

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04785

研究課題名（和文）パーリングプレス加工した機械的ずれ止めによる鋼とコンクリートの接合設計法

研究課題名（英文）Connection Design Method of Steel and Concrete by Mechanical Shear Connector Processed by Burring Press

研究代表者

田中 照久（Tanaka, Teruhisa）

福岡大学・工学部・准教授

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）：鋼・コンクリート合成構造において、異種材料を一体化するための機械的ずれ止めは、優れた耐震性能を発揮させる上で、重要な役割を担う要素である。一般に頭付きスタッドと呼ばれる鋼棒のずれ止めが使用されるが、応力伝達上、剛性が不足する課題があり、また、繰返し力を受けると耐力が劣化して期待する効果が得られない可能性がある。本研究では、これらの課題を解決すべく、新たに開発されたパーリングシアコネクタ（BSC）と呼ぶ高性能なずれ止めを対象に複数の実験と解析を行い、BSCの設置方法に応じた耐力評価法を提案した。また、多数回繰返し履歴を考慮した性能評価法を提示し、さらに合理的な設計施工技術の構築に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パーリングシアコネクタ（BSC）鋼板の形状特性と力学特性の利点を活かした機械的ずれ止めは、従来の鋼とコンクリートの接合技術に比べて、より強固で強靱な一体化が図れる。本研究の成果で提案したずれ止めの耐力評価法を用いることで、BSC鋼板の設置方法に応じた異種材料間の応力伝達を確実なものとし、部材の損傷抑制効果も期待した設計を実現できる。また、繰返しの荷重履歴によるずれ止めの強度低下の定量的な分析から性能評価手法を提示した。これにより従来の技術的限界を突破し、建築合成構造の信頼性・生産性・施工性が向上するだけでなく、大規模な地震後も建物の耐震性を維持しながら長期間にわたる使用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：A shear connector for joining steel and concrete is an important element for demonstrating the excellent seismic performance of a composite structure. Generally, steel rods called headed studs are used. However, in terms of stress transmission, the problem is that the rigidity is small, and if it is subjected to repeated forces, the shear strength may decrease and the expected effect may not be obtained. In this study, in order to solve these problems, we conducted multiple experiments and analyzes on a newly developed high-performance element called Burring Shear Connector (BSC). A design method of the shear connector corresponding to the installation of BSC was proposed. In addition, we presented a performance evaluation method for Shear connector subjected to cyclic loading, and succeeded in establishing a rational design and construction technology. Connection Design Method of Steel and Concrete by Mechanical Shear Connector Processed by Burring Press.

研究分野：耐震構造 合成構造 鋼構造 接合技術

キーワード：合成構造 機械的ずれ止め 接合部 応力伝達 抵抗機構 構造性能評価法 設計式 実験

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

建築構造において、鋼材とコンクリートの接合に用いられる機械的ずれ止めは、異種材料・異種部材を一体化する上で極めて重要な役割を果たす接合要素である。しかしながら、国内外で普及している頭付きスタッドと呼ばれる鋼製のずれ止めは、押抜き試験から得られたせん断力とずれ変位の関係からも分かるように、軸部の曲げ剛性が小さいため、鋼とコンクリートとの間に過大な“ずれ”が生じて最大耐力が発揮される「柔なずれ止め」であり、応力伝達上、剛性不足の懸念から多量の本数を要するため、非常に不経済な設計となっている。また、近年においては、鋼とコンクリートの材料・部材の高強度化や接合部の多様化が進んでおり、高剛性・高耐力を有する新たなずれ止めの開発とその特徴を活かした設計法が求められている。

報告者らは、このような現状の課題を解決する手段として、孔あき鋼板に突起を設けた形式の“バーリングシアコネクタ（以下、BSC）”と称する新たなずれ止めを考案し、その開発を進めている。本ずれ止めは、突起とコンクリートとの接触による支圧抵抗と円孔側面のコンクリートによるせん断抵抗で剛性と耐力が大幅に増大するのが特徴である。突起部はバーリングプレス加工によって容易に製作でき、また、鋼部材への取り付けは鉄骨製作工場にて隅肉溶接でよいので、生産性・施工性の向上が期待されている。これまでの研究では、BSCによる施工的にも力学的にも合理的な接合設計法の実現を目指し、基礎研究により、バーリング突起の有無（突起無しは孔あき鋼板ジベル）、突起高さ、個数、加工間隔、バーリング孔に通した貫通鉄筋や補強鉄筋による拘束効果等の諸条件の影響を押抜き実験により明らかとしてきた。また、BSCを2列平行に配置する設計法ならびに引抜き力が作用する際に有効な鉄筋の配筋方法を提案してきた。さらに、高強度コンクリートに対しても高剛性・高耐力のずれ止め効果を発揮できることを実証し、BSCの各伝達要素（支圧・せん断・付着摩擦）を詳細に分析した結果を考慮した最大耐力評価法により、実験結果を精度良く評価できることを明らかとしてきた。

一方で、これまでの研究成果は、(1) 実験方法が一方方向に単調に加力した押抜き試験であること、(2) BSC鋼板が鋼部材に垂直に取り付けられた条件であること、(3) 初期のずれ剛性が低下して鋼とコンクリートとの間に2mm程度の“ずれ”が生じて発揮する最大荷重に対する終局耐力評価式の提案であることから、本研究課題の核心をなす学術的「問い」は、以下の3つに集約される。

- (1) 地震力にも対応した鋼コンクリート接合部のずれ止め設計法：鋼とコンクリートの接合部に繰り返しのせん断力が作用した場合、ずれ止めの性能が劣化していくのではないか。
- (2) 狭小な接合部でも設置可能なずれ止め設計法：BSC鋼板の平板部を鋼部材の面に密着させて取り付けした場合（狭小接合部への対応、鋼部材に空けたコンクリート充填孔の断面欠損を補強する役目も期待したもの）のずれ止め特性は、鋼部材に垂直に取り付けた場合（これまでに想定してきた使い方）とは異なるのではないか。
- (3) 鋼とコンクリートとの間の“ずれ”変形を考慮したずれ止めの耐力評価法：高剛性・高耐力のずれ止め特性の利点を活かすには、終局耐力のみならず、弾性設計を保證できる設計耐力（許容耐力）を設定する必要があるのではないか。

2. 研究の目的

本研究は、これまで困難とされてきた従来の頭付きスタッドによる鋼コンクリート接合部の剛性不足の課題に対して、報告者らが考案したバーリングプレス加工した鋼板の形状特性とそのずれ止めの力学特性（高剛性・高耐力）による双方の構造利点を活かすことで、異種材料・部材を強固に接合させる性能設計技術の構築を目指し、段階を踏んだ計画的な載荷実験を行い、下記の(1)と(2)を解決することを目的とする。これにより、鋼とコンクリートの応力伝達に基づく、ずれ変形を考慮した力学的に合理的なずれ止め設計法を提案する。

- (1) 多数回繰り返し力が作用する BSC の荷重-ずれ変位関係を把握し、耐力劣化性状とその要因（破壊メカニズム）を明らかにするとともに、ずれ止めの性能が弾性状態を保持できる条件を特定する。
- (2) BSC鋼板の形状寸法や設置方法の違いがずれ止め特性（剛性・耐力）に及ぼす影響を定量的に明らかにする。具体的には、各伝達要素（支圧・せん断・付着摩擦）の抵抗割合を明確に示し、設置状況に応じた耐力評価式を提案する。

3. 研究の方法

(1) 研究方法の全体像

本研究は、鋼部材とコンクリート部材が直列的に結合される混合接合部を対象に、研究目的を達成するために以下の実験を計画する。試験体に用いる BSC の基本形状は、既往研究により、板厚 6mm、突起高さ 15mm とし、バーリング孔径は $\phi 50$ に加えて、新たに $\phi 40$ と $\phi 60$ （今年度製作に成功）を追加する。これにより、BSC の各伝達要素（支圧・せん断・付着摩擦）の抵抗力を定量的に把握する。BSC鋼板の設置方法は、垂直タイプと平行タイプの2種類である（鋼部材への取り付け方の一例：図5参照）。

(2) 各年度の研究方法

1年目にあたる2020年度は、先ずシリーズ1として、BSC鋼板の形状寸法（主にバーリング孔の直径：40, 50, 60mm）、設置方法（母材に対して、鋼板を垂直に立てて設置した垂直タイプと鋼板平板部を密着させて設置した水平タイプ）、コンクリートの断面寸法（4種）を変数とした単純な押抜き試験により、耐力、ずれ挙動および破壊メカニズムに及ぼす影響を調べた。次にシリーズ2として、シリーズ1の結果を考慮し、繰り返し押し抜き試験の実験計画を検討した。主な実験変数は、ずれ止めの種類、バーリング孔径、および載荷方法を変数として実験を実施した。

2年目にあたる2021年度は、シリーズ1では、昨年度行った繰り返し押抜き試験の実験データを用いて、BSC鋼板の孔径がずれ止め特性に及ぼす影響を定量的に評価するため、各ずれ変位時の耐力の変化に着目した分析を行った。同時に、コンクリート強度の影響を把握するための繰り返し押抜き試験の実験計画を検討した。主な実験変数は、ずれ止めの種類、コンクリート強度および載荷方法とした。次にシリーズ2では、BSC鋼板の設置に応じたずれ止め効果および補強リブ効果を把握するため、角形鋼管とコンクリートスラブで構成される接合部の圧縮試験を行った。実験変数は、角形鋼管の厚さ、BSC鋼板の有無およびその設置箇所とした。

最終にあたる2022年度の一つ目は、前年度に提案した上記の1)に対応する耐力評価法の妥当性を検証するために、計8体の実大サイズの押抜き試験体を準備し、単調載荷と多数回繰り返し載荷の押抜きせん断実験を実施した。前年度までに得られた実験データと合わせて分析を行った。二つ目は、BSC鋼板の平板部を母材に密着させて取り付けた場合のずれ止めの耐力評価法を提案し、2020年度に実施した実験データと比較検討した。三つ目は、BSC鋼板を垂直に取り付けた角形鋼管柱とコンクリート床スラブで構成される接合部を対象としたもので、前年度に実施した実大接合部の圧縮実験で把握できない応力状態を詳細に分析するために3次元有限要素解析を行った。

4. 研究成果

鋼とコンクリートの応力伝達に基づく力学的に合理的なずれ止め設計法を構築することができた。各年度別に得られた研究成果は次のとおりである。

(1) 1年目にあたる2020年度に実施した研究成果の概要を以下に示す。

2つのシリーズから得られた主な知見は次の通りである。シリーズ1より、1-1) BSC鋼板の設置方法の違いにかかわらず、BSC鋼板のフランジ突起部からコンクリートブロックの表面までの距離がずれ止めの耐力に大きな影響を及ぼすことを明らかとした。1-2) コンクリートの断面寸法が同一の場合に、バーリング孔径と最大耐力との間には高い正の相関があることを確認した。シリーズ2より、2-1) 繰り返し力を受ける場合においても、BSCは従前のずれ止めに比べ優れた特性を有することを確認した。2-2) 繰り返し劣化を考慮した各ずれ変位時の耐力評価方法を提示することができた。ただし、孔径60mmの場合は、設置方法および単調載荷の耐力評価式も含めて検討を要することを把握した。

(2) 2年目にあたる2021年度に実施した研究成果の概要を以下に示す。

2つのシリーズから得られた主な知見は下記の通りである。シリーズ1より、単調載荷と繰り返し載荷に関わらず、ずれ止めの最大耐力はコンクリート強度が増加すると線形的に増加すること、最大耐力時のBSCに作用する抵抗力（支圧とせん断）の割合はコンクリート強度に関わらずほとんど同じであること、繰り返し載荷による耐力の減少率はコンクリート強度が増加するにつれてその減少率は小さくなること、を明らかとした。シリーズ2より、角形鋼管の幅厚比が大きくなると既往の有効圧縮耐力式を満たさない場合があること、鋼管柱にBSC鋼板を取り付けることで接合部の破壊性状および応力伝達が改善されることを確認し、その評価法を検討した。

(3) 最終年度に実施した研究成果の概要を以下に示す。

一つ目は、繰り返しせん断力を受けるずれ止めの最大耐力を決定付ける破壊モードを明らかにし、各破壊モードに対応したBSCの終局耐力評価式を提案した。二つ目は、提案した耐力評価式の計算値に対する実験値の比は、0.82~1.28（平均値1.09、変動係数0.109）であり、BSCの支圧耐力式はコンクリートの有効幅を、せん断耐力式はせん断断面数とコンクリートの拘束効果を、それぞれ適切に設定することで良く対応することを示した。これにより、BSC鋼板の設置方法に応じたずれ止めの効果を確実に発揮させることが可能となる。三つ目は、実験挙動を追跡できる解析モデルを構築し、剛性・耐力が変化する要因を特定することができ、角形鋼管の幅厚比に応じたコンクリートの有効圧縮耐力式を提案した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 田中 照久	4. 巻 71
2. 論文標題 特集 / 次世代建築・構造物技術の展開「各種接合部一体化と施工合理化を実現するプレス鋼板活用技術」	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学工業	6. 最初と最後の頁 700-706
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田中照久, 楠本彩七, 堺純一	4. 巻 14
2. 論文標題 繰り返しせん断力を受ける機械的ずれ止めの履歴特性に関する実験的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第14回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 (1)1-(1)8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松山 礼佳, 田中 照久, 堺 純一	4. 巻 30
2. 論文標題 バーリングプレートを用いた角形鋼管柱とコンクリート床スラブ間の圧縮挙動	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 鋼構造年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 143-151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 楠本 彩七, 田中 照久, 宇賀村 太貴, 堺 純一	4. 巻 45
2. 論文標題 バーリングシアコネクタの設置方法がずれ止め特性に及ぼす影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宇賀村 太貴, 田中 照久, 楠本 彩七, 堺 純一
2. 発表標題 十字鉄骨によるコンクリートの拘束効果がずれ止めの力学的特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松山 礼佳, 田中 照久, 堺 純一
2. 発表標題 角形鋼管柱とコンクリート床スラブ間の応力伝達に関する解析的研究 鋼管幅厚比の影響
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 楠本 彩七, 田中 照久, 宇賀村 太貴, 堺 純一
2. 発表標題 バーリングシアコネクタおよび孔あき鋼板ジベルの復元力特性に関する研究 コンクリートスラブ厚および横補強筋量の違いによる影響
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 楠本彩七, 田中照久, 宇賀村太貴, 堺純一
2. 発表標題 鋼とコンクリート間の機械的ずれ止めの復元力特性に関する研究 (その2) ずれ止め鋼板の孔径の違いによる影響
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宇賀村太貴, 田中照久, 楠本彩七, 塚純一
2. 発表標題 鋼とコンクリート間の機械的ずれ止めの復元力特性に関する研究 (その3) コンクリート圧縮強度の影響
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松山礼佳, 田中照久, 塚純一
2. 発表標題 角形鋼管柱とコンクリート床スラブ間の圧縮挙動に関する実験的研究 鋼管幅厚比およびパーリング鋼板の効果
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井土祥太, 田中照久, 塚純一
2. 発表標題 パ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9 狭小部設置対応型の押抜き試験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 , pp.1325-1326
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中照久, 井土祥太, 塚純一
2. 発表標題 鋼とコンクリート間の機械的ずれ止めの復元力特性に関する研究 押抜き試験による正負繰返し載荷と単調載荷の比較
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 , pp.1327-1328
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中照久
2. 発表標題 パーリングプレス鋼板による鋼材とコンクリートの機械的接合法の開発とその応用展開
3. 学会等名 福岡県建築鉄骨協議会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中照久
2. 発表標題 1. 異種構造接合部の課題と研究動向（2）機械的ずれ止めの研究動向
3. 学会等名 日本建築学会大会研究集会PD「鋼コンクリート構造接合部の設計および施工法の現状と今後の展開 - 合成構造配筋指針（仮）の作成を見据えて -」, 日本建築学会大会構造部門（SCCS）パネルディスカッション（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中照久
2. 発表標題 各種接合部一体化と施工合理化を実現するプレス鋼板活用技術
3. 学会等名 国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）「新技術説明会」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中照久
2. 発表標題 パーリングシアコネクタの特性とその活用技術
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

福岡大学研究者情報

<https://kenkyusha-db.fukuoka-u.ac.jp/search/detail?systemId=a25fedc42200f43f520e17560c007669&lang=ja>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	堺 純一 (Sakai Junichi) (30215587)	福岡大学・工学部・教授 (37111)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------