

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06312

研究課題名（和文）RC部材とS部材で構成されるTおよびL字形接合部の孔あき鋼板ジベルによる性能改善

研究課題名（英文）Improvement of Bearing Performance of T and L Shaped Steel Beam to Reinforced Concrete Column Joints Using perfobond Steel Connectors

研究代表者

西村 泰志（NISHIMURA, Yasushi）

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：10102998

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、孔あき鋼板ジベルをRC柱とS梁で構成されるTあるいはL字形柱梁接合部の鉄骨下フランジに取り付け、柱梁接合部の支圧破壊を防止することを試みる。また、申請者が提案しているTあるいはL字形柱梁接合部の力学モデルに基づいて、柱梁接合部の支圧終局耐力を理論的に評価することを試みる。

実験結果から、TあるいはL字形柱梁接合部とも、PBLを取付けることによって、最大耐力が増加しかつすべりを伴う履歴性状が若干改善されることが示された。また、既往の著者らのTあるいはL字形柱梁接合部の支圧耐力式にPBLの効果を加した耐力評価式が提案され、その耐力式によって実験結果を大概評価できることが示された。

研究成果の概要（英文）：To improve the bearing failure behavior of T-shaped and L-shaped through beam type S beam to RC column joints, joint details using perfobond shear connectors were proposed. Perfobond shear connectors were attached on the bottom flange of the embedded steel beam at right angles to the steel flange. The objective of this study was to clarify the effectiveness of proposed joint details experimentally and theoretically.

From the test results, seismic performance was shown to be improved by proposed joint details using perfobond shear connectors. Particularly, the effect of reinforcing bars inserted in the holes was remarkable. In case of Specimen without perfobond shear connectors, concrete detachment caused by bearing on the upper flanges of the embedded steel beam was remarkable. However, concrete detachment was not observed for Specimen with the reinforcing bars inserted in the holes.

研究分野：合成・混合構造

キーワード：RC柱 S梁 T字形柱梁接合部 L字形柱梁接合部 孔あき鋼板ジベル 支圧破壊性能の改善 支圧抵抗機構 耐力設計式

### 1. 研究開始当初の背景

鋼コンクリートハイブリッド構造は、社会的環境ならびに建築的環境の両観点において、次世代の多種多様なニーズに対応できる構造であり、今後ますます発展が期待できる。

鋼コンクリートハイブリッド構造の更なる発展を期するためには、鉄骨（以下、S という）部材と鉄筋コンクリート（以下、RC という）部材で構成される接合部の合理的な接合部ディテールの開発と設計法の確立が不可欠である。接合部には、部材が直交して結合される接合部（柱梁接合部、埋込み柱脚等）と部材が直列的に結合される接合部（継手部、根巻き柱脚、異種部材の切替え部等）に大きく分類できるが、接合部の種類にかかわらず、S 部材から RC 部材への応力伝達は支圧力と摩擦力に依存する。

本研究は、支圧力を軽減させる接合部ディテールを開発することを試みる。接合部ディテールの特徴は、図-1に示すように、土木分野で用いられている孔あき鋼板ジベル（以下、PBL という）を S 部材に取り付けることによって、PBL に引張および圧縮力を生じさせ、偶力を発揮させることで、S 部材に作用する回転を制御することによって、S 部材に接するコンクリートの支圧破壊を抑制し、接合部の支圧性能を改善しようとするものである。なお、土木分野では、コンクリートと鉄骨を一体化させる手法として、鋼桁と橋脚の接合に多用されている。しかしながら、建築分野では全く使用されていない。これは、建築分野では、使用される鉄骨の形状寸法が小さいため S 部材に孔をあけることは考えら

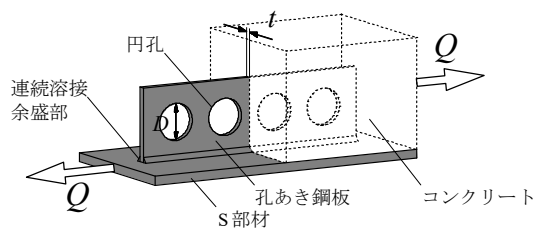


図-1 孔あき鋼板ジベル

れない発想であり、かつ、RC 部材の体積が小さく PBL に対する拘束力が小さいため、土木分野で提案された耐力式をそのまま建築構造物に応用することはできないと考えられるためと推察される。

このような観点から、研究代表者は、2007 年度から、PBL の引張試験を行い、建築分野で PBL を用いる場合、土木分野で提案されている耐力式をそのまま活用することができないことを明らかにし、独自の耐力評価式を提案している。本研究は、これらの研究成果に基づいて、鋼コンクリートハイブリッド構造接合部に PBL を応用することを提案するものである。なお、建築分野でのこの種の研究として、PBL のせん断強度を評価するための 2、3 の押し抜き実験が実施されている。また、研究代表者は、十字形接合部を対象として、支圧破壊性状の改善に PBL を用いた接合部ディテールが効果的であることを既往の研究によって明らかにしている。

### 2. 研究の目的

本研究は、土木分野で用いられている PBL を S 部材と RC 部材が直交して結合される T 字形および L 字形接合部に応用することによって、鋼コンクリートハイブリッド構造接合部特有の S 部材に接するコンクリートの支圧破壊が軽減できるかどうかを実験的に検討する。また、研究代表者が提案している鋼コンクリートハイブリッド構造接合部の力学モデルに基づく耐力評価式に PBL の効果を考慮した耐力評価式を構築し、その耐力評価式に基づく合理的で簡便な耐力設計式を提示する。

### 3. 研究の方法

(1) PBL を取り付けた RC 柱と S 梁で構成される T 字形接合部を対象に載荷実験を行い、その有効性を検討する。更に、研究代表者が提案している接合部の応力伝達機構および

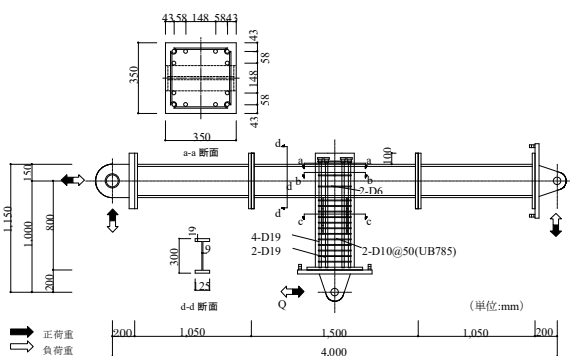
抵抗機構に基づいて、PBL の効果を考慮した耐力評価法を提案する。(平成 27 年度)

(2) PBL を取り付けられた RC 柱と S 梁で構成される L 字形接合部を対象に載荷実験を行い、その有効性を検討する。更に、研究代表者が提案している接合部の応力伝達機構および抵抗機構に基づいて、PBL の効果を考慮した耐力評価法を提案する。(平成 28 年度)

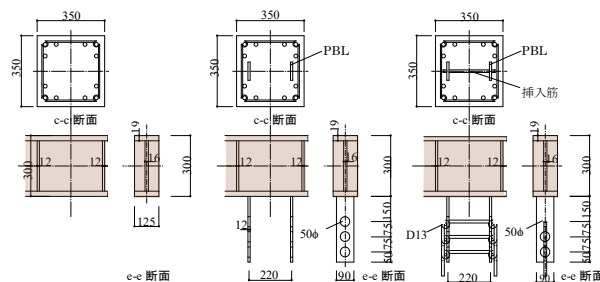
(3) 平成 27 年度および平成 28 年度および研究代表者の既往の成果を踏まえ、接合部の合理的な設計法を提示する。(平成 29 年度)

#### 4. 研究成果

(1) PBL を取り付けられた RC 柱と S 梁で構成される T 字形接合部を対象に支圧破壊性状の改善の可能を実験的に検討した。試験体(図-2)は、接合部に埋込まれた S 梁の鉄骨フランジ下面に取り付けられた PBL を有する試験体(V2 試験体)、PBL に挿入筋を配置した試験体(Vr2 試験体)、比較のために PBL を設置していない試験体(N2 試験体)の 3 種類である。なお、柱梁接合部のせん断補強筋比  $p_w$



試験体形状寸法、配筋詳細、断面



PBL 詳細

図 - 2 試験体、実験変数

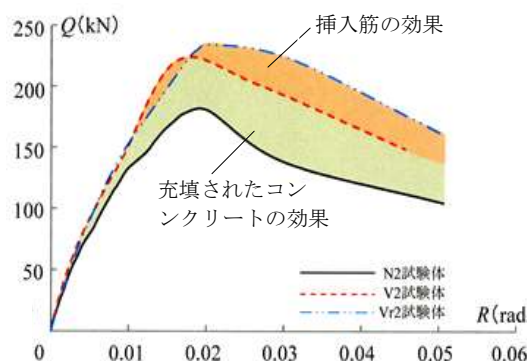


図 - 3 履歴曲線の包絡線

は 0.833% である。

これらの実験結果から、PBL を設けることで支圧破壊を抑制できること、挿入筋を取り付けることによって最大耐力以降耐力低下の小さい安定した履歴性状を有することが示された。

履歴曲線の包絡線(図-3)から、PBL に充填されたコンクリートは変形初期からその抵抗力を発揮するが最大抵抗力以降急激に抵抗力は減少する。一方、その時点から、挿入鉄筋の抵抗力が発揮されることが示された。PBL に充填されたコンクリートの 2 面せん断強度は、コンクリート圧縮強度の 0.7 倍程度、挿入筋の 2 面せん断強度は挿入筋の降伏せん断強度の 1.25 程度である。

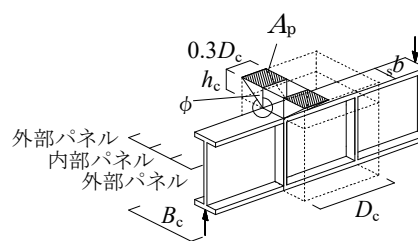


図 - 4 パンチングシアの効果

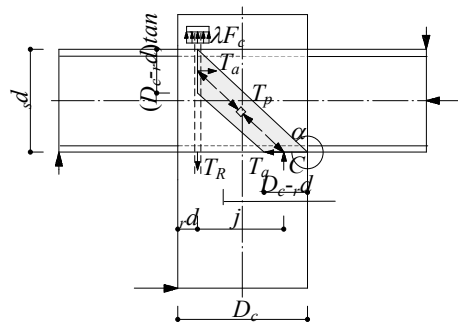


図 - 5 外部パネルの抵抗機構

柱梁接合部の耐力評価法は、既往の研究代表者によって求められたT字形柱梁接合部の耐力評価式にPBLの耐力を付加することによって求める。

研究代表者の研究によって提案されたパンチングシアの効果および外部パネルの抵抗機構（図 - 4、図 - 5）を示す。なお、図中の矢印は荷重状態を示している。

(2) PBL を取り付けられた RC 柱と S 梁で構成される L 字形接合部を対象に支圧破壊性状の改善の可能を実験的に検討した。試験体（図 - 6）は、接合部に埋込まれた S 梁の鉄骨フランジの下面に取り付けられた PBL（図 - 7）を有する試験体（P1, P2 試験体）、PBL に挿入筋を配置した試験体（PI1, PI2 試験体）、比較のために PBL を設置して

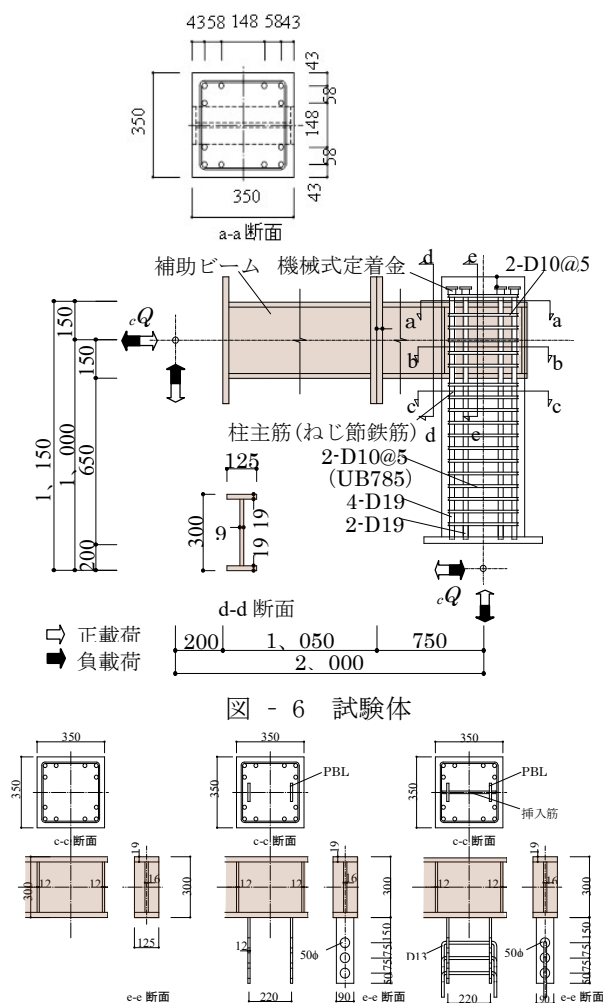


図 - 7 接合部ディテール

いない試験体（N1, N2 試験体）の3種類である。実験変数は、柱梁接合部のせん断補強比  $p_w$  と円孔に配置される挿入筋の有無である。柱梁接合部のせん断補強筋比  $p_w$  は 0.183%（1 シリーズと言う。試験体名はL-N1、L-P1、L-PI1 試験体と言う）と0.833%（2 シリーズと言う。試験体名 L-N2、L-P2、L-PI2 試験体と言う）である。

これらの実験結果から、PBL あるいはそれに挿入筋を配置した補強ディテールによって、パンチングシア破壊に至るL字形接合部の最大荷重を増大させることができる。

$R=1/33$  (rad.) 時の固有ループ（図-8）を示す。縦軸は柱に荷重された荷重  $Q$  をその振幅の最大荷重  $Q_{max}$  で無次元化した値  $Q/Q_{max}$ 、横軸は部材変位角  $R$  をその振幅の最大部材変位角  $R_{max}$  で無次元化した値  $R/R_{max}$  である。1 シリーズにおいて、PBL を有する L-P1 および L-PI1 試験体は、L-N1 試験体と比べてすべり性状が大きく改善されている。しかしながら、2 シリーズは 1 シリーズに比べて PBL によるすべり性状の改善効果は小さい。これは、接合部のせん断補強筋比に伴って内部パネルと外部パネルとの間のねじり耐力が増大し、

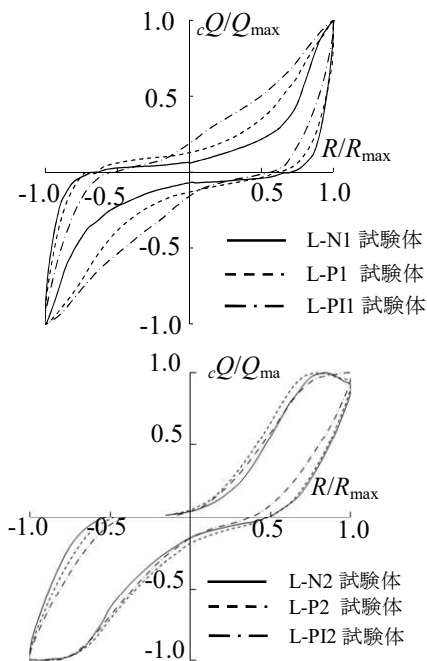
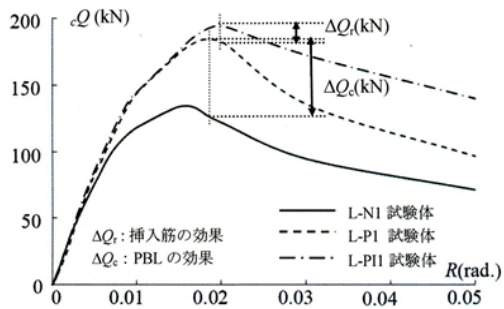
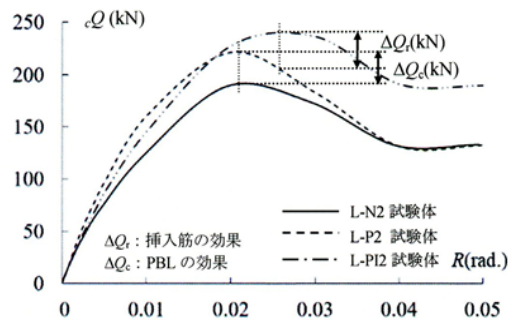


図 - 8 固有ループ



1 シリーズ ( $p_w = 0.18\%$ )



2 シリーズ ( $p_w = 0.83\%$ )

図 - 9 履歴曲線の包絡線

内部パネルと外部パネルが一体的に拳動しているためと考えられる。

正載荷時の履歴曲線の包絡線(図-9)を示す。縦軸は柱に負荷されたせん断力  $Q$ 、横軸は部材変位角  $R$  である。各試験体とも  $R = 1/200$  (rad.) 以降、L-N 試験体に比べて、PBL を有する L-P および L-PI 試験体の剛性は大きくなっている。L-PI2 試験体を除いて、各試験体とも  $R = 1/50$  rad. で最大荷重を發揮した。試験体の包絡線は変形の増大とともに L-N 試験体の包絡線に漸近するが、L-P2 試験体の最大耐力發揮後における耐力低下の状況は、L-N2 試験体とほぼ同じである。PBL は、変形の初期段階から効果を發揮するが、最大荷重に達するとコンクリート二面せん断破壊によりその効果を喪失する。一方、挿入筋は、PBL に充填されるコンクリートの抵抗力が減少するとともに効果を發揮する (図-10)。

PBL の 3 孔が同時にせん断抵抗すると仮定して求められたコンクリートの二面せん断強度  $\tau_{cu}$  および挿入筋の二面せん断強度

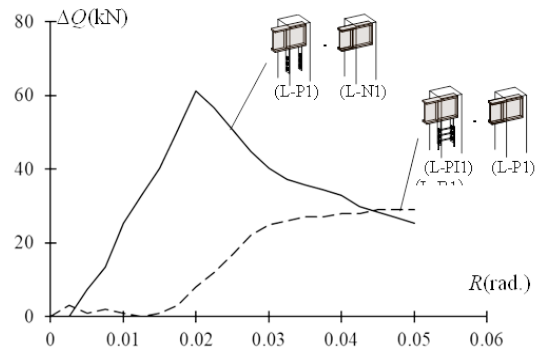


図-10 PBL のせん断抵抗力(1 シリーズ)

$\tau_{ru}$  が求められた。その結果、1 シリーズの場合は  $\tau_{cu} = 0.66 F_c$ 、2 シリーズでは  $\tau_{cu} = 0.85 F_c$  となる。なお、 $F_c$  はコンクリートの圧縮強度である。一方、1 シリーズの場合は  $\tau_{ru} = 2.35 r \sigma_y / \sqrt{3}$ 、2 シリーズでは  $\tau_{ru} = 2.17 r \sigma_y / \sqrt{3}$  となる。なお、 $r \sigma_y$  は挿入筋の引張降伏応力度である。

PBLを有するL字形接合部の耐力は、既往の研究より提案されている隅部柱梁接合部の耐力評価法にPBLの耐力を累加することによって評価する。

研究代表者の既往の研究によって提案されたパンチングシアの効果および外部パネルの抵抗機構 (図-11、図-12) を示す。既往のL字形接合部の耐力評価式にPBL及び

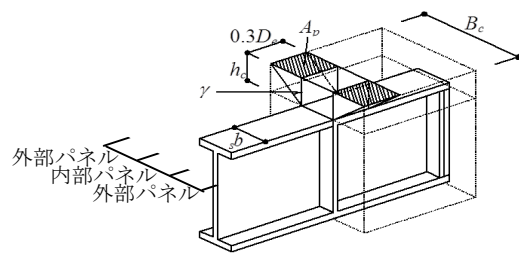


図-11 パンチングシアによる抵抗機構

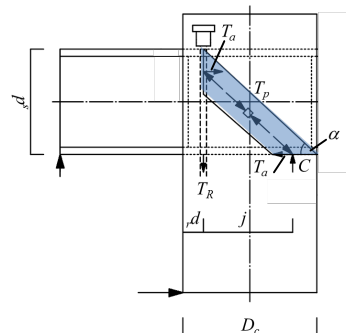


図-12 外部パネルの抵抗機構

挿入筋の効果を付加した評価式を用いて、接合部のせん断補強筋比が大きい場合の実験値を十分に評価できる。一方、接合部のせん断補強筋比が小さい場合、やや過大評価する。

(3) 研究代表者が提案した力学モデルに基づく接合部の耐力評価式を用いて、T字形およびL字形接合部に対する耐力設計式が提案された。ただし、この耐力設計式は、PBLを有する骨組が最大耐力を発揮する相対変位角  $R$  は  $0.02 \sim 0.03 \text{ rad.}$  と大変形時であること、また、挿入筋が抵抗し始めるのは、PBLに充填されたコンクリートの抵抗力が消失した後であることから、最大耐力に影響を与えるのはPBLに充填されたコンクリートのせん断耐力のみを考慮することとする。なお、PBLに充填されてコンクリートの二面せん断強度は、せん断補強筋比が小さい場合は、コンクリート圧縮強度  $F_c$  の  $0.65$  程度、せん断補強筋比が大きい場合は、コンクリート圧縮強度  $F_c$  程度期待できるとして評価する。

#### <引用文献>

① 西村 泰志、堀江 耕平、岡本 宗一郎、永峰 頌子：柱RC・梁Sとする梁貫通形式L字形およびT字形柱梁接合部の応力伝達機構と抵抗機構、日本建築学会構造系論文集、vol.78、No.688、pp.1167-1174、2013.6.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

① 郭 曉敏・馬場 望・西村 泰志：柱RC・梁Sとする柱梁接合部の孔あき鋼板ジベルによる支圧破壊性能の改善 (その9)、日本建築学会近畿支部研究報告集、査読無、第57号・構造系、pp.21-24、2017.6

② 大附 和敬・徳久 成則・西村 泰志：柱RC・梁Sとする柱梁接合部の孔あき鋼板ジベルによる支圧破壊性能の改善 (その8)、日

本建築学会近畿支部研究報告集、査読無、第56号・構造系、pp.73-76、2016.6

[学会発表] (計 4 件)

① 吉田 幹人・郭 曉敏・西村 泰志：孔あき鋼板ジベルによる柱RC・梁Sとする柱梁接合部の支圧破壊性状の改善 (その16)、日本建築学会大会学術講演会、2017.8.24、広島工業大学 (広島市)

② 吉田 幹人・郭 曉敏・西村 泰志：孔あき鋼板ジベルによる柱RC・梁Sとする柱梁接合部の支圧破壊性状の改善 (その17)、日本建築学会大会学術講演会、2017.8.24、広島工業大学 (広島市)

③ 大附 和敬・徳久 成則・西村 泰志：孔あき鋼板ジベルによる柱RC・梁Sとする柱梁接合部の支圧破壊性状の改善 (その14)、日本建築学会大会学術講演会、2016.8.24、福岡大学 (福岡市)

④ 大附 和敬・徳久 成則・西村 泰志：孔あき鋼板ジベルによる柱RC・梁Sとする柱梁接合部の支圧破壊性状の改善 (その15)、日本建築学会大会学術講演会、2016.8.24、福岡大学 (福岡市)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

西村 泰志 ( NISHIMURA, Yasushi )

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：10102998