

令和元年6月13日現在

機関番号：37111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18193

研究課題名(和文)革新的なずれ止めを用いた鋼コンクリート接合部の開発および構造性能評価法の構築

研究課題名(英文) Development of Steel-Reinforced Concrete joints Using Innovative Shear Connector and Construction of Evaluation Method for Structural Performance

研究代表者

田中 照久(Tanaka, Teruhisa)

福岡大学・工学部・助教

研究者番号：90588667

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：建築・土木構造物において、鉄骨部材とコンクリート部材を接合する上で重要な接合要素である「機械的ずれ止め」の使用拡大を目指して、施工性の向上が期待できる接合方法を実験的に検討するとともに、力学的に合理的な鋼・コンクリート合成構造の接合部設計法を提案した。その主な成果は、新たなずれ止めに対して(1)適正な並列配置方法を提案した、(2)高強度コンクリートへの使用性・有効性を示した、(3)引抜き力が作用する際の適切な鉄筋の配筋法を提案した、(4)地震力を想定した繰り返し荷重が作用する際の力学的特性を把握し、鋼とコンクリートとの間の応力伝達機構を明らかにした、ことが挙げられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、建設材料・部材の高強度化や異種部材を組み合わせた接合部の多様化が進んでおり、特に、「鋼材とコンクリートの一体化」を図るために用いられる機械的ずれ止めに対する要求性能が高まっている。本研究の成果は、研究代表者らが開発した新たなずれ止めの高剛性・高耐力の利点を活かし、従来の技術では不可能とされてきた力学的に合理的な鋼材とコンクリートの接合部設計法を開発した点に学術的意義がある。また、建設工事の施工技術の向上が期待できることから、社会的にも経済的にも大きく貢献が見込まれる。

研究成果の概要(英文)：We aimed to examine and enhance the usage of a mechanical shear connector, which was a significant composite element for connecting a steel member and a concrete member in buildings and civil engineering structures. Experimental examinations were performed to verify a joining method which was promising for improving workability and to suggest a dynamically reasonable connecting design for a steel-concrete composite structure. The main results for a new shear connector were the following: (1) An appropriate parallel configuration method was suggested. (2) The usability and effectiveness for high-strength concrete were demonstrated. (3) An appropriate reinforcement method of rebar for the effects of pull-out strength was suggested. (4) Dynamic characteristics were identified when cyclic loading was tested for seismic force scenarios and the stress transferring mechanism between the steel and the concrete were clarified.

研究分野：工学

キーワード：耐震設計 合成構造 接合法 ずれ止め 抵抗機構 応力伝達 構造実験

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

鋼部材と鉄筋コンクリート部材等を組み合わせた混合構造接合部において、異種材料・異種部材との間の応力を確実に伝達するためには、機械的ずれ止めを用いることが有効な手段となる。今日まで、国内・国外で最も普及している頭付きスタッド（以下、スタッド）は、延性的なずれ止めとして知られているが、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“ずれ”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、現状のずれ止めの構造設計法では、国内外の建築・土木分野問わず、スタッドの本数が多量となるため適切に配置できない状況が起こり、非常に不経済な設計となる例が見られる。また、スタッドが終局耐力に到達する時点では“過大なずれ”を認めていることになるため、接合部の剛性不足が懸念される点や応力伝達に伴う“ずれ”により他の構造箇所が先行して損傷し、想定した耐力が発揮されないケースが報告されており、過大な本数を配置せざるを得ない状況に至っている。

一方で、近年、国内外の土木分野では、孔あき鋼板ジベルと呼ばれる剛なずれ止めの適用が増加傾向にある。また、最近、建築分野への適用可能性を検討した研究事例が見られるものの、孔あき鋼板ジベルの設計法は未だ確立されていない。研究代表者らがこれまでに行ってきた研究の成果では、建築構造への適用を考慮した孔1個あたりせん断耐力はスタッドと同程度であること等を明らかにし、実験による基礎資料を構築してきた。しかしながら、現行指針のずれ止め（スタッド）の耐力評価は、終局耐力を基準としていることから、孔あき鋼板ジベルはスタッドに比べて、ずれ剛性は圧倒的に高いが、耐力的には同等であるため、ある程度の“ずれ”を認めている現状では、孔あき鋼板ジベルの利点は少ない。

このような現状を受けて、申請者らは、孔あき鋼板ジベルの鋼板孔に突起をつけた新しい形式の“バーリングシアコネクタ”と称するずれ止めを開発した（図1参照）。突起による支圧抵抗でせん断耐力とずれ剛性が大幅に増大するのが特徴である。また、突起はバーリングプレスによって容易に製作できるため生産性・品質に優れる。バーリングシアコネクタに関するこれまでの研究は、押抜きせん断実験による基礎研究ならびに鉄骨梁と鉄筋コンクリート（以下、RC）床スラブの合成梁を対象としたせん断曲げ実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し、バーリングの突起高さ・個数・加工間隔および鉄筋による拘束効果の影響を明らかにするとともに、鋼とコンクリートの応力伝達機構について考察し、せん断耐力式を提案してきた。また、バーリングシアコネクタによる鋼とコンクリートの接合技術は、設計法および施工性の向上が期待できることから、2014年度には実用化第一号としてF工場建築に適用され、続いて2015年度にはM学校建築に採用された。現在も使用方法については限定的ではあるものの、複数の建物への適用が検討されている。

2. 研究の目的

本研究は、研究代表者らが開発したバーリングシアコネクタの更なる使用拡大を目指し、それを用いた新たな鋼コンクリート接合部を開発するとともに、力学的に合理的なずれ止め設計手法を確立するための構造性能評価法を検討することを目的とする。

本研究の目的は、主に以下の4点について実験的に明らかにすることである。

- (1) バーリングシアコネクタを並列に設置する際の間隔や突起の向き（図2参照）がずれ止め特性に及ぼす影響を把握し、ずれ止めの応力伝達に支障をきたさない適正な配置方法と耐力評価法を提案する。
- (2) 並列配置のバーリングシアコネクタの孔内に挿入された貫通鉄筋（図2参照）がずれ止め特性に及ぼす改善効果を検証する。また、既往の単列配置で得られた実験結果（貫通鉄筋の拘束効果）と比較考察し、貫通鉄筋を有するバーリングシアコネクタの抵抗機構を明らかにする。
- (3) コンクリート圧縮強度の違いが、バーリングシアコネクタのずれ止め特性に及ぼす影響を考察し、スタッドと孔あき鋼板ジベルとの性能比較から、高強度コンクリートへの使用性・有効性を明確にする。
- (4) コンクリートに埋め込まれた鉄骨部材に取り付くバーリングシアコネクタに繰り返し荷重が作用する混合構造接合部の弾塑性挙動および復元力特性を把握し、特に、引抜き力が作用する際の鋼とコンクリートの応力伝達機構を明らかにするとともに、鉄筋の適切な配筋方法を提案する。

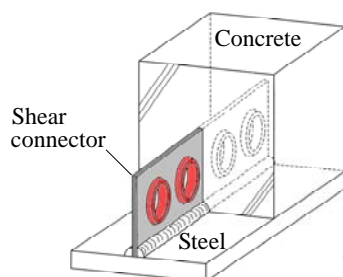


図1 新たな機械的ずれ止め

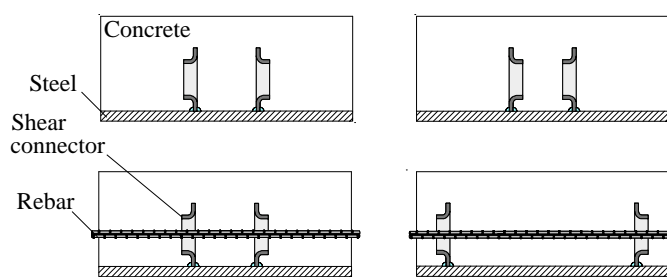


図2 並列配置パターンおよび貫通鉄筋配置の例

3. 研究の方法

(1) 研究方法の全体像

本研究は、鉄骨部材にバーリングシアコネクタを2列平行に配置することを想定した鋼コンクリート混合構造接合部を対象に、力学的に合理的なずれ止めの設計法を検討するために、押抜き試験、引抜き試験および押抜き力・引抜き力が交互に作用する繰り返し載荷試験を実施した。バーリングシアコネクタ（バーリング鋼板）の基本形状は、既往の研究成果に基づき、鋼板厚さ6mm、鋼板高さ100mm、バーリング突起高さ15mmおよびバーリング孔径 $\phi 50$ とし、隅肉溶接にて鉄骨部材に取り付けた試験体を各々製作する。本研究の目的を達成するための各年度の具体的な研究方法は、下記のとおりである。

(2) 各年度の研究手法

① 平成28年度の研究の方法

1年目にあたる平成28年度は、バーリングシアコネクタを2列平行に配置する際の設計法を検討するために、鋼・コンクリート構造接合部を部分的に取り出した単純な試験体の押抜き試験を計画した。また、バーリングシアコネクタに引抜き力が作用する際のずれ止め特性および鉄筋の配筋法を検討するために、引抜き試験を計画した。

押抜き試験体は、図3(a)に示すように、母材鋼板の両面にずれ止めを介して、両側それぞれがRCブロックに接合される構成である。押抜き試験の実験変数は、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）、数量・配置（単列、並列）、並列配置とした際のバーリング突起の向き、ずれ止めの並列間隔（100, 200, 300mm）、貫通鉄筋の有無および貫通鉄筋径とし、試験体数は計24体を準備した。押抜き実験は、5000kN圧縮試験機を用い、母材鋼板の上面に圧縮荷重を単調に載荷した。

引抜き試験体は、図3(b)に示すように、母材鋼板の両面にずれ止めを取り付けたものを、鉄筋コンクリート部材に埋設した構成である。引抜き試験の実験変数は、ずれ止め用鋼板の形状、鉄筋の数および配置方法、ずれ止め鋼板にあいた孔に通す貫通鉄筋の有無とし、試験体数は計14体を準備した。引抜き実験は、左右の油圧ジャッキにより、ピンを介して一方向に引張荷重を単調に載荷した。

② 平成29年度の研究の方法

2年目にあたる平成29年度は、高強度コンクリートに対する使用性ならびに前年度の研究成果を考慮した並列配置方法の妥当性を検討するために、図3(c)の押抜き試験体を15体製作した。押抜き試験体は、実大のスケールで、角形鋼管の4面にずれ止めを取り付けた鋼部材をRC部材の中央部に埋め込んだ形式である。実験変数は、コンクリートの圧縮強度（20, 40, 60N/mm²）、ずれ止めの種類（バーリングシアコネクタ、頭付きスタッドおよび孔あき鋼板ジベル）、ずれ止めの数量・配置（単列、並列）である。

同時進行で、バーリングシアコネクタにせん断と曲げ引張りが同時に作用する実験を計画していたが、平成28年度の引抜き試験の実験結果から、押抜き試験と同等のずれ止め特性を発揮するには、鉄筋によるコンクリート拘束効果のほかにコンクリートへの埋め込み深さによる影響を把握することが必要であると考え、引抜き試験体を6体製作し、前年度と同じ実験装置を用いて追加実験を実施した。実験変数は、ずれ止めの数量・配置（単列、並列）およびコンクリート上面からの埋め込み深さ（50, 150, 250mm）である。

③ 平成30年度の研究の方法

最終年度にあたる平成30年度は、これまでの研究成果を参考にして、バーリングシアコネクタを用いた鋼・コンクリート構造接合部の基本的な復元力特性を把握するために、押抜き力と引抜き力が交互に作用する多数回繰り返し載荷実験を計画した。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）およびずれ止めの数量・配置（単列・並列）とし、試験体数は計3体である。実験方法は、改良した加力装置に試験体をセットして、鋼とコンクリートとの間のずれ変位により制御し、正負交番の漸増繰り返し載荷を行った。

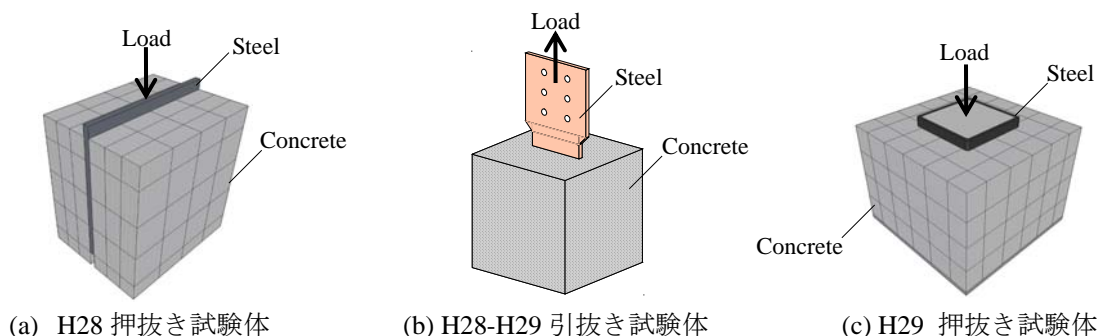


図3 試験体形状および実験方法の概略

4. 研究成果

(1) 各年度の成果

① 平成 28 年度の研究成果

バーリングシアコネクタを用いた鋼とコンクリートの単純な押抜き試験および引抜き試験から得られた研究成果を以下に示す。

押抜き試験から得られた具体的な研究成果として、並列配置したバーリングシアコネクタは、コンクリートブロック側面からバーリング鋼板までの距離（被り厚）を十分にとり、かつ、バーリング鋼板高さ以上の並列間隔とすれば、並列間隔やバーリングの突起向きの影響を受けず、単列に配置した場合と同等以上のずれ止め特性を発揮することを確認した。また、バーリング孔内に配置した貫通鉄筋は、ずれ止めのせん断耐力の向上および最大耐力発揮後の耐力低下の抑制に寄与する効果があり、その効果は貫通鉄筋径が太いほど大きくなる傾向を示した。ただし、コンクリート被り厚が小さい場合に生じたコンクリート側面部の付着割裂破壊の防止効果は見られなかった。

引き抜き試験から得られた具体的な研究成果として、バーリングシアコネクタを用いた鋼部材がコンクリート部材から抜け出す方向に引張力が作用する場合は、ずれ止めによる支圧応力の圧縮場を形成されるための鉄筋が肝要であることを示した。また、ずれ止め周辺に配置する鉄筋の径・数・位置の違いは引き抜き挙動に強い影響を与えること、貫通鉄筋は耐力よりもずれ変形性能の向上に寄与する効果の方が大きいこと、U字形に折り曲げた鉄筋をバーリング鋼板の縁端部に跨いで配筋する方法は引抜き耐力の向上に強く寄与すること、等を明らかにした。

② 平成 29 年度の研究成果

鋼部材から RC 部材に切り替わる実大接合部の押抜き試験から得られた研究成果を以下に要約して示す。(1) バーリングシアコネクタは、従来のずれ止めとして用いられてきた頭付きスタッドや孔あき鋼板ジベルに比べ、高強度コンクリートを使用した場合においても優れたずれ止め性能を発揮した。(2) バーリングシアコネクタの最大せん断耐力は、コンクリート強度の増加に伴って線形的に増加し、その増加率はスタッドの場合に比べて数倍大きいことを確認した。(3) 並列配置したバーリングシアコネクタ 1 個あたりのずれ止め特性は、高強度コンクリートを用いた場合においても単列配置の場合と同程度の性能を発揮した。(4) バーリングシアコネクタの各伝達要素の抵抗力を分類し、その抵抗割合は個数の違いやコンクリート強度に関係なく、バーリング突起部による支圧抵抗力が全体の半分程度を占めることを明らかにした。

(5) 高強度コンクリートを用いた場合を考慮したバーリングシアコネクタの終局せん断耐力評価式を提案し、実験結果と良好に対応することを示した。

昨年度からの追加で実施した引抜き試験による研究成果を以下に要約する。(1) 最大引抜き耐力は、個数に関係なく、埋込み深さの増加に伴い線形的に増加することを確認し、その耐力評価法を検討した。(2) 引抜き力が作用するバーリングシアコネクタが十分なずれ止め性能を発揮するにはコンクリート上部の割裂ひび割れを防止・抑制しなければならないことを確認するとともに、バーリングシアコネクタと鉄筋コンクリート間の応力伝達機構を明らかにした。

③ 平成 30 年度の研究成果

最終年度は、前年度までの研究成果を考慮して、押抜きと引抜きが交互に作用する多数回繰り返し載荷試験を実施し、復元力特性を把握することができた。また、繰り返し力を受けるバーリングシアコネクタは、従来のずれ止めとの比較より、単調載荷の押抜き試験と同様に優れたずれ止め性能を発揮できることを実証した。

(2) 全体的な成果

本研究では、研究代表者らが開発したバーリングシアコネクタと呼ぶ機械的ずれ止めの使用拡大を目指し、種々の実験を行い、力学的に合理的な鋼・コンクリート混合構造接合部の設計法を確立する上で必要な基礎資料を得ることができた。押抜き試験では、バーリングシアコネクタの抵抗機構に支障がない適正な並列配置方法、バーリング孔内に配置した貫通鉄筋によるずれ止め特性の改善効果ならびにコンクリート側面までの被り厚の影響を検討し、これらの成果を反映した設計法を提案することができた。また、高強度コンクリートに対する有効性を実証するとともに、最大せん断耐力の実験値を精度良く評価できる耐力評価式を提案した。引抜き試験では、バーリングシアコネクタに引抜き力が作用する際の、耐力および変形性能の向上に有効な鉄筋の配筋法を提案することができ、鋼とコンクリートとの間の応力伝達機構を明らかにした。また、押抜き力と引抜き力が交互に作用する多数回繰り返しの載荷試験方法を検討し、これまで皆無であったバーリングシアコネクタを用いた鋼・コンクリート接合部の基本的な復元力特性に関する実験データを収集することに成功した。

今後の課題としては、鋼材とコンクリートの接合に用いるバーリングシアコネクタ（従来のずれ止めも含む）の復元力特性を定式化すること、多数回繰り返し荷重を受ける場合においても弾性状態のずれ止め機能を保持できる耐力評価手法を確立すること、ならびに狭小な鋼コンクリート構造接合部においても確実にずれ止め性能を発揮できる設計法を構築すること、等が挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- ① 井土祥太, 田中照久, 堺純一: コンクリート強度がバーリングシアコネクタのずれ止め特性に及ぼす影響に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, 2019.7, 査読有 (掲載決定), <http://data.jci-net.or.jp/search.shtml>
- ② 井土祥太, 田中照久, 堺純一: コンクリート強度が各種ずれ止めの力学的特性に及ぼす影響, 鋼構造年次論文報告集, vol.53, pp.43-50, 2018.11, 査読有, <http://www.jssc.or.jp/publication/list01.php?class=3>
- ③ 田中照久: 新たなずれ止め, 2018年度日本建築学会大会(東北)構造部門(SCCS)パネルディスカッション資料 鋼・コンクリート機械的ずれ止め設計指針に向けて—合成構造の基本接合要素における設計と今後の展開—, pp.60-63, 2018.9, 査読無, <http://scripts.aij.or.jp/tosho/ViewItem.asp?ID=N0006390>
- ④ 山下慎太郎, 田中照久, 堺純一: バーリングシアコネクタおよび孔あき鋼板ジベルの引抜き耐力に関する実験的研究, 第12回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, Vol.12, pp.(49)1-(49)8, 2017.11, 査読無, <https://www.aij.or.jp/books/productId/612770/>
- ⑤ 田中照久, 山下慎太郎, 堺純一: 並列配置した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試験, 第12回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, Vol.12, pp.(57)1-(57)8, 2017.11, 査読無, <https://www.aij.or.jp/books/productId/612770/>
- ⑥ 山下慎太郎, 田中照久, 堺純一: 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鋼とコンクリート間の引抜き挙動に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, pp.1033-1038, 2017.7, 査読有, <http://data.jci-net.or.jp/search.shtml>
- ⑦ 田中照久: 主集 設計を支える構造実験 第3章 設計への適用例-3 鋼材とコンクリートの接合に用いる機械的ずれ止め(シアコネクタ), 日本建築構造技術者協会 structure, 第140巻, pp.44-47, 2016.10, 査読無, http://www.jsca.or.jp/vol5/p3_3_structure/structure137_140.php

〔学会発表〕(計9件)

- ① 井土祥太, 田中照久, 堺純一: 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8 高強度コンクリートに対する最大耐力評価の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, 2019.9 (掲載決定)
- ② 井土祥太, 田中照久, 永水優貴, 堺純一: 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7 コンクリート強度の違いがずれ止め特性に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.1391-1392, 2018.9
- ③ 永水優貴, 田中照久, 井土祥太, 堺純一: 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6 並列配置方法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.1389-1390, 2018.9
- ④ 山下慎太郎, 田中照久, 堺純一: 引抜き力を受けるバーリングシアコネクタとコンクリート間の応力伝達機構に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.1387-1388, 2018.9
- ⑤ 井土祥太, 山下慎太郎, 田中照久, 堺純一: コンクリート圧縮強度が各種ずれ止めの力学的特性に及ぼす影響に関する実験的研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第57回・1構造系, pp.369-372, 2018.3
- ⑥ 山下慎太郎, 田中照久, 堺純一: 埋込み長さがバーリングシアコネクタの引抜き特性へ及ぼす影響に関する実験的研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第57回・1構造系, pp.693-696, 2018.3
- ⑦ 田中照久, 山下慎太郎, 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を用いた合成梁の弾塑性挙動とずれ止めのせん断耐力, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.1481-1482, 2017.8
- ⑧ 山下慎太郎, 田中照久, 堺純一: 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および孔あき鋼板ジベルの引抜き挙動に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.1483-1484, 2017.8
- ⑨ 山下慎太郎, 田中照久, 堺純一: 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鋼とコンクリート間の引抜き挙動に関する実験的研究, 日本建築学会研究報告九州支部, 第56号・1構造系, pp.333-336, 2017.3

〔その他〕

福岡大学研究者情報:

<http://resweb2.jhk.adm.fukuoka-u.ac.jp/FukuokaUnivHtml/info/4503/R107J.html?P=Sat%20May%2017%2014:01:36%20UTC+0900%202008>

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。