

頭付きスタッドを用いた押抜き試験のせん断耐力に関する文献研究

スラブ形状・破壊種別とスタッド軸径に着目した包括的かつ俯瞰による分析

A COMPREHENSIVE REVIEW OF THE LITERATURE ON SHEAR STRENGTH OF PUSH-OUT TESTS OF HEADED STUDS

Comprehensive and holistic analysis focusing on the type of slab, failure mode, and stud diameter

平間 ちひろ*, 石川 孝重**, 久木 章江***, ゲエン ミンハイ****

*Chihiro HIRAMA, Takashige ISHIKAWA, Akie HISAGI
and Minhhai NGUYEN*

We collected push-out test results from researches, and analyzed characteristics of shear strength of headed stud from 1002 results, using headed stud diameter, types of slab, and failure modes. As a result, the shear strength of headed stud in solid slab are substantially equal the products of headed stud tensile strength and total cross-sectional area of shaft component of headed stud. Some of the specimens having steel deck slab shows different tendency. The shear strength of more than 25mm diameter of headed stud in solid slab has a tendency that strength gradually decrease in a response to becoming larger diameter.

Keywords: Headed Stud, Push-out Test, Shear Strength, Large Diameter Headed Stud, Headed Stud Strength, Concrete Strength

頭付きスタッド, 押抜き試験, せん断耐力, 太径スタッド, スタッド強度, コンクリート強度

1. はじめに

現在多くの建築物や橋梁などで鉄骨梁とコンクリート床版を繋結する際に頭付きスタッド(以下、スタッドと称する)が使用される。2011年のJIS B 1198の改訂で、新たに軸径10mmと25mmが追加されたが、その力学的特性について十分な検証がなされているとはいえない。

一般に、スタッドのせん断耐力は押抜き試験によって検証されることが多いが、この場合は特定の条件下での実験になるため試験条件に結果が大きく影響を受けることになる。これまでに軸径10・25mmの実験は少ないものの、他の軸径での押抜き試験によるスタッドの力学的特性を研究している文献は多くある。そこで、既往の多くの押抜き試験に関する研究を整理し、各々の論文の試験結果を包括的かつ俯瞰することでスタッドのせん断耐力に関する分析を試みた。

本論文では、スタッドのせん断耐力を評価するのに適当な要素(スラブ形状や破壊種別)さらには相応しい評価軸などを検討する。その上で既往文献の軸径25mm以上のスタッドのせん断耐力に関する試験結果を改めて位置づけることで太径スタッドの耐力特性を明らかにすることが目的である。

2. 試験結果の整理

2.1 文献収集

スタッドを用いた押抜き試験を行い、せん断耐力が読み取れる試験結果を国内外の文献から収集した。結果、90編の文献から1391体の試験結果を得た。全試験結果をスラブ形状と破壊種別の組み合わせによって表1に分類した。

表1 収集した破壊種別とスラブ形状による試験体数

破壊種別 スラブ形状	スタッド 破断	コンクリート 破壊	両破壊	不明	合計
等厚スラブ	324	329	18	368	1039
デッキプレート付 スラブ	50	136	0	99	285
その他	9	57	1	0	67
合計	383	522	19	467	1391

破壊種別は物理的にスタッドが破断したか、コンクリートが破壊したかで分類している。文献にスタッド破断とコンクリート破壊が併記されているものは「両破壊」として区別した。スラブ形状のその他にはデッキプレートを想定したT字型スラブの試験体などが含

* 日本女子大学住居学科 学生

** 日本女子大学住居学科 教授・工博

*** 文化学園大学建築・インテリア学科 教授・博士(学術)

**** 宇都宮大学大学院工学研究科 助教・修士(工学)

Student, Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's University

Prof., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture and Interior Design, Bunka Gakuen Univ., Ph. D.

Assist. Prof., Graduate school of Engineering, Utsunomiya Univ., M. Eng.

まれる。

対象文献による多くは等厚スラブを有する試験体であり、不明を除くと、スタッド破断とコンクリート破壊がほぼ同数程度になった。一方デッキプレート付スラブを有する試験体は、不明を除くと、コンクリート破壊しているものが多い。ここでは、スラブ形状と破壊種別の組み合わせによるせん断耐力に注目して分析する。

2.2 分析対象

収集した 1391 体の結果には極端なスラブの拘束など、特殊な実験条件による結果がみられたため、H 形鋼の両フランジの外側にスタッドが垂直に溶接されており、スラブが両フランジに平行に付き、かつ試験時の荷重が H 形鋼の軸方向のみのもの、1002 体をこれ以降の分析対象^{1)~77)}とする。分析対象とした試験体の中には形状・実験方法・材料特性・実験状況など様々な場合が含まれている。特に一般的に耐力への影響が示唆されている実験条件などについては一つ一つ文献から読み取り分析した。しかし、全く同じ形状・実験者・実験方法・材料特性・実験状況下での結果であれば多少の影響はみられるものの、全体的な傾向としては全体のばらつきの中に埋没することを確認している。

最大荷重 $P_{max}(kN)$ (以降、せん断耐力と称する) とスタッド軸部の合計断面積 $sca(mm^2)$ との関係に着目し分析対象の 1002 体を表 1 のスラブ形状と破壊種別に分けて示したのが図 1 である。スラブ形状や破壊種別によってばらつきはあるものの、すべての試験結果の 1 次回帰の結果を同図に付記した。せん断耐力がスタッド軸部の合計断面積の増加につれて大きくなる傾向が表れている。

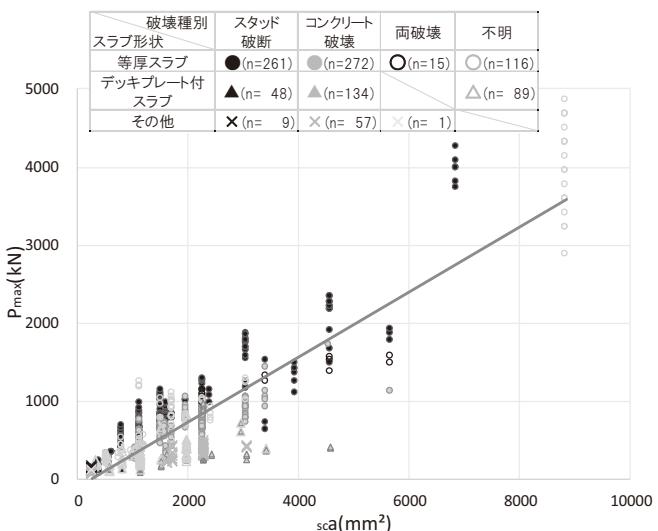


図 1 分析対象のスタッド軸部合計断面積によるせん断耐力^{1)~77)}

3. 等厚スラブを有する押抜き試験のせん断耐力

図 1 のうち、等厚スラブの場合で幾つかの要素（スタッドや鋼材・コンクリートの強度・剛性・寸法など）のせん断耐力への寄与が大きい組み合わせについて試行錯誤を重ねた。結果、図 1 の横軸のスタッド軸部合計断面積 $sca (mm^2)$ にさらにスタッドの引張強さ $F_s (N/mm^2)$ を乗じたスタッド引張強度 ($F_s \times sca(kN)$) とせん断耐力 $P_{max}(kN)$ の関係を図 2 に示す。図中にはそれぞれの破壊種別の原点

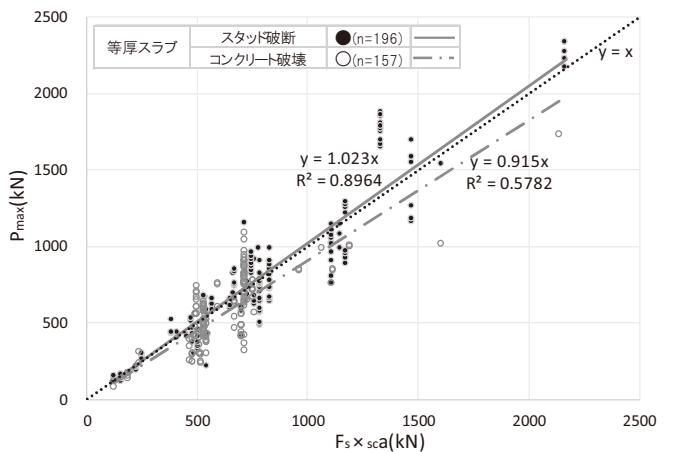


図 2 等厚スラブを有する押抜き試験のせん断耐力評価

を通る 1 次回帰式と決定係数を示した。

スタッドの引張強さ $F_s (N/mm^2)$ の記載が対象文献中にあるデータをもとに示した結果として、スタッド破断とコンクリート破壊の対象データはほぼ同数であり、全体的なばらつきや破壊種別によるせん断耐力の違いは小さい。また、破線でスタッド引張強度(x)に相当するせん断耐力(y)も付記したが、スタッド破壊した場合の結果は $y=1.023x$ となりこの破線に沿っていることが図からわかる。なお、コンクリート破壊の場合はスタッド破断の場合よりも傾きはやや小さくなるものの、 $y=0.915x$ とほぼ破線に沿ってせん断耐力が上昇している。

これについては松久らの文献¹⁴⁾が参考になる。松久らはスタッドの純せん断試験と押抜き試験をそれぞれ SS400 と 690N/mm²、780N/mm² の 3 種類の強度のスタッドを用いて行っている（図 3）。同図はすべてスタッドの軸部破断の結果である。

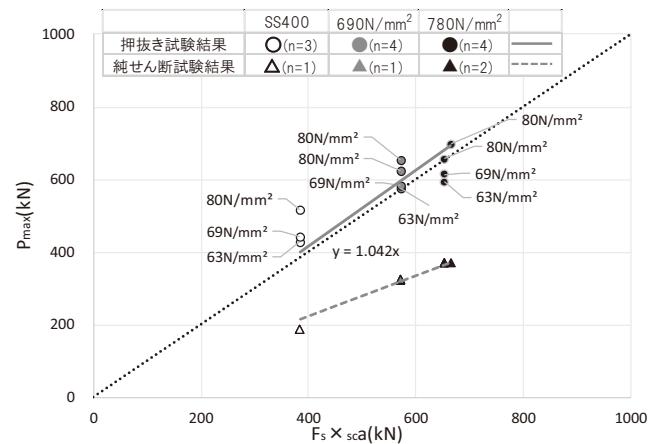


図 3 スタッドの純せん断試験結果と押抜き試験結果¹⁴⁾

図 3 では試験体数が少ないものの押抜き試験結果の原点を通る 1 次回帰($y=1.042x$)も図 2 の破線($y=x$)と同等であることがわかる。さらに、図 3 の純せん断試験結果の原点を通る 1 次回帰との比較では、押抜き試験結果がスタッドの純せん断耐力を上回っている。また各々の試験体のコンクリートの圧縮強度 $F_c(N/mm^2)$ を図中に付記したが、スタッドの強度が同じでもコンクリート強度が大きくなると

せん断耐力が大きくなっている。押抜き試験のせん断耐力は、スタッド基部周辺の鋼板やコンクリートとの相互作用の影響によって、スタッドの純せん断強度にコンクリート強度の相当分が付加された結果とも考えられる。それによりスタッド引張強度と押し抜き試験のせん断耐力が同等になったと推察される。

以上の分析と図2のデータのばらつきを考慮すれば、等厚スラブを有する場合のせん断耐力は、破壊種別にかかわらず、スタッド引張強度での評価($y=x$ ・破線)が実用的に妥当であると判断できる。

4. デッキプレート付スラブを有する押抜き試験のせん断耐力

ここではデッキプレート付スラブを有する試験のせん断耐力について考察する。合成梁等でのデッキプレートの使用では、図4のように、H形鋼のフランジ上でデッキプレートを切断する「切斷型」、H形鋼のフランジ上をデッキプレートが横断する「横断型」に分類される。さらに横断型にはデッキプレートに穴を開けてスタッドをフランジに直接溶接する「直打ち」と、デッキプレートを貫通して溶接する「貫通打ち」がある。

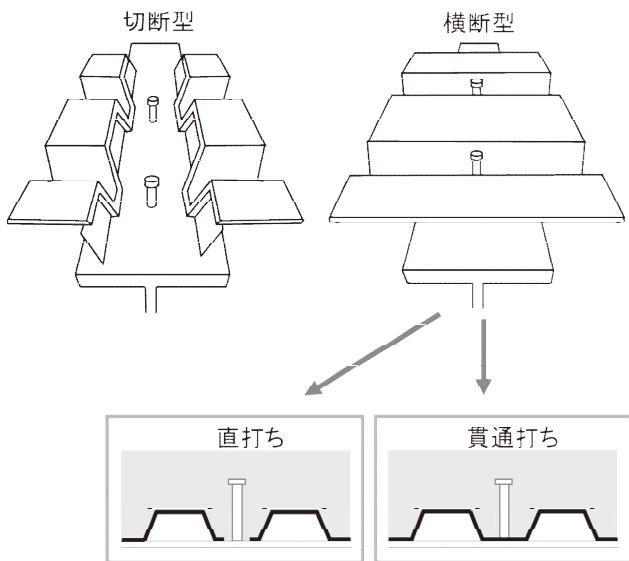


図4 スラブ形状

全体的に対象文献中のデッキプレートを有する試験結果の数が少なく、破壊種別ごとに分けて考察することは適切でない。そこで、軸径が25mm未満のスタッドでデッキプレート付スラブを有する押抜き試験のせん断耐力を破壊種別にかかわらず図5に示す。

それでも横断型で直打ちの結果が少なく回帰がとれないが、切斷型と、横断型で貫通打ちの結果についての1次回帰式とその決定係数を図中に付記した。同図には、図2の等厚スラブの評価($y=x$)も参照のため重ね書きした。切斷型の場合は、等厚スラブと比較してやや低いものの、試験結果のばらつきを考慮すればその差は小さく、等厚スラブの評価とほぼ同様のせん断耐力とみなすことができる。

一方で横断型の結果は等厚スラブや切斷型とは異なる傾向を示し、切斷型の結果と比べて全体的にせん断耐力が小さい。このことからデッキプレート付スラブを有する場合はスタッド周りのコンクリートボリュームがせん断耐力に影響を及ぼすことが示唆される。切斷

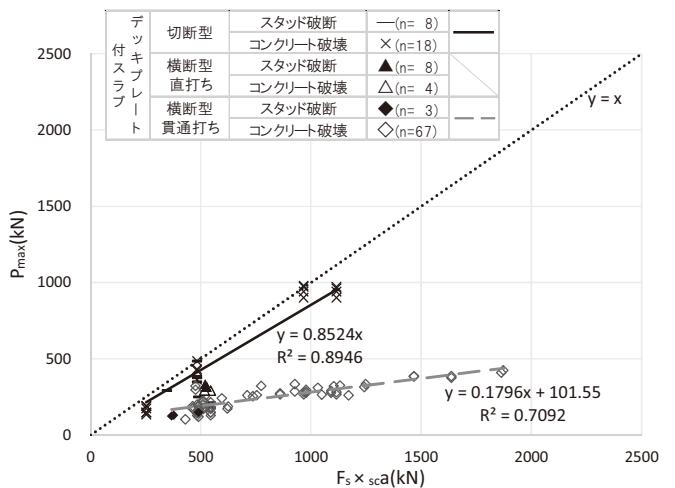


図5 デッキプレート付スラブを有する場合のせん断耐力評価

型の1次回帰では原点を指向するが、横断型で貫通打ちでは原点回帰の傾向なくスタッドの軸径や強度の影響が限定的であることがわかる。

5. 太径スタッドのせん断耐力

これまでの軸径25mm未満のスタッドの分析結果から、図6にスラブ形状と破壊種別によるせん断耐力評価についてまとめた。等厚スラブと切斷型の結果をまとめて、せん断耐力がスタッド引張強度に相当するものとして評価($y=x$)する。

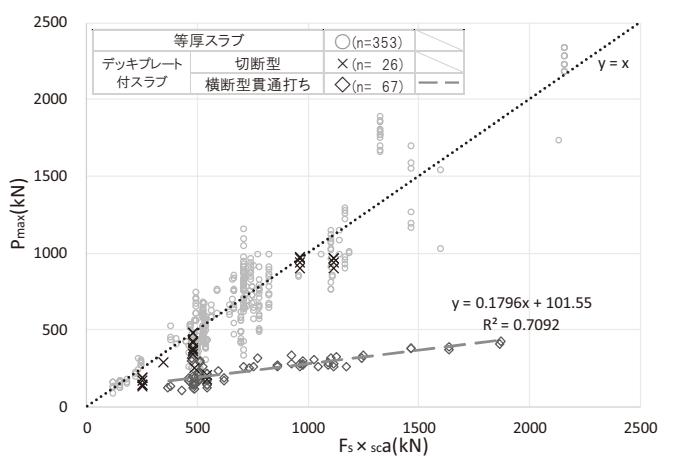


図6 軸径25mm未満のスタッドのせん断耐力評価

図6をもとに軸径が25mm以上のスタッドのせん断耐力に関する傾向を探る。対象文献のなかで軸径25mm以上のスタッドによる結果は、等厚スラブ、横断型で直打ちの2種類がある。そのうち、等厚スラブの結果について重ね書きしたもののが図7である。未だ軸径25mm以上の研究成果が十分ではないが、等厚スラブの軸径25mm以上の太径スタッドの場合は、スタッド引張強度($F_s \times sca$)による評価軸で両破壊種別ともにスタッド引張強度の増加に従ってせん断耐力が徐々に低下する傾向がある。そこで、軸径25mm以上のデータにもとづき原点を通る2次での回帰を試み、その結果を図

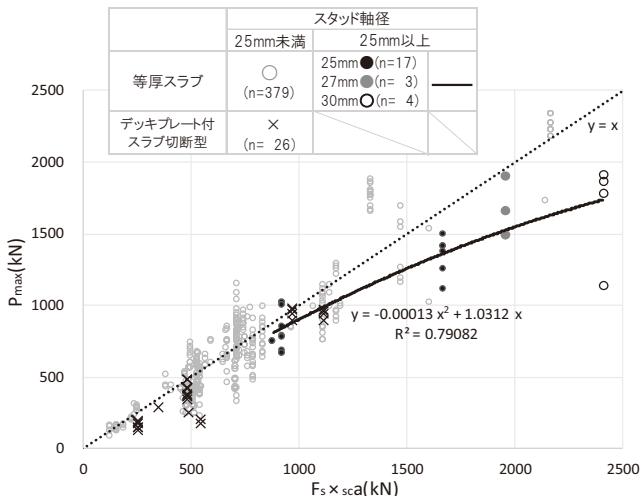


図7 等厚スラブを有する場合の太径スタッドのせん断耐力評価

中に示した。

一方、図8では横断型すべての軸径の直打ちの結果を軸径25mm未満で横断型の貫通打ちのせん断耐力評価(図6)に重ね書きした。2つの1次回帰は傾きがほぼ等しいことから、さらに横断型の結果すべてをまとめて1次回帰したものを実線で同図に示した。横断型の場合、スタッド直打ちのせん断耐力は等厚スラブの結果と比べて低いだけでなく、スタッドの軸径や材料強度のせん断耐力への寄与が小さいことがわかる。

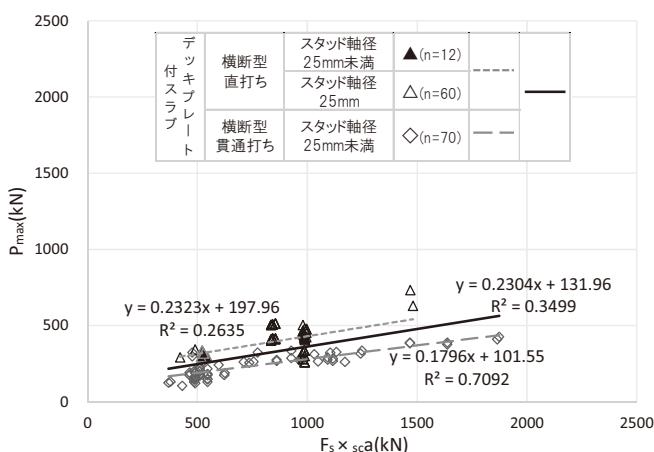


図8 横断型の押抜き試験のせん断耐力評価

6. おわりに

頭付きスタッドの押抜き試験を対象とした90編の文献から1391体の試験結果を得た。まず手始めに対象文献のなかのスタッド軸径25mm未満の結果からスラブ形状や破壊種別ごとの精査・分析を経て、多くの試験結果にもとづく汎用的なせん断耐力評価を導いた。さらに軸径25mm以上のスタッドの結果を重ねることで太径スタッドのせん断耐力に関する特性を探った。本論文で得られた知見を以下にまとめた。

- 1) 等厚スラブを有する押抜き試験のせん断耐力は、多くの試験結果の整理から破壊種別(スタッド破断かコンクリート破壊)に

かかわらず、スタッド引張強度(スタッドの引張強さと軸部合計断面積の積)をもとに評価できることを導いた。

- 2) デッキプレート付スラブを有する押抜き試験では、横断型より切断型の方が、全体的にせん断耐力が大きい。切断型でコンクリート破壊の場合は等厚スラブの場合と同様にスタッドの引張強度と軸部合計断面積の積とせん断耐力が比例関係にあるが、横断型で貫通打ちのコンクリート破壊ではそれらの影響が限定的であることを明らかにした。
- 3) 対象文献の太径スタッドの事例が多くないものの、等厚スラブを有する場合のせん断耐力はスタッド引張強度(スタッドの引張強さと軸部合計断面積の積)による評価では破壊種別にかかわらずせん断耐力が徐々に低下する傾向が認められた。

本研究は文献研究であり、収集した多くの試験結果を対象に分析しているところに特徴がある。デッキプレート付スラブの破壊種別による分類や軸径25mm以上のスタッドでの研究は未だ十分とは言えないものの、押抜き試験のせん断耐力としてスラブ形状とスタッド軸径によって表2のように評価した。

表2 スラブ形状とスタッド軸径によるせん断耐力(kN)評価

スラブ形状		スタッド軸径	
		25mm未満	25mm以上
等厚スラブ		$P_{max} = F_s \cdot sc\alpha$	$P_{max} = F_s \cdot sc\alpha - 0.00013 \cdot (F_s \cdot sc\alpha)^2$
デッキ プレート 付スラブ	横断型 直打ち	$P_{max} = 0.23 \cdot F_s \cdot sc\alpha + 130$	—
横断型 貫通打ち	直打ち		
貫通打ち	貫通打ち		—

本研究は(一社)スタッド協会の委員会活動の一環として行ったものであり、神戸大学大学院の榮真堂氏と、愛知工業大学大学院の鈴木洋平氏には文献収集等で協力いただいた。謝意を表する。

参考文献

- 1) 平野道勝、石川孝重：スタッドコネクタの押し抜き実験 STUD 9φ を用いた場合、日本建築学会研究報告集構造系、第52巻、pp.233～236、1981.7
- 2) 三井宜之、村上聖、江良弘樹、坂井廣道、中村守康：炭素繊維補強コンクリートとH型鋼の合成パネルの曲げ載荷試験(その3)、日本建築学会研究報告集構造系、第33巻、pp.381～384、1992.3
- 3) 山田稔、福田晴男：スタッドジベルの力学性状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系、pp.479～480、1971.9
- 4) 平野道典、友永久雄：合成梁に関する実験的研究 その1 押し抜き試験構造、日本建築学会大会学術講演梗概集構造系、pp.1507～1508、1972.9
- 5) 青柳司、内田直樹、和田章、武田寿一、江戸宏彰：合成ボリの実大試験 その1 実験計画・押し抜き試験、日本建築学会学術研究発表会梗概集構造系、pp.33～36、1973.3
- 6) 友永久雄、平野道勝：合成梁に関する実験的研究(その3・押し抜き試験'72)、日本建築学会大会学術講演梗概集構造系、pp.1551～1552、1973.10
- 7) 平野道勝、穂積秀雄：合成梁に関する実験的研究 その4 押し抜き試験'73、日本建築学会大会学術講演梗概集構造系、pp.1085～1086、1974.8
- 8) 平野道勝、穂積秀雄：引張力をうけるスラブに埋込まれたスタッドコネクタの押抜き試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.947～948、1975.8
- 9) 平野道勝、穂積秀雄、吉川精夫：PCスラブを鋼梁に接合するスタッド・コネクターの押抜き試験、日本建築学会大会学術講演梗概集構造系、pp.1293～1294、1977.10
- 10) 福田雄一：スタッドコネクターの押抜き試験、日本建築学会大会学術講演梗概集構造系、pp.1911～1912、1978.8

- 11) 厳詰煥, 井上一朗, 達岡静雄, 新居努: 高強度スタッドの力学的諸特性について, 予備実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造II, pp.1377~1378, 1989.9
- 12) 篠原敬治, 小林行雄, 植野高行: 鉄骨フレーム耐震補強壁の接合部に関する実験的研究 その1 スタッドと樹脂アンカーの押抜き試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造II, pp.705~706, 1990.9
- 13) 佐藤和広, 井上一朗, 尾形素臣: 太径・高強度スタッドシアコネクタの押抜き試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造II, pp.1677~1678, 1991.8
- 14) 松久勝也, 井上一朗, 尾形素臣: 高強度スタッドの開発研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造II, pp.1785~1786, 1992.8
- 15) 須戸智一, 井上一朗, 田川泰久, 松久勝也, 尾形素臣: 頭付きスタッドの押し抜き試験方法の標準化に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造III, pp.853~854, 1995.7
- 16) 駿河良司, 尾形素臣, 井上一朗, 田川泰久: 頭付きスタッド押抜き試験の標準化に関する実験 デッキ貫通溶接の場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造III, pp.855~856, 1995.7
- 17) 田川泰久, 駿河良司, 竹下和彦: デッキプレート付スラブに埋込まれた頭付スタッドの押抜き試験 その1. 鉄骨梁にスタッドを直に溶接した場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造III, pp.521~522, 1996.7
- 18) 駿河良司, 田川泰久, 竹下和彦: デッキプレート付スラブに埋込まれた頭付スタッドの押抜き試験 その2. スタッド1本をデッキ溝に貫通溶接した場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造III, pp.523~524, 1996.7
- 19) 竹下和彦, 田川泰久, 駿河良司: デッキプレート付スラブに埋込まれた頭付スタッドの押抜き試験 その3. 貫通溶接で高強度コンクリートの場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C 構造III, pp.525~526, 1996.7
- 20) 田川泰久, 堀田洋志, 中楚洋介, 浅田勇人: デッキプレートを用いた合成梁における頭付きスタッドの押抜き試験 太径スタッドの配置と突出長さの力学性状への影響 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造III, pp.855~856, 2012.9
- 21) 堀田洋志, 田川泰久, 加納和麻: デッキプレートを用いた合成梁における頭付きスタッドの押抜き試験 太径スタッドの突出長さによる変形形状への影響 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造III, pp.1181~1182, 2013.8
- 22) 加納和麻, 田川泰久, 山口千尋: デッキプレートを用いた合成梁における頭付きスタッドの押抜き試験 太径スタッドのせん断耐力評価に関する一提案 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造III, pp.899~900, 2014.9
- 23) 大谷恭弘, 石川孝重, 渡部健太, 佐々木一明, 稲本晃士, 内海祥人: 太径φ25頭付きスタッドの押抜きせん断実験と強度評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造III, pp.1375~1376, 2014.9
- 24) 牧野稔, 広沢雅也, 田畑貞和, 高田十治, 牧純一: スタッドコネクターの押し抜き試験について, 日本建築学会論文報告集 号外 学術講演要旨集, 第42巻, p.455, 1967.10
- 25) 平野道勝, 穂積秀雄, 吉川精夫, 友永久雄: 床鋼板つきコンクリートスラブに埋込まれたスタッドコネクタの押抜試験, 日本建築学会論文報告集, 第281号, pp.57~69, 1979.7
- 26) 平野道勝, 穂積秀雄, 伊藤学, 藤岡宏, 延命慶穂, 伊藤善三: 合成スラブ用デッキプレートの溝に埋め込まれたスタッドコネクタの押抜き試験, 日本建築学会構造系論文報告集, 第371号, pp.72~85, 1987.1
- 27) 安田聰, 道越真太郎, 小林裕, 成原弘之: 高温における頭付きスタッドのせん断耐力に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第73巻, 第630号, pp.1417~1423, 2008.8
- 28) 渡邊裕人, 中島章典, 橋本昌利: 頭付きスタッドの新しい押抜き試験方法の検証実験, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 第39巻, 第1号, I-47, 2012.
- 29) 赤尾親助, 栗田章光, 平城弘一: 頭付きスタッドの押抜き挙動に及ぼすコンクリートの打込み方向の影響, 土木学会論文集, 第380号, I-7, pp.311~320, 1987.4
- 30) 島弘, 渡部誠二: 頭付きスタッドのせん断力-ずれ関係の定式化, 土木学会論文集A, 第64巻, 第4号, pp.935~947, 2008.11
- 31) 今川雄亮, 大山理, 栗田章光: 火災時および火災後におけるスタッドの力学特性, 土木学会論文集A, 第65巻, 第2号, pp.384~394, 2009.5
- 32) 島弘: 頭付きスタッドのせん断力とずれ変位およびスタッド軸方向挙動との関係に及ぼす試験方法の影響, 土木学会論文集A1, 第67巻, 第2号, pp.307~319, 2011.
- 33) 大城壯司, 上條崇, 奥井義昭, 長井正嗣: プレキャスト床版連続合成桁のずれ止めに関する実験および解析, 土木学会論文集A1, 第68巻, 第2号, pp.331~346, 2012.
- 34) 平陽兵, 渡辺忠朋, 斎藤成彦, 溝江慶久, 島弘, 中島章典: 制御されたせん断力と軸方向圧縮力を受ける頭付きスタッドのせん断耐力とせん断力-ずれ変位関係, 土木学会論文集A1, 第70巻, 第5号, II-69-II-80, 2014.
- 35) 高橋良輔, 斎藤成彦, 中島章典, 島弘: 単純支持と開き止めを併用した押抜き試験における頭付きスタッドの耐荷挙動, 土木学会論文集A1, 第71巻, 第1号, pp.113~127, 2015.
- 36) 大久保宣人, 小松恵一, 石原靖弘, 栗田章光, 中島星佳: グループ配置したスタッドの押抜き試験, 土木学会第56回年次学術講演会梗概集, CS2-10, 2001.10
- 37) 岡田淳, 依田照彦: 軸径25mmの頭付きスタッドのせん断耐荷力に関する解析的検討, 土木学会第60回年次学術講演会梗概集, pp.879~880, 2005.9
- 38) 永尾和大, 中島章典, 渡瀬博, 原健悟: コンクリート床版箱抜き部とモルタル層を用いた頭付きスタッド押抜き試験体の押抜き性状, 土木学会第68回年次学術講演会梗概集, CS3-014, 2013.9
- 39) 大谷恭弘, 中島章典, 渡部健太, 佐々木一明, 稲本晃士, 内海祥人: 軸径25mm頭付きスタッドの押抜きせん断強度性状, 土木学会第69回年次学術講演会梗概集, CS3-07, 2014.9
- 40) 平城弘一, 松井繁之, 福本秀士: 頭付きスタッドの強度評価式の誘導-静的強度評価式-, 構造工学論文集, 35A, pp.1221~1232, 1989.3
- 41) 保坂鐵矢, 中村俊一, 西海健二: 鋼管桁の曲げ耐力およびRC床版とのずれ止めに関する実験的研究, 構造工学論文集, 43A, pp.1301~1312, 1997.3
- 42) 山本真気, 木部謙吾, 大山理, 大久保宣人, 栗田章光: 二重合成2主I桁橋の下コンクリート床版におけるスタッドの設計法, 構造工学論文集, 55A, pp.1102~1113, 2009.3
- 43) 中島章典, 岡崎康幸, グエンバニン: グループスタッドを配置したプレキャスト床版合成桁の詳細挙動に関する基礎実験, 構造工学論文集, 60A, pp.788~797, 2014.3
- 44) 平城弘一, 栗田章光, 赤尾親助: スタッドの押抜き試験挙動に及ぼす影響因子に関する基礎的研究, 第1回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 第13号, pp.81~89, 1986.9
- 45) 松井繁之, 平城弘一, 石崎茂: スタッドの非合成桁橋への適用に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 第19巻, 第2号, pp.1413~1418, 1997.6
- 46) 前田泰秀, 石崎茂, 平城弘一, 池尾良一: 高剛性を目指したスタッドの開発, コンクリート工学年次論文報告集, 第21巻, 第3号, pp.1087~1092, 1999.6
- 47) 笠井裕次, 佐藤宏治, 大下英吉, 河村哲男: 拘束効果を有する鋼コンクリート界面の付着性状に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 第21巻, 第3号, pp.1093~1098, 1999.6
- 48) 笠井裕次, 山野誠悦, 河村哲男, 大下英吉: スタッドを有する鋼コンクリート界面における付着性状の統一的モデルに関する研究, コンクリート工学年次論文集, 第22巻, 第3号, pp.1171~1176, 2000.6
- 49) 左東有次, 日野伸一, 太田俊昭, 田村一美: 超軽量コンクリートを用いた鋼・コンクリート合成部材の力学特性, コンクリート工学年次論文集, 第22巻, 第3号, pp.1177~1182, 2000.6
- 50) 笠井裕次, 河村哲男, 大下英吉: スタッド付き鋼・コンクリート界面の付着性状に及ぼす側圧効果の影響に関する研究, コンクリート工学論文集, 第13巻, 第2号, pp.1~13, 2002.5
- 51) 清水良平, 橋吉宏, 北川幸二, 平城弘一: 遅延合成スタッドのせん断及び引抜き特性, コンクリート工学年次論文集, 第25巻, 第2号, pp.1609~1614, 2003.
- 52) 澤大輔, 中村定明, 池尾良一, 平城弘一: スパイラル筋によって補強された高強度スタッドジベル接合部のせん断耐荷力, コンクリート工学年次論文集, 第26巻, 第2号, pp.1441~1446, 2004.6
- 53) 渡部誠二, 島弘: 頭付きスタッドのせん断力-ずれ変位関係に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, 第30巻, 第3号, pp.1333~1338, 2008.
- 54) 吉武謙二, 前孝一, 小川晃, 大崎雄作, 磐田和彦: 土留め壁のH形鋼芯材を本体利用した合成壁のシアコネクタに関する押抜き試験, 清水建設研究報告, 第82号, pp.31~41, 2005.10

- 55)三好栄二, 塚田昇平, 打越瑞昌, 藤木清弘, 南宏一: 傾斜スタッド開発, 鋼構造論文集, 第1巻, 第3号, pp.139~146, 1994.9
- 56)田川泰久, 平城弘一, 尾形素臣, 井上一朗, 松井繁之: 頭付きスタッドの押抜き試験法の標準化に関する検討, 鋼構造論文集, 第2巻, 第8号, pp.47~60, 1995.12
- 57)小林潔, 平城弘一, 祝賢治, 笠間慈弘: 拘束を受けるコンクリート内に埋め込まれたスタッドの静的強度に関する実験的研究, 鋼構造論文集, 第7巻, 第27号, pp.59~70, 2000.9
- 58)則松一揮, 田中照久, 堀純一, 河野昭彦: 繰返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, pp.20-1~20-8, 2013
- 59)日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状, JSSCテクニカルレポート, 第35巻, 1996.11
- 60)松井繁之: 頭付きスタッドの押抜き試験方法の標準化【案】の概要, JSSC 日本鋼構造協会機関誌, 第21巻, pp.35~36, 1996.7
- 61)稻葉洋平, 関田徹志, 桜本文敏: 構造用超軽量コンクリートの開発(その3)鉄筋ばかりとの合成効果, 鹿島技術研究所年報, 第49号, pp.101~106, 2001.9
- 62)新日本製鉄: スタッドジベル押抜試験報告(土木用鋼材研究会・上・(特集)), 製鉄研究, 第267・268号, pp.9128~9132, 1970.3
- 63)中原正人, 谷口望, 池田学, 福岡寛記: 合成桁のずれ止めのせん断耐力評価法, 鉄道総研報告, 第23巻, 第5号, pp.29~34, 2009.5
- 64)大久保宣人, 大山理, 夏秋義広, 石原靖弘: 鋼管および鋼板を用いたずれ止めの押し抜き試験, 片山技報, 第23巻, pp.18~21, 2004.
- 65)山本将士, 大久保宣人: 鋼管ジベルを用いたずれ止めの押し抜き試験, 片山技報, 第31巻, pp.17~22, 2012.
- 66)J. G. Olggaard, R. G. Slutter and J. W. Fisher: Shear strength of stud connectors in lightweight and normal-weight concrete, AISC Engineering Journal, pp.55-64, 1971.4
- 67)Li An and Krister Cederwall: Push-out Tests on Studs in High Strength and Normal Strength Concrete, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 36, No. 1, pp.15-29, 1996.
- 68)Chang-Su Shim, Pil-Goo Lee and Tae-Yang Yoon: Static behavior of large stud shear connectors, Journal of Engineering Structures, Vol.26, pp.1853~1860, 2004.
- 69)Dennis Lam: Capacities of headed stud shear connectors in composite steel beams with precast hollowcore slabs, Journal of Constructional Steel Research, Vol.63, pp.1160~1174, 2007.
- 70)M. H. Shen and K. F. Chung: An Investigation into Shear Resistances of Headed Shear Studs in Solid concrete slab with local aggregates in Hong Kong, The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, pp.1098-1105, 2011.
- 71)O. Dogan and T.M. Roberts: Fatigue performance and stiffness variation of stud connectors in steel-concrete-steel sandwich systems, Journal of Constructional Steel Research, Vol.70, pp.86-92, 2012.
- 72)Chen Xu, Kunitomo Sugiura, Chong Wu and Qingtian Su: Parametrical static analysis on group studs with typical push-out tests, Journal of Constructional Steel Research, Vol.72, pp.84-96, 2012.
- 73)Dongyan Xue, Yuqing Liu, Zhen Yu and Jun He: Static behavior of multi-stud shear connectors for steel-concrete composite bridge, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 74, pp.1-7, 2012.
- 74)Zhaofei Lin, Yuqing Liu and Jun He: Behavior of stud connectors under combined shear and tension loads, Journal of Engineering Structures, Vol.81, pp.362-376, 2014.
- 75)Xiaoqing Xu, Yuqing Liu and Jun He: Study on mechanical behavior of rubber-sleeved studs for steel and concrete composite structures, Construction and Building Materials, Vol.53, pp.533-546, 2014.
- 76)Qinghua Han, Yihong Wang, Jie Xua and Ying Xing: Static behavior of stud shear connectors in elastic concrete-steel composite beams, Journal of Constructional Steel Research, Vol.113, pp.115-126, 2015.
- 77)Jee-Sang Kim, Jongwon Kwark, Changbin Joh, Sung-Won Yoo and Kyoung-Chan Lee: Headed stud shear connector for thin ultrahigh-performance concrete bridge deck, Journal of Constructional Steel Research, Vol.108, pp.23-30, 2015.

A COMPREHENSIVE REVIEW OF THE LITERATURE ON SHEAR STRENGTH OF PUSH-OUT TESTS OF HEADED STUDS

Comprehensive and holistic analysis focusing on the type of slab, failure mode, and stud diameter

*Chihiro HIRAMA *, Takashige ISHIKAWA **, Akie HISAGI ***
and Minhhai NGUYEN*****

* Student, Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's University

** Prof., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's Univ., Dr. Eng.

*** Prof., Dept. of Architecture and Interior Design, Bunka Gakuen Univ., Ph. D.

**** Assist. Prof., Graduate school of Engineering, Utsunomiya Univ., M. Eng.

The connection between a steel beam and a concrete slab in the composite beams of many buildings or bridges is generally manufactured with headed studs. In the revised Japanese Industrial Standards in 2011, headed studs of diameters of 10 mm and 25 mm were added. However, a consideration of their mechanical properties is not sufficient.

The shear strength of headed studs is typically investigated via push-out tests; however, these tests are carried out under specific conditions, and the results of these tests are greatly affected by the test conditions. There have been only few studies on headed studs with diameters of 10 mm and 25 mm; however, there have been many studies on the mechanical properties of headed studs of other diameters, using push-out tests. Therefore, we collected test results on the shear strength that have been obtained from previous studies from other countries that performed push-out tests using headed studs. In this study, we define the subject of analysis, and attempted to discuss the tendency of shear strength comprehensively by investigating experimental data obtained through 1002 push-out test results.

We divide it into failure mode and type of slab; we focus on the tendency of the shear strength from the test results.

The shear strength of a headed stud in a solid slab was approximately equal to the product of the headed stud tensile strength and total cross-sectional area of the shaft component of the headed stud. The shear strength value is approximated because the results of the push-out test are influenced by the pure shear strength as well as the concrete strength. This tendency is especially prominent in case of failure of the headed stud. A similar tendency, although with variations, is observed in case of failure of concrete. The shear strength of a headed stud in a slab with a steel deck cut on the flange also shows a trend similar to the shear strength of a headed stud in a solid slab.

On the other hand, the shear strength of a headed stud in a slab with a steel deck across the flange showed a different tendency. It is less than the shear strength of a headed stud in a solid slab. Although specimens having a slab with a steel deck across the flange can be classified into specimens having a headed stud welded through a steel deck and specimens having a headed stud welded to the flange directly, their shear strength tendency was almost equal.

The shear strength of a headed stud with a diameter more than 25 mm in a solid slab gradually decreased with increasing diameter in both the failure modes.

Through a regression analysis of the test results, we classified the results into three types. The first is the test result for a headed stud having a diameter less than 25 mm in a solid slab or slab with a steel deck cut on the flange. The second is the test result for a headed stud having a diameter of more than 25 mm in a solid slab. The third is the test result for a headed stud having a diameter of more than 25 mm with a steel deck across the flange; the test result for a headed stud having a diameter of more than 25 mm and welded through a steel deck is not included in the evaluation. Therefore, three expressions are listed in Table. 2 using the shear strength and total cross-sectional area of the shaft component of a headed stud and headed stud tensile strength.

(2016年7月23日原稿受理, 2017年2月3日採用決定)