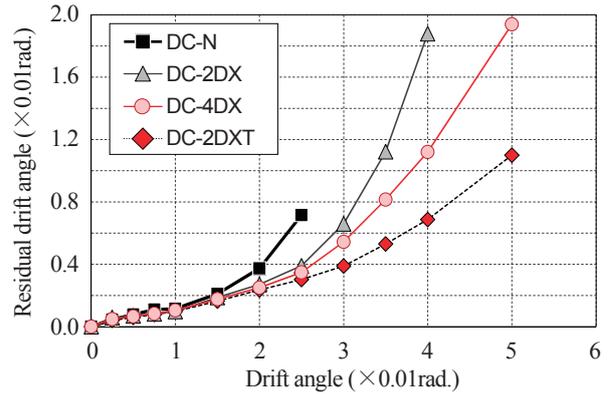


図-6 残留部材角の比較

抵抗力が大きく低下した。これは、部材角  $R=0.01\text{rad}$  において発生した柱中央定着部付近の割裂ひび割れにより、柱中央部での主筋の定着の効果が低下したためである。試験体 DC-2DX および DC-4DX は、一部の主筋を X 形配筋としているため、割裂ひび割れ発生後も大きな耐力低下をしておらず、X 形配筋により、柱中央定着を設けずに水平耐力を維持させることが出来た。しかし、隅部主筋の中央定着部で  $R=0.02\text{rad}$  に割裂ひび割れが発生しており、文献3)の片持ち柱試験体で見られる耐力が上昇し続ける履歴性状は認められなかった。一方、試験体 DC-2DXT は、最終サイクルまで耐力が上昇し続ける高い 2 次剛性を示した。柱中央定着部の損傷もあまり見られず (図-3(d))、鋼板横拘束により柱中央定着部の損傷が抑えられ、隅部の主筋においても大変形時まで柱中央部での主筋の定着効果が続いたものと思われる。

図-6 に各試験体の残留部材角 ( $R_{res}$ ) の推移を示す。部材角  $R=0.01\text{rad}$  までは試験体間の差はほとんどないが、試験体 DC-N は  $R=0.015\text{rad}$ 。以降で柱中央部での主筋の定着の効果が失われ始めたため、 $R_{res}$  が増加している。試験体 DC-2DX および DC-4DX においても、部材角  $R=0.03\text{rad}$  から増加し始めており、隅部の主筋の定着効果の劣化の影響を受け始めたものと思われる。また、 $R=0.025\text{rad}$  以降で試験体 DC-2DX の方が試験体 DC-4DX より残留変形が大きくなったのは、試験体 DC-2DX において柱頭および柱脚から  $1D$  の位置で主筋を折り曲げており、その影響で、同位置のかぶりコンクリートが押し出される形で損傷を受けたためと考えられる。試験体 DC-2DXT は残留変形を小さく抑え続け、部材角  $R=0.04\text{rad}$  においても残留部材角を経験部材角の 17% 程度に抑えている。

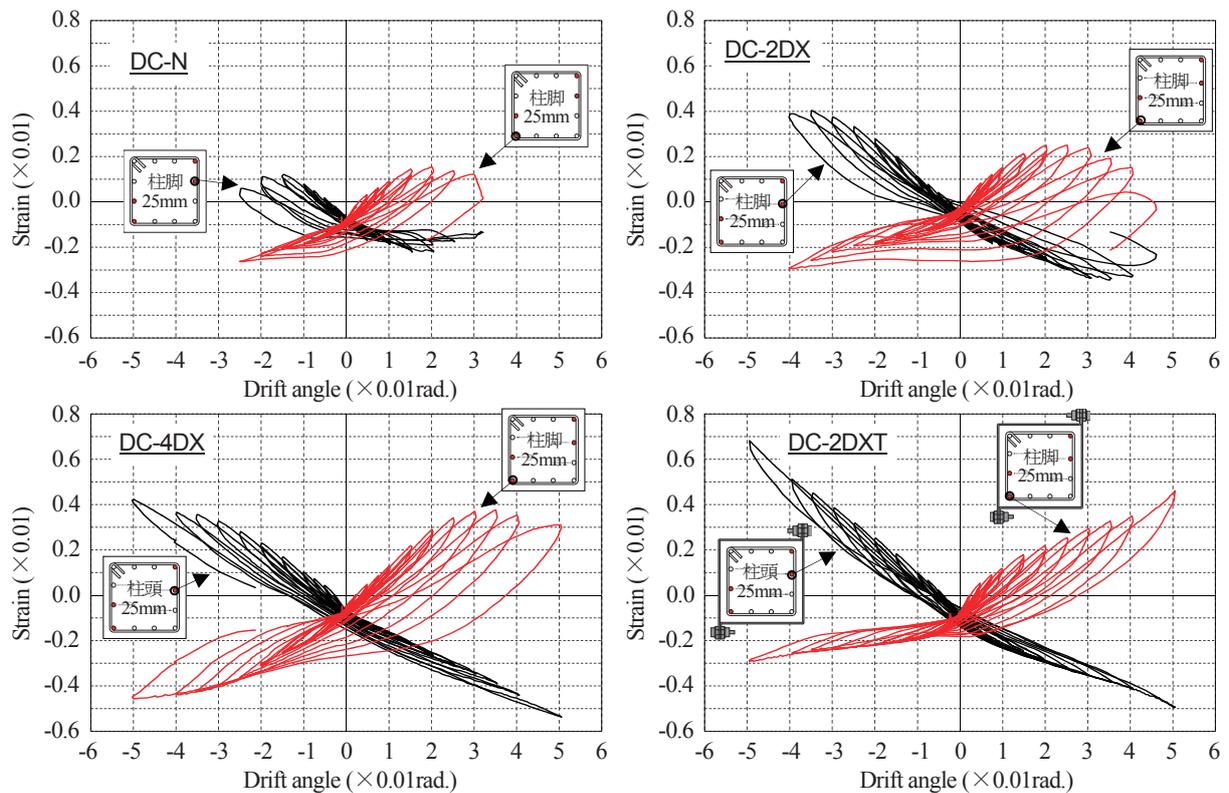


図-7 主筋ひずみの比較

### (3) 主筋ひずみ

図-7 に各試験体の主筋ひずみの履歴を示す。柱脚あるいは柱頭から高さ 25mm の断面位置における隅部の主筋のひずみおよび内側の主筋のひずみと部材角の関係を示している。主筋の降伏ひずみは 0.84% であるのに対して、実験で計測した主筋ひずみは最大で 0.7% 程度であり、いずれの主筋も降伏しなかった。試験体 DC-N は隅部と内側の主筋共に、部材角  $R=0.015\sim 0.02\text{rad}$  で引張側主筋ひずみが最大となり、その後低下している。これは前述のように、柱中央定着部付近の割裂ひび割れにより、柱中央部での主筋の定着の効果が失われたためである。試験体 DC-2DX においては、隅部の主筋ひずみは部材角  $R=0.02\text{rad}$  程度で最大となり低下しているが、X 形配筋とした内側の主筋ひずみは部材角  $R=0.035\text{rad}$  程度まで伸び続けている。その後、主筋ひずみが低下したのは、主筋折り曲げ箇所での損傷の影響と思われる。試験体 DC-4DX は内側の X 形配筋の主筋ひずみが部材角  $R=0.05\text{rad}$  まで伸び続けており、大変形時まで主筋の抵抗力が上昇し続けていたことが分かる。試験体 DC-2DX においては、鋼板横拘束により、隅部主筋の柱中央定着部の損傷および、主筋折り曲げ箇所でのコンクリートの損傷が抑えられ、隅部主筋、内側主筋共に、最終サイクルまで主筋ひずみが増加し続けている。このことにより、高い水平耐力を発揮し、残留変形を小さく抑えられたものと考えられる。

### (4) せん断耐力に関する考察

本研究では、柱中央定着部を簡潔にすることを目的として一部の主筋を X 形配筋にしているが、それによりせん断耐力の上昇も期待できる。図-8 および表-3 に、試験体 DC-N、DC-2DX および DC-4DX のせん断耐力の一覧、および実験結果との比較をそれぞれ示す。試験体 DC-N のせん断耐力は、式(1)に示す修正大野・荒川式<sup>7)</sup>により計算し、試験体 DC-2DX および DC-4DX のせん断耐力は式(1)に、式(2)に示す X 形配筋部のせん断耐力式<sup>8)</sup>を加えて算定した。

$$cQ_{su} = \left\{ \frac{0.115k_u k_p (f'_c + 17.6)}{M/(Qd) + 0.115} + 0.85\sqrt{p_w \sigma_{wy}} + 0.1\sigma_0 \right\} bj \quad (1)$$

ここに、 $k_u$ 、 $k_p$ ：断面寸法による補正係数 ( $k_u=0.9$ 、 $k_p=0.82p_t^{0.23}$ )、 $p_t$ ：引張鉄筋比 (%)、 $d$ ：有効せい、 $\sigma_0$ ：軸力による平均軸応力度、 $j$ ：応力中心間距離 ( $=7/8d$ ) である。

$${}_d Q_{su} = 2\gamma \cdot {}_d a_t \cdot {}_d \sigma_y \cdot \sin \theta \quad (2)$$

ここに、 $\gamma$ ：反曲点高さ比による補正係数 ( $\gamma=1$ )、 ${}_d a_t$ ：X 形主筋の引張鉄筋の断面積、 ${}_d \sigma_y$ ：X 形主筋の降伏強度、 $\theta$ ：X 形主筋が材軸となす角である。

試験体 DC-N は式(1)より算出したせん断耐力より低い耐力でせん断破壊に至った。試験体 DC-N のせん断耐力の計算において横補強筋間隔を 30mm としたが、実験でのせん断破壊は柱中央部の横補強筋間隔が 130mm 空いている箇所が起点となっており、そのため計算通りの耐力が出なかったものと考えられる。横補強筋間隔を 130mm としてせん断耐力  $cQ_{su}'$  を算出すると、実験結果と概ね一致した。試験体 DC-2DX は式(1)により計算した耐力と実験結果がほぼ一致した。実験でのせん断破壊も X 形配筋の区間ではない柱頭から 1D の範囲で生じており、X 形配筋により柱中央 2D 区間のせん断耐力が向上したことが考えられるが、この試験体では柱脚および柱頭から 1D の範囲のせん断耐力の上昇は期待できない。試験体 DC-4DX は、実験においてせん断破壊していないため、実際のせん断耐力は不明であるが、式(1)により計算した

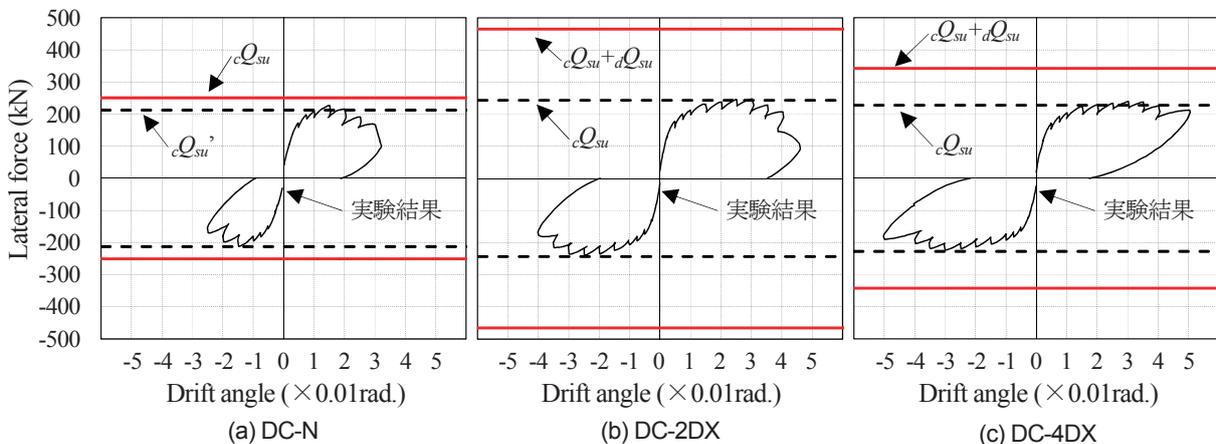


図-8 せん断耐力の比較

表-3 耐力一覧

試験体	$Q_{exp}$ (kN)	$cQ_{su}$ (kN)	$cQ_{su}'$ (kN)	$dQ_{su}$ (kN)	$cQ_{su} + dQ_{su}$ (kN)
DC-N	219	251	212	-	-
DC-2DX	244	243(227*)	-	238	465
DC-4DX	232	227*	-	115	342

ここに、 $Q_{exp}$ ：最大水平力実験値、 $cQ_{su}$ ：式(1)による計算値（\*はX形配筋部の鉄筋を除いた計算値）、 $Q_{su}'$ ：式(1)による計算値（横補強筋間隔130mm）、 $dQ_{su}$ ：式(2)による計算値

耐力を上回ってもせん断破壊に至っておらず、X形配筋としたことによるせん断耐力の上昇効果が得られたものと考えられる。

#### 4. 柱の履歴挙動の解析的検討

船戸らが提案した主筋の付着応力-すべり量関係を考慮した部材解析手法<sup>4)</sup>を用いて、実験結果との比較を行い、主筋の一部をX形配筋とした柱部材への適用性について検討する。実験は逆対称曲げを受けるRC柱部材であるが、柱中央で主筋が完全に定着されている状態を想定して、片持ち柱として解析を行った。本解析は、柱部材を材端部に一樣な曲率を生じる塑性ヒンジ領域と基礎側および柱側の付着性状を取り入れた付着バネ領域に分割して行うもので、付着バネ領域では鉄筋の抜け出し量を仮定し、主筋の付着応力-すべり量関係より塑性ヒンジ領域内の応力を求め、塑性ヒンジ領域ではファイバー法を用いて、断面の曲げモーメント-曲率解析 ( $M-\phi$ 解析)を行う。主筋の付着応力-すべり量関係の

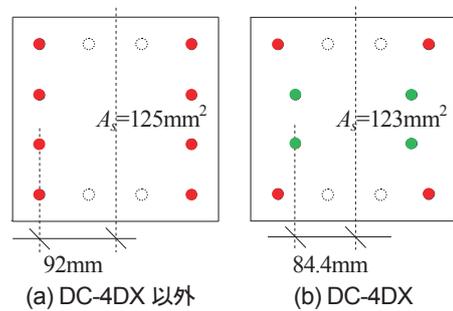
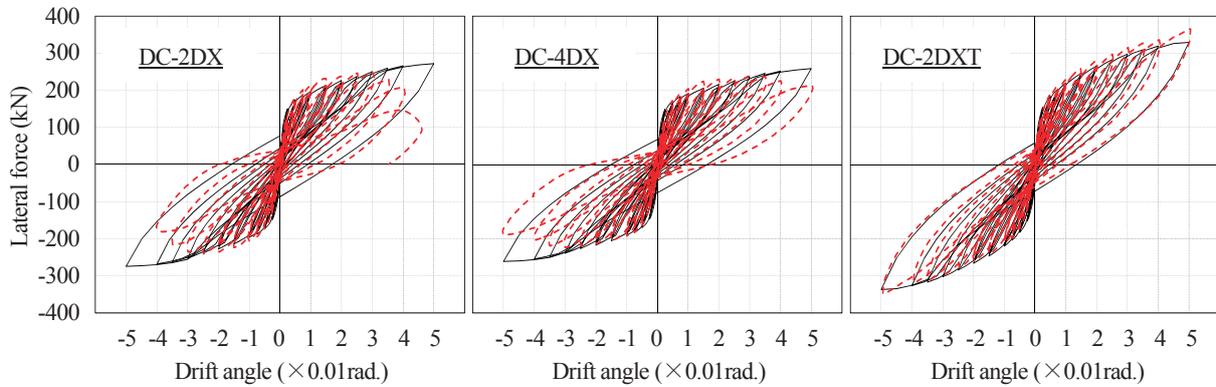
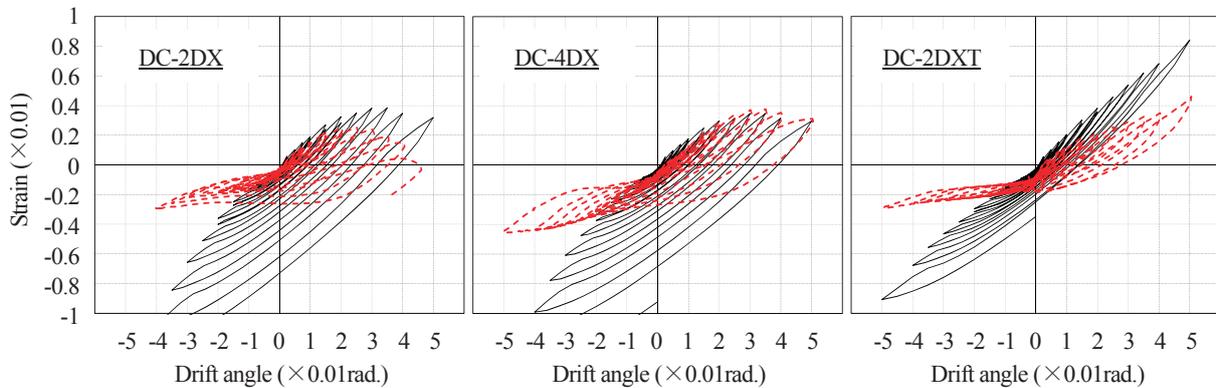


図-9 計算に用いた柱脚断面



(a) 水平力-部材角関係



(b) 主筋ひずみ-部材角関係

図-10 実験結果と解析結果の比較

モデルは船戸らが提案したモデル<sup>4)</sup>を使用し、主筋の付着強度は $3.0\text{N}/\text{mm}^2$ とした。解析方法の詳細については文献4)を参照されたい。ただし本試験体において、載荷方向に対して2段目と3段目に位置する主筋は柱中央で定着を設けていないため、耐力への寄与が小さいものと考え、除外して計算を行った。解析は柱脚断面に対して行い、図-9に示すように、試験体 DC-4DX はスタブ主筋位置からの折り曲げのため、主筋が内側に寄ることと、主筋の傾きにより有効断面積が小さくなることを考慮した。図-10にX形配筋試験体の実験結果と解析結果の比較として、水平力-部材角関係および主筋ひずみを示す。コンクリートの崩落などの損傷が発生するまでは、いずれの試験体も部材角ピーク点の水平抵抗力や履歴ループなどを精度よく評価できている。本解析では、かぶりコンクリートが崩落しないこと、主筋が完全に定着されていることを仮定しているため、実験においてコンクリートの損傷が大きくなってから、定着部での割裂ひび割れが生じてからは、解析は実験結果を追従できていない。また、本解析では通し鉄筋を除いたため、本来通し鉄筋が負担していた軸力をコンクリートと他の主筋が負担することになり、主筋ひずみが圧縮側に大きく進行しており、実験結果と大幅なずれを生じた。主筋ひずみの履歴についても再現するためには、通し鉄筋を適切に考慮して解析する必要がある。

## 5. まとめ

本研究では、付着強度の低い超高強度鉄筋を主筋に用いた逆対称曲げを受けるRC柱の履歴挙動に及ぼす主筋配筋形式の影響を実験的に検証し、以下の知見を得た。

- 1) 一部の主筋の配筋形式をX形配筋とすることで、柱中央定着部を簡潔にした上で、柱中央定着部を起点とした割裂ひび割れによる影響を抑え、大変形域まで安定した耐力を維持し、残留変形を小さく抑えることが出来た。またさらに、鋼板横拘束を施すことで、柱中央定着部付近での割裂ひび割れを抑えることが出来、高い2次剛性を持たせることが出来た。
- 2) X形配筋とした主筋の折り曲げ区間を柱中央付近2D区間とした場合、大変形域( $R=0.035\text{rad.}$ )で主筋折り曲げ位置でのコンクリートの損傷が発生する他、X形配筋とすることによるせん断耐力の上昇を得られなかったが、折り曲げ区間を柱全長4D区間とした場合は、X形配筋によるせん断耐力上昇効果が得られた。
- 3) 主筋の付着すべりを考慮できる部材解析手法は、主筋の一部をX形配筋とした柱部材においても、柱の履歴挙動を精度よく評価できる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、神戸大学学部生・中村圭貴氏、神戸大学大学院生・吉森裕樹氏、神戸大学技術職員・金尾優氏の多大な協力を得ました。また、本実験の試験体に使用した超高強度鉄筋は高周波熱錬株式会社より御提供頂きました。ここに記して感謝の意を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 谷昌典, 孫玉平, 小山智幸, 小山田英弘: フライアッシュを外割混合したコンクリートを用いたRC柱部材の力学性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.73-78, 2010.7
- 2) 橋高将義, 谷昌典, 孫玉平, 藤永隆: 超高強度鉄筋を主筋に用いたRC柱部材の曲げせん断性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.79-84, 2010.7
- 3) 仲井士門, 橋高将義, 谷昌典, 孫玉平: 主筋比及び軸力比が超高強度鉄筋を主筋に用いたRC柱の耐震性能に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.157-162, 2011.7
- 4) 船戸佑樹, 孫玉平, 竹内崇, 蔡高創: スパイラル溝を有する超高強度鉄筋の付着特性のモデル化と柱部材の履歴解析への応用, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp.157-162, 2012.7
- 5) 孫玉平, 竹内崇, 奥田隼也, 大畑雄俊: レジリエントなコンクリート柱の耐震性能に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.1501-1506, 2013.7
- 6) 竹内崇, 張建偉, 藤永隆, 孫玉平: 付着強度の低い超高強度鉄筋を主筋に用いた逆対称曲げRC柱の耐震性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.109-114, 2014.7
- 7) 広沢雅也, 他: 軸力をうける鉄筋コンクリート部材の強度と粘り(その2 既往の資料に関する検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系, pp.819-820, 1971.11
- 8) 日本建築学会: 鉄筋コンクリートX形配筋部材設計施工指針・同解説, p.44, 2010

筆者: 1)東山 諒太: 工学研究科建築学専攻, 大学院生; 2)竹内 崇: 工学研究科建築学専攻, 助教; 3)藤永 隆: 都市安全研究センター, 准教授 4) 孫 玉平: 工学研究科建築学専攻, 教授

# EFFECT OF ARRANGEMENTS OF REBARS ON SEISMIC BEHAVIOR OF RC COLUMNS REINFORCED BY HIGH-STRENGTH REBARS HAVING LOW-BOND STRENGTH

Ryota Higashiyama  
Takashi Takeuchi  
Takashi Fujinaga  
Yuping Sun

## Abstract

When high-strength rebars having low-bond strength are used as longitudinal reinforcements of RC columns under reversed cyclic loading, it is necessary to fix the rebars at the middle of the RC columns and prevent the cover concrete around there from splitting off. In this study, to reveal the effects of arrangements of rebars on seismic behavior of square RC columns reinforced by high-strength rebars having low-bond strength, the behavior of four RC columns with the longitudinal reinforcement arranged parallel or diagonally were experimentally investigated under reversed cyclical lateral force while subjected to constant axial compression. As the result, it was found that if some of rebars are diagonally arranged, it is possible to simplify the fixing of rebars at the middle of column, mitigating the reduction of lateral resistance due to splitting cracks near the fixing portion of the rebars. Test results also indicated that the diagonally reinforced columns retain their lateral capacity and reduce the residual deformation to low levels until large deformation. Furthermore, the diagonally reinforced column confined by steel plates prevented splitting cracks at the fixing of rebars and showed a high secondary rigidity at large deformation.

©2015 Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, All rights reserved.