

扁平梁を有する部分架構の構造性能に関する実験的研究

千瀨 彬比古 吉井 靖典*¹
大庭 正俊*² 佐藤 幸博

概 要

本研究では扁平率を大きくした扁平梁-柱-接合部を有する部分架構試験体を用いた構造実験により、扁平梁の構造性能の確認を行い以下の知見が得られた。①張出部に施した縦貫通孔は本研究の試験範囲では大きな影響を与えなかった。②張出部の補強筋量を多くすると最大耐力が増し、梁主筋降伏後の耐力低下が緩やかであった。③高強度材料を用いることで耐力、剛性が上昇し、履歴ループのスリップ性状が改善された。④いずれの試験体も曲げひび割れ耐力は概ね計算値と対応したが、実験最大耐力は曲げ終局強度計算値を下回った。梁にねじりが生じることで梁主筋のひずみが断面内で一様に分布しないことが耐力低下の原因であると考え、そのメカニズム解明と耐力評価方法は今後の課題とする。

Study on the structural performance of wide beams in a beam-column-joint specimen

Abstract

In this study, the structural performance of wide beams was verified through structural tests using partial frame specimens with wide beam-column-corner connections, and the following findings were obtained. (1) Longitudinal opening in the overhang did not have a significant effect in the test range of this study. (2) Increasing the amount of longitudinal reinforcement bars in the overhang increased the maximum flexural capacity, and the decline in load after yielding of the beam's longitudinal reinforcement bars was less. (3) Using high-strength materials increased the flexural capacity and stiffness and improved the slip of hysteresis loops. (4) The flexural cracking capacity of all specimens generally corresponded to the calculated values; however, the maximum experimental capacity was lower than the calculated flexural capacity. The mechanism of the decline in flexural strength and a proposal for an evaluation method are future issues.

キーワード：扁平梁、扁平率、柱梁接合部、ねじりひび割れ

*1 建築本部設計統括部

*2 東日本支社

§1. はじめに

1.1 背景

柱幅よりも大きな梁幅をもつ梁（以下、扁平梁）を建物に活用し、梁せいを抑えることで室内の有効高さを大きくとることができ、建物の室内空間を大きくすることができる。または、扁平梁を活用することで、室内の有効高さを変えずに階高の縮小を図ることができ、建物階数が増加し、収益面積を増やすことができる。扁平梁をより有効に活用するためには梁せい（Db）に対する梁幅（Bb）の比（以下、扁平率）が大きいほど室内空間の拡大、階高の縮小の効果が増す。既往の扁平梁の研究では扁平率は3.0程度である^{1~3)}。

そこで、本研究では扁平率を4.0とした場合の扁平梁の構造実験を行い、その構造性能の確認を行った。

§2. 部分架構実験

2.1 試験体概要

図1に代表的な試験体図を、表1に試験体一覧を、表2に使用材料の力学的特性をそれぞれ示す。図1の赤破線で示す張出部とは、柱せい（Dc）の両側に $d/2$ （dは梁の有効せい）ずつを足した幅（ $Dc+d$ ）と張出幅（ba）で囲まれる範囲とする。表1のねじり補強部は張出部に配筋したせん断補強筋である。

試験体は扁平梁-柱-接合部を模擬した部分架構形式で、階高 3000 mm、スパン 6000 mm を想定した1/2縮尺試験体7体である。全試験体共に柱断面（Bc×Dc）は 500 mm×500 mm で、柱の配筋は共通である。また、梁せい（Db）は 250 mm で、片側に張り出した形状とし、張出部にねじり補強としてコ型の補強筋を配した。

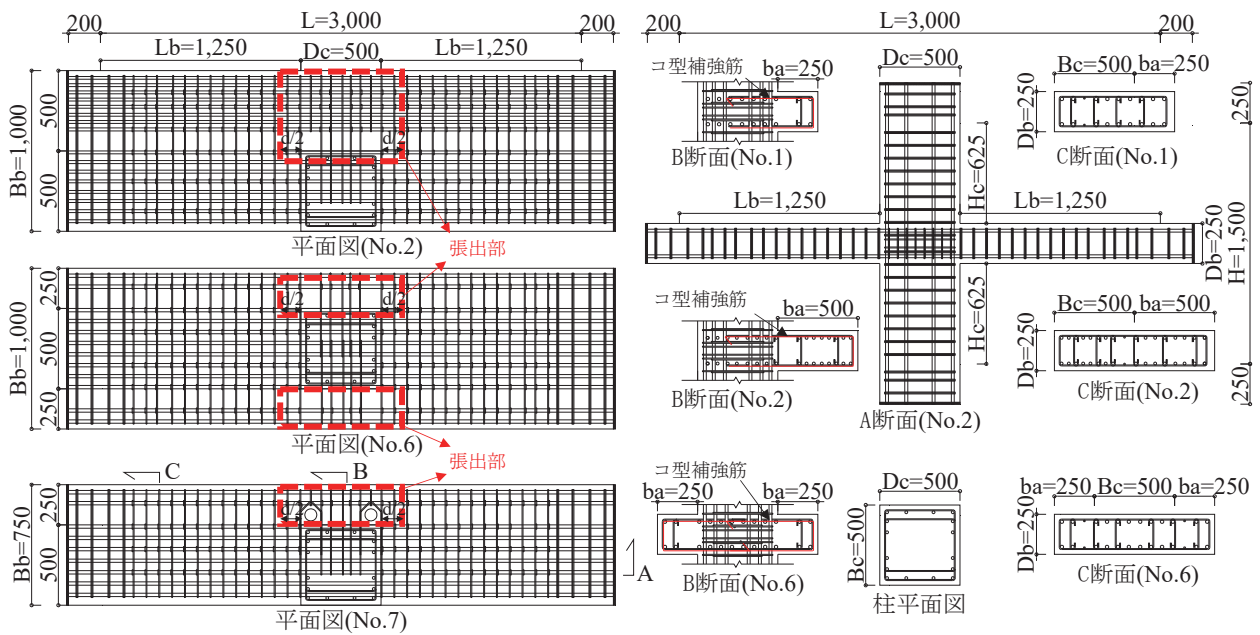


図1 試験体配筋図（単位：mm）

表1 試験体諸元

	Fc (N/mm ²)	形状	張出形式	貫通孔	扁平梁					扁平梁ねじり補強部		柱	Bb/Db	$\eta = N/N_0$		
					断面 (mm)	主筋	規格	pt (%)	あばら筋	規格	pw (%)				コ形補強筋	規格
No. 1	36	十字	片側	無	750×250	9-D19	SD390	1.69	6-D6@80	SD295	0.32	9-D6	SD295	断面 (mm) 500×500	3.0	0.2
No. 2					1000×250	16-D16		1.55				18-D6				
No. 3					1000×250	19-D16	1.84	8-D6@80	KSS785	9-D6	SD490	主筋 16-D16 (SD390)	4.0			
No. 4	1000×250	16-D16	1.55	SD295	コ形補強筋	SD295	帯筋 4-D6@80 (KSS785)	3.0								
No. 5	60	両側	有						750×250	9-D19	SD390	1.69	6-D6@80	SD295	9-D6	SD295
No. 6	36			片側	有	750×250	9-D19	SD390	1.69	6-D6@80	SD295	9-D6	SD295	主筋 16-D16 (SD390)	4.0	0.2
No. 7		750×250	9-D19			SD390	1.69	6-D6@80	SD295	9-D6	SD295	主筋 16-D16 (SD390)	4.0	0.2		

pt = at/Bbd, pw = aw/Bbx, aw : 1組のせん断補強筋断面積 (mm²)、x : せん断補強筋ピッチ (mm)、N₀ = BcDcσ_b

表2 材料の力学的特性

(a) 鉄筋

	降伏点 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
D19 (SD390)	464.5	20.0	656.1
D16 (SD490)	538.5	19.1	719.4
D16 (SD390)	435.1	16.9	598.3
D6 (SD295)*	329.4	17.2	506.1
S6 (KSS785)*	871.0	17.2	1093.2

*0.2%オフセット

(b) コンクリート

	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
No. 1	37.6	29.1
No. 2	33.9	31.0
No. 3	35.3	30.3
No. 4	33.9	29.1
No. 5	61.7	38.9
No. 6	39.7	30.9
No. 7	39.7	31.7

*ヤング係数：1/3σ_{max}と
50μ時応力で結ぶ線分の傾き

実験変数はねじり補強筋量、材料強度、縦貫通孔の有無とした。梁幅は750mmと1000mmの2種類を計画し、扁平率3.0の試験体を2体、扁平率4.0の試験体を5体計画した。No. 1は扁平率3.0、No. 2は扁平率4.0の基準試験体である。No. 3はNo. 2に対し、ねじり補強筋量を2倍とした。No. 4は接合部でのせん断破壊が先行するように梁主筋量を増やした。No. 5はNo. 2に対し、梁主筋にSD490材、コンクリートにFc60 N/mm²を用いた。No. 6は梁の両側を張り出す形式とした。No. 7はNo. 1に対し、張出部に2か所の縦貫通孔を施した。

No. 4以外の試験体は梁の曲げ降伏破壊が先行するように計画した。

2.2 加力方法

図2に加力装置を示す。柱頭、柱脚をピン支持し、No. 5以外の試験体は柱に軸力比 ($\eta = N/N_0$) 0.2、No. 5は試験装置の制約で0.1を一定に付加しながら、両梁先

端にせん断力 (Q_b) を加えた。加力は層間変形角 (R_t) で制御し、R_t = ±0.125%を1回、±0.25%、±0.5%、±1.0%、±1.5%、±2.0%、±3.0%、±4.0%、±5.0%をそれぞれ2回の正負交番繰り返し加力を行った。加力点には面外方向止めを施した。

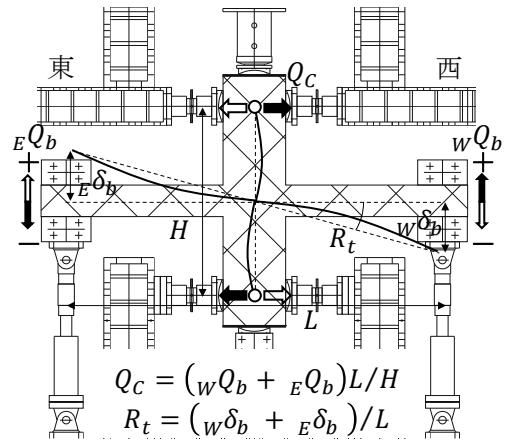


図2 加力装置と層間変形角 R

2.3 荷重-変形関係と破壊性状

表3に実験結果一覧を、図3に荷重-変形関係を、写真1に試験体の加力終了時破壊状況をそれぞれ示す。表3の荷重は梁せん断力 (Q_b) を柱せん断力 (Q_c) に換算した。また、図3の一点鎖線は曲げひび割れ強度 (M_{bc}) の、破線は曲げ終局強度 (M_{bu}) の計算値であり、それぞれ以下に示すRC基準式⁴⁾を準用し、柱せん断力 (Q_c) に換算した。

$$M_{bc} = 0.56\sqrt{\sigma_B}Z_e \quad (1)$$

$$Q_{bc} = M_{bc}L_bL/H \quad (2)$$

表3 実験結果一覧

		ひび割れ発生時					鉄筋降伏時				最大耐力	梁曲げひび割れ強度		梁曲げ終局強度	
		梁		張出部	柱	接合部	梁			計算値		実験値 計算値	計算値	実験値 計算値	
		曲げ	せん断	ねじり	斜め	せん断	東梁主筋	西梁主筋	あばら筋						
No.1	Qc	kN	46.2	273.1	133.6	188.2	280.8	266	280.8	218.1	330.1	42.9	1.08	351.0	0.94
	Rt	%	0.04	0.73	0.24	0.40	0.77	0.70	0.77	1.60	2.94				
No.2	Qc	kN	78.6	276.8	115.9	220.6	—	222.5	255.7	239.7	298.4	54.3	1.45	408.1	0.73
	Rt	%	0.07	1.67	0.15	0.48	—	0.53	0.67	1.87	2.93				
No.3	Qc	kN	40.3	285.4	146.4	191.1	235.6	291.8	285.7	263.8	316.9	55.5	0.73	408.1	0.78
	Rt	%	0.03	1.60	0.24	0.37	0.57	0.87	0.80	0.67	3.00				
No.4	Qc	kN	73.2	—	127.2	231.9	339.2	289.8	316.1	—	365.5	54.3	1.35	599.8	0.61
	Rt	%	0.05	—	0.15	0.43	0.97	0.67	0.80	—	3.00				
No.5	Qc	kN	97.8	344.6	175.4	181.0	349.3	344.6	290.6	—	381.2	73.3	1.33	505.1	0.75
	Rt	%	0.08	0.87	0.24	0.25	1.14	0.87	0.60	—	3.00				
No.6	Qc	kN	66.1	—	235.6	279.0	—	430.4	441.2	258.7	443.9	58.8	1.12	468.0	0.95
	Rt	%	0.05	—	0.37	0.49	—	1.27	1.40	2.20	1.45				
No.7	Qc	kN	33.9	304.6	80.6	296.7	279.5	279.5	264.3	279.5	336.3	44.1	0.77	351.0	0.96
	Rt	%	0.03	1.60	0.11	0.83	0.74	0.74	0.67	3.00	2.94				

△ 梁曲げひび割れ ◇ 梁主筋降伏 □ 最大耐力

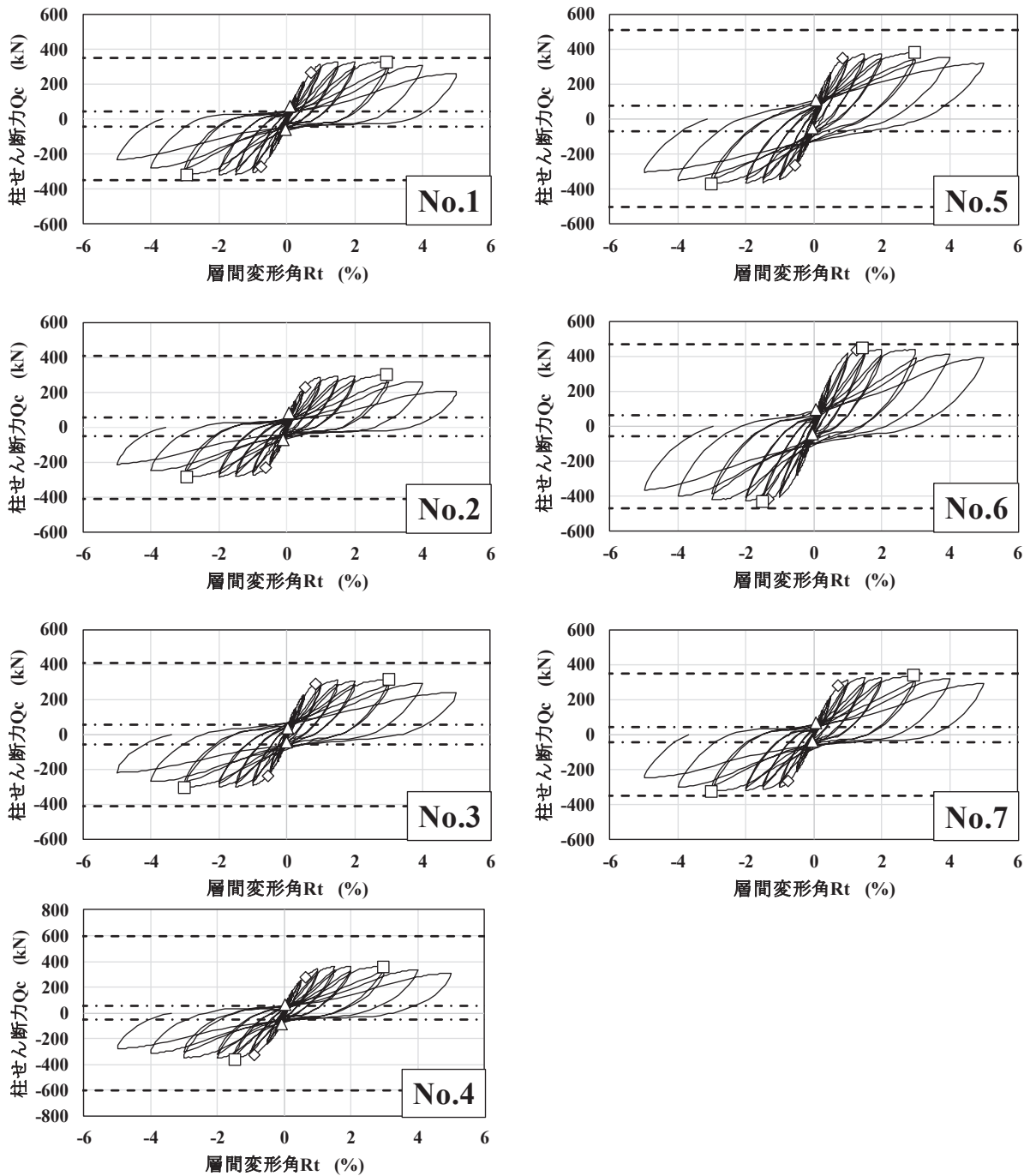


図3 荷重－変形関係

ここで、 σ_B : コンクリート圧縮強度 (N/mm^2)、 Z_e : 等価断面係数 (mm^3) である。ただし、 Z_e は梁全断面で計算した。

$$M_{bu} = 0.9a_t\sigma_y d \quad (3)$$

$$Q_{bu} = M_{bu}L_bL/H \quad (4)$$

ここで、 a_t : 引張鉄筋断面積 (mm^2)、 σ_y : 梁主筋降伏点 (N/mm^2) である。ただし、 a_t は全ての引張鉄筋とした。

全ての試験体で先ず梁に曲げひび割れが発生し、続いて張出部上下面にねじりひび割れが生じた。その後、上下柱に接合部側端部から放射状に斜め方向のひび割れが生じ、柱幅内を通る梁主筋が先に降伏し、剛性が低下した。梁主筋降伏後には梁、柱梁接合部にせん断ひび割れが生じた。また、No.5を除いて梁主筋降伏後の荷重変形関係はややスリップ型となった。最大耐力に到達した後は耐力を保ちながら梁の変形が増大し、曲げひび割れの拡幅とともに圧縮側梁端部コンクリー

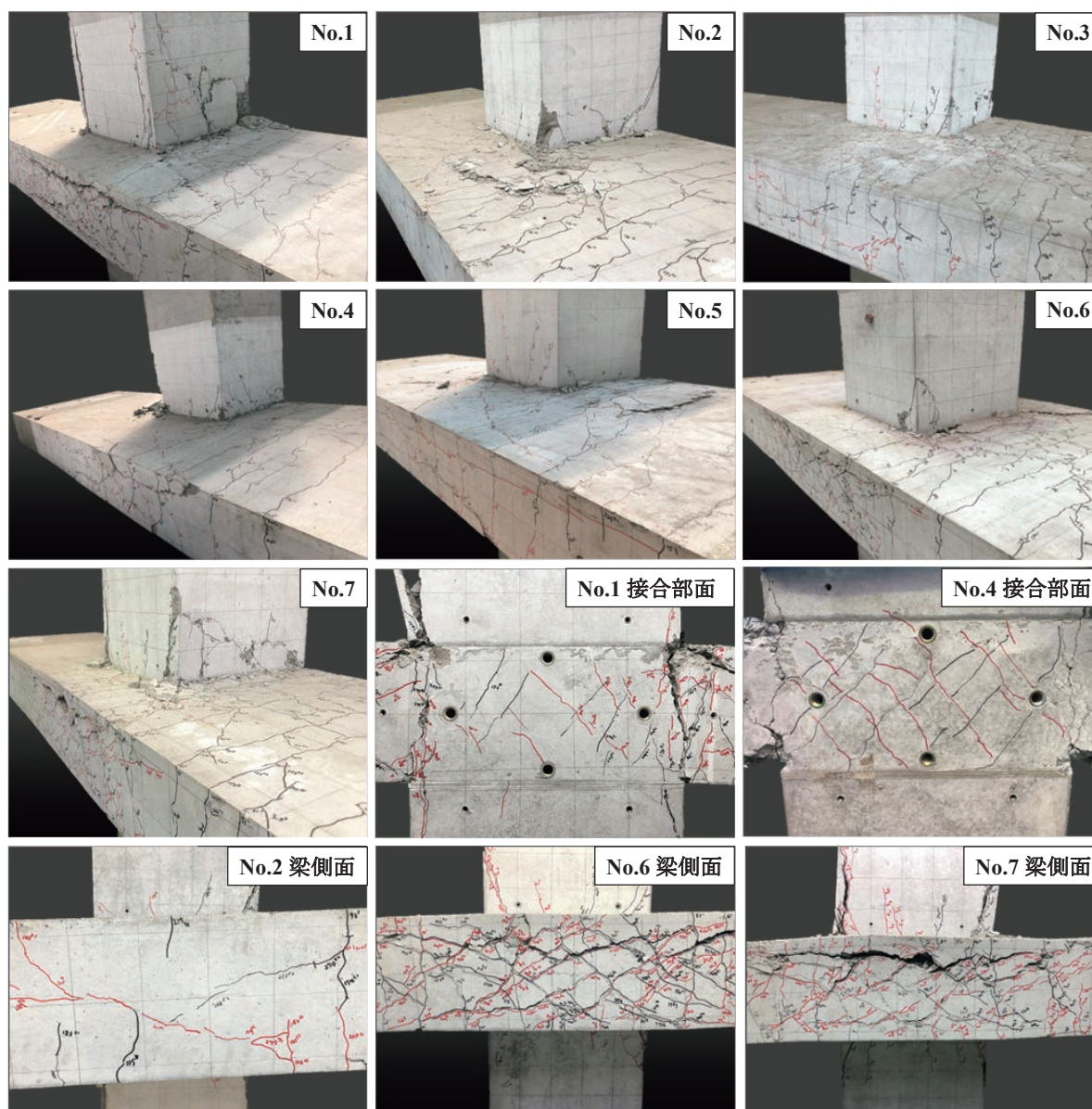


写真1 加力終了時破壊状況

トの損傷により、緩やかに耐力が低下した。

扁平率3.0の試験体 No. 1 と No. 7 に生じた張出部上下面のねじりひび割れに大きな違いはなく、縦貫通孔をまたいでひび割れが生じた。また、梁主筋降伏後に生じた梁せん断ひび割れが $R_t=3.0\%$ 程度から張出部側面に生じたせん断ひび割れ同士が徐々に繋がり、 $R_t=5.0\%$ 程度で梁主筋に沿って付着割裂ひび割れが生じた。ただし、このひび割れによる急激な耐力低下は生じなかった。

No. 2、No. 3、No. 5 はそれぞれひび割れの発生状況に大きな違いはなく、ねじり補強量を2倍とした No. 3 の張出部上下面のひび割れにも大きな違いは見られなかった。それぞれ梁主筋降伏後の荷重変形角関係はややスリップ型となったが高強度材料を用いた No. 5

では顕著なスリップは生じなかった。扁平率3.0の試験体と比べると梁側面のひび割れは少なく梁部に損傷が集中した。

接合部でのせん断破壊を想定した No. 4 は他の試験体に比べ接合部に生じたせん断ひび割れの数が多く、ひび割れ幅の拡幅も見られたが、主筋降伏以降はひび割れは生じず、梁部に損傷が集中した。

両側張出で扁平率4.0の No. 6 の破壊状況は扁平率3.0の試験体に近く、梁側面にひび割れが生じ、付着割裂ひび割れも生じた。

全ての試験体で柱に曲げひび割れ、せん断ひび割れは観測されなかったが、柱に生じた斜め方向のひび割れは梁主筋降伏後も進展、拡幅した。加力終了時には柱のかぶりコンクリートが剥落したが、耐力低下は生

じなかった。また、柱主筋、帯筋、柱梁接合部内のせん断補強筋は降伏しなかった。

荷重変形角関係、破壊性状から全ての試験体は曲げ降伏した。

2.4 梁主筋ひずみ分布

図4に梁材軸方向及び、梁断面方向の梁主筋ひずみ分布を示す。図4には基準試験体のNo.1とNo.2を示す。また、梁軸方向ひずみ分布は配筋図の塗りつぶした鉄筋(A、B)について示し、断面方向ひずみ分布は各梁主筋の柱際位置のひずみ分布を示す。

両試験体共に梁部材の材軸方向ひずみ分布は柱幅内を通る梁主筋(A)は柱際にひずみが集中して生じ、その位置で降伏ひずみに達した。一方、張出部を通る梁主筋(B)は柱際でも大きなひずみが生じたが、ひずみが生じた範囲が分散しており、梁主筋(A)に比べて広い範囲でひずみが生じた。またNo.1では張出部の梁主筋は降伏ひずみに達したが、No.2では達しなかった。

断面方向ひずみ分布は梁主筋降伏以前ではNo.1は柱幅内、張出部共に同程度にひずみが増大したのに対し、No.2では加力初期から張出部のひずみ分布に勾配が生じた。降伏以降はNo.1もひずみ分布に勾配が生じたが、No.2ではより顕著に勾配が生じた。また

張出部の先端に近づくほどひずみの値は小さくなり、No.2では加力終了時まで張出部を通る梁主筋は降伏しなかった。

§3. 考察

3.1 包絡線の比較

図5に縦貫通孔の有無、張出部補強、材料強度による違いを包絡線で示す。包絡線は正加力時の両梁の平均せん断力 Q_b と両梁平均梁部材角 R_b で示す。梁部材角は構造芯からの東西梁先端の曲げせん断変形を計測し、接合部のせん断変形を差し引いて求めた。

(1) 縦貫通孔の有無による違い

貫通孔有無による耐力と降伏後の変形に大きな違いは見られなかった。

(2) 張出部補強による違い

張出部補強量を2倍にすると、最大耐力は6%程上昇し、梁主筋降伏後の耐力低下が緩やかとなった。

(3) 材料強度、鉄筋量による違い

梁主筋の規格、コンクリート強度が異なるNo.5をNo.2と比べると、梁主筋降伏以前の剛性が上昇し、最大耐力も上昇した。

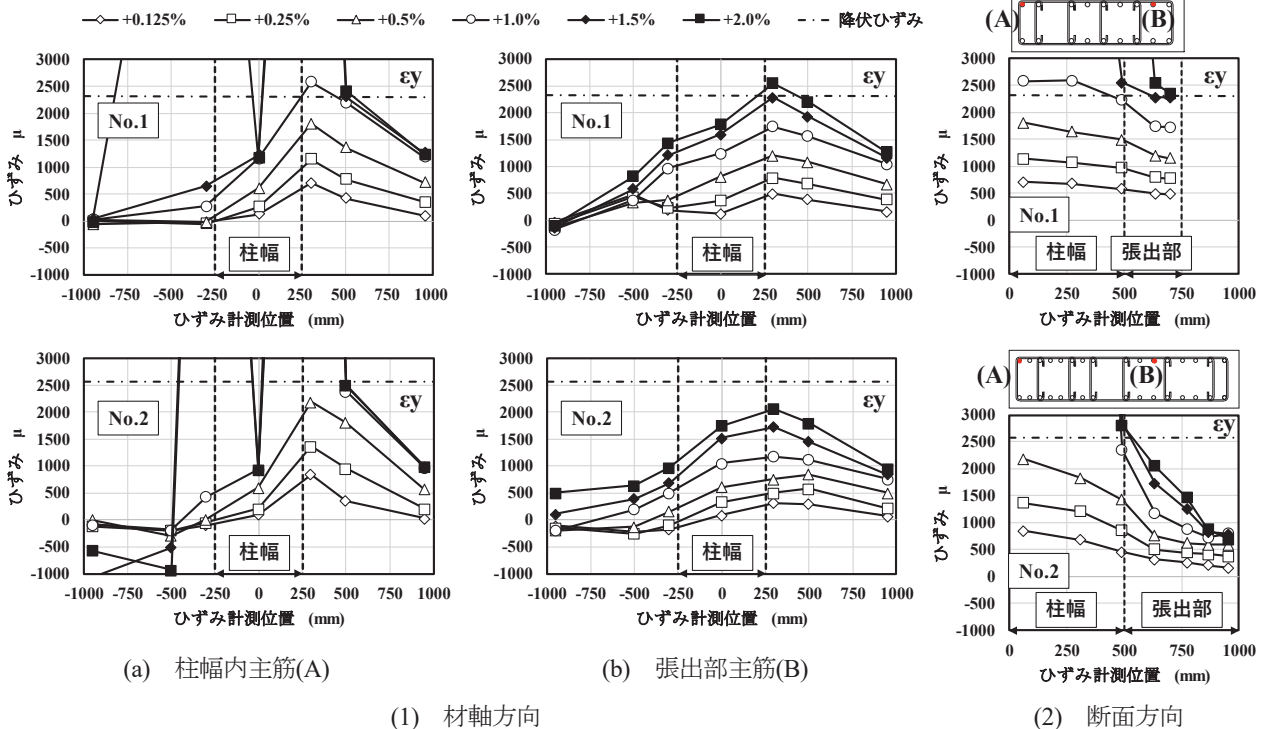


図4 梁主筋ひずみ分布

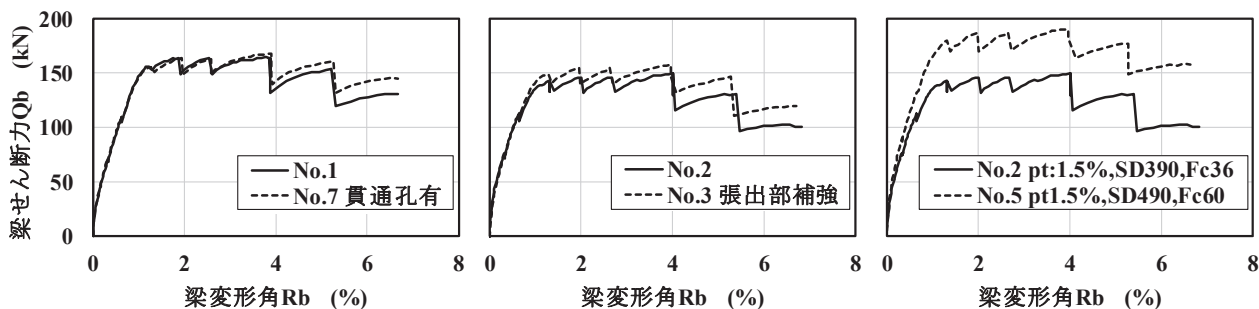


図5 包絡線の比較

3.2 実験値と計算値の比

曲げひび割れ荷重は、No. 3 と No. 7 では計算値を下回ったが、その他の試験体を含め概ね対応した。

最大耐力は扁平率3.0の試験体では exp/cal が0.95程度、片側張出で扁平率4.0の試験体では exp/cal は0.75程度、両側張出で扁平率4.0の No.6では0.95となり、いずれも実験値は計算値を下回った。

梁にねじりが生じることで梁主筋のひずみが断面内で一様に分布しないことが耐力低下の原因であると考えが、そのメカニズム解明と耐力評価方法は今後の課題とする。

§4. まとめ

扁平率の大きな扁平梁を用いて構造実験を行い、得られた知見を以下に示す。

- ①全ての試験体で梁部材に曲げひび割れが生じ、張出部にねじりひび割れが生じた。その後、梁主筋が降伏すると剛性が低下し、最大耐力に達した。最大耐力以降は緩やかに耐力が低下した。
- ②張出部を通る梁主筋は柱幅内を通る梁主筋に比べひずみの上昇が緩やかであり、ひずみが断面方向で一様に生じなかった。
- ③張出部の補強筋量を増やすことで最大耐力が微増し、梁主筋降伏後の耐力低下が緩やかであった。
- ④張出部に施した縦貫通孔は本研究の試験範囲では最大耐力、破壊性状に大きな影響を与えなかった。
- ⑤高強度材料とすることで耐力剛性が上昇し、履歴ループのスリップが改善された
- ⑥曲げひび割れ強度は計算値に概ね対応していたが、最大耐力は全ての試験体で計算値を下回った。曲げ終局強度の評価方法については今後の課題とする。

参考文献

- 1) 西村康志郎ほか：高強度材料を用いた扁平梁-柱接合部の実験的研究、日本建築学会構造系論文集、第627号 pp. 827-834、2008.5
- 2) 足立将人ほか：幅広扁平梁架構の構造性能に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）、2014.9
- 3) 松崎智夫ほか：曲げ降伏が先行するRC造偏平梁柱接合部の実験的研究、安藤建設技術研究所報、Vol. 17 pp. 39-49、2011
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2018

ひとこと

建物の価値向上のために構造的な視点から研究を行うことが出来ました。これからも建物の安全性だけでなく、施工性や価値向上に繋がる研究を行っていきたいです。



千瀨 彬比古