

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

A comprehensive review of literature on the shear strength of push-out tests of headed studs

住居学科 平間 ちひろ 石川 孝重
Dept. of Housing and Architecture Chihiro Hiramata Takashige Ishikawa

抄 録 一般に合成梁で使用される頭付きスタッドは 2011 年の JIS 規格の改訂で、新たに軸径 10・25mm が追加されたが、その力学的特性は十分に検討がなされているとはいえない。スタッドのせん断耐力を検証する押抜き試験では特定の条件下での実験と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。そこで、92 編の既往文献から 1393 体のスタッドを用いた押抜き試験結果を収集し、うち本研究の分析対象とする 1155 体の結果より包括的に俯瞰して全体的なせん断耐力に関する傾向を分析することを試みた。本論文ではスラブ形状と破壊種別によって分類することで、スタッドのせん断耐力評価に相応しい評価軸を新たに導き、結論としてスラブ形状ごとのせん断耐力評価式を提示するに至った。さらに太径スタッドのせん断耐力についても言及している。

キーワード：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

Abstract Headed studs are generally used in composite beams. Although headed studs of diameters of 10 mm and 25 mm were newly added to the revised Japanese Industrial Standards in 2011, their mechanical properties have not been examined thoroughly. The shear strength of headed studs are typically investigated via push-out tests; however, these tests are carried out under specific conditions and the results are greatly affected by the test conditions. This study attempts to discuss the tendency of shear strength of headed studs comprehensively by investigating experimental data obtained through 1393 push-out test results from 92 studies. In this study, we classify them into type of slab and failure mode. In addition, we lead a new appropriate evaluation axis for the shear strength of headed studs, and present the shear strength evaluation formula. Furthermore, we also mention the shear strength of large diameter headed stud.

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

1. はじめに

現在多くの建築物や橋梁などの合成梁では、鉄骨梁とコンクリート床版を緊結する際に頭付きスタッド（以下、スタッドと称する）が多く使用される。スタッドの軸径は 13・16・19・22mm が一般的だったが、2011 年の JIS 規格の改訂で新たに軸径 10mm と軸径 25mm が追加された。しかし、その力学的特性について十分に検討がなされていないのが現状である。

一般に、スタッドのせん断耐力は押抜き試験によることが多いが、この場合、結果は実験条件や材料

特性などに大きく影響を受けるため特定の条件下での検討となる。これまでに軸径 10mm や軸径 25mm についての研究は少ないものの、押抜き試験を行うことで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、国内外の既往の押抜き試験に関する文献を調査し、個々の論文の試験結果を実験条件の違いをふまえつつ結果の全体的傾向から包括的に俯瞰して分析することを試みた。その際もちろんそれぞれの実験条件や材料特性について逐一文献に戻り検証している。

本論文では多数の結果の包括的な分析によりスタッドのせん断耐力の評価に、より相応しい評価軸

を試行錯誤のうえ導いた。その上で軸径25mm以上の太径スタッドのせん断耐力特性について着目し、その傾向について分析する。結論としてスラブ形状ごとのせん断耐力評価式を提示するとともに、太径スタッドのせん断耐力についても言及する。

2. 文献による試験結果の整理

スタッドを用いた押抜き試験を行い、結果としてせん断耐力値が読み取れる国内外の文献を調査し収集した。92編の文献¹⁻⁹²⁾から1393体の試験結果が得られた。

これらの実験方法や実験条件について詳細に調査したところ、特にコンクリートスラブの形状と、結果としてスタッドが破断したのか、コンクリートが破壊したのか、またはそのどちらにもあてはまる(両破壊)のかによってせん断耐力の傾向が異なる可能性が示唆された。

コンクリートスラブの形状に着目すると、等厚スラブ、デッキプレート付スラブ、デッキプレートを想定したT字型スラブ、キーストンプレート付スラブなどがあった。デッキプレート付スラブは、図1のようにH型鋼のフランジ上でデッキプレートを切断している「切断型」と、H型鋼のフランジ上でデッキプレートが横断している「横断型」に分類できる。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、デッキプレートに穴を開けずデッキプレートを貫通して溶接する「貫通打ち」がある。

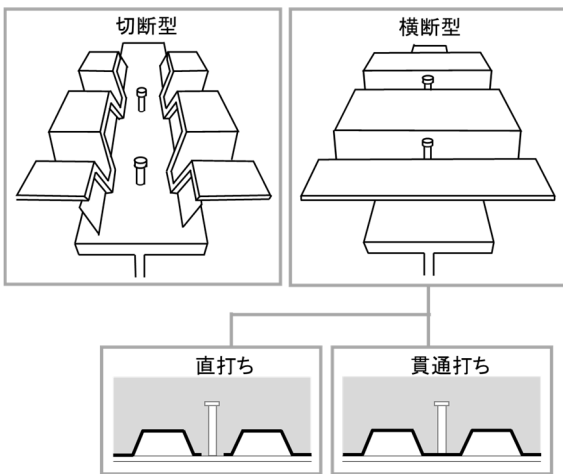


図1 デッキプレート付スラブの形状

上記をもとに、スラブ形状と破壊種別で収集した結果を分類し、試験体数をまとめると表1のようになる。

表1 スラブ形状と破壊種別での分類

スラブ形状		破壊種別				合計		
		スタッド破断	コンクリート破壊	両破壊	不明			
等厚スラブ		324	329	18	370	1041		
付 ブ レ ッ ト	デ ッキ プ レ ー ト キ ヤ キ	切断型	8	18	—	4	30	
		横断型	貫通打ち	5	68	—	39	112
			直打ち	37	35	—	47	119
		打ち方不明	—	15	—	9	24	
T字型スラブ		—	49	—	—	49		
キーストンプレート付スラブ		9	8	1	—	18		
合計		383	522	19	469	1393		

3. 等厚スラブの場合のせん断耐力

3.1 評価軸の検討

これらのうちまずは等厚スラブを有する場合について、スラブ形状や破壊種別によるせん断耐力特性を考察する。せん断耐力に対して相関性の高い評価軸を検討するにあたり、等厚スラブを有する結果のうち文献から数値として多く読み取れた実験条件を表2に示す。読み取れた試験体数を付記した。

表2 対象文献から読み取れる実験条件

実験条件		記号	単位	試験体数
スタ ッ ド	軸部断面積	a	mm ²	814
	軸径	d	mm	814
	高さ	H	mm	787
	本数	N	本	814
コ ン ク リ ー ト	引張強さ	F _s	N/mm ²	582
	圧縮強度	F _c	N/mm ²	814
	ヤング係数	E _c	kN/mm ²	678
	厚さ	x	mm	777
	長さ	y	mm	717
	幅	z	mm	738

表2の実験条件とさらにこれらの組み合わせに対する押抜き試験の最大荷重 P_{max}(kN) (以降、せん断耐力と称する)の関係を、破壊種別によって検証した。その一部を図2に例示する。そのうちデータ数が十分にあるスタッド破断とコンクリート破壊の結果について、それぞれ2次回帰と決定係数を付記した。

決定係数に着目すると、スタッド軸部の合計断面積 s_{ca}(mm²)を横軸とした場合は決定係数がスタッ

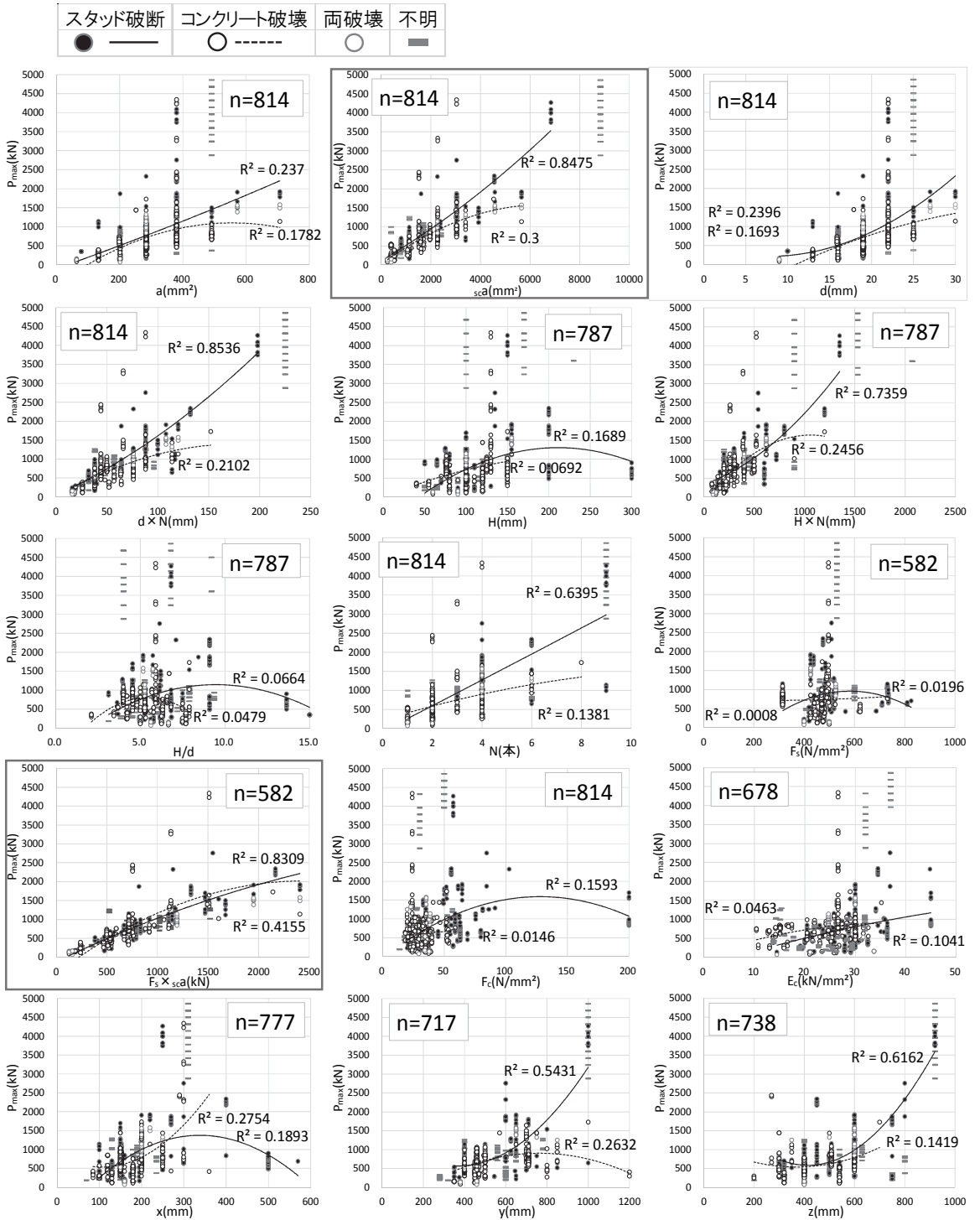


図2 等厚スラブの評価軸の検討

ド破断で0.85, コンクリート破壊で0.30となった。加えて s_{ca} にスタッド材の引張強さ $F_s(N/mm^2)$ を掛け合わせた値を横軸にとった場合はスタッド破断で0.83, コンクリート破壊で0.42となる。コンクリート破壊の場合の決定係数はスタッド破断に比して全体的に小さいものの, この2つを評価軸とした場合の決定係数が他の条件あるいはそれらの組み合わせに比べて明らかに高い。

さらに上記の2つの評価軸を比較すると, s_{ca} 軸より $F_s \times s_{ca}$ 軸の方が2次回帰でありながら原点指向の直線性の傾向が強いことがわかる。これらの総合的な知見から, $F_s \times s_{ca}$ を等厚スラブを有するスタッドのせん断耐力の評価軸に設定するとともに, 以降は原点を通る1次回帰をベースにして考察を進める。

3.2 分析対象の整理

収集結果には特殊な試験方法を用いたものが含まれており, 一部の文献でせん断耐力に影響があると明示されている条件もある。その例を図3に示し, せん断耐力を図4で表す。

1) 圧縮・引張の側圧⁶⁰⁾他

側方から圧縮力をかけながら押抜き試験を行う側圧圧縮は側方の圧縮力が大きいほど, せん断耐力が大きくなる。一方, 側方から引張力をかける場合は多数の結果のばらつき内に位置する。

2) 周辺拘束・両側辺拘束⁷¹⁾他

スラブの4面を鋼材で覆った周辺拘束と, スラブをH型鋼の両フランジ面とウェブ面の3面

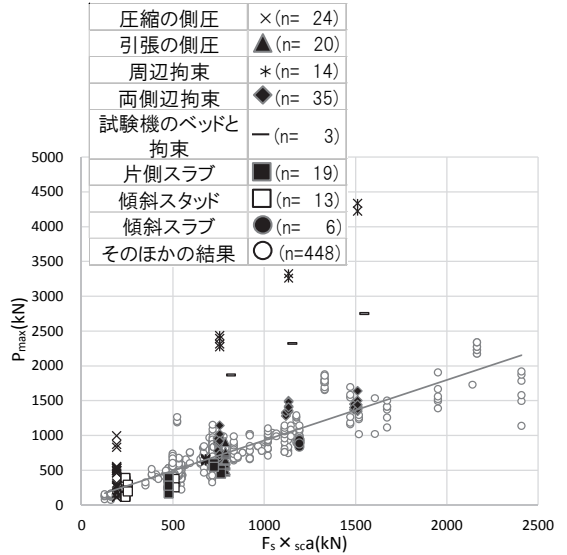


図4 等厚スラブの特殊条件によるせん断耐力

で両側辺拘束した結果はせん断耐力が大きくなる。さらに両側辺拘束よりも周辺拘束のせん断耐力の方が大きいことから拘束面積が大きい方がせん断耐力は大きくなる。

3) 試験体ベッドと拘束⁸⁴⁾

スラブと試験機のベッドをスタッドで拘束したものは拘束力が強く, せん断耐力も大きい。

4) 片側スラブ³⁸⁾他

片側のみスラブの場合, 多くの中に結果が位置付けられる。また, スラブを片側だけにして実施している試験では, スタッドまたは試験体を

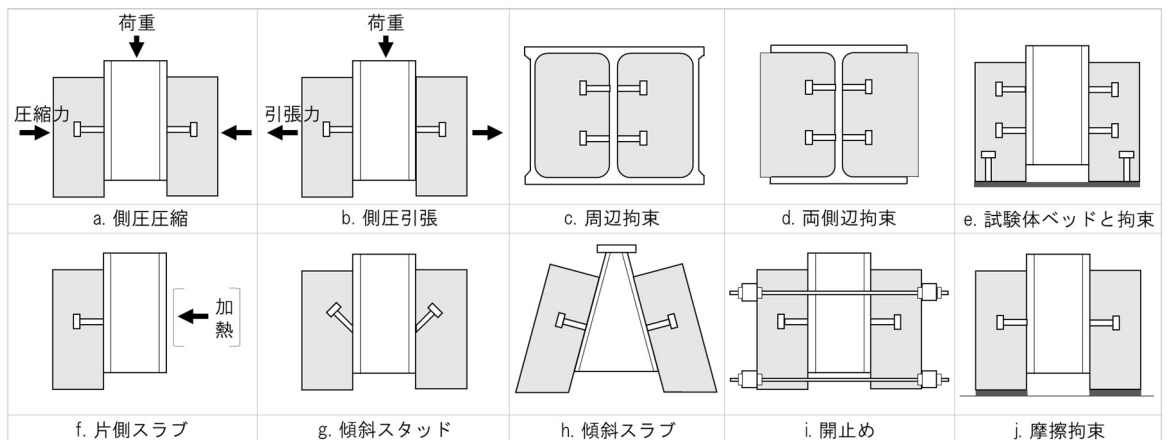


図3 特殊条件による試験体例

最高 700℃ 程度で加熱しながら押抜き試験を行ったものがある。その場合はせん断耐力が若干低下する。

5) 傾斜スタッド^{69) 他}

スタッドを H 型鋼のフランジ面に対し、上下方向どちらにも約 30~45° 傾斜させて溶接した結果は、全体に結果がばらつくなかでは特異な傾向は見られなかった。しかし、スタッドを上側（試験機ベッド反対側）に傾けた場合せん断耐力は多少高くなり、下側に傾けた場合多少低くなる傾向がみられる。

6) 傾斜スラブ⁸⁵⁾

スラブを試験機のベッドに対して 15~20° 程度傾斜させた場合も、特異な傾向はみられなかった。

7) 開止め^{46) 他}

試験の際にスラブ下部が外側に開かないように設けた開止めバンドや開止めボルトの効果を図 5 で検証する。

スラブ形状や破壊種別によっては開止めの効果があるとする文献があったが、多くの結果を俯瞰してみた場合、スラブ形状、破壊種別において若干の差異はあるものの、開止めの有無によるせん断耐力への影響は大きくないと判断できる。

8) 摩擦拘束^{43) 他}

試験体の試験機ベッドへの設置を石膏やセメントペースト、シリコンオイル、テフロンシートなどで拘束している場合、結果のばらつきが小さくなるとした文献があったが、本研究対象をまとめた図 5 によれば、多数のプロットに埋もれる結果となった。

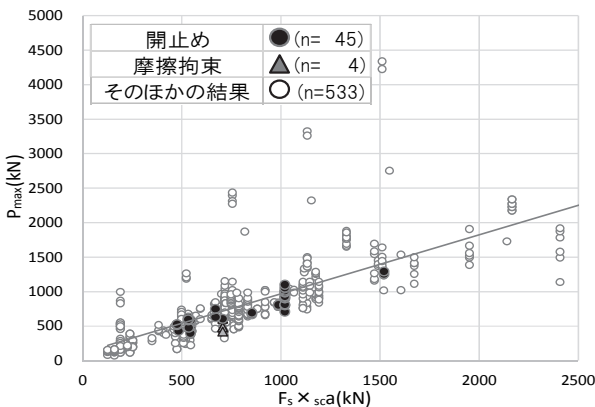


図 5 開止め・摩擦拘束の試験結果

以上述べたように、対象文献の中には特殊な条件下での実験であったり、飛び値になっているものがある。試験方法の汎用性やそのせん断耐力への影響などを精査し、総合的に分析対象を検討した結果、上記 1) ~ 6) は以降分析対象外とした。

ここで以降の分析対象を総括すると、以下のようになり、試験体数は 448 体となった。

- ① 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いるもの
- ② スラブが両フランジに平行に付いているもの
- ③ 試験時の荷重が H 形鋼の軸方向のみに作用しているもの

3.3 スタッド軸径 22mm 以下のせん断耐力

ここまでは軸径が 22mm 以下の結果も 25mm 以上の太径スタッドの結果も区別せず包含して検討してきたが、ここではスタッド軸径 22mm 以下に着目する。スタッド破断もしくはコンクリート破壊となった結果を抽出する（図 6）。それぞれ原点指向が確認できたため、原点を通る 1 次回帰の評価式とその決定係数を図中に付記した。

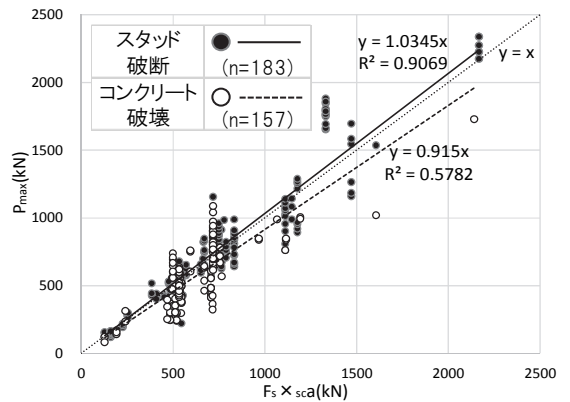


図 6 スタッド軸径 22mm 以下の等厚スラブ

図 6 にせん断耐力 = $F_s \times s_c a$ （図中に $y = x$ と表記）を破線で示したが、スタッド破断の回帰と近似する結果となった。コンクリート破壊についてもばらつきはあるものの近似する傾向がみられた。

等厚スラブのせん断耐力がスタッド材の引張強さとはほぼ比例関係にあることについて、押抜き試験体と同じ材料を用いてコンクリートを設置せずに純せん断試験を行っている松久らの文献¹⁷⁾が参考になる。SS400、70kg 級、80kg 級の 3 種類のスタッドと

SM490A, SM570Q の 2 種類の鉄骨を用いた押抜き試験 11 体と純せん断試験 5 体についての試験結果を図 7 に示す。

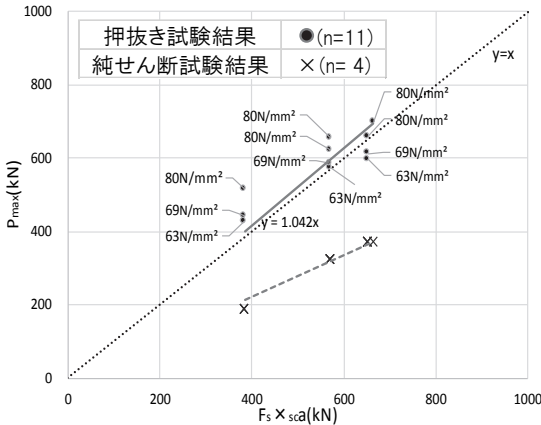


図 7 純せん断試験結果と押抜き試験結果

同図はすべてスタッド破断の結果である。図中に原点を指定した 1 次回帰と決定係数、さらに押抜き試験で使用したコンクリートの圧縮強度を付記した。それぞれの強度のコンクリートを有する押抜き試験結果は、純せん断試験結果を上回り、コンクリート圧縮強度の増加に従ってせん断耐力が大きくなっていく傾向が認められる。よって、押抜き試験のせん断耐力は純せん断試験の耐力にコンクリート強度の相当分が付加された結果であると考えられる。さらに、松久らの文献¹⁷⁾でも押抜き試験結果は同図に破線で示した $y=x$ とほぼ同等であることが確認できる。

3.4 太径スタッドのせん断耐力

ここで軸径 25mm 以上の太径スタッドに着目する。軸径 25mm 以上の場合、太径になるに従って、徐々にせん断耐力が低下する傾向がみられた。よって原点を指定した 2 次で回帰をとり図 8 に示した。

4. デッキプレート付スラブの場合のせん断耐力

4.1 評価軸の検討

デッキプレート付スラブを有する結果に着目する。等厚スラブと同様に表 2 の実験条件を横軸とした図の一部を図 9 に示した。データ数が十分なもののみ 1 次回帰をとった。

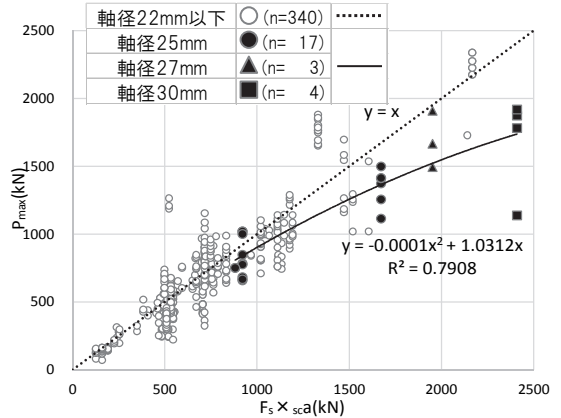


図 8 スタッド軸径 25mm 以上の等厚スラブ

デッキプレート付スラブは切断型を除いて、どの実験条件に対しても影響は限定的であった。せん断耐力との相関性、プロットの集約・分散など総合的な検討を経て、デッキプレート付スラブの場合も同様に sca 軸と $F_s \times sca$ 軸がせん断耐力の評価軸に適していることがわかる。ここでは、等厚スラブの場合と同様に $F_s \times sca$ を評価軸としてデッキプレート付スラブの場合のせん断耐力の検討を進める。

4.2 分析対象の整理

図 4 より特殊な条件下での試験結果を検証すると、片側スラブで加熱しながら試験を行ったものと、開止め付スラブがあった (図 10)。等厚スラブの場合と同様に片側スラブの結果を分析対象外とし、341 体の結果を用いて以降分析する。

4.3 スタッド軸径 22mm 以下のせん断耐力

スタッド軸径 22mm 以下の結果に着目する。スタッド破断またはコンクリート破壊の結果を図 11 に示したが、デッキプレート付スラブはプロットがあるところにかたまったり、データ数が少ないために、適切な回帰や決定係数が導けない場合が多い。そのため、破壊種別をまとめるなどして回帰をとった。

同図に $y=x$ とそれぞれの 1 次回帰、決定係数を参考に付記した。切断型は等厚スラブと似た傾向を示したため、原点を通る回帰とした。また、デッキプレート付スラブの場合は、コンクリート破壊となる割合が等厚スラブと比して多い。特に貫通打ちについては、スタッド周りのコンクリートの充填量が

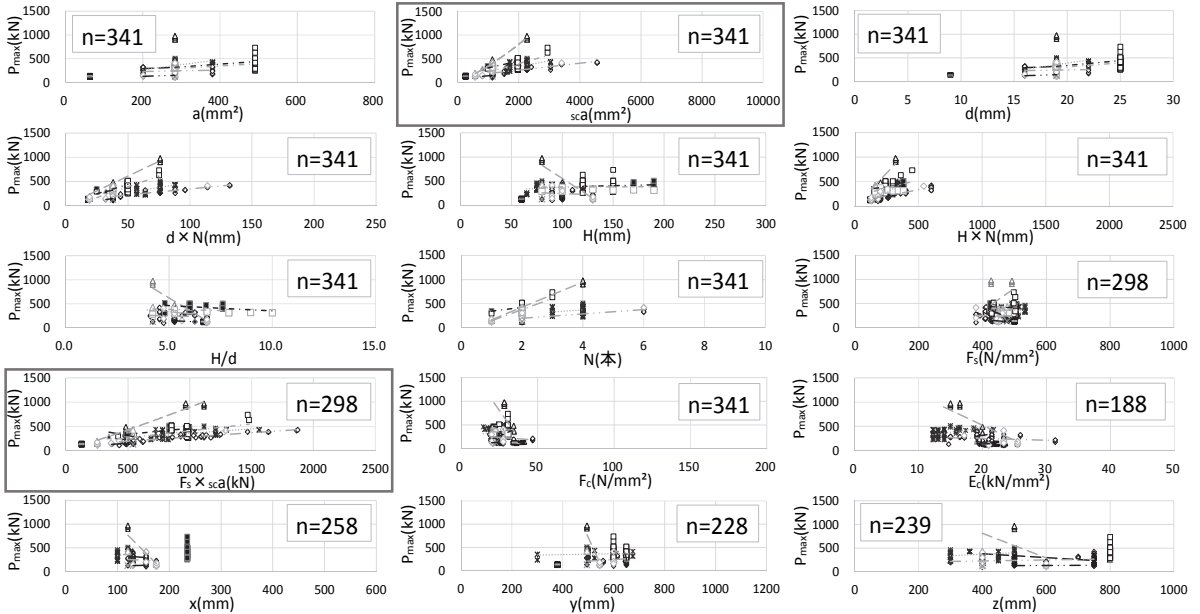


図9 デッキプレート付スラブの評価軸の検討

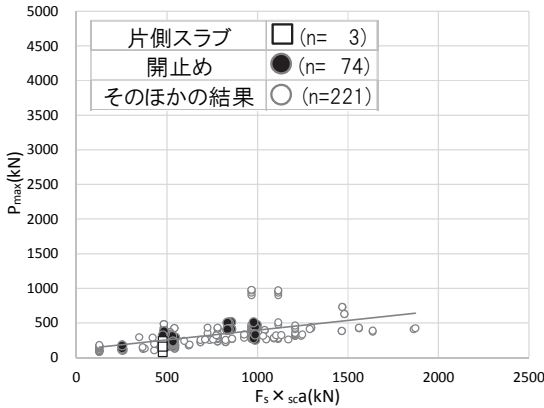


図10 デッキプレート付スラブの特殊条件のせん断耐力

少ないことから、スタッドが耐力を十分に発揮しないうちにコンクリートが破壊している事例が多い。

4.4 太径スタッドのせん断耐力

スタッド軸径 25mm 以上の結果は、直打ちのみ文献から収集することができた。直打ちの場合は軸径によるせん断耐力の特性の違いが顕著でないため、軸径 22mm 以下も 25mm 以上もまとめて 1 次回帰し、決定係数とともに図 12 に示した。図 11 (スタッド軸径 22mm 以下) の横断型・貫通打ちの結果

スラブ形状	破壊種別			
	スタッド破断	コンクリート破壊	両破壊	不明
付ブ	切断型 ▲	△		△
デ	貫通打ち ◆	◇		◇
スレ	横断型 ■	□		□
ライ	直打ち			□
キ	打ち方不明			×
ブ	T 字型スラブ	*		×
	キーストンプレート付スラブ	—	—	

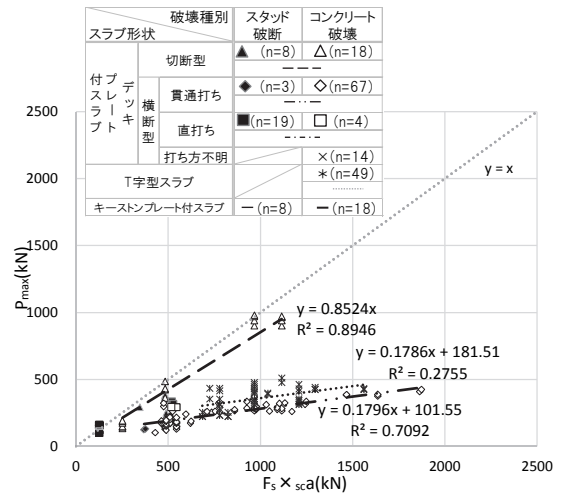


図11 スタッド軸径22mm以下のデッキプレート付スラブ

を併せて図 12 に示す。直打ちの方が若干せん断耐力は大きいですが、勾配はほぼ同様で、決定係数も比較的高い値になった。そこで、直打ちと貫通打ちをまとめて横断型の (1 次) 回帰式とした。

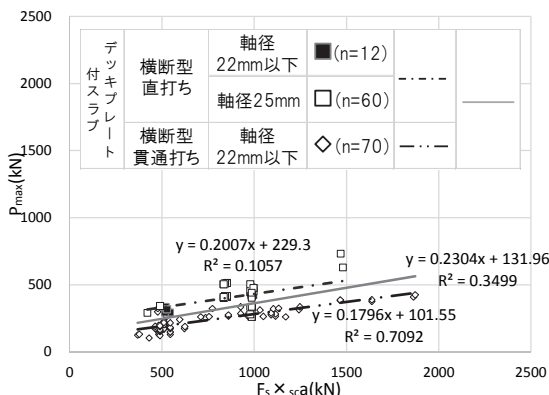


図12 スタッド軸径25mmを含む横断型のせん断耐力

5. 押抜き試験のせん断耐力評価

以上より本論文で導いた3つの回帰式とそれらのもとなる試験結果を図13に纏めた。

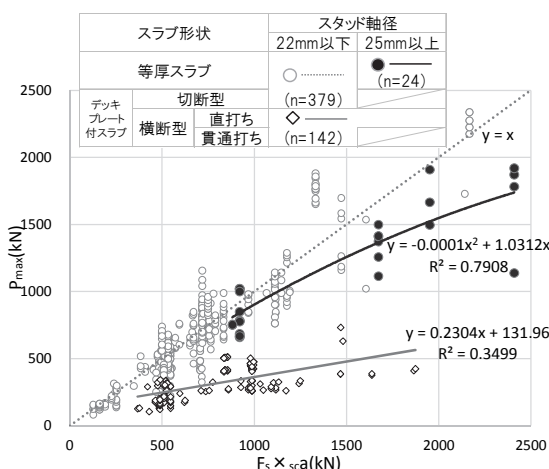


図13 押抜き試験のせん断耐力評価

軸径22mm以下の等厚スラブと切断型のせん断耐力は、 $F_s \times s_c a$ に比例する傾向がみられ、等厚スラブの軸径25mm以上のせん断耐力は徐々に低下していく傾向がみられた。一方、デッキプレート付スラブについては、データ数が十分にある直打ちと軸径22mm以下の貫通打ちについて、せん断耐力の低い部分でプロットが横に広がる傾向があった。以上の回帰の係数をまとめた結果が表3である。

表3 押抜き試験のせん断耐力(kN)評価

スラブ形状		スタッド軸径	
		22mm以下	25mm以上
等厚スラブ	切断型	$P_{max} = F_s \cdot s_c a$	$P_{max} = F_s \cdot s_c a$ $- 0.00013 \cdot (F_s \cdot s_c a)^2$
	横断型	$P_{max} = 0.23 \cdot F_s \cdot s_c a + 130$	—
デッキプレート付スラブ	直打ち	—	—
	貫通打ち	—	—

6. おわりに

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92編の文献から1393体の試験結果を収集し整理した。飛び値など特殊条件以外の結果から、スラブ形状と破壊種別に注目しながら材料の力学的特性などとせん断耐力との関係性を追求した。その結果、得られた知見を以下に纏める。

- 1) 圧縮の側圧，周辺拘束・両側辺拘束，試験体ベッドと拘束等の拘束力が強い結果は比較的飛び値になりやすい傾向がみられたが，閉止めや摩擦力による拘束力のせん断耐力への影響は小さいことを確認した。
- 2) 材料の力学的特性とせん断耐力との関係を整理・分析した。いずれのスラブ形状・破壊種別においてもせん断耐力はスタッド材の引張強さにスタッド軸部の合計断面積を掛け合わせた値に対してよい相関性を示した。
- 3) 等厚スラブの場合のせん断耐力はスタッド引張強さにスタッド軸部の合計断面積を掛け合わせた値に相当することを検証した。太径スタッド(25mm以上)のせん断耐力は径が増すと低下傾向にあり，回帰式としてその度合いを明示した。
- 4) デッキプレート付スラブを有する場合は，スタッド軸径22mm以下の結果から，切断型のみ等厚スラブの場合と同等のせん断耐力を示すことを確認した。横断型の場合は太径スタッドの結果も含めてせん断耐力の低い部分に結果が集中する傾向が認められたが，1次回帰により横断型のせん断耐力評価式を導くことができた。

参考文献

- 1) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，丸善（1985）
- 2) 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，52，233-236（1981）

- 3) 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 構造系, 33, 381-384 (1992)
- 4) 山田捻, 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, 建築学会大会学術講演梗概集 構造系, 479-480 (1971)
- 5) 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造系, 47, 1507-1508 (1972)
- 6) 青柳司, 内田直樹, 和田章, 武田寿一, 江戸宏彰: 合成ばりの実大試験 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, 43, 33-36 (1973)
- 7) 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, 48, 1551-1552 (1973)
- 8) 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, 49, 1085-1086 (1974)
- 9) 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(1), 日本建築学会学術講演梗概集 構造系, 50, 947-948 (1975)
- 10) 平野道勝, 穂積秀雄, 吉川精夫: 引張力をうけるスラブに埋め込まれたスタッドコネクタの押抜き試験(2), 日本建築学会学術講演梗概集 構造系, 51, 1517-1518 (1976)
- 11) 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・コネクタの押抜き試験, 日本建築学会学術講演梗概集 構造系, 52, 1293-1294 (1977)
- 12) 福田雄一: スタッドコネクタの押抜き試験, 日本建築学会学術講演梗概集 構造系, 53, 1911-1912 (1978)
- 13) 平野道勝, 石川孝重: スタッドコネクタ(STUD9φ)の押し抜き実験, 日本建築学会学術講演梗概集 構造系, 56, 2161-2162 (1981)
- 14) 巖詰煥, 井上一郎, 辻岡静雄, 新居努: 高強度スタッドの力学諸特性について(予備実験), 建築学会大会学術講演梗概集構造系, 1377-1378 (1989)
- 15) 篠原敬治, 小林行雄, 椎野高行: 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, 日本建築学会学術講演梗概集 構造 II, 705-706 (1990)
- 16) 佐藤和広, 井上一郎, 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(1), 日本建築学会学術講演梗概集 構造 II, 1677-1678 (1991)
- 17) 松久勝也, 井上一郎, 尾形素臣: 高強度スタッドの開発研究, 建築学会大会学術講演梗概集 構造系, 1785-1786 (1992)
- 18) 須戸智一, 井上一郎, 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, 日本建築学会学術講演梗概集 構造 III, 853-854 (1995)
- 19) 駿河良司, 尾形素臣, 井上一郎, 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, 日本建築学会学術講演梗概集 構造 III, 855-856 (1995)
- 20) 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き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, 日本建築学会学術講演梗概集 構造 III, 521-522 (1996)
- 21) 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き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, 日本建築学会学術講演梗概集 構造 III, 523-524 (1996)
- 22) 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き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, 日本建築学会学術講演梗概集 構造 III, 525-526 (1996)
- 23) 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, 日本建築学会学術講演梗概集 構造 III, 855-856 (2012)
- 24) 堀田洋志, 田川泰久, 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 2, 日本建築学会学術講演梗概集 構造 III, 857-858 (2012)
- 25) 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状態への影響 その 1, 日本建築学会学術講演梗概集 構造 III, 1181-1182 (2013)
- 26) 加納和麻, 田川泰久, 堀田洋志: 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状態への影響 その2, 日本建築学会学術講演梗概集 構造Ⅲ, 1183-1184 (2013)
- 27) 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, 日本建築学会学術講演梗概集 構造Ⅲ, 899-900 (2014)
- 28) 山口千尋, 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 太径スタッドのせん断耐力評価に関する一提案 その2, 日本建築学会学術講演梗概集 構造Ⅲ, 901-902 (2014)
- 29) 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, 日本建築学会学術講演梗概集 構造Ⅲ, 1375-1376 (2014)
- 30) 田川泰久, 加納和麻, 山口千尋, 今村しおり: デッキプレートを用いた合成梁における太径スタッドの実験的研究: 押し抜き試験と小梁曲げ試験の相関 その1, 日本建築学会学術講演梗概集 構造Ⅲ, 911-912 (2015)
- 31) 加納和麻, 田川泰久, 山口千尋, 今村しおり: デッキプレートを用いた合成梁における太径スタッドの実験的研究: 押し抜き試験と小梁曲げ試験の相関 その2, 日本建築学会学術講演梗概集 構造Ⅲ, 913-914 (2015)
- 32) 貞末和史, 高橋誠功, 尾籠秀樹: 傾斜型頭付きスタッドに関する実験的研究(その1) 接合部の実験計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ, 1457-1458 (2016)
- 33) 高橋誠功, 貞末和史, 尾籠秀樹: 傾斜型頭付きスタッドに関する実験的研究(その2) 実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅲ, 1459-1460 (2016)
- 34) 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, 42, (1967)
- 35) 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き試験, 日本建築学会論文報告集, 281, 57-69 (1979)
- 36) 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, 371, 72-85 (1987)
- 37) 山野辺宏治, 矢部喜堂, 和田章: 頭付きスタッドの弾塑性性状を考慮した合成梁架構の弾塑性平面骨組解析, 日本建築学会構造系論文集, 502, 135-140 (1997)
- 38) 安田聡, 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, 73, 第630号, 1417-1423 (2008)
- 39) 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, 39, 第1号, I-47 (2012)
- 40) 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280号, I-7, 311-320 (1987)
- 41) 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, 64, 第4号, 935-947 (2008)
- 42) 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, 65, 第2号, 384-394 (2009)
- 43) 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 (構造・地震工学), 67, 第2号, 307-319 (2011)
- 44) 大城壮司, 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 (構造・地震工学), 68, 第2号, 331-346 (2012)
- 45) 平陽兵, 渡辺忠朋, 齊藤成彦, 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 (構造・地震工学), 70, 第5号, II_69-II_80 (2014)
- 46) 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 (構造・地震工学), 71, 第1号, 113-127 (2015)
- 47) 大久保宜人, 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)
- 48) 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, 879-880 (2005)
- 49) 永尾和夫, 中島章典, 渡瀬博, 原健梧: 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)
- 50) 渡辺遼, 牧剛史: 持続的荷重を受けるスタッド接合部の力学特性に関する研究, 土木学会第 68 回年次学術講演会梗概集, CS3-13, (2013)
- 51) 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)
- 52) 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, Vol.35A, 1221-1232 (1989)
- 53) 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, Vol.43A, 1301-1312 (1997)
- 54) 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, Vol.55A, 1102-1113 (2009)
- 55) 大山理, 栗田章光: 二重合成 2 主 I 桁橋の下コンクリート床版に配置された鉛直および水平スタッドの静的および疲労挙動に関する研究, 構造工学論文集, Vol.57A, 978-986 (2011)
- 56) 中島章典, 岡崎康幸, ゲエンバンユン: 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, Vol.61A, 788-797 (2015)
- 57) 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, No.13, 81-89 (1986)
- 58) 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, 19, 第 2 号, 1413-1418 (1997)
- 59) 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, 21, 第 3 号, 1087-1092 (1999)
- 60) 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, 21, 第 3 号, 1093-1098 (1999)
- 61) 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, コンクリート工学論文集, 22, 第 3 号, 1171-1176 (2000)
- 62) 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, 22, 第 3 号, 1177-1182 (2000)
- 63) 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, 13, 第 2 号, 1-13 (2002)
- 64) 清水良平, 橘吉宏, 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, 25, 第 2 号, 1609-1614 (2003)
- 65) 外山征, 村上祐貴, 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曲げ理論に基づく付着モデルの構築, コンクリート工学年次論文集, 26, 第 2 号, 427-432 (2004)
- 66) 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, 26, 第 2 号, 1441-1446 (2004)
- 67) 渡部誠二, 鳥弘: 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, 30, 第 3 号, 1333-1338 (2008)
- 68) 吉武謙二, 前孝一, 小川晃, 大崎雄作, 磯田和彦: 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, 31-41 (2005)
- 69) 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, 1, 第 3 号, 139-146 (1994)
- 70) 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, 2, 第 8 号, 47-60 (1995)
- 71) 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, 7, 第 27 号, 59-70 (2000)
- 72) 則松一揮, 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, 20-1-20-8 (2013)
- 73) 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, 21, 35-36 (1996)
- 74) 稲葉洋平, 閑田徹志, 桜本文敏: 構造用超軽量コンクリートの開発(その3)鉄筋ばりとの合成効果, 鹿島技術研究所年報, 49, 101-106 (2001)
- 75) 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, JSSC テクニカルレポート 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, 35, 25-34 (1996)
- 76) 新日本製鉄: スタッドジベル押抜き試験報告(土木用鋼材研究会-上-(特集)), 製鉄研究, 第267・268号, 9128-9132 (1970)
- 77) 中原正人, 谷口望, 池田学, 福岡寛記: 合成桁のずれ止めせん断耐力評価法, 鉄道総研報告, 23, 第5号, 29-34 (2009)
- 78) J. G. Ollgaard, R. G. Slutter and J. W. Fisher: Shear strength of stud connectors in lightweight and normal-weight concrete, AISC Engineering Journal, 55-64 (1971)
- 79) 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, 15-29 (1996)
- 80) Chang-Su Shim, Pil-Goo Lee and Tae-Yang Yoon: Static behavior of large stud shear connectors, Journal of Engineering Structures, Vol.26, 1853-1860 (2004)
- 81) Pil-Goo Lee, Chang-Su Shim and Sung-Pil Chang: Static and fatigue behavior of large stud shear connectors for steel concrete composite bridges, Journal of Constructional Steel Research, Vol.61, 270-285 (2005)
- 82) Miah.M. K., Nakajima A., Saiki I., Nakamura M. and Ooe H.: An experimental study on shear force distribution among studs in grouped and ungrouped arrangements, Journal of Structural Engineering, Vol.51A, 1509-1520 (2005)
- 83) Dennis Lam: Capacities of headed stud shear connectors in composite steel beams with precast hollowcore slabs, Journal of Constructional Steel Research, Vol.63, 1160-1174 (2007)
- 84) H.B. Shim, K.S. Chung, S.H. Jang, S.J. Park and J.H. Lee: Push-out tests on shear studs in high strength concrete, Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures-Assessment, Durability, Monitoring and Retrofitting of Concrete Structures, Seoul, ISBN 978-89-5708-181-5, 831-834 (2010)
- 85) 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, 1098-1105 (2011)
- 86) 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, 86-92 (2012)
- 87) 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, 84-96 (2012)
- 88) 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, 1-7 (2012)
- 89) Zhaofei Lin, Yuqing Liu and Jun He: Behavior of stud connectors under combined shear and tension loads, Journal of Engineering Structures, Vol.81, 362-376 (2014)
- 90) 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, 533-546 (2014)
- 91) 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, 115-126 (2015)
- 92) 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, 23-30 (2015)