

論文 シアキーのある鋼板による RC 造柱梁偏心接合部のせん断補強に関する研究

堤 直斗*1・上原 修一*2・山川 哲雄*3

要旨: これまでに十字形接合部を鋼板により補強することによって接合部せん断耐力を増大させることができることを示してきた。しかし、偏心した接合部でも同様の補強効果が得られるかは分かっていない。そこで本研究では、偏心した十字形接合部において補強量をパラメータとした試験体を 3 体製作し、実験的にその性能を確認した。その結果、偏心した接合部でも鋼板による補強効果が確認できた。また、鋼板の補強効果は偏心側鋼板の孔間最小断面が降伏する時の強度で概ね評価できることが確認できた。

キーワード: 接合部, 鋼板, せん断, シアキー, 付着

1. はじめに

1.1 研究目的

1995年に発生した兵庫県南部地震において、新耐震設計法に基づいて設計されたRC造建物の柱梁接合部が損傷を受けた。また、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震でも柱梁接合部の損傷が少なからず見られた¹⁾。近年、高強度材料を使用し、雑壁にスリットを設けるなど靱性に基づいたRC構造物が設計されるようになり、柱梁接合部が、なお一層、厳しい条件下に置かれていると考えられる。

一方、日本建築学会のRC規準書やACIの規準書に示す柱梁接合部の強度評価では、接合部の大きさとコンクリート強度でその耐力が決まるとしており、せん断補強筋による補強効果がわずか(図-11参照)であることから、その効果を認めていない。そのため、接合部せん断耐力が少しでも不足する場合、ハンチなどで接合部サイズを大きくする、あるいはコンクリート設計基準強度を変えざるを得ない等、設計上、非常に不都合な状態にある。

著者らは、これまでに十字形接合部を鋼板により補強することによって接合部せん断耐力を増大させることができることを示してきた¹⁾。しかし、偏心した接合部でも同様の補強効果が得られるかは分かっていない。そこで本研究では、偏心した十字形接合部において補強量をパラメータとした試験体を3体製作し、実験的にその性能を確認した。なお、本研究ではシアキーにより、コンクリートとの一体性を向上させた鋼板を用いている。

1.2 鋼板による接合部補強メカニズムと特長

柱梁接合部の破壊では、シアスパンが短いためせん断補強筋が効きにくい。また既往の研究²⁾から部材を帯筋等で多量に補強すると、水平方向に破壊面があらわれることがわかっている。つまり、帯筋を増やしても図-1の

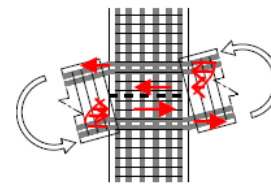


図-1 接合部の直接せん断破壊

破線で示す帯筋と帯筋の間で発生する直接せん断破壊には効果がない。以下に鋼板による補強の特長を挙げる。

- 1) 鉄筋より多量に使用でき、かつ直接せん断破壊にも効果がある。
- 2) 補強量をその厚さで自由に調整でき、施工も比較的容易である。
- 3) 梁が偏心した時に生ずるねじり力に対し、偏心側、非偏心側の鋼板の厚さを調整できるなど合理的に対応できる。

表 - 1 使用材料の力学的性質

材料	用途, 試験体	名称, 試験体名	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	
鋼材	柱主筋	D13	373	561		1.83 × 10 ⁵	
	梁主筋	D10	349	599		1.68 × 10 ⁵	
	帯筋・あばら筋	φ 3.2	321	400		1.96 × 10 ⁵	
	せん断補強鋼板	t=3.2mm	254	357		1.87 × 10 ⁵	
	せん断補強鋼板 (シアキー)	No.2	387	481		1.45 × 10 ⁵	
		No.3	422	518		1.87 × 10 ⁵	
コンクリート		鋼板連結ボルト 全ねじボルト(M6)	540	708		1.33 × 10 ⁵	
	No.1	2014-IJE1				20.5	2.30 × 10 ⁴
	No.2	2014-IJE2				18.4	1.99 × 10 ⁴
No.3	2014-IJE3	14.8			1.77 × 10 ⁴		

表 - 2 試験体概要

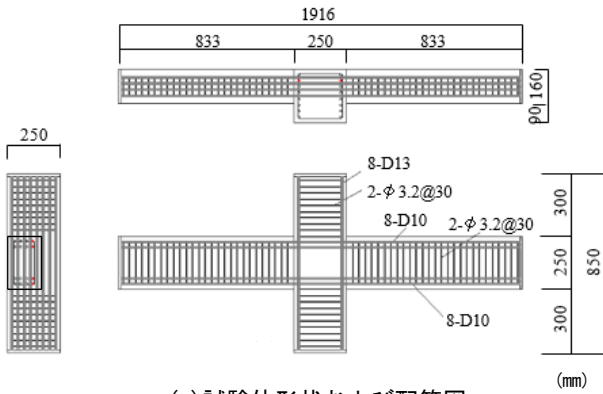
番号	試験体名	試験体概要
No.1	2014-IJE1	比較用の無補強試験体
No.2	2014-IJE2	補強断面小(換算 $p_w=0.388\%$)
No.3	2014-IJE3	補強断面大(換算 $p_w=0.616\%$)

p_w : 鋼板孔間の最小断面部分のみを水平に投影し、柱梁接合部断面(250mm×250mm)で除した値とした。

*1 有明工業高等専門学校専攻科建築学専攻 (学生会員)

*2 有明工業高等専門学校建築学科教授 工学博士 (正会員)

*3 琉球大学工学部名誉教授 工学博士 (正会員)



(a) 試験体形状および配筋図

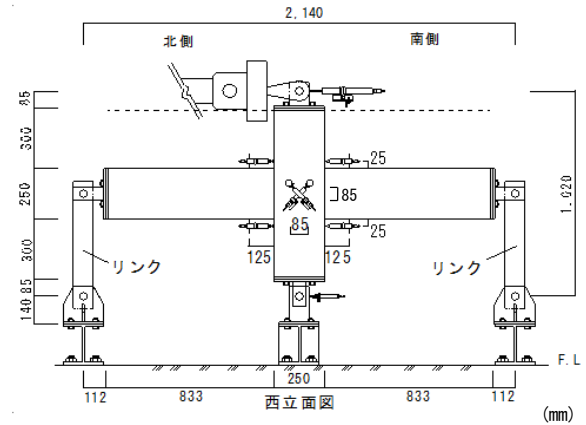
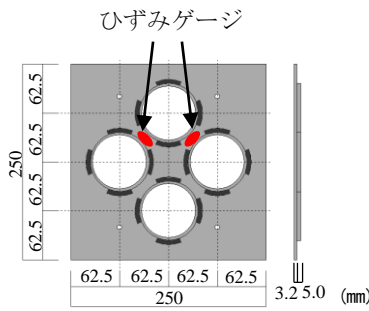
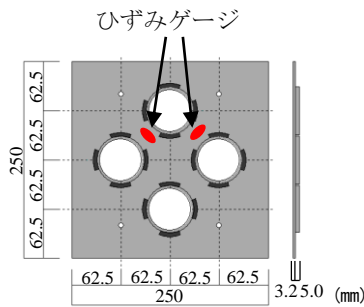


図 - 4 加力装置 (西面)



試験体 No. 2 (内径: 69.9)



試験体 No. 3 (内径: 54.1)

(b) 鋼板の形状

図 - 2 試験体形状, 配筋図および鋼板形状

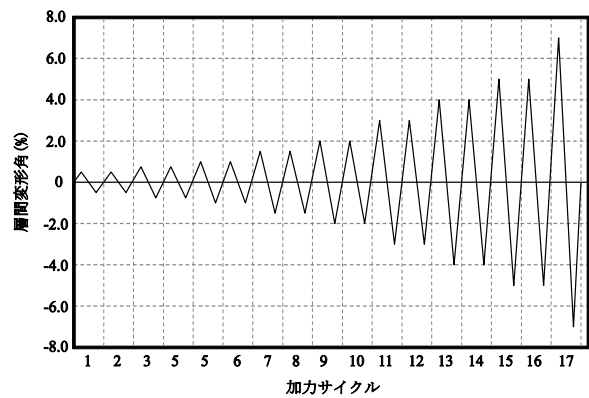


図 - 5 載荷履歴

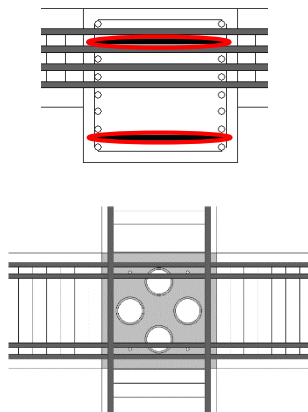


図 - 3 鋼板内蔵位置 (長丸は鋼板位置を示す)

2. 実験概要

2.1 試験体

表 - 1 に使用材料の力学的性状を示す。試験体は 3 体であり、表 - 2 に試験体概要、図 - 2 に試験体形状、配筋図および鋼板の形状を示す。なお、コンクリートの調合強度は 16N/mm^2 であったが、圧縮強度はばらついた結果となった。図 - 3 に鋼板の内蔵位置を示す。

試験体 No. 2, No. 3 に内蔵した鋼板の厚さは 3.2mm であり、図に示す位置に孔をあけて、その孔の外周に長さ 8.2mm の鋼管を挿入して、図に示す位置を脚長 5mm で断続隅肉溶接し、 5mm 分を接合部内側に突出させてシアキーとした。ここでは、鋼板の性能がフルに発揮されても接合部破壊が先行する試験体となっている。また、位置決めのため鋼板直交方向に M6 の全ねじボルト 4 本でつないでいる。

2.2 加力方法と変形測定装置

図 - 4 に加力装置、図 - 5 に載荷履歴を示す。

図 - 4 に示すように、梁端をローラー支持、柱頭部及び柱脚部をピン支持とした。梁端部には面外変形拘束装置を設け、梁端側面 4 ヶ所をローラーにより支持した。そして加力装置により、水平方向に正負交番載荷した。

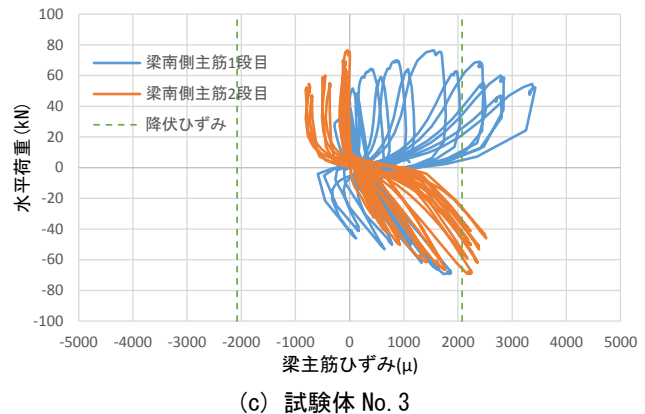
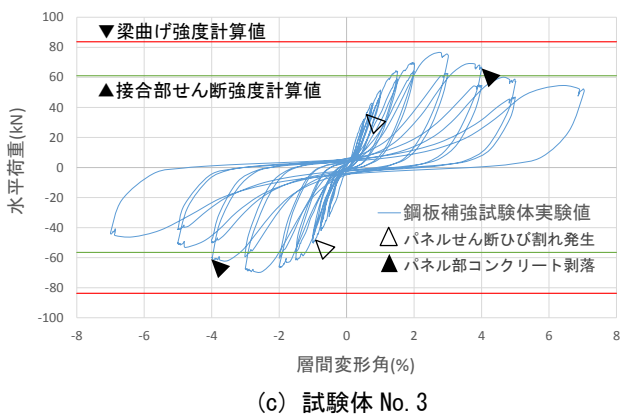
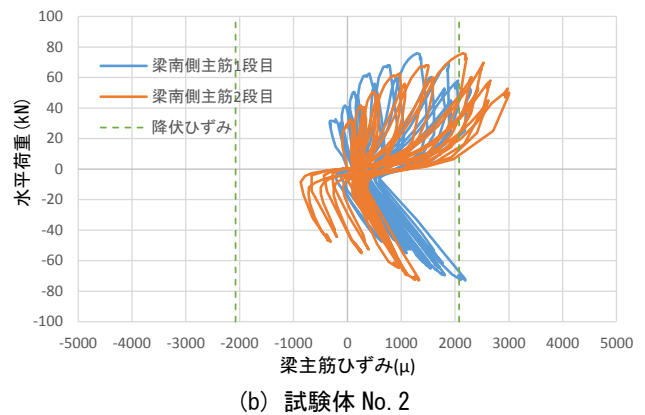
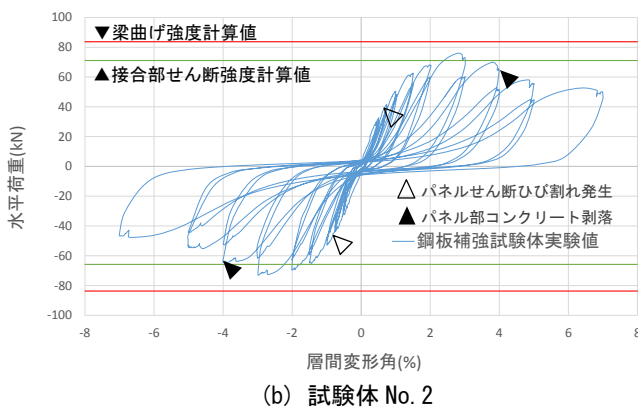
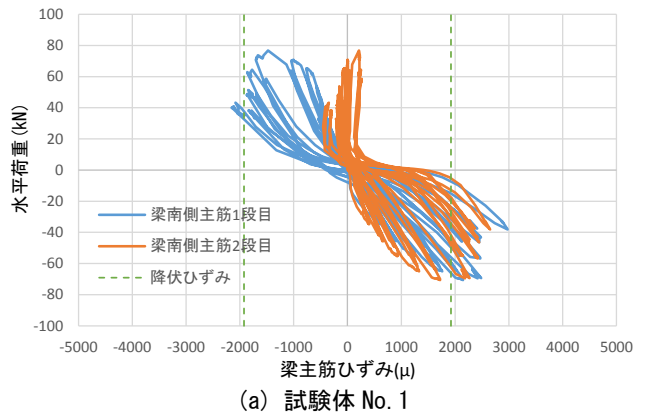
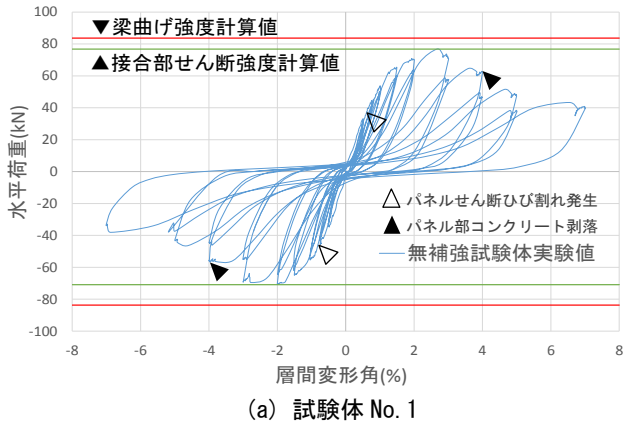
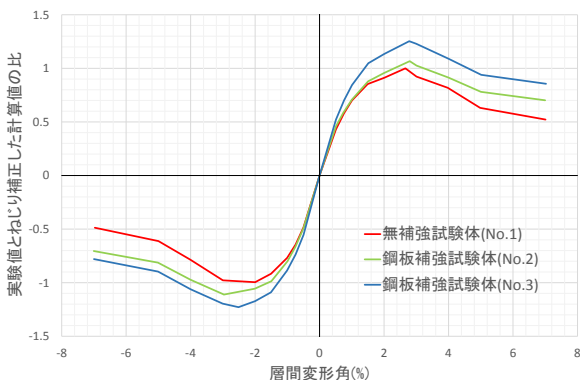


図 - 6 水平荷重 P と層間変形角 R の関係

図 - 8 水平荷重 P と梁主筋ひずみの関係



本研究では柱軸力は加えていない³⁾。

加力は変位制御とし、層間変形角 R に関し、約±0.5%、±0.75%、±1.0%、±1.5%、±2.0%、±3.0%、±4.0%、±5.0%、±7.0%で荷重を行い、±0.5%から±5%までは各々2回ずつ、±7.0%は1回とした。この加力方法は3試験体とも共通である。

梁に伝わるせん断力については、梁外端のリンクにゲージを貼り、力の逆対称性を確認している。

また、図 - 4 に示すように柱頭と柱脚のピン位置の水平変位の差を柱ピン距離で除して層間変形角とした。梁端の回転量を測定するため、梁端から 125mm の位置にボルトを埋め込み、そのボルトの高さ 25mm の位置で変位計を内向きに固定し、柱面間相対変位を測定した。さら

に接合部のせん断変形角については、変位計を接合部のパネル対角方向に設置し求めた。

3. 実験結果

3.1 水平荷重と層間変形角の関係

図 - 6 は水平荷重 P と層間変形角 R の関係を示している。無補強試験体 No. 1 は最大耐力が文献 4) に示す接合部せん断強度計算値より 6% 小さかった。(表 - 3 参照) これは偏心によるねじり力の影響と思われる。この実験結果を用いて図 - 6 には 6% 低減した接合部せん断強度計算値を示した。試験体 No. 1 の最大耐力は 76.8kN, 試験体 No. 2 では 76.0kN, 試験体 No. 3 では 76.6kN であり, 試験体 No. 1 の実験結果を使って 6% 低減した接合部せん断強度計算値(以下, ねじりを考慮した接合部せん断強度計算値とする)と比較すると, 試験体 No. 2 では約 7%, 試験体 No. 3 では約 26% (負側では試験体 No. 2 が 11%, 試験体 No. 3 が 22%) 増大したことになる。これは接合部に設置した鋼板による補強効果であると考えられる。

また, 図 - 7 は各試験体の包絡線を示しており, 鋼板を無視し, ねじりを考慮した接合部せん断強度計算値を 1 とすると, 試験体 No. 2, 試験体 No. 3 の順に大きくなっ

ていることが分かる。また, 最大耐力までの剛性についても補強効果が見られる。耐力低下後の強度は試験体 No. 3 が最も大きく, 試験体 No. 2, 試験体 No. 1 の順に小さくなっている。よって試験体 No. 2 よりも試験体 No. 3 の鋼板補強のほうが効果的であるといえる。

3.2 水平荷重と梁主筋ひずみの関係

図 - 8 は水平荷重 P と梁主筋ひずみ関係を示している。図 - 8 は梁南側主筋 1 段目, 2 段目を示している。試験体 No. 1, No. 2 とともに梁主筋南側 1 段目では最大耐力時に降伏ひずみを超え降伏しており, 試験体 No. 3 では梁主筋南側 2 段目が降伏していることが分かる。一方, 試験体 No. 1, No. 2 の梁主筋南側 2 段目では最大耐力時に降伏ひずみを超えておらず降伏していないことが分かる。また, 試験体 No. 3 では梁主筋南側 1 段目が降伏していないことがわかる。このことから, 全試験体とも梁主筋全ては降伏していないと考えられる。よって, 全試験体とも接合部せん断破壊が先行したと判断する。また, $R=1.0\%$ 時までの引張側の履歴性状は各試験体とも同様のものであると確認している。

3.3 水平荷重と鋼板の 45° 方向ひずみの関係

図 - 9 は水平荷重 P と鋼板ひずみの関係を示している。

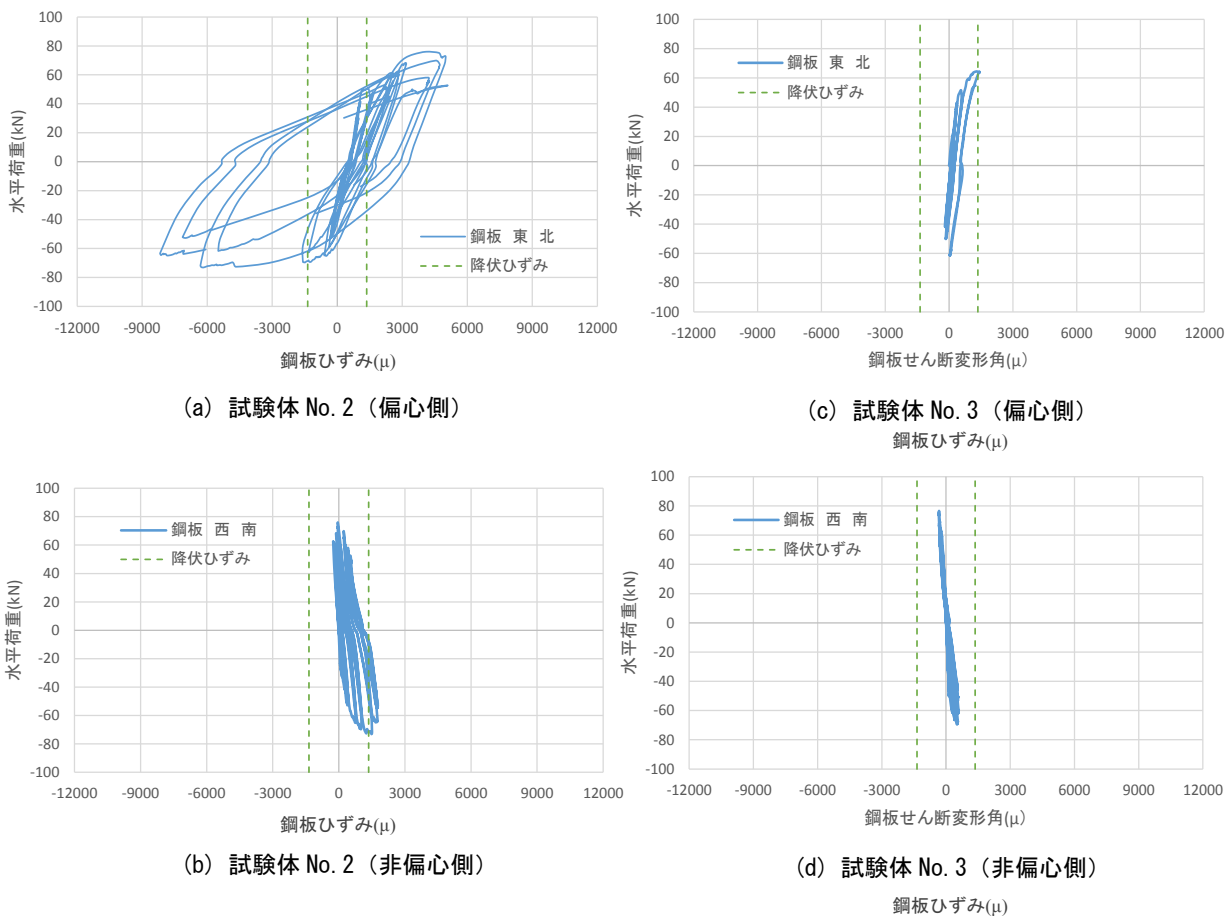
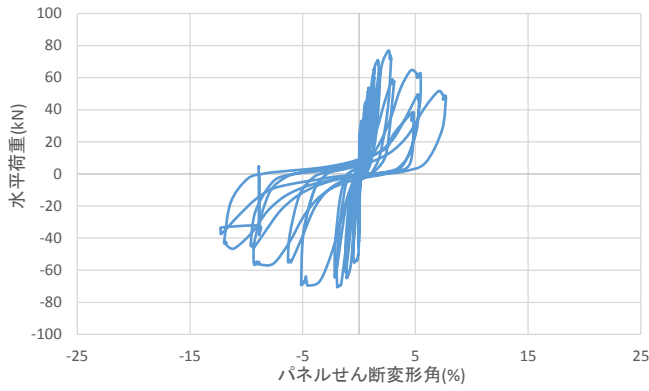
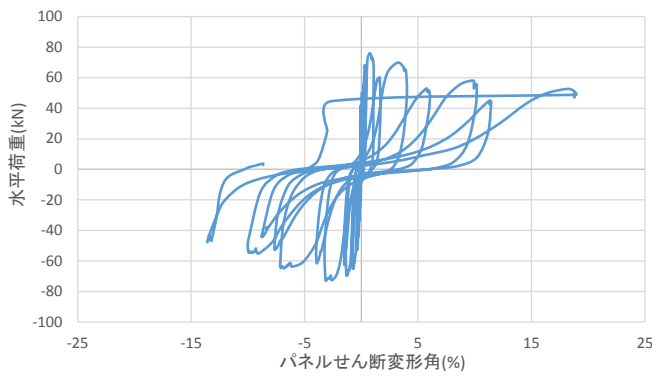


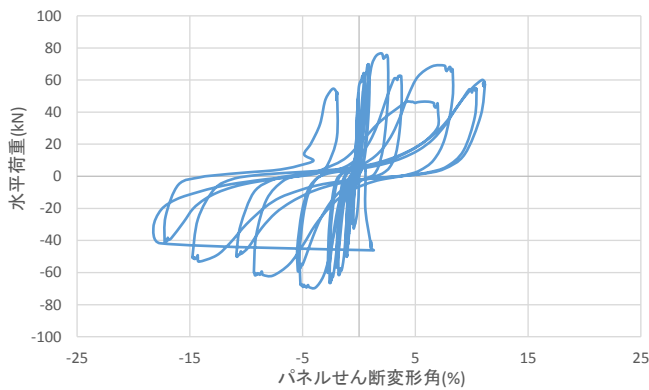
図 - 9 水平荷重 P と鋼板せん断変形角の関係



(a) 試験体 No. 1



(b) 試験体 No. 2



(c) 試験体 No. 3

図 - 10 水平荷重とパネルせん断変形角の関係

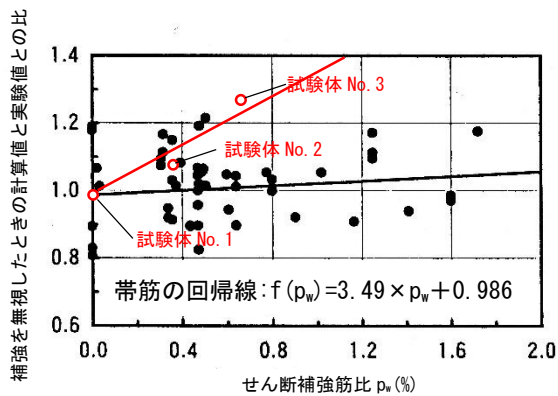
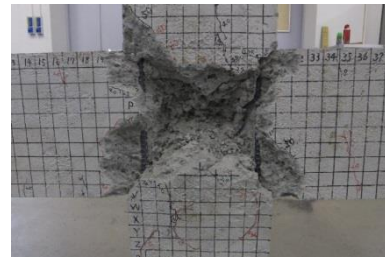


図 - 11 補強を無視したときの計算値と実験値との比とせん断補強筋比 p_w の関係 (文献 3) の図に追記



(a) 試験体 No. 1 (偏心側)



(b) 試験体 No. 1 (非偏心側)



(c) 試験体 No. 2 (偏心側)



(d) 試験体 No. 2 (非偏心側)



(e) 試験体 No. 3 (偏心側)



(f) 試験体 No. 3 (非偏心側)

写真 - 1 実験後の試験体状況

表 - 3 水平荷重に関する計算結果一覧

試験体番号	最大耐力時水平力(kN)						
	計算値 ¹⁾	計算値 ²⁾	実験値	実験値/計算値 ¹⁾	計算値 ³⁾	計算値 ³⁾ からの 上昇率(実験値)(%)	偏心側鋼板1枚が 降伏する時の 上昇率(計算値)(%)
No.1	81.5	83.7	76.8	0.94	76.8	-	-
No.2	75.6		76.0	1.01	71.1	7.0	11.3
No.3	64.9		76.6	1.18	61.1	25.6	20.8

1) 靱性保証型計算値による接合部強度。文献 4) の 8.3.1 式による。ただし、安全率 1/0.85 は除く。

2) 梁曲げ降伏強度略算式(=0.9a_tσ_yd)による。

3) 試験体 No. 1 の実験結果を用いて、ねじりを考慮した接合部せん断強度計算値。(鋼板無視)

なお、試験体 No. 3 では R=1.5% でひずみゲージが損傷したため R=1.5% までのデータとしている。

図 - 9 より補強断面の小さい試験体 No. 2 では最大強度時に接合部に設置した鋼板が大きく変形していることが分かる。

よって、補強断面の小さい試験体 No. 2 は鋼板の性能を十分に発揮し、梁曲げ降伏には至らず、接合部破壊したものと考えられる。

一方、補強断面の大きい試験体 No. 3 では、最大強度時前にひずみゲージが損傷しており、降伏か否か判断できなかった。

3.4 水平荷重とパネルせん断変形角の関係

図 - 10 は水平荷重 P とパネルせん断変形角 γ の関係を示している。全試験体とも最大耐力後せん断変形が著しいことから接合部破壊したと判断した。

3.5 接合部強度上昇率とせん断補強筋比 p_w の関係

図 - 11 は文献 3) の補強を無視したときの計算値と実験値との比とせん断補強筋比 p_w の関係グラフに本実験の試験体 3 体のデータをプロットし、回帰直線を示したものである。

図より鋼板補強した 2 体は補強効果があり、鋼板は帯筋よりも優れた補強効果があることを示している。

3.6 実験後の試験体

写真 - 1 は実験後の試験体状況を示す。全試験体とも偏心側の損傷は大きく、非偏心側の損傷は偏心側に比べて小さいことがわかる。特に試験体 No. 2, No. 3 の非偏心側の損傷は試験体 No. 1 に比べ小さいことがわかる。しかし、試験体 No. 2, No. 3 とも R=4% 以降に柱主筋付着破壊が見られた。

表 - 3 に水平荷重に関する計算結果一覧を示す。表 - 3 より、各試験体の実験値は梁端曲げ降伏強度(計算値²⁾)を下回っており接合部破壊が先行したものと考えられる。ここで、計算値³⁾からの上昇率とは無補強試験体 No. 1 の計算値と実験値の低下率約 6% を偏心により生じる強度低下の影響であると考え、この低下率を考慮した各試験体の計算値と実験値の差を鋼板による補強効果とし示すものである。試験体 No. 2 は約 7.0%、試験体 No. 3 は約 25.6% となった。これにより、鋼板による補強

効果は補強量により増大することが分かる。また、その効果は偏心側鋼板の孔間最小断面が降伏する時の強度で概ね評価できる。

4. 結論

偏心した接合部において補強鋼板がせん断補強性能に及ぼす影響を検討した結果以下の結論を得た。

- 1) 偏心した接合部でも鋼板による強度の補強効果と剛性の増大効果が確認できた。
- 2) 帯筋より優れた補強効果があることが分かった。
- 3) 本試験体についての鋼板の補強効果は偏心側鋼板の孔間最小断面が降伏する時の強度で概ね評価できる。

5. 謝辞

本実験は、有明高専学生小山田志輝、末吉亮太、田中雄大、原口雄太各氏さらに、有明高専技術職員松原征男氏、平田裕次氏の助力を得た。また、公益財団法人 LIXIL 住生活財団から研究費の支援を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 竹内卓也, 上原修一, 山川哲雄: 鋼板によりせん断補強した RC 造柱梁接合部の性能に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集 第 34 巻 2 号 pp. 313~318 2012.
- 2) 上原修一, 崎野健治, 江崎文也: 組み合わせ応力の相関を考慮した降伏線理論による RC 柱部材の極限解析, コンクリート工学論文集 第 10 巻 3 号 pp. 17~31 1999 年 9 月
- 3) 村上秀夫, 藤井栄, 石渡康弘, 森田司郎: 鉄筋コンクリート造内部柱・梁接合部のせん断強度に関する検討(接合部データベース解析 その 1), 日本建築学会構造系論文集 第 503 号 pp. 85~92 1998 年 1 月
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 第 8 章, pp. 241~277. 1999 年 8 月 30 日第 2 版