

令和 5 年 4 月 27 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04784

研究課題名（和文）柱RC梁S構造への傾斜型頭付きスタッドの合理的活用と構造性能評価

研究課題名（英文）Effective application and structural performance evaluation of inclined headed studs for reinforced concrete column-steel beam structures

研究代表者

貞末 和史（Sadase, Kazushi）

広島工業大学・工学部・教授

研究者番号：20401573

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）：頭付きスタッドのせん断剛性とせん断強度を増大できる傾斜スタッドを柱鉄筋コンクリート梁鉄骨構造の柱梁接合部および合成梁に適用した効果について、構造実験を行って検証した。実験の結果、合成梁に対しては傾斜スタッドの効果が認められたものの、柱梁接合部に対しては傾斜スタッドを用いることによる効果は限定的であった。しかしながら、実験と解析の結果を基に、応力伝達と抵抗機構について検討することによって、傾斜スタッドを効果的に適用するための条件について明らかにすることができ、さらに、傾斜スタッドを適用した柱鉄筋コンクリート梁鉄骨構造における柱梁接合部と合成スラブの終局耐力の評価式を構築することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉄骨とコンクリートで構成される建築構造の構造部材に、せん断剛性とせん断強度が大きい傾斜スタッドを用いれば、鉄骨とコンクリートを容易に剛結でき、鉄骨とコンクリートを組み合わせて用いることの合成効果・相乗効果を設計に反映できる合理的な構造の建物を造ることができる。「頭付きスタッドを傾斜させる」という簡単な改良だけで、頭付きスタッドの施工本数の軽減による省力効率化が図れ、建築物の生産性が向上する。さらに、鉄骨とコンクリートを組み合わせた構造体は建築・土木に関わらず多様にあり、本研究で得られた成果は鉄骨とコンクリートを剛結する接合法として幅広い展開が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Inclined headed studs have higher shear stiffness and strength. I proposed an appropriate arrangement and direction of inclined headed studs for the composite beam and beam-column connection of mixed structures composed reinforced concrete columns and steel beams. In this research, we confirmed the structural performance of mixed structures composed reinforced concrete columns and steel beams with inclined stud through the structural test. From the test results, it was shown that the composite beam with inclined headed studs clearly improves strength. In addition, I proposed an evaluation method of the yield strength and the ultimate strength of composite beam. However, the effect of inclined headed studs for beam-column connection was limited. I proposed an evaluation method of the ultimate strength of beam-column connection.

研究分野：建築構造

キーワード：鋼コンクリート合成構造 柱RC梁S構造 ずれ止め 頭付きスタッド 傾斜スタッド 柱梁接合部
合成梁 終局耐力

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

1950年代に米国で開発された頭付きスタッドは、建築および土木構造物における鉄骨とコンクリートのシアコネクタ(ずれ止め)として広く普及し、日本における鋼構造建築では合成梁や柱脚など鉄骨とコンクリートを結合する様々な部分で活用されている。国内では、従前、軸径 22φまでの頭付きスタッドの施工が認められていたが、2011年に JIS 規格が改定され、現在は 25φまでの施工が認められている。しかしながら、現行の設計基準・施工規則のほとんどは 22φまでのサイズが基本とされているため、作用する応力に対して細径の頭付きスタッドを用いて鉄骨とコンクリートを完全に一体化させるためには多量な本数が必要となり、施工面積によっては所要本数を配置させることが困難な場合がある。このような状況の中で、鉄骨母材に頭付きスタッドを垂直に溶接する在来型の頭付きスタッドに対して、鉄骨母材に頭付きスタッドを 45° 傾斜させて溶接することで頭付きスタッド 1 本当当たりのせん断剛性とせん断強度を大幅に増大できる新型接合法を考案し、構造実験による検証と FEM 解析による検討を基に、せん断強度の評価式を構築している。なお、先行研究によって、図 1 に示されるように平行傾斜型と交差傾斜型ではせん断強度の増大効果が異なることが明らかになっているため、実構造物へ活用するにあたり作用する応力を考慮した上でどのような構造へ傾斜スタッドを適用することが効果的か提示することが必要とされている。

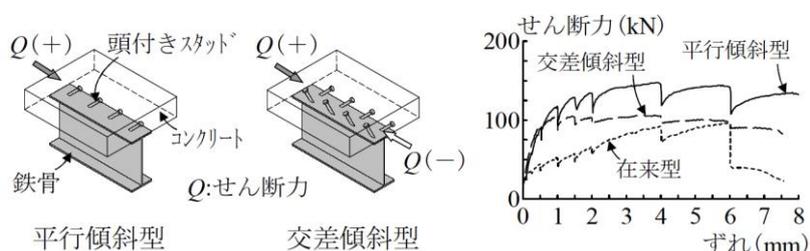


図 1 傾斜スタッド

2. 研究の目的

本研究では、傾斜型頭付きスタッドを合理的に活用できる構造として、近年、普及が進んでいる図 2 に示されるような柱を鉄筋コンクリート(RC)部材、梁を鉄骨(S)部材とする混合構造(以後、柱 RC 梁 S 構造と称す)を対象とし、特に、以下の点を明らかにして、耐力の評価式を構築することを目的とした。

- ① 柱梁接合部への適用効果 (図 2(a)参照)
- ② 合成梁への適用効果 (図 2(b)参照)
- ③ 合成梁を有する柱梁接合部の応力伝達機構と構造性能

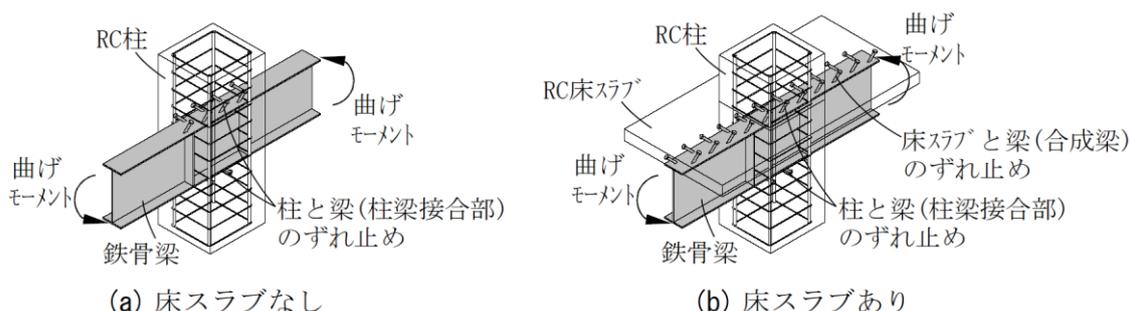


図 2 傾斜型頭付きスタッドを適用した柱 RC 梁 S 構造の柱梁接合部と合成梁

3. 研究の方法

(1) 傾斜スタッドを用いた合成梁の構造実験による性能確認

平行傾斜型の頭付きスタッドを有する合成梁の構造性能について調べるために、図 3 に示されるような合成梁試験体を製作し、図 4 に示されるような一方向荷重を加力する載荷実験を行った。試験体は 4 体であり、16φの頭付きスタッドを用いて H-350×175×7×11 の鉄骨梁と幅 600mm、厚さ 150mm の等厚鉄筋コンクリート(RC)床スラブを接合する合成梁とした。実験変数は頭付きスタッドの傾斜の有無と頭付きスタッドの長さとし、 n_p (1 スパンに配置された頭付きスタッドの本数)が n_f (完全合成梁の 1 スパンに必要な在来型頭付きスタッドの本数)を下回る不完全合成梁として計画した。なお、 $n_p/n_f=0.5$ として計画したが、材料試験結果を用いて計算した n_p/n_f は 0.43 となった。

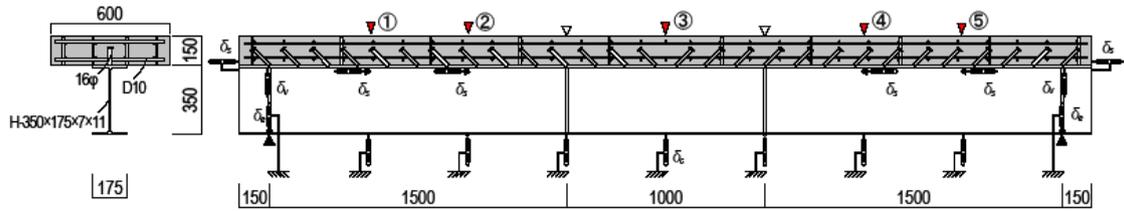


図 3 試験体形状

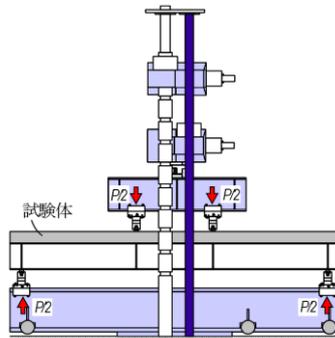


図 4 合成梁の構造実験

(2) 傾斜スタッドを用いた柱梁接合部の構造実験による性能確認

「柱梁接合部パネルゾーンに取り付ける傾斜型頭付きスタッドの適用効果」と「合成梁に取り付ける傾斜型頭付きスタッドの適用効果」について調べるために、図 5 に示されるような梁貫通形式の柱梁接合部試験体を 10 体製作し、図 6 に示されるような一定圧縮軸力(長期荷重)下で正負繰返し水平力(地震力)を加力する載荷実験を行なった。実験変数は頭付きスタッドの有無、頭付きスタッドの傾斜の有無および傾斜の向き、頭付きスタッドの本数、床スラブの有無、コンクリート強度とした。実験変数によって柱梁接合部の破壊形式がどのように変わるか明らかにし、傾斜型頭付きスタッドを取り付けることの効果について確認する。

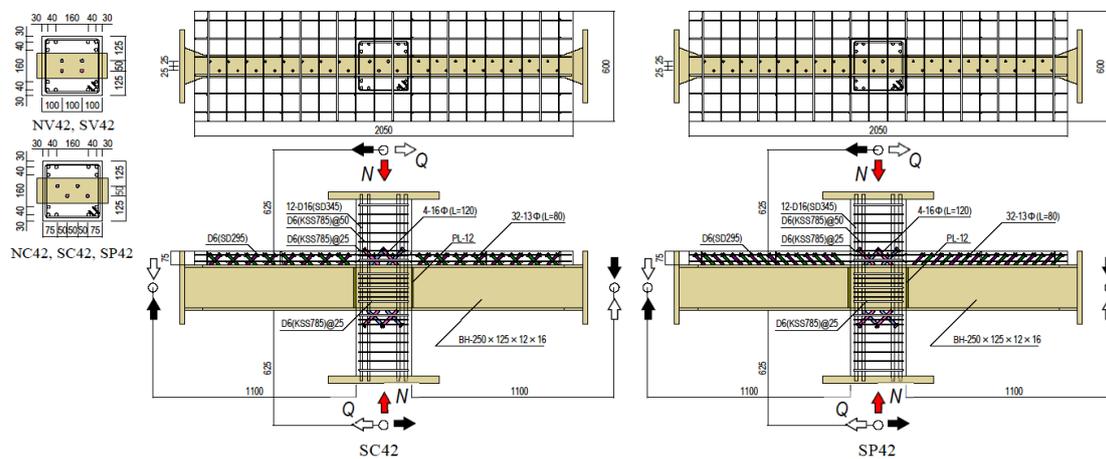


図 5 試験体形状

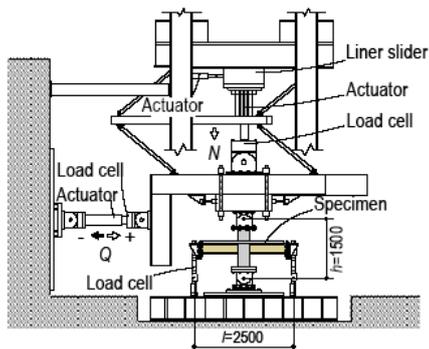


図 6 柱梁接合部の構造実験

4. 研究成果

(1) 傾斜スタッドを用いた合成梁の構造性能と耐力評価

荷重－変位関係、荷重－ずれ関係を図 7 に示す。変位は梁中央鉛直変位から梁端鉛直変位の平均値を差し引いた値とした。ずれは全ての計測値の平均値とした。○印は鉄骨上フランジ上面とコンクリート下面の固着力喪失開始点であり、加力中の破壊音とずれの開始によって確認した。□印は梁中央下フランジの引張降伏、■印はコンクリート上端の圧壊であり、ひずみゲージの計測値より判断した。△印は最大耐力である。

全試験体共に最大耐力に至る前に鉄骨梁と RC 床スラブの接合面ですれを生じており、完全合成梁としての終局耐力に達していないが、破壊状態としては梁中央等曲げ区間の破壊が卓越する破壊状態となった。また、鉛直スタッドの合成梁と比べて、傾斜スタッドの合成梁は、降伏耐力、最大耐力ともに大きくなった。特に、降伏耐力の増大が大きく、これは、傾斜スタッドでは小さなずれ領域でのせん断剛性が大きく、ずれを生じにくいことの影響であると考えられる。

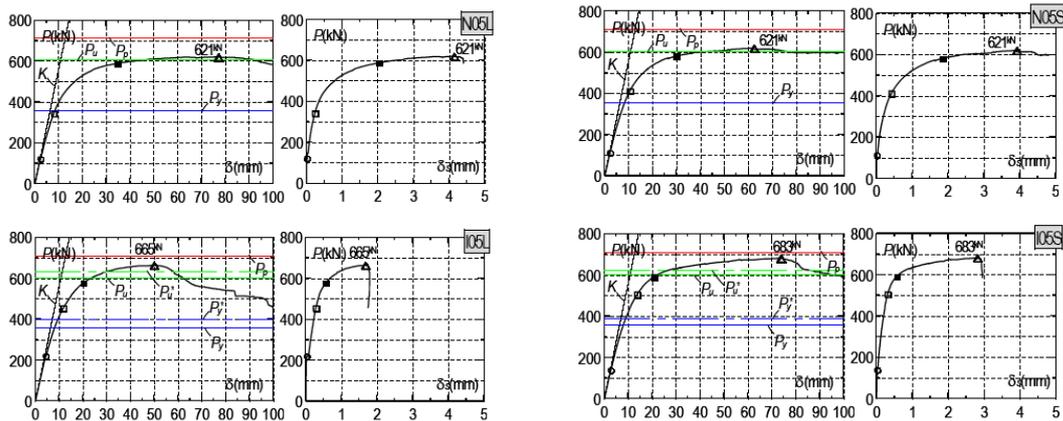


図 7 荷重－変位関係



写真 1 破壊状況

傾斜スタッドによるせん断耐力の増大効果を考慮した不完全合成梁の降伏耐力と終局耐力について検討した。傾斜スタッドのせん断耐力については、先行研究によって、頭付きスタッドの軸方向力とスタッド基部におけるコンクリートの支圧力による抵抗機構に基づく耐力評価式を提案しており、これを不完全合成梁の降伏耐力と終局耐力に関する既往の評価式に適用して評価した。

計算値と実験値の一覧を表 1 に示す。傾斜スタッドが用いられた合成梁の終局耐力については実験値と計算値の対応は良好であり、なおかつ安全側に評価できることが確認された。一方で、降伏耐力については、安全側には評価しているものの、垂直スタッドの場合と比較して傾斜スタッドの場合の計算値は実験値を過小評価している。

表 1 終局耐力

試験体	実験値		計算値		実験値/計算値	
	降伏耐力 (kN)	終局耐力 (kN)	降伏耐力 (kN)	終局耐力 (kN)	降伏耐力	終局耐力
N05L	344	621	358	605	0.96	1.03
I05L	455	665	401	634	1.13	1.05
N05S	413	621	358	605	1.15	1.03
I05S	507	683	391	624	1.30	1.09

(2) 傾斜スタッドを用いた柱梁接合部の構造性能と耐力評価

履歴曲線の一例を図 8、破壊状況の一例を写真 2 にそれぞれ示す。

コンクリート強度が小さい試験体については、全試験体共に、最大耐力に達した時に柱主筋と鉄骨は弾性域にあり、パネルゾーンの帯筋は降伏していた。最終破壊状はパネルゾーンのせん断ひび割れと鉄骨フランジ上下面位置のコンクリートの支圧破壊が顕著であり、内部パネルと外部パネルが一体的に挙動せずに終局耐力に達する破壊モードの様相を示していた。床スラブを有していない 3 体について比較すると、頭付きスタッドを設けることによる最大耐力の増大は確認されたが、頭付きスタッドの傾斜の有無による最大耐力の差は顕著ではなかった。また、床スラブを有している 2 体についても、傾斜スタッドを適用することの効果は明確ではなかった。

コンクリート強度が大きい試験体については、全試験体共に最大耐力時にフランジ上下部コンクリートの支圧破壊が見られたが、最大耐力時にパネル内のウェブはせん断降伏していた。外部パネルのコンクリートは斜めひび割れを生じていた。また、柱端主筋が降伏していた試験体があったが、破壊状況から判断して柱の破壊で最大耐力に達してはいないと思われる。梁鉄骨は未降伏であることが確認されており、床スラブの有無に関わらず全試験体共に柱梁接合部の破壊によって最大耐力に達したと考えられる。床スラブを有する場合は最大耐力が増大することが確認されたが、頭付きスタッドの傾斜の有無による最大耐力の差は顕著ではなかった。

傾斜スタッドを用いることによる効果は限定的であったが、床スラブを有する場合は柱梁接合部の終局耐力が増大することがわかった。

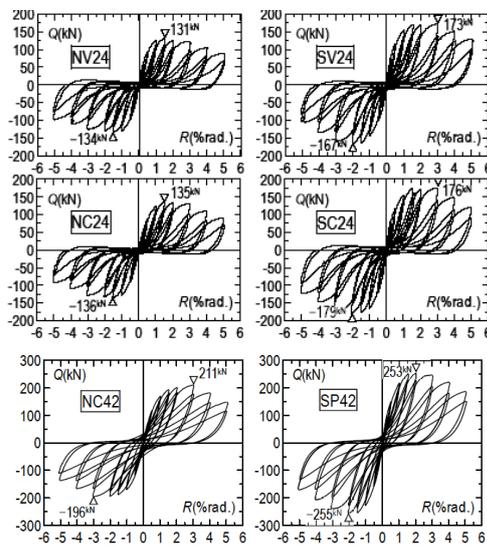


図 8 履歴曲線



Fc24 の実験



Fc42 の実験

写真 2 破壊状況

終局耐力の計算値 jMB_u と実験値 nM_{max} を図 9 に示す。●印は実験値 nM_{max} であり、梁端ロードセルによる計測値を用いて算出した接合部節点モーメントとした。 jMB_u は以下に示す(1)式を用いて算定した。

$$jMB_u = iMB + \min(oMT, oMar) + aQ_{stu} \cdot sD \quad (1)$$

ここで、 iMB は内部パネルの支圧耐力、 oMT は内部パネルと外部パネルとの間のねじり耐力、 $oMar$ は外部パネルのせん断耐力、 aQ_{stu} は傾斜の有無を考慮した頭付きスタッドのせん断耐力、 sD は梁鉄骨のせいである。

本論で用いた柱梁接合部内の頭付きスタッドの条件では、頭付きスタッドの傾斜の有無による頭付きスタッドのせん断強度の計算値の差は小さく、柱梁接合部の終局耐力の計算値の差も小さくなっており、実験結果と同様であった。床スラブを有していない試験体については計算値と実験値の対応は良好であることが確認された。床スラブを有している架構は床スラブを有していない架構と比較して最大耐力の増大が見られる。この理由は、床スラブを有することでパネル内フランジ上部のコンクリートが拘束されて支圧強度が増大することの影響などが考えられる。

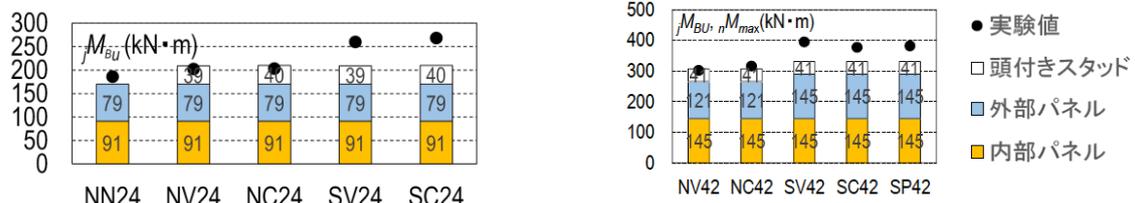


図 9 終局耐力

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 貞末和史, 尾籠秀樹	4. 巻 第14回
2. 論文標題 傾斜型頭付きスタッドを用いた合成梁の弾塑性性状に関する実験的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第14回復合・合成構造の活用に関するシンポジウム	6. 最初と最後の頁 4-1 - 4.8
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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 貞末和史
2. 発表標題 柱RC梁S構造への傾斜スタッドの適用効果に関する実験的研究
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

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

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