

既存 RC 造建築物の外付けフレームによる耐震補強工法の研究

その7 外付けフレームの十字形接合部における打継ぎ位置の影響

耐震補強 外付けフレーム ポリマーセメントモルタル 準会員 ○山崎加帆里\*1 正会員 稲井栄一\*2  
 柱梁接合部 せん断強度 正会員 秋田知芳\*3 非会員 片桐友樹\*4  
 正会員 尾崎純二\*5 正会員 河本孝紀\*5  
 正会員 柿原巧弥\*4

1. はじめに

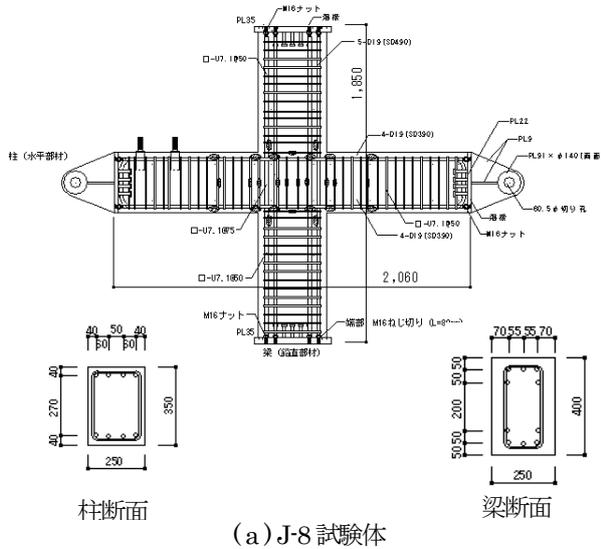
著者らは既存 RC 造建築物の外付けフレームによる耐震補強工法の開発研究を行ってきている<sup>1)~6)</sup>。本工法の特徴は柱梁接合部に高強度のプレミックスタイプのポリマーセメントモルタル(PCM)を用いることにより、高強度コンクリートが容易に調達できない地域においても性能の高い柱梁接合部を構築できることにある。本研究では、柱降伏型の十字形柱梁接合部の実験を行った。本報(その7)では PCM 接合部における打継ぎ位置の影響について報告する。

2. 試験体

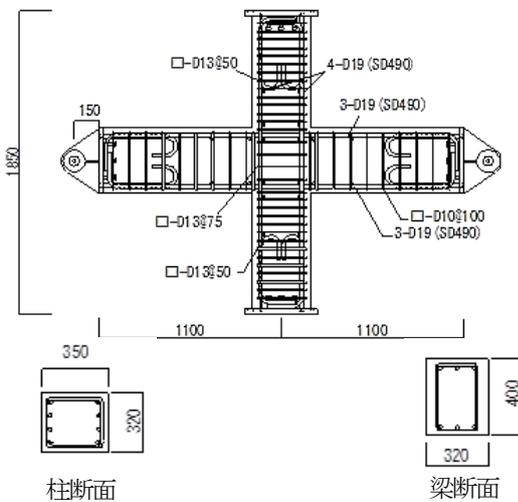
試験体一覧を表1に、試験体形状および配筋を図1に示し、表2および表3に、使用材料の試験結果を示す。試験体は1/2縮尺の十字形部分架構で、J-8 試験体は今回実験を行ったもので、J-1 試験体は既往の研究<sup>1)</sup>で行ったものである。J-8 試験体の柱梁接合部には設計基準強度  $F_m=60N/mm^2$  の PCM を用いており、柱および梁には  $F_c=36N/mm^2$  の普通コンクリートを用いている。J-1 試験体の柱梁接合部は  $F_m=60N/mm^2$  の PCM を用いており、柱および梁には  $F_c=33N/mm^2$  の普通コンクリートを用いている。なお、施工上の観点から接合部近傍の梁の一部にも PCM を使

表1 試験体一覧

試験体	柱			梁		
	断面(mm)	主筋	帯筋	断面(mm)	主筋	あばら筋
J-8	250 × 350	8-D19 (SD390)	2-U7.1@50 (SBPD1275) (pw=1.52%)	250 × 400	10-D19 (SD490)	2-U7.1@50 (SBPD1275) (pw=0.64%)
J-1	320 × 350	8-D19 (SD490)	2-D13@50 (pw=1.59%)	320 × 400	6-D19 (SD490)	2-D10@100 (pw=0.44%)

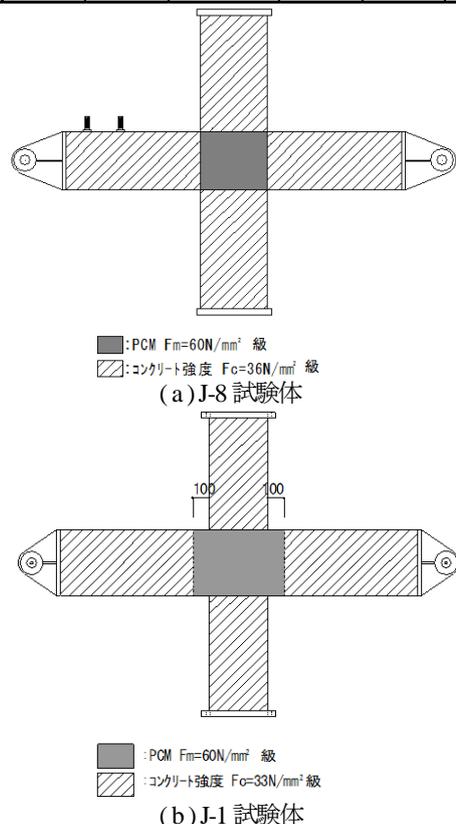


(a) J-8 試験体



(b) J-1 試験体

図1 試験体形状および配筋



(a) J-8 試験体

(b) J-1 試験体

図2 セメント系材料の打設位置

Study on the Seismic Retrofitting Method of Existing Reinforced Concrete Buildings by External Frames

Part.7 Influence of the Casting Joints in the +shaped Beam-column Joints of the External Frame

YAMASAKI Kahori, INAI Eiichi, AKITA Tomofusa, KATAGIRI Tomoki, OSAKI Junji, KAWAMOTO Takanori and KAKIHARA Takuya

表2 セメント系材料試験結果

試験体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		コンクリート ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )		PCM強度 (N/mm <sup>2</sup> )	PCM ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
	柱	梁	柱	梁		
J-8	36.5	34.3(上梁)	29.9	30.6(上梁)	85.7	27.4
		36.5(下梁)		29.9(下梁)		
J-1	35.0		26.1		95.1	28.7

表3 鉄筋の材料試験結果

試験体	鉄筋	径	降伏強度	降伏時ひずみ	引張強度	ヤング係数
			N/mm <sup>2</sup>	μ		
J-8	せん断補強筋	U7.1(SBPD1275)	1435	9442	1458	192.9
	柱主筋	D19(SD390)	467	2322	705	184.6
	梁主筋	D19(SD490)	545	3414	750	159.7
J-1	帯筋	D13(SD345)	407	2154	556	188.7
	あばら筋	D10(SD295)	373	2037	504	183.9
	柱主筋	D19(SD490)	553	3148	723	174.5

用している。図2にこれらセメント系材料の打設位置を示す。  
 通し配筋の付着性能は確保されており、想定破壊形式は J-8  
 試験体は柱曲げ破壊、J-1 試験体は梁曲げ破壊である。なお、J-8  
 試験体は曲げ降伏する柱が水平部材、梁が鉛直部材となるよう  
 にしている。

3. 加力方法および計測方法

図3に加力装置を、図4に試験体の設置状況と変位計取付位置を示す。加力は、軸力をゼロとし、1000kN 油圧ジャッキに

より水平方向に載荷した。制御は、試験体の層間変形角で行う  
 変位制御とした。加力スケジュールは  $R = \pm 0.125 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 、 $R = \pm 0.2 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 、 $R = \pm 0.4 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 、 $R = \pm 0.67 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 、 $R = \pm 1.0 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 、 $R = \pm 1.5 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 、 $R = \pm 2.0 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 、 $R = \pm 3.03 \times 10^{-2} \text{ rad}$ 、 $R = \pm 4.39 \times 10^{-2} \text{ rad}$ の順に行い、 $R = \pm 0.125 \times 10^{-2} \text{ rad}$  の加力サイクルは1回載荷を、それ以外では2回の繰り返し載荷を行った。層間変形角の計測は図4に示した十字形の計測フ

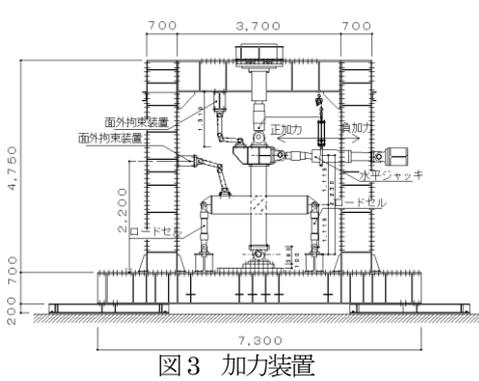


図3 加力装置

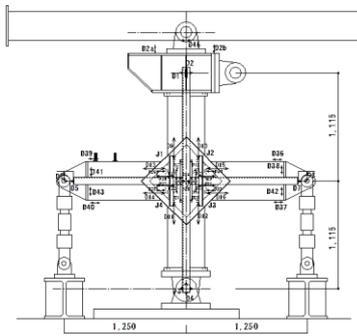
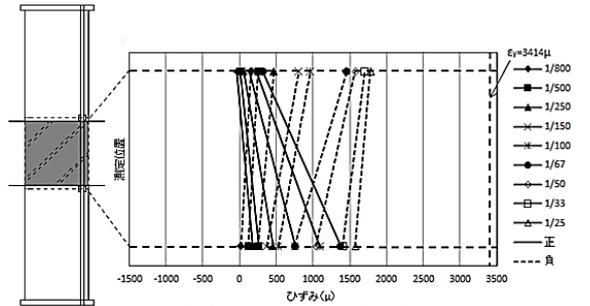
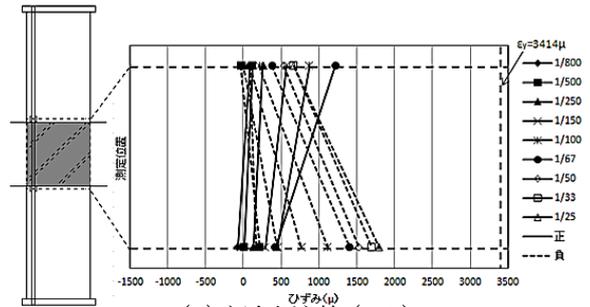


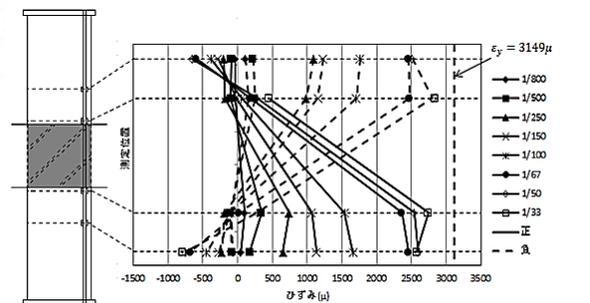
図4 試験体設置状況および変位計取付位置



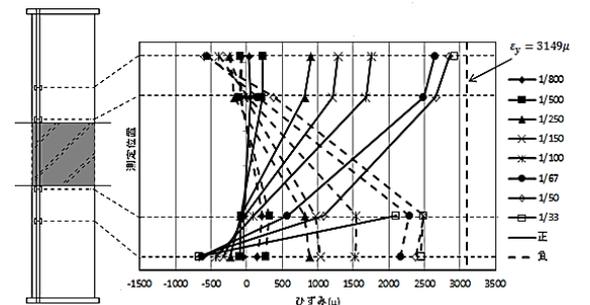
(e) 梁右側主筋 (J-8)



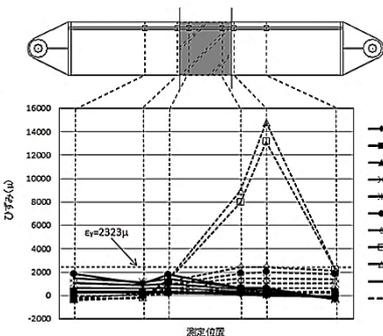
(f) 梁左側主筋 (J-8)



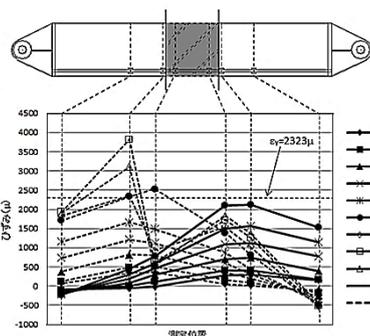
(g) 柱右側主筋 (J-1)



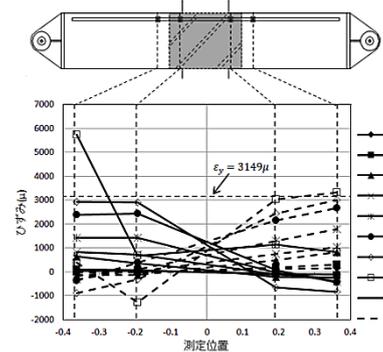
(h) 柱左側主筋 (J-1)



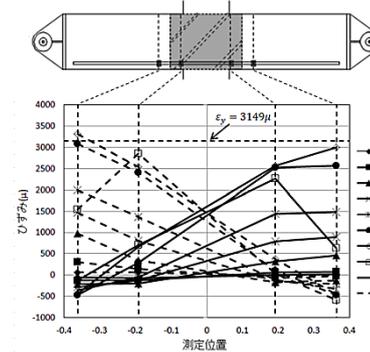
(a) 柱上端筋 (J-8)



(b) 柱下端筋 (J-8)



(c) 梁上端筋 (J-1)



(d) 梁下端筋 (J-1)

図5 柱主筋および梁主筋のひずみ分布

レーンを用いて行った。また、柱梁接合部近傍の主筋にひずみゲージを添付しひずみを計測した。1000kNの水平ジャッキおよびクレビスにはロードセルを設置し荷重を計測した。

#### 4. 実験結果

図5(a)~(h)に柱主筋および梁主筋のひずみ分布を、図6に試験体のひび割れ状況を示す。また、図7に水平力Qと層間変形角Rの関係を示す。

##### 4.1 J-8 試験体

J-8 試験体の破壊経過は、以下の通りである。1回目のR = +0.125 × 10<sup>-2</sup> rad.およびR = -0.125 × 10<sup>-2</sup> rad.の加力サイクル時に柱梁接合部に斜めひび割れが発生した。柱梁接合部に斜めひび割れが発生した加力サイクルのピーク時の水平力は、それぞれ正側で26.6kN、負側で24.1kNであった。また、1回目のR = ±0.2 × 10<sup>-2</sup> rad.の加力サイクル時に柱と接合部の境界に曲げひび割れが発生した。さらに1回目のR = ±0.4 × 10<sup>-2</sup> rad.の加力サイクル時に柱と梁にそれぞれ曲げひび割れが発生した。

その後、柱梁部分の曲げひび割れと柱梁接合部の斜めひび割れ

れが伸展、特に柱の曲げひび割れの増加が顕著であった。なおの水平力は正側で107.3kN、負側で107.8kNであった。

1回目のR = +1.5 × 10<sup>-2</sup> rad.の加力サイクル時に右側柱の固定治具が破断したため、以後負加力側のみで載荷を継続した。負側のR = -2.0 × 10<sup>-2</sup> rad.の加力サイクルで、柱梁接合部との境界部で柱主筋が降伏に達し、その時の水平力は-151.0kNであった。その後、1回目のR = -3.03 × 10<sup>-2</sup> rad.の加力サイクル時に最大耐力に達し、水平力は-154.5kN、柱梁接合部の斜めひび割れは接合部中心で交差していた。最大耐力後R = -4.39 × 10<sup>-2</sup> rad.まで顕著な耐力の低下は認められず、水平力は-148.9kNであり、最大耐力の90%程度を保持していた。

J-8 試験体の破壊形式は、柱主筋の降伏、柱梁接合部の斜めひび割れの発生状況から柱主筋の降伏を伴う柱の曲げ破壊と判断できる。

なお、水平力が最大耐力の80% (0.8<sub>e</sub>Q<sub>u</sub>) まで低下した時の層間変形角を安全限界変形角と考えると、負側はR = -3.03 × 10<sup>-2</sup> rad.の繰り返し時に最大耐力の80%を上回っており、J-8 試験体の安全限界変形角はR = -3.03 × 10<sup>-2</sup> rad.となり、F = 3.09程度

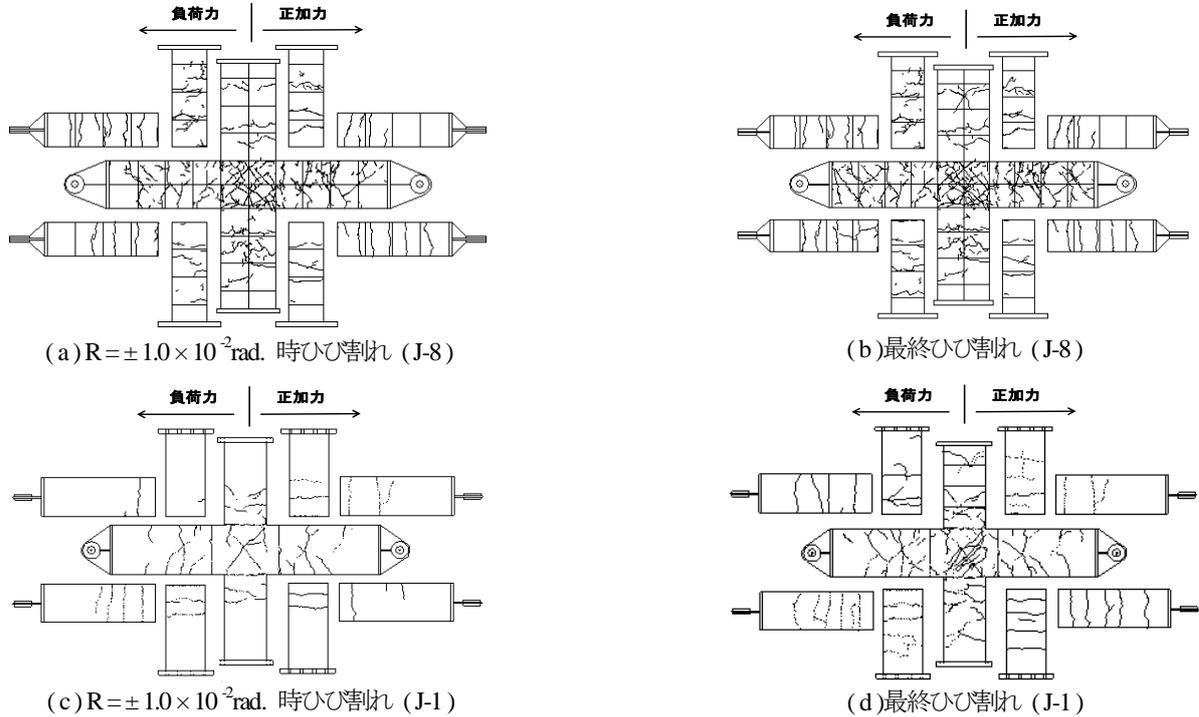


図6 試験体ひび割れ状況

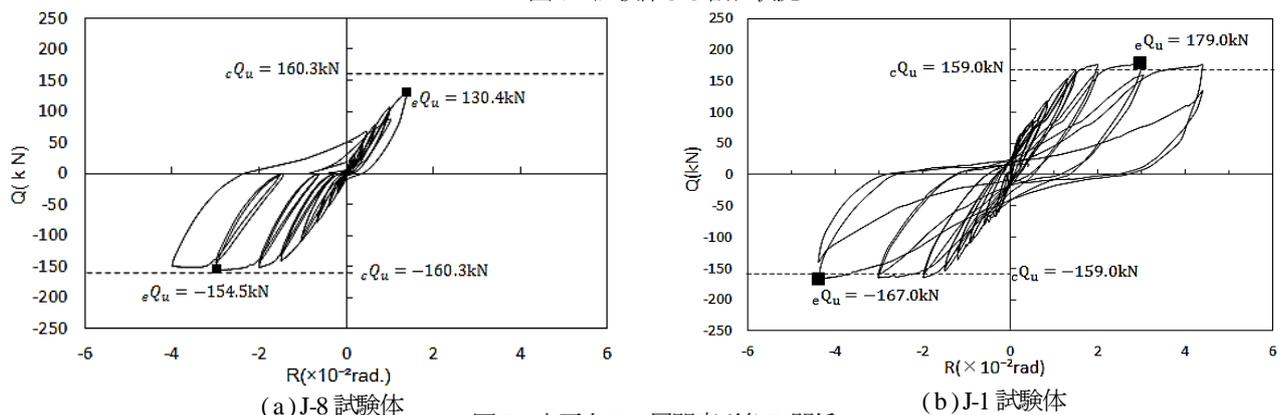


図7 水平力Q—層間変形角R関係

表4 各種終局耐力計算値と実験値

試験体	計算値					破壊形式	cQu kN	実験値		実験値(eQu) 計算値(cQu)	
	*1 cQsu kN	*2 cQmu kN	*3 bQsu kN	*4 bQmu kN	*5 jQu kN			*7 eQu kN		正	負
	*8 正		*8 負								
J-8	237.5	160.3	254.8(上梁) 257.9(下梁)	241.1	251.8	柱曲げ破壊	160.3	130.4	154.5	0.813	0.964
J-1	349.4	194.4	265.0	159.0	358.9	梁曲げ破壊	159.0	179.0	167.0	1.125	1.050

\*1  $Q_{su}$ : 柱せん断耐力時水平力      \*2  $Q_{mu}$ : 柱曲げ耐力時水平力      \*3  $Q_{su}$ : 梁せん断耐力時水平力      \*4  $Q_{mu}$ : 梁曲げ耐力時水平力  
 \*5  $Q_u$ : 柱梁接合部せん断耐力時水平力      \*6  $Q_u$ : 水平耐力計算値      \*7  $Q_u$ : 水平耐力実験値      \*8 正の値: 治具が破断したため参考値とする

の変形性能を有していると判断される。

4.2 J-1 試験体

J-1 試験体の破壊経過は以下の通りである。1 回目の  $R = \pm 0.2 \times 10^{-2} \text{rad}$  の加力サイクルで梁のコンクリートと PCM の打継部に曲げひび割れが発生した。1 回目の  $R = \pm 0.67 \times 10^{-2} \text{rad}$  の加力サイクルにおいて  $R = 0.27 \times 10^{-2}$  および  $R = -0.52 \times 10^{-2} \text{rad}$  で柱梁接合部にせん断ひび割れが発生した。その後、1 回目の  $R = \pm 2.0 \times 10^{-2} \text{rad}$  の加力サイクルの  $R = \pm 1.59 \times 10^{-2} \text{rad}$  で右梁の下端主筋がコンクリートと PCM の打継部付近で引張降伏ひずみに達し、剛性が低下した。その時の水平力は 168.5kN であった。梁主筋の降伏以降は水平力の増大はほとんどみられなくなり、1 回目の  $R = \pm 3.03 \times 10^{-2} \text{rad}$  の加力サイクルの正側ピーク時に正側での最大耐力 179.0 kN に達した。また、同加力サイクルの  $R = -2.36 \times 10^{-2} \text{rad}$  で左梁の上端主筋がコンクリートと PCM の打継部付近で引張降伏し、その時の水平力は -161.0kN であった。1 回目の  $R = \pm 4.39 \times 10^{-2} \text{rad}$  の加力サイクルの負側ピーク時に負側での最大耐力 -167.0kN に達した。

柱主筋は降伏ひずみをこえていないことから、試験体の最大耐力は、梁主筋の降伏で決まったと考えられ、試験体の破壊形式は梁曲げ破壊であると判断される。水平力が最大耐力の 80% である -133.6kN まで低下した時の層間変形角を安全限界変形角と考えると、正負とも  $R = 3.03 \times 10^{-2} \text{rad}$  となる。

5. 試験体の水平耐力の検討

試験体の柱、梁および柱梁接合部の終局耐力の計算値（柱水平力換算値）と実験値を表4に示す。算定に用いた各部材の耐力式は(1)式～(6)式である（式中の記号は文献を参照）。

柱の曲げ耐力<sup>7)</sup>

$$cM_u = 0.8 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5N \cdot D \left( 1 - \frac{N}{b \cdot D \cdot \sigma_B} \right) \quad (1)$$

柱のせん断耐力<sup>7)</sup>

$$cQ_{su} = \left\{ \frac{0.053 \cdot p_t^{0.23} (18 + \sigma_B)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} + 0.1 \cdot \sigma_0 \right\} bj \quad (2)$$

梁の曲げ耐力<sup>7)</sup>

$$bM_u = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d \quad (3)$$

梁のせん断耐力<sup>7)</sup>

$$cQ_{su} = \left\{ \frac{0.053 \cdot p_t^{0.23} (18 + \sigma_B)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} bj \quad (4)$$

柱梁接合部のせん断耐力<sup>7)</sup>

$$Q_u = \kappa \cdot \varphi \cdot F_j \cdot b_j \cdot D_j \quad (5)$$

$$F_j = 0.8 \cdot \sigma_B^{0.7} \quad (6)$$

$\kappa = 1.0$  (十字形)、 $\varphi = 0.85$

$\sigma_B$ : PCM あるいは高強度コンクリートの圧縮強度

表4中の計算値は、J-1 試験体において梁曲げ耐力時水平力が最も小さく、J-8 試験体において柱曲げ耐力時水平力が最も小さいため、どちらも実験結果の破壊形式と整合する。実験値/計算値の値は J-1 試験体で 1.10 程度、J-8 試験体で 0.96 程度であり、実験値と計算値は良好に対応している。

6. まとめ

柱梁接合部にポリマーセメントモルタルを用いた J-8 試験体、柱梁接合部と柱梁接合部の梁の一部にもポリマーセメントモルタルを用いた J-1 試験体の実験結果を比較して得られた主要な知見について以下に示す。

- ① J-8、J-1 試験体ともに打継ぎ位置でひび割れが発生し、打継ぎ付近の主筋が降伏した。
- ② J-8、J-1 試験体ともに層間変形角 3% 程度までは良好な構造性能が得られた。
- ③ J-8、J-1 試験体ともに実験値と計算値は良好に対応していた。

参考文献

- 1) 清水隆行、稲井栄一、柿原巧弥、原山賢、河本孝紀: 既存 RC 建築物の外付けフレームによる耐震補強工法の研究 (その1) 補強架構の柱梁接合部実験 日本建築学会中国支部研究報告集 37, pp.153-156, 2014.3
- 2) 徳田麻理子、稲井栄一、柿原巧弥、原山賢、河本孝紀: 既存 RC 建築物の外付けフレームによる耐震補強工法の研究 (その2) 補強架構の柱主筋の定着方法の影響 日本建築学会中国支部研究報告集 37, pp.157-160, 2014.3
- 3) 岩崎敬正、稲井栄一、柿原巧弥、原山賢、河本孝紀: 既存 RC 建築物の外付けフレームによる耐震補強工法の研究 (その3) 既存架構の垂壁・腰壁の影響 日本建築学会中国支部研究報告集 37, pp.161-164, 2014.3
- 4) 川端康平、稲井栄一、柿原巧弥、原山賢、河本孝紀: 既存 RC 建築物の外付けフレームによる耐震補強工法の研究 (その4) 補強架構のスラブ連結 日本建築学会中国支部研究報告集 37, pp.165-168, 2014.3
- 5) 脇田知英、稲井栄一、柿原巧弥、原山賢、河本孝紀: RC 建築物の外付けフレームによる耐震補強工法の研究 (その5) 外付けフレームの十字型接合部のせん断破壊実験 日本建築学会中国支部研究報告書 38, pp.209-212, 2015.3
- 6) 田梁賢二、稲井栄一、柿原巧弥、原山賢、河本孝紀: 既存 RC 建築物の外付けフレームによる耐震補強工法の研究 (その6) 外付けフレームのト字型接合部のせん断破壊 日本建築学会中国支部研究報告書 38, pp.213-216, 2015.3
- 7) 国土交通省住宅局建築指導課、国土交通省国土技術政策総合研究他監修: 2007 年度版建築物の構造関係技術基準解説書

\*1 山口大学工学部感性デザイン工学科 学生  
 \*2 山口大学大学院理工学研究科 教授・博士(工学)  
 \*3 山口大学大学院理工学研究科 講師・博士(工学)  
 \*4 宇部興産 (株) 建材資材カンパニー  
 \*5 宇部興産 (株) 建材資材カンパニー・博士(工学)

Student, Dept. of Perceptual Sciences and Design Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ.  
 Prof., Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.  
 Lect., Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.  
 Construction Materials Div., Ube Industries LTD.  
 Construction Materials Div., Ube Industries LTD., Dr. Eng.