

# 論文 機械式継手を塑性ヒンジ部に同列配置した実大壁部材の力学的性状について

小倉 貴裕\*<sup>1</sup> 後藤 隆臣\*<sup>2</sup> 平野 勝識\*<sup>3</sup> 島 弘\*<sup>4</sup>

**要旨**：壁部材を対象として、機械式継手を塑性ヒンジ部に同列配置した場合の力学的性状について、実大規模の試験体を用いて検討した。その結果、本研究の範囲内で、塑性ヒンジ部に継手を設けない試験体と比較して、樹脂グラウト材を充填するねじ鉄筋継手を塑性ヒンジ部に同列配置することでの、ひび割れ性状、変形性状およびひずみ分布に有意な差がないことが確認された。

**キーワード**：機械式継手, ねじ鉄筋継手, 同列配置, 塑性ヒンジ部, 力学的性状, 実大壁試験体

## 1. はじめに

近年、土木構造物の鉄筋継手において、鉄筋工事の施工合理化の一手段として、継手位置を塑性ヒンジ部内に同列配置（同一断面配置）とする工法がある。

機械式継手を塑性ヒンジ部内に同列配置した柱部材の力学的性状については、建築分野で多くの研究成果が報告されている<sup>1)2)3)</sup>。これらの報告は、柱部材で試験体規模が1/2~1/3程度、また、閉鎖型せん断補強鉄筋を使用したものである。しかしながら、土木分野においてこのような検討事例は少なく<sup>4)</sup>、実大規模で、主鉄筋の拘束が異なる壁部材の報告については見られない。

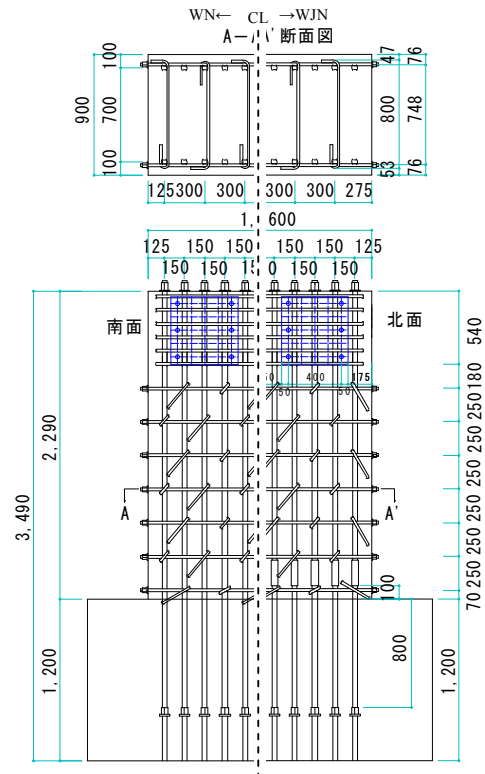
本研究は、実構造物と同程度のせん断補強鉄筋を有する実大規模の壁部材を対象とし、塑性ヒンジ部に機械式継手を同一断面に設けた場合の力学的性状について検討した。

## 2. 試験体

### 2.1 試験体計画

本実験では、図-1に示すボックスカルバートの壁部材を対象とする。ボックスカルバートにも種々の規模があるが、内法スパン8~9m、内法高さ7~8m、壁厚0.9m規模の構造物を想定した。試験体の形状は、図-1に示

すボックスカルバートの一部を切り出し、図-2のように片持ち形式の壁試験体とした。壁部は幅1,600mm、高さ900mm、スタブは幅2,500mm、奥行き



WN 試験体

WJN 試験体

図-2 試験体配筋概要

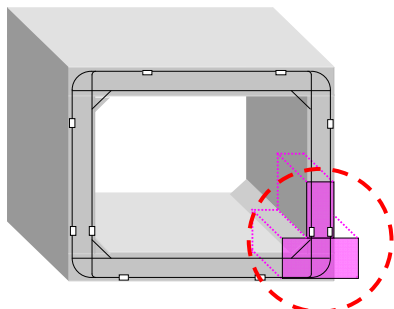


図-1 試験体イメージ

\*1 東京鉄鋼土木株式会社 技術部 (正会員)

\*2 東京鉄鋼株式会社 開発部製品開発課 (正会員)

\*3 株式会社フジタ 技術センター土木研究部 次長 (正会員)

\*4 高知工科大学 大学院工学研究科 基盤工学専攻 教授 工博 (正会員)

表-1 試験体諸元

試験体名	主鉄筋			せん断補強鉄筋		配力鉄筋	コンクリートの目標強度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断スパン比 $a/d$
	鋼種 本数-径	引張鉄筋比 $p_t$ (%)	継手	鋼種 径	鉄筋比 $p_w$ (%)	鋼種 径@間隔		
WN	SD345 10-D32	0.62	なし	SD345 D16	0.25	SD345 D19@250	24	2.5
WJN			あり					

2,500mm, 高さ 1,200mm とした。表-1 に示すように、コンクリートの目標強度を 24N/mm<sup>2</sup> とし、地震時と常時の荷重を組み合わせた曲げモーメントの反曲点を考慮し、せん断スパンが 2,000mm, 有効高さが 800mm でせん断スパン比( $a/d$ )を 2.5 とした。

表-1 に示すとおり、WN は主鉄筋に SD345 の D32 を使用し、継手なしの試験体とした。WJN は、WN と同じく主鉄筋に SD345 の D32 を使用し、継手ありの試験体とした。

また、試験体の配筋については、実物件の配筋図を参考にし、WN および WJN の主鉄筋は、片側に 10 本配筋した。継手位置は実施工を想定し、スタブ上面から 100mm の高さとした。継手は上下の主鉄筋を接合後、樹脂製グラウトを注入して固定した。

配力鉄筋は、WN および WJN とともに SD345 の D19 を使用し、250mm 間隔で配筋した。配力鉄筋の端部は、構造物延長方向の連続性を考慮して、壁端部に定着プレートを用いて固定した。定着プレートは、手締め後、樹脂グラウト材を注入して固定した程度で、プレストレスは与えていない。

せん断補強鉄筋は、SD345 の D16 を使用し、1 段あたり 5 本配筋した。その形状は、実物件に合わせて片側を半円形フック、もう一方を直角フックとした。

スタブ部高さは、主鉄筋の基本定着長さを満足するように設定した。なお、大変形まで加力することから、主鉄筋の折り曲げ定着の代替として、スタブ上面より 25d (d は鉄筋径) の位置に定着プレートを配置した。

## 2.2 使用材料

主鉄筋は、ねじ節異形棒鋼 (SD345, D32) を使用した。配力鉄筋には、端部に定着プレートを設置するため、ねじ節異形棒鋼 (SD345, D19) を使用した。せん断補強鉄筋は、異形棒鋼 (SD345, D16) を使用した。

機械式継手は、樹脂グラウト材をあと充填するねじ節鉄筋継手とし、土木学会の「鉄筋定着・継手指針【2007 年度版】」<sup>5)</sup> に示されている継手性能判定基準の A 級を満足するものを使用した。ねじ節鉄筋継手の寸法は、長さ 190mm, 外径 52.6mm である。

壁およびスタブのコンクリートは、目標強度を 24N/mm<sup>2</sup> の普通コンクリートとした。そのため、フレッシュコンクリートの呼び強度は 18N/mm<sup>2</sup> とした。

## 3. 試験方法

### 3.1 加力方法

加力状況を写真-1 に示す。加力は、図-3 に示す加力装置にて変位制御による正負交番载荷とした。水平力は、油圧ジャッキを 2 基使用して载荷した。また、油圧ジャッキの自重によって試験体に作用する曲げモーメントをキャンセルするため、定荷重装置を設けた。定荷重装置は不動点から吊り下げる形式をとり、軸変位の伸び出しに追従してキャンセルできる機構とした。

軸力については、計画交通量区分が N7 の舗装厚と土かぶり 5m を想定しても、約 0.1N/mm<sup>2</sup> と非常に小さな軸力であることから、これを無視した。なお、軸力の算出は、日本道路協会の「道路土工 カルバート工指針」<sup>6)</sup> および「舗装設計施工指針」<sup>7)</sup> を参考にした。



写真-1 加力状況

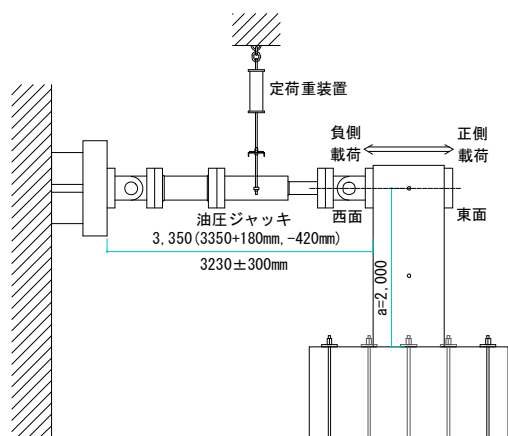
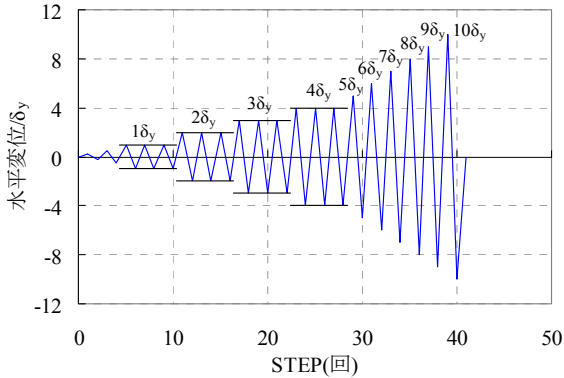
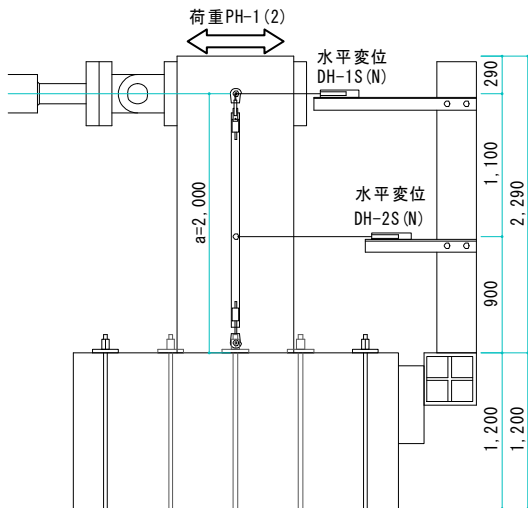


図-3 加力装置概要図

加力サイクルは、**図-4**に示すように、ひび割れ発生時で1回、主鉄筋のひずみが1,000 $\mu$ 時（SD345の降伏ひずみの半分程度）で1回繰り返し载荷を行った。1,000 $\mu$ 時の加力終了後、WNの主鉄筋が引張試験にて確認し



**図-4** 加力サイクル

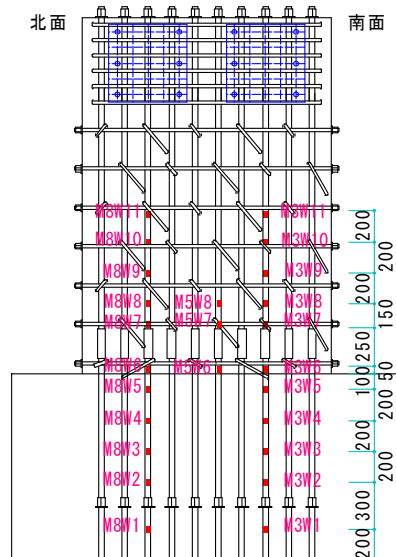


**図-5** 測定位置

た降伏ひずみに達した変位量を $\delta_y$ と定め、 $\delta_y \sim 4\delta_y$ まで3回繰り返し载荷を行い、 $5\delta_y$ 以降は1回繰り返し载荷とした。なお、WJNの $\delta_y$ は、WNで計測した降伏変位（水平変位10.0mm）と同じとした。

**3.2 測定方法**

測定項目は、荷重、壁部水平変位および主鉄筋ひずみとした。荷重の測定には、ロードセル（ひずみ変換型）を用いた。荷重および変位測定位置は、**図-5**に示す。また、WJNの主鉄筋のひずみ測定位置を**図-6**に示す。なお、WNはWJNと同じ位置にひずみゲージを貼り付けた。水平変位の測定位置は、荷重載荷点位置（スタブ上面より2,000mmの高さ）および部材幅と同じ高さの900mmとした。WNおよびWJNの主鉄筋のひずみゲージは、北面より3本目、5本目、8本目の主鉄筋の表裏に貼り付けた。



**図-6** ひずみ測定位置(WJN)

**表-2** コンクリートの圧縮強度試験結果

試験体名	コンクリートの 目標強度 (N/mm <sup>2</sup> )	壁部		スタブ	
		材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
WN	24	36	26.5	49	27.3
WJN		42	27.6	-	-

**表-3** 鉄筋の引張試験結果

鉄筋	鋼種	鉄筋 径	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ ( $\mu$ )	伸び (%)
主鉄筋	SD345	D32	379	569	197	2,062	21
せん断補強鉄筋	SD345	D16	387	572	202	2,100	25
配力鉄筋	SD345	D19	366	529	202	1,904	20

表-4 実強度を用いた計算値

試験体名	有効 せい	せん断 スパン	鉄筋		コンクリートの 圧縮強度	計算値		
			主鉄筋	せん断 補強鉄筋		曲げ耐力時 せん断力	せん断 耐力	せん断 余裕度
			降伏強度	降伏強度				
$d$ (mm)	$a$ (mm)	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{wy}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$M_u/a$ (kN)	$V_y$ (kN)	$V_y / (M_u/a)$	
WN	800	2,000	379	366	26.5	1,173	1,700	1.45
WJN					27.6	1,180	1,709	1.45

4. 試験結果

4.1 材料特性

コンクリートの試験時の圧縮強度および鉄筋の引張試験結果を表-2, 表-3 に示す。コンクリートの圧縮試験用円柱供試体は、試験体と養生条件を同一となるように試験体の横に置き、封かん養生を行った。試験時の圧縮強度は、目標強度が 24N/mm<sup>2</sup> に対して、WN が 26.5N/mm<sup>2</sup>, WJN が 27.6N/mm<sup>2</sup> であった。

4.2 実強度を用いた設計値

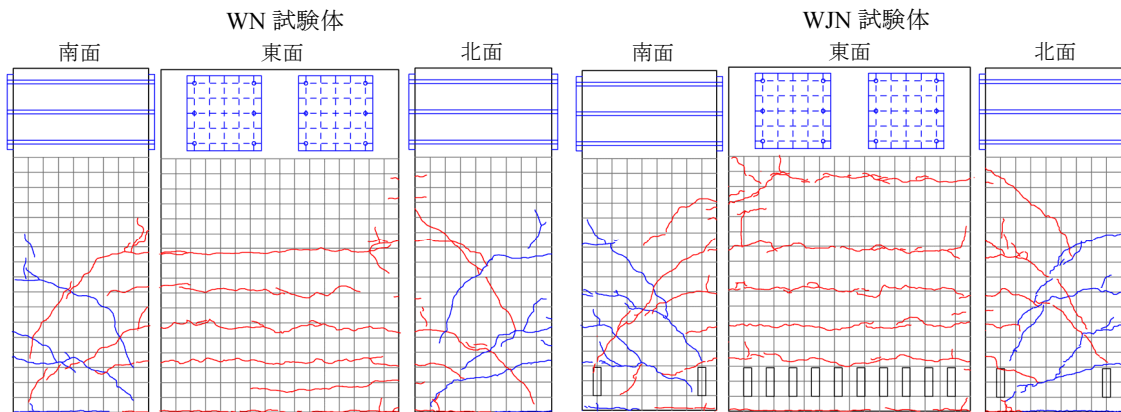
コンクリートおよび鉄筋の実強度を用いて、曲げ耐力時せん断力、せん断耐力およびせん断余裕度を計算した。なお、曲げ耐力時せん断力は、道路橋示方書・同解説 耐震設計編<sup>8)</sup> の応力-ひずみ曲線を用いて求めた終局曲げ

モーメント  $M_u$  をせん断スパン  $a$  で除して算出した。また、せん断耐力は、2012 年度制定 コンクリート標準示方書 設計編<sup>9)</sup> に基づき計算した。その計算結果を表-4 に示す。なお、計算においては、安全係数を全て 1.0 とした。せん断余裕度は、WN, WJN とともに 1.45 であった。

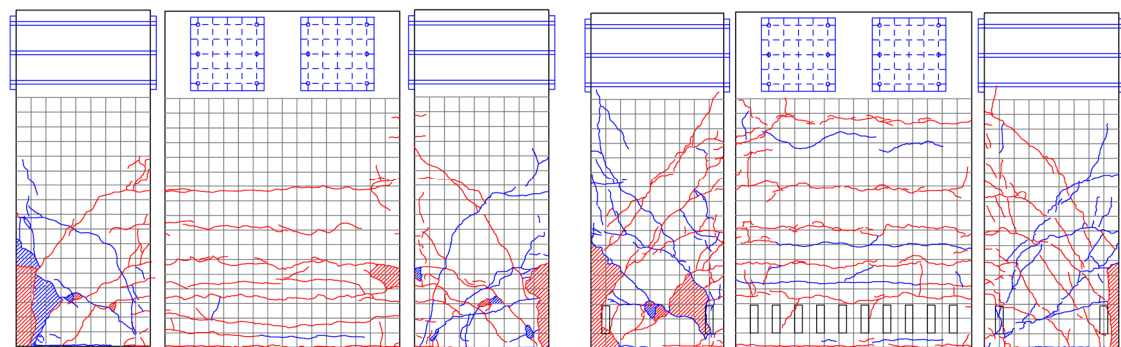
4.3 ひび割れ性状および破壊性状

主鉄筋降伏時および荷重終了時（水平変位 100mm）のひび割れ発生状況を図-7 に示す。図中のひび割れは、正側荷重時によるものを青線、負側荷重時によるものを赤線で表示した。

WN は、荷重 297kN 時に曲げひび割れが発生した。その後、水平変位 10.0mm（荷重 1,160kN）時に主鉄筋が降伏した。水平変位が 60→70mm で西面中腹部のかぶりコ



(a) 主鉄筋降伏時



(b) 荷重終了時

図-7 ひび割れ発生状況

表-5 試験結果一覧

試験体名	加力方向	曲げひび割れ発生時		水平変位10mm時荷重	主鉄筋降伏ひずみ到達時		最大荷重時	
		$P_{cr}$ (kN)	$\delta_{cr}$ (mm)	$P_y^*$ (kN)	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)
WN	正	297	0.7	1,160	1,160	10.0	1,290	17.2
	負	-297	-0.7	-1,147	-1,062	-8.6	-1,266	-48.9
WJN	正	269	0.7	1,137	1,137	10.0	1,318	78.4
	負	-277	-0.7	-1,097	-988	-8.4	-1,337	-69.8

コンクリートが剥離し、荷重低下が始まった。水平変位が70→80mmでは、西面のかぶりコンクリート剥落した。水平変位が90→100mmでは、更にかぶりコンクリート剥落範囲が拡大し、載荷終了後に直角フックが曲げ戻されていることを確認した。

WJNは、荷重269kN時に曲げひび割れが発生した。その後、水平変位10.0mm(荷重1,137kN)時に主鉄筋が降伏した。水平変位が80→90mmで荷重低下が始まった。更に、水平変位が90→100mmでは、かぶりコンクリートが剥離し、載荷終了後に、直角フックが曲げ戻されていることを確認した。

主鉄筋降伏時までは、WNとWJNでひび割れ性状に大きな違いが見られなかった。主鉄筋降伏後は、WJNの方が斜めひび割れが多く見られた。

4.4 荷重および水平変位

試験結果一覧を表-5に示す。WNの主鉄筋の降伏ひずみ到達時の水平変位は10.0mmであった。WJNは、ひび割れ状況および変形状を比較するため主鉄筋の降伏変位( $\delta_y$ )をWNに合わせ、交番載荷を実施した。なお、WJNの主鉄筋の降伏ひずみ到達時の水平変位は、WNと同じく10.0mmであった。最大荷重は、WNが正側載荷で1,290kN、負側載荷で1,266kNであったのに対し、WJNは正側載荷で1,318kN、負側載荷で1,337kNであり、ほぼ同等の値であった。

次に、最大荷重の実験値と表-4で示した終局曲げモーメント  $M_u$  をせん断スパン  $a$  で除することで算出した曲げ耐力時計算値の比較を表-6に示す。実験値と計算値の比は、WNが正側載荷で1.10、負側載荷で1.08であったのに対し、WJNは正側載荷で1.12、負側載荷で1.13であり、ほぼ同等の値であった。これより、ねじ節鉄筋

表-6 計算値との比較

試験体名	最大荷重実験値 $P_{max}$ (kN)		曲げ耐力時計算値 $P=M_u/a$ (kN)	実験値/計算値	
	正	負		正	負
WN	1,290	-1,266	1,173	1.10	1.08
WJN	1,318	-1,337	1,180	1.12	1.13

継手を塑性ヒンジ部に同一断面で設けた場合においても、降伏変位および最大耐力は、継手を設けない部材と同等であることがわかった。

4.5 履歴曲線

WNの履歴曲線を図-8、WJNの履歴曲線を図-9に示す。また、主鉄筋降伏時の荷重をそれぞれの図に示す。WNは、水平変位20mm前後で最大荷重を示し、水平変位60→70mm( $6\delta_y \rightarrow 7\delta_y$ )の載荷で主鉄筋のかぶりコンクリートが剥離し、荷重が低下した。その後、かぶりコンクリートの剥落範囲が拡大し、主鉄筋の座屈が顕著となり荷重が大きく低下した。

これに対し、WJNは、水平変位80mm前後で最大荷重を示し、水平変位80→90mm ( $8\delta_y \rightarrow 9\delta_y$ )の載荷で主鉄筋のかぶりコンクリートが剥離し、荷重がやや低下した。

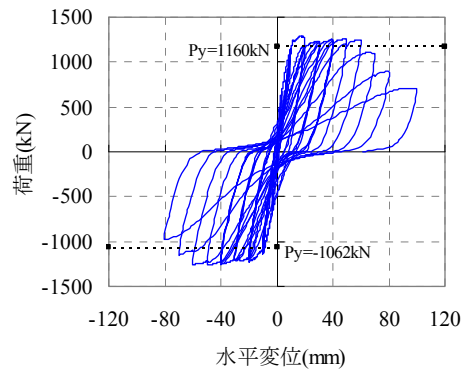


図-8 履歴曲線(WN)

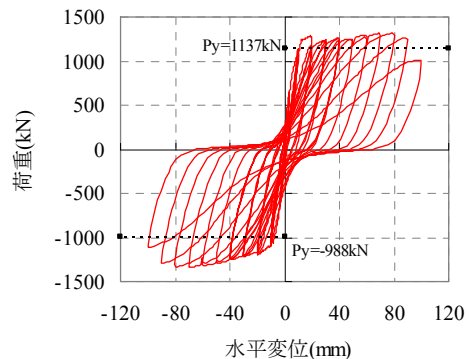


図-9 履歴曲線(WJN)

更に、水平変位 100mm の載荷時にかぶりコンクリートが大きく剥落し主鉄筋が露出した。これにより、主鉄筋の座屈が顕著になり肉眼でも観察できる状態となった。また、載荷試験終了後、せん断補強鉄筋の直角フックが曲げ戻されていた。

WN および WJN の包絡線を図-10 に示す。初期剛性および部材降伏までの剛性は、WN および WJN で同じであった。部材降伏後の水平変位 50mm までは同じ性状であり、それ以降は、かぶりコンクリートの剥落範囲などにより、WN は、水平変位 60mm で荷重が低下した。一方、WJN は水平変位が 90mm まで荷重が大きく低下していない。これは、カプラーの影響により基部の座屈が遅れたものと考えられる。

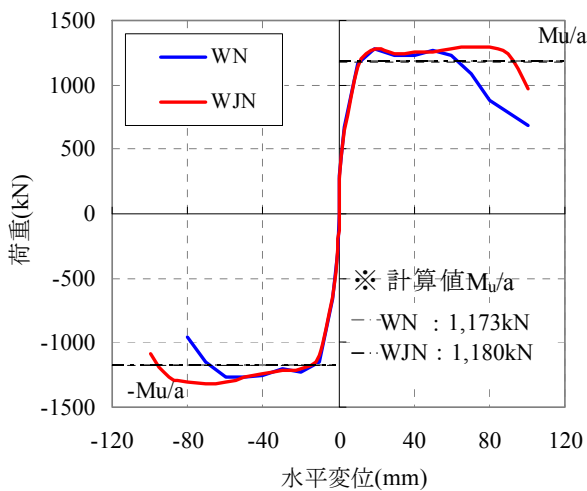


図-10 包絡線

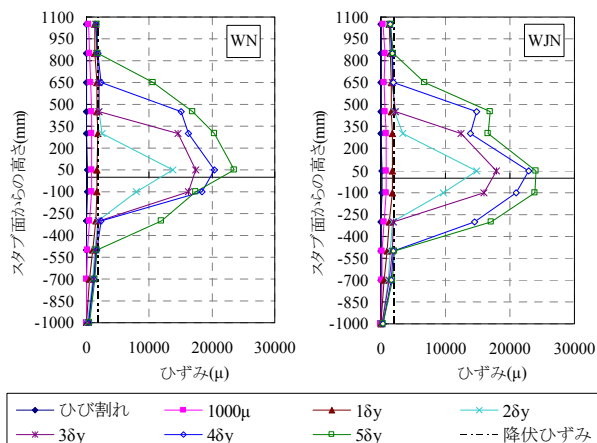


図-11 主鉄筋のひずみ分布の一例

#### 4.6 主鉄筋のひずみ分布

WN および WJN において、断線など測定に際し有害な影響が見られなかった 5δ<sub>y</sub> までの主鉄筋のひずみ分布を図-11 に示す。図中のひずみは引張力が作用した時の値を示す。壁部材の主鉄筋のひずみ分布は主鉄筋が降伏す

るまではほぼ同じである。それ以降はひび割れ発生位置などの影響を受けるため、ひずみ分布はねじ節鉄筋継手の直上位置では違いがあるものの同じ傾向を示している。

#### 5. まとめ

本研究の結果、以下の結論を得た。

- (1) ひび割れは、WN および WJN とともに曲げひび割れが発生後、水平変位が大きくなるにつれて斜めひび割れに進展し、本数も増えていったが大きな違いは見られなかった。
- (2) 最大荷重は、WN および WJN でほぼ同じであり、計算値よりも高かった。
- (3) WN では、水平変位 60mm から 70mm までの過程で、WJN では、水平変位 90mm~100mm までの過程で荷重が大きく低下した。
- (4) 荷重の低下とかぶりコンクリートの剥落がほぼ同じタイミングであることを確認した。
- (5) 主鉄筋のひずみ分布は、主鉄筋が降伏するまでほぼ同じである。主鉄筋降伏後は、ひび割れ発生位置などの影響を受けるため同等のひずみ分布とはならなかったが、同じ傾向を示した。

以上より、本研究の範囲内において、塑性ヒンジ部に継手を設けない試験体と比較して、本実験で使用したねじ節鉄筋継手を塑性ヒンジ部に同列配置することでの、ひび割れ性状、変形性状およびひずみ分布に有意な差がないことがわかった。

#### 参考文献

- 1) 新藤健太, 榎谷栄次, 小曾根茂雄: モルタル充填式継手を有する鉄筋コンクリート部材の力学的性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.18, No.2, pp.1235-1240, 1994
- 2) 大橋茂信, 榎谷栄次, 吉野次彦: 高強度鉄筋用モルタル充填式鉄筋継手を有する高層 PCa 柱の力学的挙動に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.21, No.3, pp.295-300, 1999
- 3) 金川基, 塩川真, 笠松照親: 超高層 RC プレキャストコンクリート工法の開発 (その 3. 柱部材実験の概要), 日本建築学会学術梗概集, pp.5-6, 1996.9
- 4) 大野拓也, 睦好宏史, Nguyen Dac Phuong: 同一断面でねじ節鉄筋継手を用いた鉄筋コンクリート部材の力学的性状に関する研究, 土木学会第 67 回年次学術講演会, V-234, pp.467-468, 2012.9
- 5) 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 年度版]
- 6) 日本道路協会: 道路土工 カルバート工指針 (平成 21 年度版)
- 7) 日本道路協会: 舗装設計施工指針 (平成 18 年度版)
- 8) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 耐震設計編 (平成 24 年度版)
- 9) 土木学会: コンクリート標準示方書 設計編 [2012 年制定]