

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：37111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820274

研究課題名(和文) 鋼とコンクリートを繋ぐ革新的なずれ止めの開発とその合理的設計手法の確立

研究課題名(英文) Development of innovative shear connector in steel-concrete joint and establishment of rational design method

研究代表者

田中 照久 (TANAKA, Teruhisa)

福岡大学・工学部・助手

研究者番号：90588667

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：鋼材とコンクリートの接合部に用いる新たなずれ止めとして、プレス加工によって鋼板孔にフランジ(突起)を設けたバーリングシアコネクタを開発した。押抜きせん断実験による基礎研究により、高剛性、高耐力および高靱性のずれ止めを実現するとともに、鋼とコンクリートの応力伝達について考察し、その耐力評価法を提案した。さらに、バーリングシアコネクタを用いた合成梁のせん断曲げ実験による応用研究により、その有効性および実用性を実証した。

研究成果の概要(英文)：As a new shear connector using for the connection of steel and concrete, the burring shear connector which manufactured the flange in the steel plate hole by press working was developed. By the basic research by push-out test, the shear connector of performance higher than a former type was realized, and stress transfer of steel and concrete was considered, and the strength evaluation method was proposed. Furthermore, the applied research by bending test of the composite beam using a burring shear connector proved the validity and practicality.

研究分野：工学

キーワード：合成構造 接合部 ずれ止め 応力伝達 拘束効果 合成梁

1. 研究開始当初の背景

鋼材とコンクリートから成る合成構造の接合部において、異種の材料や部材との確実な応力伝達を図るには、ずれ止め（シアコネクタ）の使用が必要不可欠となる。今日まで、国内外で最も普及している「頭付きスタッド」は、靱性に優れるが、スタッドそのものの曲げ剛性が小さいため、鋼とコンクリートとの間にズレを伴いながら最大せん断耐力を発揮する特性をもつ。そのため、現状の設計法では、スタッド本数が多量となり、非常に不経済な設計になる場合が見られる。一方で、近年、「孔あき鋼板ジベル」と呼ばれる剛なずれ止めは、土木構造物での使用が増加傾向にある。しかし、孔あき鋼板ジベルの最大せん断耐力は頭付きスタッドと同程度であり、また、現行のずれ止め設計法は終局耐力を基準としているため、建築分野において、孔あき鋼板ジベルの利点は少ない。

このような現状の中、鋼部材およびコンクリート系部材の高強度化や異種部材接合部の多種多様化が進んでおり、これに伴い、ずれ止め設計法の見直しならびに高剛性・高耐力・高靱性を有するずれ止めの開発が求められている。

そこで、これらの課題の解決に対する一手段として、孔あき鋼板ジベルの鋼板孔にフランジ（以下、突起）を設けた新しい形式の「バーリングシアコネクタ」と称するずれ止めを考案した（図1）。突起による支圧抵抗でせん断耐力が大幅に増大するのが特徴である。また、その突起は、機械加工のバーリングプレスによって容易に制作できる（図2）。本研究で対象とするバーリング鋼板（SS400材）の基本形状は、鋼板厚さ6mm、バーリング径50φmm、突起高さ15mmとする。

2. 研究の目的

本研究は、鉄骨梁とコンクリートスラブか

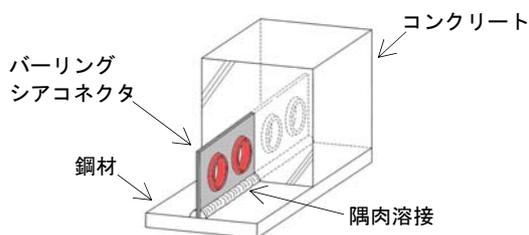


図1 バーリングシアコネクタ

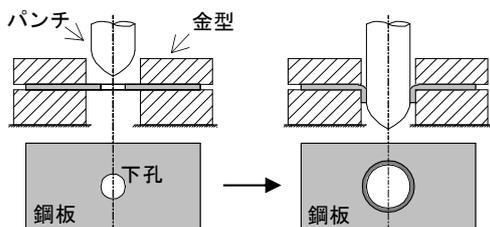


図2 バーリングプレス加工の工程

ら成る合成梁（鋼部材とコンクリート部材が並列的に接合される部位）を対象に、バーリングシアコネクタのずれ止め設計法を確立するために、次の点を実験的に検討する。

(1) バーリングシアコネクタのコンクリートへの応力伝達に及ぼす諸条件の影響

バーリングシアコネクタの抵抗機構（図3）は、バーリング突起部とコンクリートとの接触による支圧抵抗とバーリング円孔内に充填されたコンクリート界面の二面せん断抵抗であることが予想され、これに加え、バーリング鋼板とコンクリート界面の付着抵抗が考えられるが、その抵抗力の割合は不明である。そこで、先ず、各伝達要素（支圧、せん断、付着）の荷重-ずれ変位関係を詳細に分類し、鋼とコンクリートとの応力伝達機構を明らかにし、最大せん断耐力の評価法を提案する。次に、鋼板1枚あたりのバーリングの個数および加工間隔がずれ止め特性に及ぼす影響について考察し、適正な加工間隔を検討する。最後に、バーリングシアコネクタが破壊に至るまでの繰り返しせん断力-ずれ変位関係を把握し、繰り返し性状を考察するとともに降伏せん断耐力の評価法について言及する。

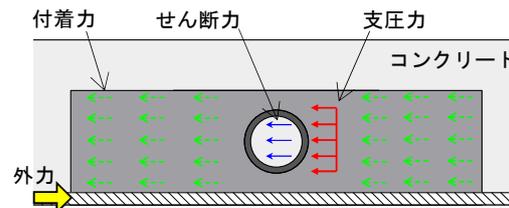


図3 バーリングシアコネクタの抵抗機構

(2) バーリングシアコネクタのコンクリートとのずれ挙動に及ぼす鉄筋の拘束効果

バーリングシアコネクタのせん断耐力は、コンクリートの破壊に起因する。そこで、先ず、鉄筋量による拘束効果の違いがバーリングシアコネクタとコンクリートとのずれ挙動に及ぼす影響を考察し、異種材料間の応力伝達機構を明らかにするとともに、適正な鉄筋の配置方法を検討する。続いて、図4に示すバーリング孔内に鉄筋を配置した際のずれ止め効果を検証し、貫通鉄筋によるコンクリートの拘束効果がバーリングの個数や加工間隔ならびに繰り返しし荷に与える効果について検討する。また、バーリングシアコネクタの最大耐力評価式の妥当性を検証する。

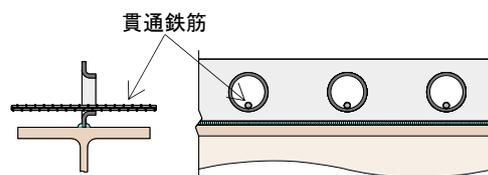


図4 バーリング孔内に配置した貫通鉄筋

(3) バーリングシアコネクタを用いた合成梁の曲げ性状ならびにずれ止め効果

バーリングシアコネクタの実用性を検証するために、合成梁の単純梁形式によるせん断曲げ試験を行う。また、バーリングシアコネクタを用いた合成梁(図5)の曲げ性状を考察し、ずれ止めに作用したせん断力を推定するとともに、押抜きせん断試験で得られたずれ止めのせん断耐力の妥当性を検討する。

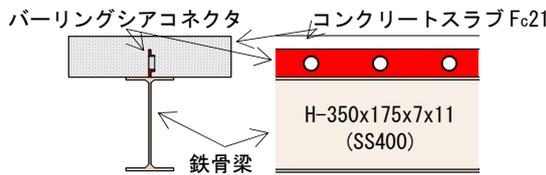


図5 バーリングシアコネクタの合成梁

### 3. 研究の方法

前述の研究目的を達成するために、バーリングシアコネクタを用いた鋼とコンクリートの押抜きせん断試験ならびに合成梁のせん断曲げ試験を実施する。

#### (1) 押抜きせん断試験による基礎研究

鋼材とコンクリートをつなぐバーリングシアコネクタについて、図6に示す押抜きせん断試験により、ずれ止めの基本特性を実験的に明らかにする。実験変数は、①バーリング加工の有無、個数(1~3)および加工間隔(100~300mm)、②コンクリート内の鉄筋量および貫通鉄筋の有無、③载荷方法(単調、繰り返し)とし、バーリングシアコネクタの耐力評価式と設計法を提案する。

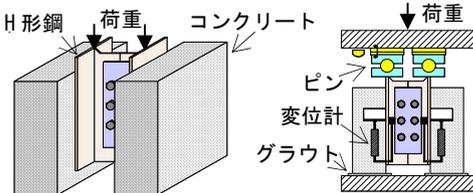


図6 押抜きせん断試験

#### (2) 梁のせん断曲げ試験による応用研究

バーリングシアコネクタを用いた合成梁について、図7に示すせん断曲げ試験により、曲げ性状ならびにずれ止め効果を実験的に明らかにする。主な実験変数は、ずれ止めの種類(バーリングシアコネクタ、孔あき鋼板ジベル、頭付きスタッド)、ずれ止めの個数、貫通鉄筋の有無および载荷方法(単調、繰り返し)とし、押抜きせん断試験で得られたずれ止めの基本特性との関係性について明らかにする。

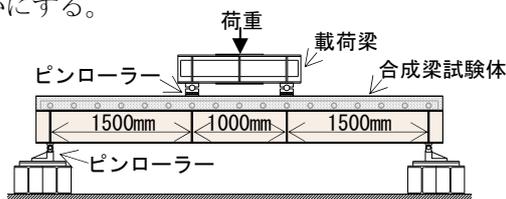


図7 合成梁のせん断曲げ試験

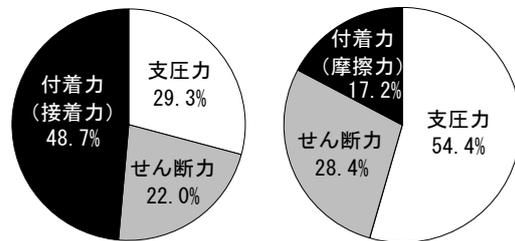
### 4. 研究成果

本研究で得られた成果を以下(1)~(3)に挙げて示す。また、全体のまとめを(4)に示す。

(1) バーリングシアコネクタのコンクリートへの応力伝達に及ぼす諸条件の影響について

押抜きせん断試験(図6)より、主に①~④の知見が得られた。

① バーリングシアコネクタのコンクリートへの応力伝達機構について検討し、各伝達要素(付着・せん断・支圧)の荷重-ずれ変位関係を詳細に分類するとともに、これらの抵抗力の割合(図8)を明らかにした。また、支圧抵抗と二面せん断抵抗の単純和で表したバーリングシアコネクタの最大せん断耐力式は、実験値と良い対応を示した。



(a) ずれ変位 0.1mm 時 (b) 最大耐力時  
図8 各伝達要素の抵抗力の割合

② 複数のバーリングシアコネクタは、付着作用を考慮すれば、個数の単純和で荷重-ずれ変位関係を評価できる。また、鋼板1枚あたりに加工されるバーリング相互の中心間隔 $p$ は、100~300mmの範囲であれば、初期のずれ剛性および最大せん断耐力発揮時までのずれ挙動に影響を及ぼすことはない(図9)。

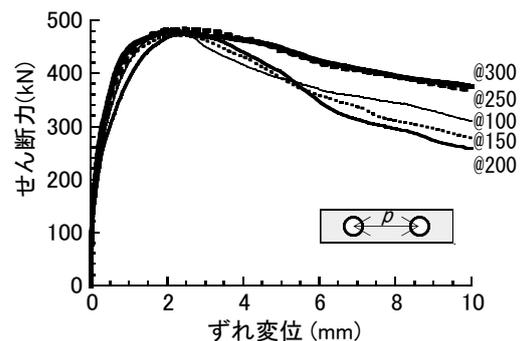
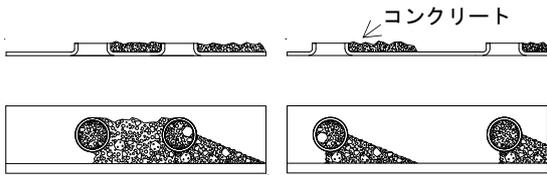


図9 バーリング間隔を比較したずれ挙動

③ バーリング相互間のコンクリートの破壊形式は、間隔100mmと150mmは突起頂部を結ぶ面でのせん断破壊、間隔200mm、250mmおよび300mmは支圧破壊を呈することが確認できた(図10)。この破壊形式の違いは、最大せん断耐力発揮後の耐力劣化勾配に影響を与える。



(a) 100~150mm (b) 200~300mm  
 図10 バーリングシアコネクタの破壊形式

- ④ 繰り返しせん断力を受けるバーリングシアコネクタの残留ずれ変位は 0.1mm 程度で急変することが確認でき、この残留ずれ変位に対応して、ずれ止めによる接合部が弾性に保つための指標になる降伏せん断耐力の評価法を提案した (図 11)。

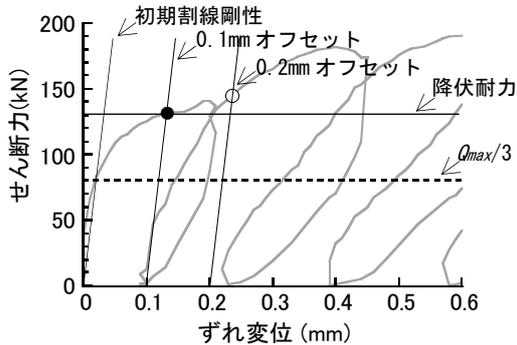


図 11 降伏耐力の評価法

- (2) バーリングシアコネクタのコンクリートとのずれ挙動に及ぼす鉄筋の拘束効果について

押抜きせん断試験 (図 6) より、主に以下

- ⑤~⑦の知見が得られた。  
 ⑤ 作用せん断力に対して直交方向に配置される横補強鉄筋は、バーリングシアコネクタの支圧応力に伴うコンクリートの割裂ひび割れを抑制でき、耐力およびずれ変形性能の改善に寄与する。これは、特に繰り返しせん断力が作用する場合に有効である (図 12)。

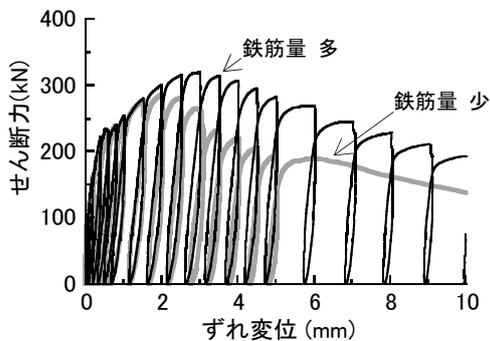


図 12 鉄筋量の違いを比較したずれ挙動

- ⑥ バーリング加工された鋼板の孔内に配置した貫通鉄筋 D10 は、耐力よりもず

れ変形性能の向上に寄与する効果が大きい。また、その効果は、バーリング数が単数よりも複数の場合、かつ、繰り返しせん断力が作用する場合に有効である (図 13)。

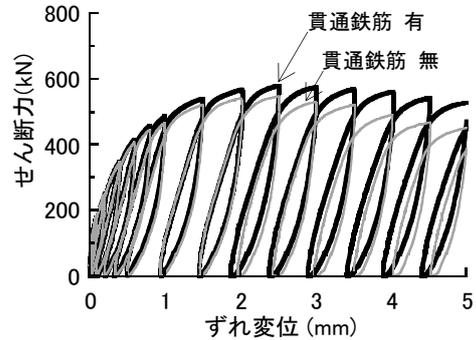


図 13 貫通鉄筋の有無を比較したずれ挙動

- ⑦ バーリングが複数個になると、1 個あたりの最大せん断耐力は 1 割程度低下する。これは、貫通鉄筋 D10 の有無に関わらず横補強鉄筋の一部が降伏し、コンクリートの拘束効果が低下することが要因である。したがって、鉄筋を適切に配置し、コンクリートのひび割れを抑制できれば、バーリングシアコネクタは十分な靱性を有するずれ止め特性に改善されるため設計上問題ない。

- (3) バーリングシアコネクタを用いた合成梁の曲げ性状ならびにずれ止め効果について

梁のせん断曲げ試験 (図 7) より、バーリングシアコネクタ (BURRING) を用いた合成梁は、軸径 22φmm の頭付きスタッド (STUD) および孔径 50φmm の孔あき鋼板ジベル (PBL) を用いた場合と同等以上の曲げ性能を発揮でき、建築構造への適用は十分可能であることを実証した (図 14)。図中の試験体名の末尾にある数値は、梁のせん断スパン区間 (L=1500mm) に配置した各種ずれ止めの個数を意味する。また、合成梁に用いたバーリングシアコネクタに作用した水平せん断力は、貫通鉄筋 D10 の有無に関係なく、押抜き試験のせん断耐力と良好に対応する。

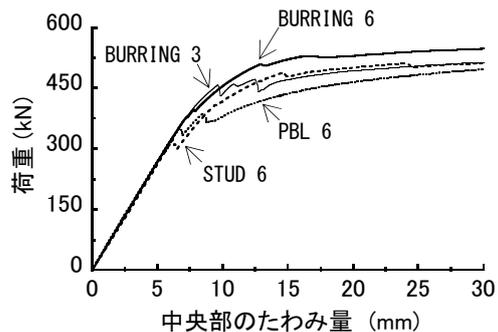


図 14 単調荷重における合成梁の曲げ挙動

#### (4) まとめ

鋼材とコンクリートをつなぐ「バーリングシアコネクタ」と称する新しいずれ止めについて、押抜きせん断試験による基礎研究ならびに合成梁のせん断曲げ試験による応用研究を行い、十分なずれ止め効果があることを実証するとともに、鋼とコンクリートの応力伝達機構について考察し、せん断耐力評価式を提案した。

本研究の成果より、バーリングシアコネクタは、2014年度にF工場建築の増築工事、2015年度にM学校建築の改築工事に実用化された。また、今後は、更なる適用化拡大に向けて、バーリングシアコネクタを複数列平行に配置する場合や引き抜き力が作用する場合の設計法ならびに高強度コンクリートへの適用可能性等について検討を進めていく予定である。

#### 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11件)

- ① 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: 貫通鉄筋を有するバーリングシアコネクタおよび孔あき鋼板ジベルの押抜きせん断実験, 第11回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, 第11巻, pp.34-43, 2015年11月, 査読無, DOIコードおよびURLなし
- ② 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: 貫通鉄筋を有するバーリングシアコネクタの力学的性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.37 No.2, pp.1027-1032, 2015年6月, 査読有, DOIコードおよびURLなし
- ③ 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: バーリングシアコネクタおよび孔あき鋼板ジベルを用いた合成梁の弾塑性曲げ性状に関する実験的研究, 日本鋼構造協会 鋼構造論文集, 第21巻, pp.111-123, 2014年12月, 査読有, DOIコードおよびURLなし
- ④ 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: 各種ずれ止めを用いた合成梁の弾塑性曲げ性状に関する実験的研究, 鋼構造年次論文報告集, 第22巻, pp.672-679, 2014年11月, 査読有, DOIコードおよびURLなし
- ⑤ 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: バーリングシアコネクタおよび孔あき鋼板ジベルのコンクリートとのずれ挙動に及ぼす鉄筋の拘束効果に関する実験的研究, 都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 第26号, pp.91-99, 2014年7月, 査読有, DOIコードおよびURLなし
- ⑥ 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: バーリング加工を活用した新しい機械的ずれ止め

の開発, 日本建築学会構造系論文集, 第78巻 第694号, pp.2237-2245, 2013年12月, 査読有, DOIコードおよびURLなし

- ⑦ 則松一輝, 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: 繰返しせん断力を受ける各種ずれ止めの力学的性状, 鋼構造年次論文報告集, 第21巻, pp.375-382, 2013年11月, 査読有, DOIコードおよびURLなし
- ⑧ 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: バーリングシアコネクタを用いた鋼とコンクリートの応力伝達機構に関する研究, 第10回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, 第10巻, pp.42-1-8, 2013年11月, 査読無, DOIコードおよびURLなし
- ⑨ 則松一輝, 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: 繰返しせん断力を受ける各種ずれ止めの力学的性状に関する実験的研究, 第10回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, 第10巻, pp.20-1-8, 2013年11月, 査読無, DOIコードおよびURLなし
- ⑩ 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: 鋼材とコンクリートを繋ぐバーリングシアコネクタの応力伝達機構 —バーリングの応力伝達機構の分類と適正配置間隔—, 都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 第24号, pp.107-115, 2013年7月, 査読有, DOIコードおよびURLなし
- ⑪ 田中照久, 則松一輝, 堺純一, 河野昭彦: 鋼材とコンクリートを繋ぐバーリングシアコネクタの抵抗機構と配置間隔の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.35 No.2, pp.1237-1242, 2013年6月, 査読有, DOIコードおよびURLなし

〔学会発表〕(計8件)

- ① 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: バーリング加工を活用した新しい機械的ずれ止めの開発 その5 バーリング孔に配置した貫通鉄筋がずれ挙動に及ぼす効果, 日本建築学会大会(関東), 2015年9月, 東海大学
- ② 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: バーリング加工を活用した新しい機械的ずれ止めの開発 その4 鉄筋によるコンクリートの拘束がずれ挙動に及ぼす影響, 日本建築学会大会(近畿), 2014年9月, 神戸大学
- ③ 楊東, 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: 各種ずれ止めを用いた合成梁の弾塑性曲げ性状に関する実験的研究, 日本建築学会大会(近畿), 2014年9月, 神戸大学
- ④ 田中照久, 則松一輝, 堺純一, 河野昭彦: 鉄筋によるコンクリートの拘束が異なるバーリングシアコネクタの耐力およびずれ変形性能に関する実験的研究, 第53回日本建築学会九州支部研究発表会,

2014年3月, 佐賀大学

- ⑤ 則松一揮, 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: バーリングシアコネクタの耐力評価法に関する研究, 第53回日本建築学会九州支部研究発表会, 2014年3月, 佐賀大学
- ⑥ 楊東, 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: 各種ずれ止めを用いた合成梁の弾塑性曲げ性状に関する実験的研究, 第53回日本建築学会九州支部研究発表会, 2014年3月, 佐賀大学
- ⑦ 則松一揮, 田中照久, 堺純一, 河野昭彦: バーリング加工を活用した新しい機械的ずれ止めの開発 その3 配置間隔, 個数及び繰返し載荷の影響, 日本建築学会大会(北海道), 2013年8月, 北海道大学
- ⑧ 田中照久, 則松一揮, 堺純一, 河野昭彦: バーリング加工を活用した新しい機械的ずれ止めの開発 その2 バーリング鋼板に作用する抵抗力の割合, 日本建築学会大会(北海道), 2013年8月, 北海道大学

[図書] (計1件)

- ① 中島章典, 渡辺忠朋, 田中照久, 他 14名: 複合構造レポート10 複合構造ずれ止めの抵抗機構の解明への挑戦, 土木学会, 総頁数 232, 2014年8月

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 杭頭補強構造

発明者: 横山眞一, 平山貴章, 内海祥人, 竹内隆祐, 田中照久, 堺純一

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2015-086785

出願年月日: 2015年4月21日

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 照久 (TANAKA, Teruhisa)

福岡大学・工学部建築学科・助手

研究者番号: 90588667