

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560664

研究課題名(和文) 鉄筋コンクリートL形接合部の必要ボリュームと合理的配筋方法に関する研究

研究課題名(英文) A Study on minimum requirement of concrete volume and effective method of arrangement of reinforcing bars in reinforced concrete beam-column knee joints

研究代表者

堀田 久人 (HOTTA, HISATO)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：20190217

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：鉄筋コンクリートL形柱梁接合部のせん断強度に関して、主に閉方向の加力実験を通して接合部強度に及ぼす接合部のコンクリートのボリューム及び主筋の付着性能を改善する配筋手法を探った。結果として、接合部内における主筋の折り曲げ半径を従来の標準フックに比して3から4倍程度増大させることが、主筋の付着性能の改善に極めて有効であることを示し、折り曲げ半径を大きくすることで接合部のせん断強度を大幅に増大させえることを示した。

研究成果の概要(英文)：As for reinforced concrete beam-column knee joints, the minimum volume of panel concrete and effective arrangement of reinforcing bars which improves bond characteristic between bars and concrete in the panel and shear strength of the panels through empirical examination which is monotonic loading tests in the direction of closing direction of the joints. As a result, we found that large bending radius of main reinforcing bars which is 3-4 times as large as the ordinary standard hooks greatly improves bond characteristics and consequently significant improvement of shear strength results from that. those are also confirmed in monotonic loading test in the direction of opening or cyclic loading tests.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：鉄筋コンクリート構造 L形接合部 せん断強度 復元力特性 支圧強度 折り曲げ半径

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート造の柱梁接合部のせん断耐力は原稿の設計法においては、接合部のコンクリートのボリュームのみで規定されているが、一方で、接合部内の主筋の付着性能が、接合部のせん断耐力及び復元力特性に著しい影響を及ぼすことも理論的に説明し得る。十字形接合部の場合は、四方に周辺部材が存在するため、ある程度コンクリートのボリュームによって主筋の付着性能が確保される、あるいは、仕様規定により最小横補強筋や柱軸力の効果もあって主筋の付着性能が確保されると考えられるが、最上階のL形接合部の外側の主筋においては柱の軸力の効果も期待し得ず、付着に有効な横補強筋の配筋方法も見出されておらず、十字形接合部に比べ、せん断耐力を大幅に低く見積もらなければならないのが現状であり、L形、及びT形接合部において有効な接合部補強法の開発が望まれる。また、現行の設計規定は、前述の通り、コンクリートのボリュームのみを設計因子においているが、十字形、L形等対象接合部別に、コンクリートのボリュームのみならず、横補強筋の効果等を取り入れたキメの細かい設計法の確立が望まれている。

2. 研究の目的

以上の背景に基づき、本研究課題においては、鉄筋コンクリートL形柱梁接合部が閉角方向の強制変形を受ける場合を対象として、接合部が非破壊となるための最小のコンクリートのボリュームを探ること及び、接合部内主筋の付着性能を改善するための合理的な配筋方法を探ることを目的とする。

3. 研究の方法

研究は、実大の 1/4 ~ 1/3 倍の部材せい(200mm)を有する縮小モデルによる実験的研究である。以下の4シリーズの実験を実施した。

梁柱幅を同一とし、また、外側主筋を通し配筋とした接合部実験。実験パラメータは、部材幅(50mm ~ 80mm)および通し配筋した主筋の折り曲げ半径(20mm ~ 80mm)である。

梁幅を80mm、柱幅を100mmとし、外側主筋を接合部内で個別に定着させた場合、すなわち実際的な配筋に近い接合部に関する実験。実験パラメータは、梁主筋の折り曲げ半径(26mm 及び 80mm)と接合部内横補強筋の有無である。

内側主筋の折り曲げ半径をパラメータとした接合部の開方向のせん断耐力に関する実験

L形接合部の正負交番載荷実験

当初研究目的に示した研究範囲は、L形接合部の閉方向の性能に限定していたが、初年度の研究により、主筋の折り曲げ半径を大きくすることが、接合部のせん断強度の増大に極めて有効であるという成果が示されたので、研究の重点を主筋の折り曲げ半径に移し、かつ研究範囲を開閉両方向に拡大した。

4. 研究成果

主筋を通し配筋した場合の必要ボリュームに関する実験的研究

試験体の配筋の詳細を図 -1 に示す。試験体は部材幅と通し筋の折り曲げ半径を実験変数とした5体である。試験体名称はLA-(部材幅 mm) - (折り曲げ半径 mm)で示している。主筋として降伏応力度が465N/mm² のD10を2本配筋している。コンクリート強度は35 ~ 40N/mm² である。接合部内は横補強せず、3丸鋼を幅止筋として用いた。

加力・変位測定方法を図 -2 に示す。試験体は柱、梁ともに危険断面から反曲点までの距離は500mm(シヤスパン比2.5)で実験装置のピンローラー部に図のように山形に設置し、ローラー部に水平力を加えた。変位の測定項目は、柱梁の軸伸縮変位、柱梁の部材角及び、接合部パネルのせん断変形角である。

実験結果を図 -3 に示す。LA-50-80、LA-80-26、LA-80-80 は部材降伏が発生している。降伏した試験体はピン・ローラー支持水平変形2.0cmまで載荷を進めた。LA-50-80、LA-80-80 は変形が進んでも耐力を維持し続けたが、LA-80-26 は全体変形1.7cm付近で耐力低下が起きた。この時LA-80-26 は他2体の試験体に比べ、接合部せん断ひずみが大きく進行しており、全体変形量に対する接合部パネルの変形の割合が大きい。LA-50-20 では降伏荷重計算値前に耐力低下が発生し、LA-80-20 では降伏荷重計算値を越えたが、その後耐力低下が発生した。最大耐力後は、接合部せん断ひずみが大きく進行し、その他の部材は変形がほとんど進展せずに、ゆるやかに耐力が減少した。

最終的に、以下の知見を得、これを結論とした。

1) 接合部パネル内の柱・梁主筋を通し鉄筋とし、主筋90°折曲げ内径が規定の3倍近くあるとき、接合部せん断強度は靱性保証型設計指針によるせん断強度を1.2 ~ 1.64倍上回った。

2) 通し鉄筋とし、主筋90°折曲げ内径が規定より小さいもしくは同程度の場合、部材幅の小さな接合部では折り曲げ内径内側でのコンクリートの支圧破壊によって接合部強度が低下した。また部材幅の大きな接合部では部材危険断面位置での降伏が発生したが、接合部パネルのせん断ひずみが進行し、折曲げ内径が十分な場合に比べ全体での変形能が劣った。

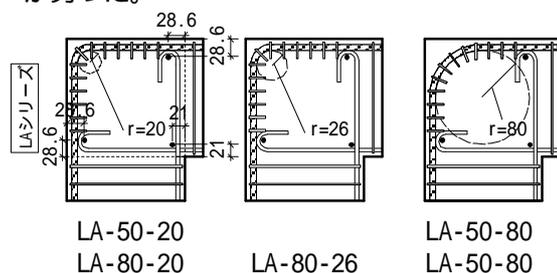


図 -1 試験体

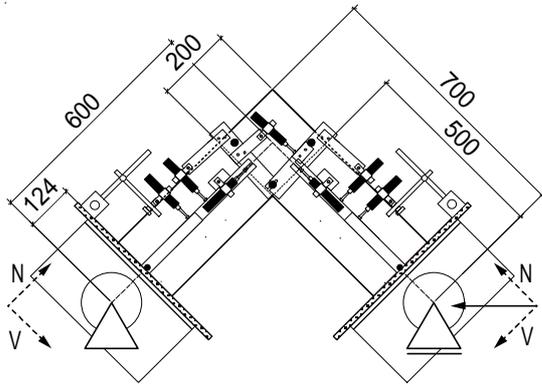


図 -2 加力・変位測定方法

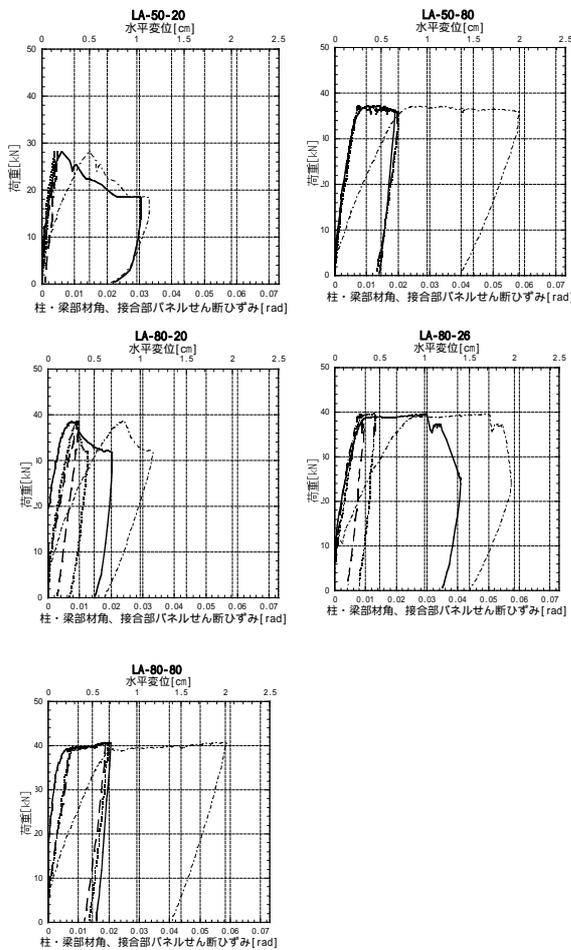


図 -3 実験結果

主筋を接合部内で個別定着した場合の接合部のせん断耐力に及ぼす主筋の折り曲げ半径および横補強筋の影響に関する研究

試験体の配筋詳細を図 -1 に示す。試験体数は 4 体である。試験体はいずれも 100mm×200mm の断面を有する柱と 80mm×200mm の断面を有する梁で構成されており、試験体数は 4 体である。実験パラメータは主筋の折り曲げ半径 (26mm と 80mm の 2 種類) と接合部内横補強筋の有無 (A: なし, B: あり) である。

主筋は柱には 3-D10、梁には 2-D10 を配筋している。主筋の降伏応力度は 465N/mm²、コンクリート強度は 30.7N/mm² である。接合部内に横補強筋を有する試験体については、3 丸鋼を 45mm ピッチで配筋した。

加力・変位測定方法は実験と同様である。

実験結果を図 -2 に示す。各試験体の結果を示すグラフにおいて、横軸と平行な実線は梁部材危険断面での降伏荷重計算値 (V_{by}) とパネルの初期斜めひび割れ発生荷重計算値 (V_{jcr}) と梁部材曲げひび割れ荷重計算値 (V_{bcr}) を表し、該当するそれぞれの実験値を ○ で表記している。ただし、梁部材が降伏していない LB26A と LB26B 試験体について最大荷重時の実験値を示している。梁部材降伏荷重計算値 V_{by} については、表 3.2 に示す使用した材料の力学特性から求まる梁主筋降伏引張力から、梁部材圧縮軸力を考慮した断面解析によって算出した。

梁部材曲げひび割れ荷重計算値 V_{bcr} についてはコンクリートの引張強度を $f_t = 0.23\sqrt{\sigma_B}$ として、危険断面における軸力を考慮した曲げひび割れモーメントから算出した。図によると LB26A 試験体を除く各試験体の最大荷重または梁降伏荷重実験値が計算値とほぼ近く、それに伴い接合部の終局せん断耐力が上昇している。梁部材が完全に降伏した LB80B 試験体の場合、1.5 倍以上となる結果になった。基本となる試験体 LB26A について、パネル内に横補強筋を配筋してなくても、最大耐力時における梁部材曲げ引張力から算出したせん断耐力の実験値は靱性保証型指針²⁾による計算値をやや上回った。試験体 LB26B と LB80A に関しては、梁部材降伏荷重計算値付近からパネルのせん断ひずみが著しく進行し、梁部材が降伏した LB80A においても結局パネルの破壊になった。

柱梁 L 字形接合部の終局せん断強度に及ぼす引張主筋の折り曲げ半径の影響を解明することを目的とした実験より、以下の知見を得た。

- 1) 接合部の入隅部分の閉じる方向を対象にした載荷試験において、パネル内で個別に定着された梁部材引張主筋の 90° 折り曲げ半径を 3 倍程度大きくした場合、パネル部の終局せん断強度が靱性保証型指針による計算値を 1.5 倍以上上回る。
- 2) パネル内に配筋された横補強筋は接合部のせん断耐力上昇に有効であり、さらに梁部材引張主筋の 90° 折り曲げ半径を大きくするとパネル部の終局荷重時における性能が上昇する。

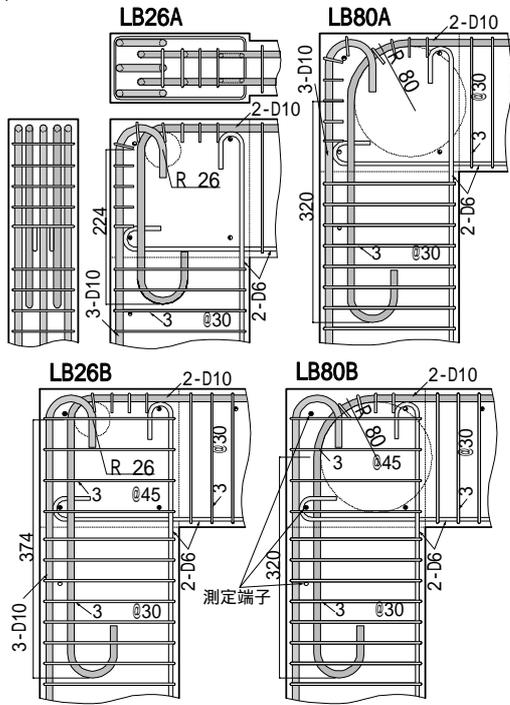


図 -1 試験体

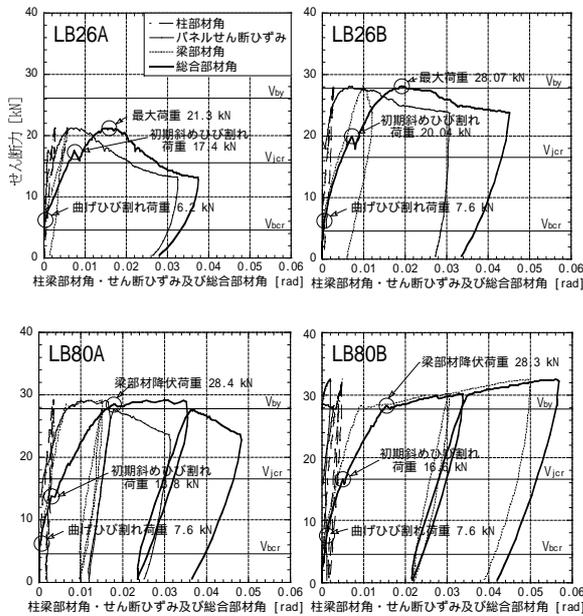


図 -2 実験結果

内側主筋の折り曲げ半径をパラメータとした接合部の開方向のせん断耐力に関する実験

試験体の配筋詳細を図 -1 に示す。試験体数は2体で、実験変数は内側主筋の折り曲げ半径(26mmと80mmの2種類)である。定着余長部の収まりは図に示すとおりである。主筋は2-D10 ($y=465\text{N}/\text{mm}^2$)、コンクリート強度は $37\text{N}/\text{mm}^2$ である。

加力・変位測定方法は実験と同様であるが、加力方向は接合部の開方向となっている。

実験結果を図 -2 に示す。接合部耐力の上昇が折り曲げ半径の大きいr80試験体で認められるものの、最終破壊は接合部からの主筋の掻きだし破壊で決まっており、耐力は、

梁曲げ耐力に達していない。しかしながら、接合部の支圧破壊で耐力が決まったr26試験体に比べれば耐力低下は比較的緩やかであった。

引張主筋の折曲げ形状を実験変数とした2体のL字型試験体の実験結果より、以下の知見を得た。

- 1) 曲げ内径の大小で、最大耐力時の破壊形式は異なる。
 - 2) 曲げ内径が大きくなると掻き出し破壊の危険性は増すが、定着耐力は高くなる。
 - 3) 最大耐力付近において、支圧破壊型では脆性的、掻き出し破壊型では延性的挙動を示す。
- 曲げ内径を大きくし折曲げ形状を変化させることで、接合部の耐力向上及び靱性確保が期待できる。

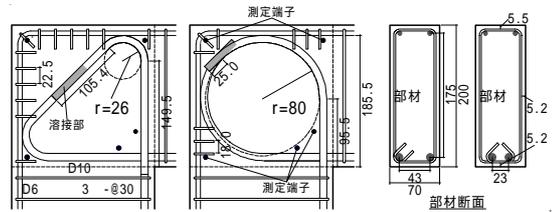


図 -1 試験体

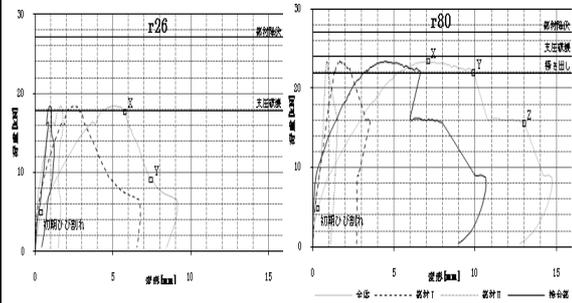


図 -2 実験結果

L形接合部の正負交番荷重実験

試験体の形状、配筋詳細を図 -1 に示す。試験体は加力用の直交梁を有するL形接合部で、試験体数は4体、実験変数は主筋の折り曲げ半径(26mmと80mmの2種類)及び加力方法(2種類、次図参照)である。使用主筋はD10 ($y=364\text{N}/\text{mm}^2$)と前3実験と異なり若干弱く、試験体はいずれも接合部破壊に先行して梁端部で曲げ降伏が生じるように計画した。

図 -2 に加力方法を示す。Aシリーズにおいては、接合部(部材節点)からの加力を、Bシリーズにおいては、従来型の反曲点位置からの加力を行っている。従来型の反曲点位置からの加力では梁にも軸方向力が生じるが、接合部からの加力の場合、梁の軸力は常に零であり、接合部内の力の流れが若干異なっている。その影響を調べることも本実験の1目的である。実際の建物の地震時の外力状態は両者の中間的なものと考えられるが、Aシリーズのような加力方法による研究は見当たらない。

図 -3 に実験結果を示す。主筋強度を落したことにより、接合部のせん断余裕度が当初

予想より大きくなりすぎたことで、復元力特性に主筋の折り曲げ半径の影響は殆ど現れていない。また加力方法の違いは接合部から加力したAシリーズの開方向の最終ループにおいて、折り曲げ半径の大小に関わらず、変形角0付近での復元力の低下が著しく、スリップ性状が大きく現れていることが認められる。この要因は接合部に斜めひび割れが発生した後の接合部内の圧縮力の流れが、両加力方式で異なるためと考えられる。接合部（直交梁）に直接加力する場合、柱圧縮部から梁圧縮部に形成されるストラットに加えて、直交梁から梁圧縮部へ直接流れる圧縮力があるため接合部内の圧縮応力状態がより厳しいものになるためと考察している。

最終的に以下の知見を得た。

- 1) 梁部材の降伏により、パネル内で個別に定着させた引張主筋の折り曲げ半径の影響はほとんど見られなかった。
- 2) 直交梁に集中荷重で荷重試験を行うと、パネル内に発生した斜めひび割れの影響でパネル部せん断ひずみにスリップ性状が発生し、復元力特性に大きく影響を与える。

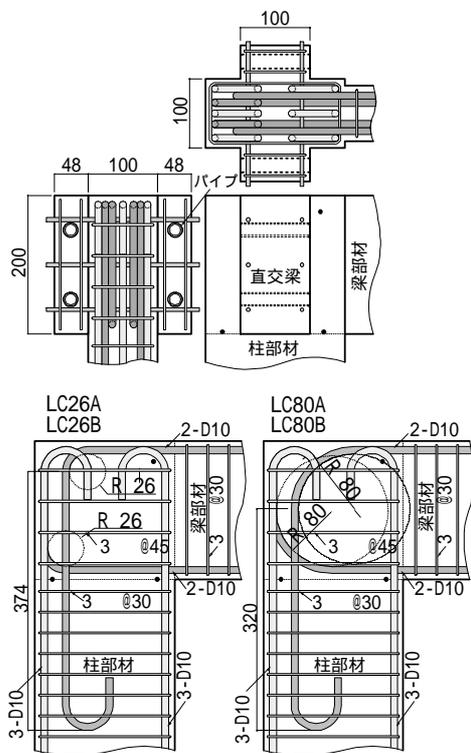


図 -1 試験体

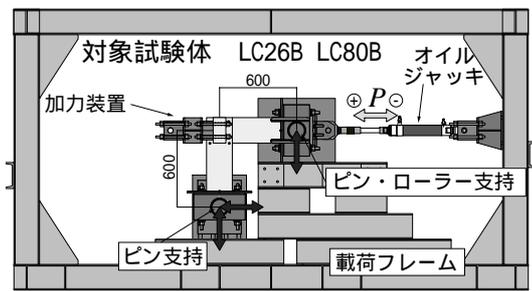
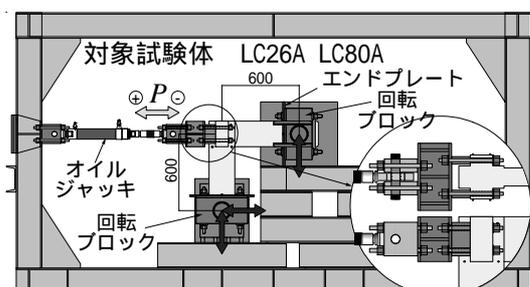


図 -2 加力方法

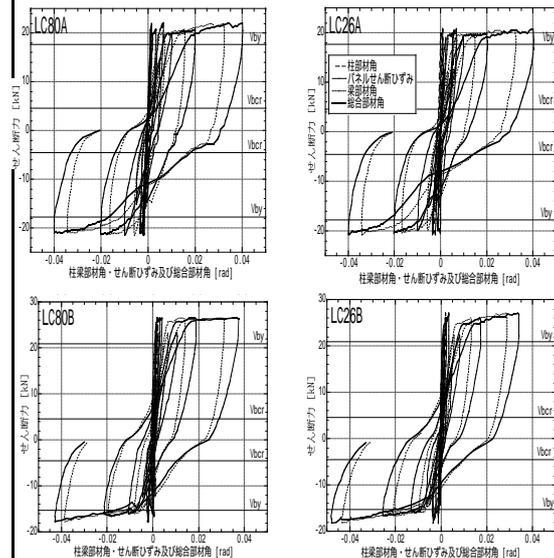


図 -3 実験結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

(1) TUVSHIN BATJARGAL and HISATO Hotta: EXPERIMENTAL STUDY ON INFLUENCE OF BENDING RADIUS OF MAIN TENSILE BARS ON STRESS TRANSMISSION IN REINFORCED CONCRETE KNEE JOINTS WITH PRACTICAL DETAIL, New Developments in Structural Engineering and Construction (Proc. of 7th International Conference on Structural Engineering and Construction (ISEC-7)), vol.1, 379-384, Honolulu, USA, 2013(査読有り)

(2) 堀田久人、西澤直仁: 鉄筋コンクリート柱梁L字形接合部せん断強度に及ぼす主筋配筋の影響に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.34, No.2, 283-288, 2012(査読有り)

〔学会発表〕(計6件)

(1) 堀田久人、バトジャルガルトゥブシン: RC柱梁L字形接合部の正負荷重時における接合部挙動に及ぼす荷重方法及び引張主筋折り曲げ半径の影響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掲載決定

(2)堀田久人、バトジャルガルトゥブシン、平山正：実用的な配筋を有するRC 柱梁L 字形接合部のせん断強度に及ぼす引張主筋折曲げ半径の影響に関する実験的研究(その1 研究目的および実験概要)、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、構造 、790-791、2013年8月31日

(3)バトジャルガルトゥブシン、堀田久人、平山正：実用的な配筋を有するRC 柱梁L 字形接合部せん断強度に及ぼす引張主筋折曲げ半径の影響に関する実験的研究(その2 実験結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、構造 、792-793、2013年8月31日

(4)平山正、堀田久人、バトジャルガルトゥブシン：実用的な配筋を有するRC 柱梁L 字形接合部のせん断強度に及ぼす引張主筋折曲げ半径の影響に関する実験的研究(その3 十字形接合部との比較)、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、構造 、794-795、2013年8月31日

(5)H. Hotta & N. Nishizawa : Experimental Study on Influence of Arrangement of Main Bars on Stress Transmission in Reinforced Concrete Beam-column Knee Joints, Proc. of 15th International Conference on Earthquake Engineering(15WCEE), paper ref No,3428, Lisbon, Portugal, Sept.24-28, 2012

(6)青島雄大、堀田久人：主筋の折曲げ形状がRC 造L 字型接合部における定着性能に及ぼす影響に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、構造 、551-552、2012年9月14日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

6 . 研究組織

(1)研究代表者

堀田 久人 (HOTTA HISATO)

東京工業大学大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：20190217