

水平打ち継ぎを行った RC 梁の実験

近畿大学建築学部建築学科 鉄筋コンクリート第 2 研究室 福田 幹夫

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下 RC）造建物のコンクリート打設施工においては、打ち継ぎを行うことが避けられない。特に、地下階の施工においては、「山留め」のために「腹起し」や「切ばり」があるために、高さ方向の型枠工事に制限が生じ、コンクリートの水平打ち継ぎを余儀なくされる可能性が考えられる。

本レポートは、先打ちコンクリート表面処理方法を変えた水平打ち継ぎを有する RC 梁の実験を行い、耐力や変形性状の相違を調べるために行った実験結果をまとめたものである。

2. 実験概要

2. 1 試験体

試験体緒元を表 1 に、配筋図を図 1 に示した。

試験体形状は、梁幅 $b=120\text{mm}$ 、梁せい $D=400\text{mm}$ 、せん断スパン比 $a/d=2.08$ である。破壊モードをせん断破壊先行方と曲げ降伏先行方の 2 種類とし、それぞれ主筋に 3-D13 ($P_t=P_c=0.85\%$ 、せん断破壊先行方は下端筋を SD785 の高強度鉄筋を、曲げ降伏先行方では SD345 を使用)、せん断補強筋に D6@260mm ($P_w=0.21\%$) を用いた。

表 1. 試験体諸元

試験体名	打ち継ぎ部処理方法	主筋	せん断補強筋
せん断破壊先行型	MC-S	一体打ち	D6 @260 $P_w=0.21\%$
	NP-S	無処理	
	WB-S	ワイヤーブラシ仕上げ	
	HW-S	高圧水洗浄	
	CS-S	完全分離	
曲げ降伏先行型	MC-B	一体打ち	
	NP-B	無処理	
	WB-B	ワイヤーブラシ仕上げ	
	HW-B	高圧水洗浄	
	CS-B	完全分離	
		上端筋 3-D13 (DS345) 下端筋 3-D13 (SD785) $P_t=P_c=0.85\%$	

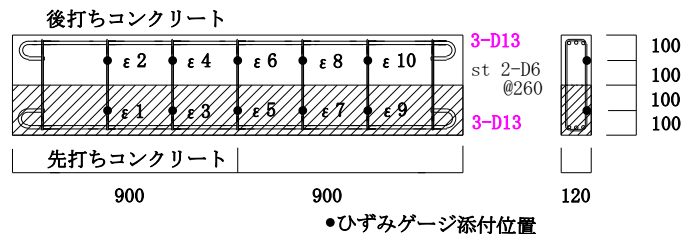


図 1. 配筋図

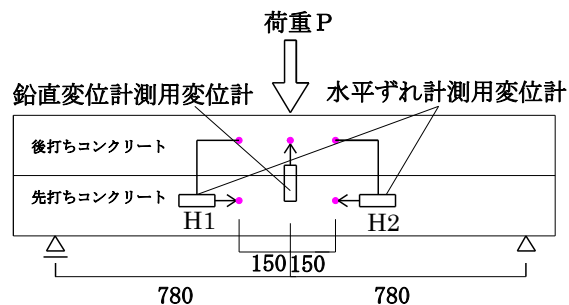


図 2. 載荷方法

コンクリートは、先打ちコンクリート（以下、先打ち部）を梁せいの中央まで打設し、7 日後に後打ちコンクリート（以下、後打ち部）を打設した。試験体は、先打ち部打設 1 日後に各試験体の表面処理を表 1. に示したように、無処理としたもの (NP-S、NP-B)、ワイヤーブラシ仕上げとしたもの (WB-S、WB-B)、高圧水洗浄（水圧 6.9Mp で洗浄 HW-S、HW-B）と同上

面にビニールシートを敷き後打ちコンクリートと完全に分離させた完全分離（CS-S、CS-B）とした4種類と、比較のために一体打ちとしたもの（MC-S、MC-B）の計10体を製作した。

本実験で使用した材料強度を表. 2に示した。

2. 2 加力および測定

加力は図2に示したように、単純梁形式中央一点荷重で一方向加力で行った。変位の測定は、加力点の垂直変位と先打ち部と後打ち部の水平ずれを高感度変位計を用いて測定した。鉄筋のひずみは、主筋についてはスパン中央で、せん断補強筋は先打ち部と後打ち部でそれぞれ測定した。

3. 実験結果および検討

荷重-垂直変位曲線（図中の横線は計算値）を図3に、最終ひび割れ写真を写真1にそれぞれ示した。

ひび割れ状況は、一体打ちの MC-S、MC-B は部材角 $R=1.2/1000\text{rad}$.前後 ($R=\delta/L$ $L=780\text{mm}$) で曲げひび割れが、 $1.8/1000\text{rad}$.前後でせん断ひび割れが発生し、 $5/1000\text{rad}$.前後でせん断破壊した。打ち継ぎ部が形成されている試験体では、無処理の NP-S、NP-B、ワイヤーブラシ処理の WB-S、WB-B、高圧水洗浄の HW-S、HW-B は先打ち部では曲げひび割れは $0.9/1000\text{rad}$.前後で、せん断ひび割れは $2\sim3/1000\text{rad}$.、後打ち部では $0.9\sim1.8/1000\text{rad}$.で、せん断ひび割れは $1.9\sim3.0/1000\text{rad}$.でそれぞれ発生した。

打ち継ぎ部では NP-S、WB-S、HW-S は $0.9\sim2.6/1000\text{rad}$.で NP-B、WB-B、HW-B は $2.2\sim3.1/1000\text{rad}$.で水平ひび割

れが発生した。最大荷重時では、NP-S、WB-S、HW-S はせん断破壊を生じた。NP-B、WB-B、HW-B では下端主筋の降伏が測定され曲げひび割れ幅の広がりが見られ最大荷

表2. 使用材料強度

鉄筋

	σ_y	σ_{max}	E
D6	349	538	1.80
D13	381	549	1.83
HD13	847	1020	2.00

Note: σ_y : 降伏強度(N/mm²)
 σ_{max} : 最大強度(N/mm²)
E: ヤング率($\times 10^5\text{N/mm}^2$)
HD: 高強度鉄筋(SD345)

コンクリート

	σ_B	E	σ_t
先打ち	34.2	2.17	2.93
後打ち	37.5	2.35	3.06

Note: σ_B : 圧縮強度(N/mm²)
E: ヤング率($\times 10^4\text{N/mm}^2$)
 σ_t : 引張り強度(N/mm²)

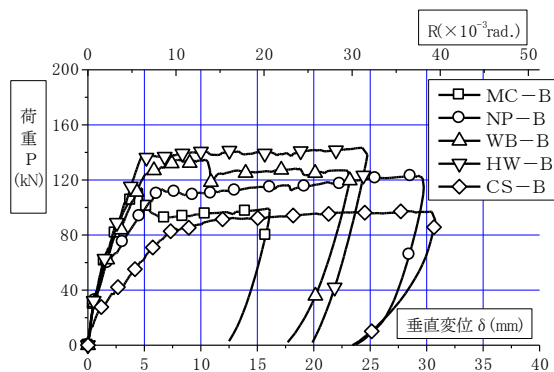
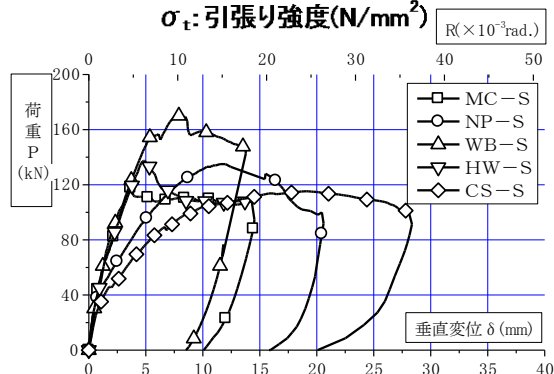


図3. 荷重-垂直変形関係

重後は、せん断破壊型では荷重の低下がみられ、特に WB-S、HW-S の試験体の耐力低下が顕著であった。完全分離させた CS-S、CS-B では後打ち部で $0.6 \sim 1.7/1000\text{rad.}$ で曲げひび割れが発生し、その後の載荷で先打ち部で $2 \sim 3/1000\text{rad.}$ で曲げひび割れ、 $5.6 \sim 8/1000\text{rad.}$ でせん断ひび割れが発生した。

図 3 の荷重－変形関係より、せん断破壊先行型の WB-S(ワイヤーブラシ仕上げ)と HW-S(高圧水洗浄)の両試験体は MC-S(一体打ち)と比べ最大荷重まではほぼ同じような荷重－変形関係を示していた。NP-S(無処理)と CS-S(完全分離)では先打ちコンクリート部で曲げひび割れの発生後からは剛性低下が MC-S と比べ大きくなっていた。最大荷重にせん断破壊した HW-S では約 14% 程度の耐力低下を示した。曲げ降伏先行型では MC-B(一体打ち)と比べ、WB-B は $2.3/1000\text{rad.}$ 過ぎに先打ち部と後打ち部にせん断ひび割れが発生したことにより剛性の低下が生じていた。また、NP-B(無処理)は $1/1000\text{rad.}$ 近傍までは一体打ちと同じ荷重－変形関係を示しているが、後打ち部に発生した曲げひび割れ幅の広がり観察さ



一体打ち MC-S



一体打ち MC-B



無処理 NP-S



無処理 NP-B



ワイヤーブラシ WB-S



ワイヤーブラシ WB-B



高圧水洗浄 HW-S



高圧水洗浄 HW-B



完全分離 CS-S



完全分離 CS-B

写真 1. 最終ひび割れ写真

れ、MC-B と比べ変形が大きくなっていた。CS-B 以外の試験体で $5/1000\text{rad.}$ 後の加力では、耐力はほぼ一定の荷重－変形関係であった。ただし WB-B では、 $13/1000\text{rad.}$ 近傍で圧縮側の鉄筋に沿ったひび割れが生じたため耐力低下を示したが、その後の加力ではほぼ一定の耐力を示していた。

図 4 には、コンクリート水平打ち継ぎを行った試験体のせん断力 Q と試験体側面で計測した先打ち部と後打ち部の水平ずれ量

の関係を示した (H1、H2 については図2 参照。またせん断破壊型は最大耐力まで、 曲げ降伏型は主筋の降伏まで。)。打ち継ぎ 部の形状が無処理 (NP)、ワイヤーブラシ (WB)、高圧水洗浄 (HW) の試験体でず れ始めのせん断力はせん断破壊型で

16.8kN~18.3kN(平均 17.4kN)、曲げ降伏 形では17.3kN~21.4kN(平均 20kN)であっ た。ずれが生じ始めの部材角は表3に示し たように、せん断破壊型の NP-S は 0.9/1000rad.、WB-Sは2.6/1000rad.、HW-S は 1/1000rad で平均 1.5/1000rad.であり、

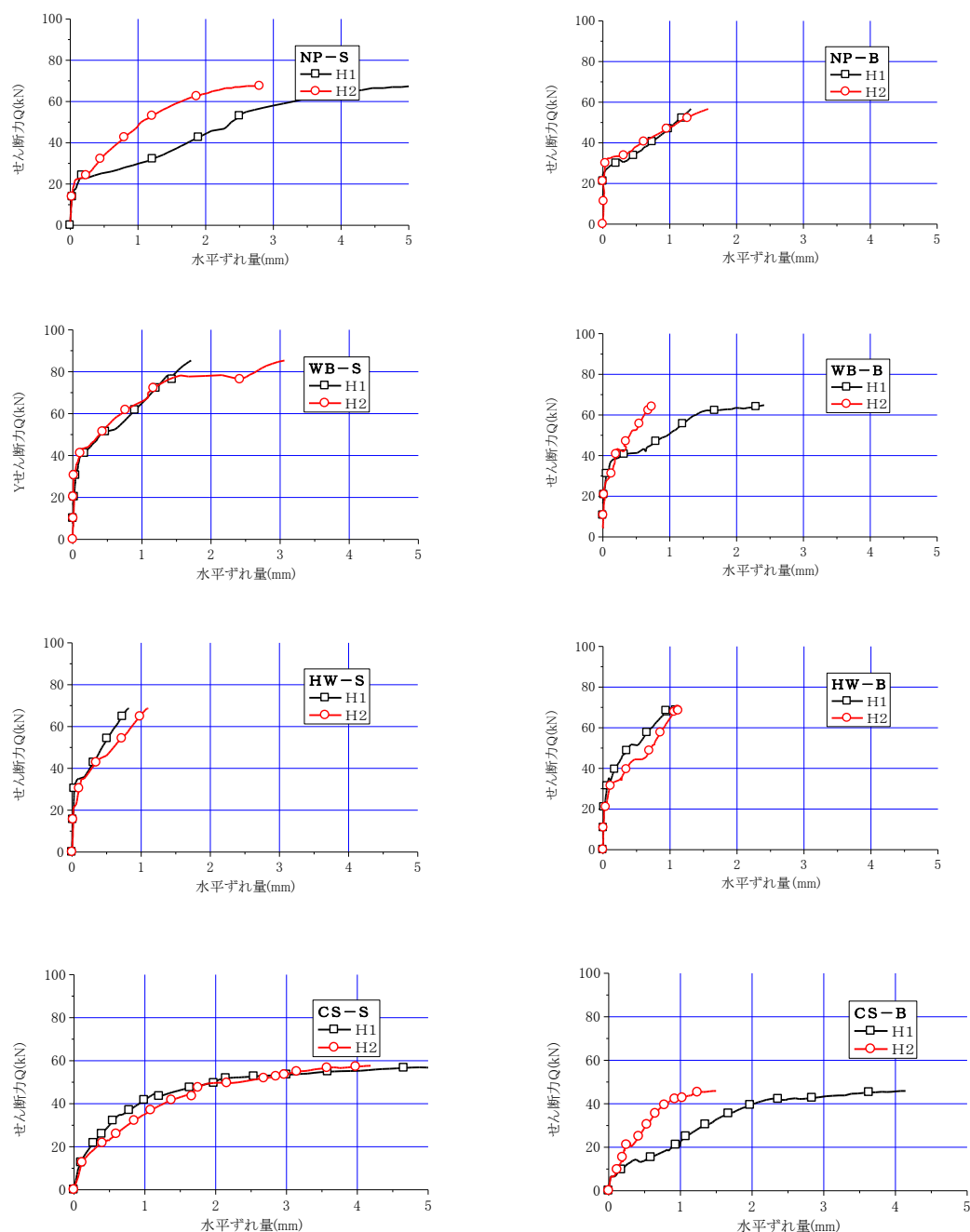


図4．せん断力－水平ずれ関係

表 5. 実験値

		Pmc	Psc	水平ずれ	Pmax	cPv	cPy
MC-S		61.4 (1.6)	64.3 (1.7)	—	119.4 (4.8)	128.1	279.3 [124.4]
NP-S	先打ち部	38.0 (0.6)	64.3 (3.0)	33.6 (0.9)	135.0 (14.8)		
	後打ち部	38.0 (0.9)	50.3 (1.9)				
WB-S	先打ち部	36.4 (0.8)	71.8 (2.0)	34.0 (2.6)	170.6 (10.0)		
	後打ち部	44.7 (1.1)	75.9 (2.1)				
HW-S	先打ち部	36.6 (0.9)	71.8 (2.3)	36.0 (1.0)	137.4 (6.3)		
	後打ち部	36.6 (0.9)	71.8 (2.3)				
CS-S	先打ち部	45.9 (2.0)	70.68 (5.6)	—	115.4 (24.4)		
	後打ち部	19.7 (0.6)	—				
MC-B		38.4 (0.9)	61.3 (1.9)	—	114.0 (6.0)	128.1	125.6 [56.3]
NP-B	先打ち部	34.8 (0.9)	57.8 (2.1)	42.0 (2.2)	* 98.2 (6.4)		
	後打ち部	34.8 (0.9)	66.8 (3.1)				
WB-B	先打ち部	34.6 (0.9)	68.5 (2.5)	34.0 (3.1)	* 129.9 (8.7)		
	後打ち部	39.6 (1.1)	83.9 (3.8)				
HW-B	先打ち部	34.2 (0.8)	66.7 (1.8)	42.0 (2.2)	* 137.0 (6.5)		
	後打ち部	60.6 (1.8)	74.9 (2.5)				
CS-B	先打ち部	27.7 (3.0)	42.1 (1.7)	—	* 75.84 (16.4)		
	後打ち部	19.4 (8.0)	—				

[Note] ()内は部材角 $\times 10^{-3}$ rad.

P_{mc}: 曲げひび割れ発生荷重 kN

P_{sc}: セン断ひび割れ発生荷重 kN

P_{max}: 最大荷重 kN ただし * 印は、曲げ降伏型は下端鉄筋の降伏ひずみより求めた

cP_v: 一体打ちとした場合のせん断強度 (=2V_u^[3]) kN

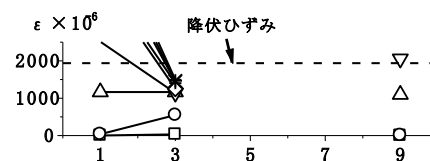
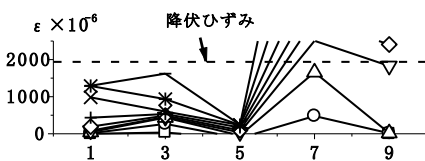
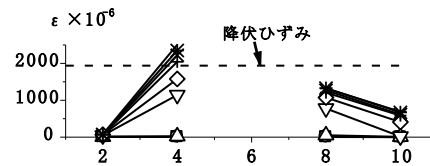
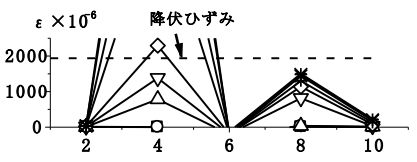
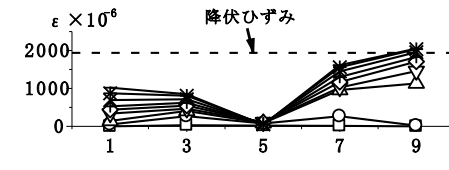
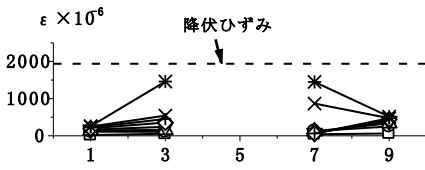
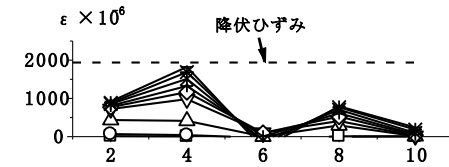
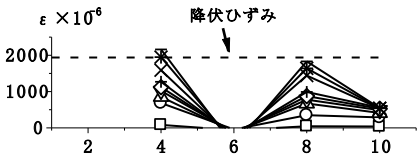
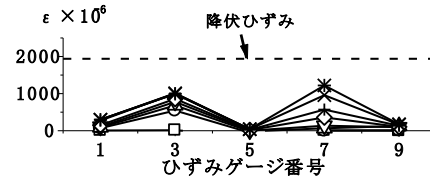
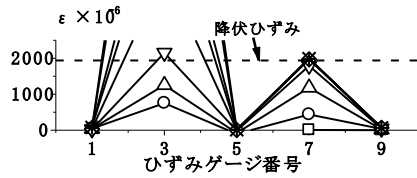
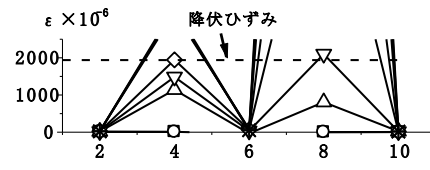
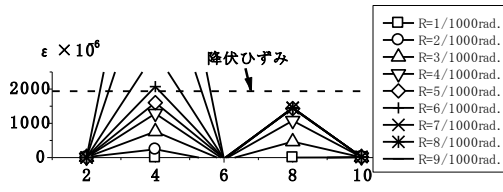
cP_y: 一体打ちとした場合の曲げ降伏荷重 kN ただし、[]内は単筋梁^[4]とした場合

曲げ降伏形の NP-B は 2.2/1000rad、WB-B は 3.1/1000rad、HW-B は 2.2/1000rad で平均 2.5/1000rad であった。また、ずれが生じ始める荷重 P は各試験体とも曲げひび割れ発生とほぼ同じ荷重値であった。

表 5 には、各試験体のひび割れ発生荷重 P_{mc}、せん断ひび割れ発生荷重 P_{sc}、ずれ始める荷重、最大荷重 P_{max} (曲げ降伏型は下端主筋の降伏より求めた) とそれぞれの部材角および一体打ちとした場合のせん断強度[3]、曲げ降伏荷重、および単筋梁[4]とした場合の計算値を示した。せん断強度については、一体打ちとしてほぼ耐力が推定できている。曲げ降伏強度については WB-B、HW-B の試験体では一体打ちとし

て推定できている。しかし、NP-B、CS-B では計算値よりも低くなっている。これは、上端鉄筋が R=1/1000rad. までは圧縮ひずみが増加していたが、それ以降では引張りに転じていたことが原因と考えられ、一体打ちとしての耐力推定値よりも実験値は低い。また、CS-B では単筋梁としての耐力推定値と比べると約 1.3 倍の耐力であった。また、NP-B では上端鉄筋の圧縮ひずみの増加の割合が一体打ちの MC-B と比べると 50%程度低くなっていたために起因すると考えられる。

図 6 には、各試験体のせん断補強筋に貼付したひずみゲージの測定結果を示した (ひずみゲージ番号は図 1 参照)。完全分離



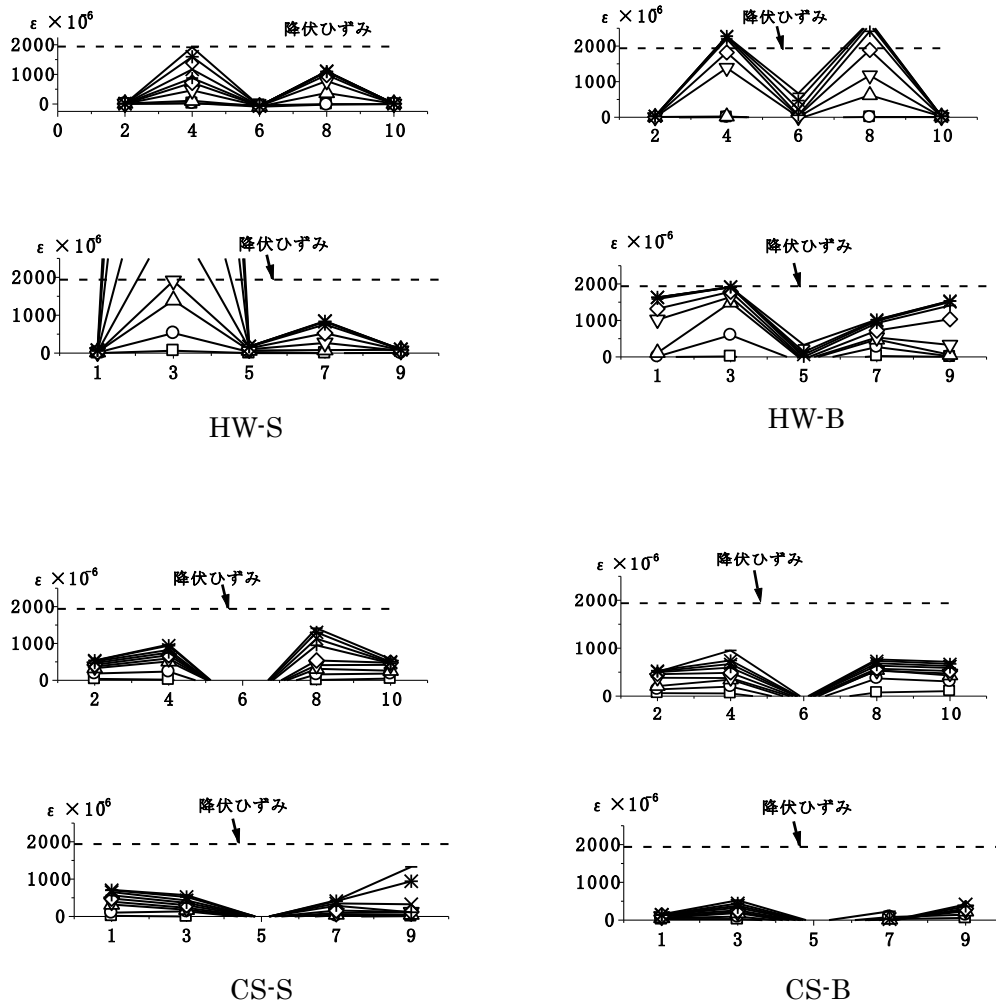


図6．せん断補強筋のひずみ分布

させた CS-S、CS-B 試験体と他の試験体を比べると 1/1000rad.までにせん断補強筋が降伏ひずみに達していない。これは図4に示したように打ち継ぎ部の水平ずれが大きく、また、後打ち部の曲げひび割れ幅のくなっているため、せん断力の伝達が他の試験体と比べ低くなったと考えられる。無処理の NP-B でも後打ち部での曲げひび割れ幅の広がりが見られ、後打ち部のせん断補型強筋のひずみが CS-B と同様になっている。

4. まとめ

水平打ち継ぎ部を有する R C 梁の耐力について、打ち継ぎ部の形状をレイタンスを除去しない無処理、ワイヤーブラシ仕上げ、高圧水洗浄、打ち継ぎ部にビニールシートを敷いた完全分離とした場合について、一体打ちと比較実験を行った。

1) 打ち継ぎ部のずれは、せん断破壊先行で梁部材角 R が 1/1000rad.前後で、曲げ降伏型では 2/1000rad.で生じていた。

2) 荷重－変形関係は、ワイヤーブラシ仕上

げをした試験体では打ち継ぎ部のずれ変位が高压水洗浄試験体よりも大きくなっているが、両試験体とも最大荷重までは一体打ち試験体とほぼ同等の剛性低下を示していた。一方、無処理、完全分離試験体では打ち継ぎ部のずれ変形が大きくなっている。

- 3) 最大耐力の推定は、ワイヤーブラシ仕上げ、高压水洗浄試験体では一体打ちとした計算値と同等の評価ができる。無処理、完全分離試験体では、せん断破壊型ではほぼ評価できる。曲げ降伏型の実験値は計算値に対してやや低いものの、単筋梁としての耐力評価はできていると考えられる。

参考文献

- [1]鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
2010 年 日本建築学会
- [2]建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋
コンクリート工事 2010 年 日本建築
学会
- [3]鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震
設計指針（案）・同解説 1997 年 日本
建築学会
- [4]渡邊史夫、窪田敏行 著「鉄筋コンクリー
ト構造」2006 年 朝倉書店
- [5]中野克彦、松崎育弘、井手文雄 著「水平
打ち継ぎを有する RC 梁部材の曲げせん
断性状に関する実験研究」 コンクリー
ト工学年次論文集 Vol.15,No.2
PP.641－646 1993 年