

# 論文 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

笠井裕次\*<sup>1</sup> 佐藤宏治\*<sup>2</sup> 大下英吉\*<sup>3</sup> 河村哲男\*<sup>4</sup>

要旨：本研究は、多軸応力状態下におけるスタッド付き鋼とコンクリートとの付着性状に関して、押し抜き試験法、側圧制御式押し抜き試験法を行い、これらの異なる拘束条件の下で、拘束効果の影響を実験的に解明するために実施した。その結果、圧縮の側圧による鋼とコンクリートとの完全なる一体化および、引張の側圧によるコンクリートの脆性的破壊が確認され、側圧が、鋼コンクリート界面の付着性状に大きく影響していることが分かった。

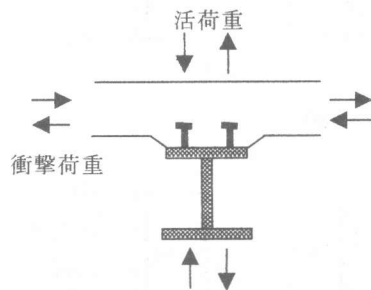
キーワード：合成構造、多軸応力状態、頭付きスタッド、押し抜き試験法

## 1. はじめに

スタッドは、合成構造物において標準的な鋼とコンクリートの合成化を図る方法であり、鋼とコンクリートの合成効果を支配する重要な接合構造である。この種の合成構造物の用途は多種多様に渡っており、代表的な事例として、合成床版、合成ロックシェッドなどが挙げられる。このような合成構造物は、スタッド付き鋼とコンクリートとが一体となって変形を生じる事に、その利点がある。しかしながら、これら構造物はスタッド付き鋼とコンクリートという異なる材料が接合されたものであるため、それらの界面においてずれ或いは開きという挙動は避けられない構造である。したがって、両界面での両者の付着特性に関する研究が非常に重要であるが、現時点においては、一面或いは二面せん断実験により付着特性を捉える事にのみ留まっている。一般に、このような構造物には、図一1に示すように、常時荷重として活荷重、衝撃荷重或いは土圧などが複合して作用するため、3次元的な変形挙動を示すことになり、上述により得られた付着特性は、このような構造物には

適用が困難である。すなわち、このような実験的研究の適用範囲は、単にせん断のみが荷重される構造部材に限られるため、その適用性が非常に狭義なものである。したがって、合成構造物の変形挙動を詳細に評価するためには、多軸応力状態下におけるスタッド付き鋼とコンクリートとの付着性状を詳細に解明しなければならないものと考えられる。

本研究では、多軸応力状態下におけるスタッド付き鋼とコンクリートとの付着特性に関して、押し抜き試験法、側圧制御式押し抜き試験法を用いることにより拘束効果の影響を実験的に解明することを目的とした。



図一1 合成床版の応力状態

\* 1 中央大学学生 理工学部土木工学科 (正会員)  
 \* 2 中央大学学生 理工学部土木工学科 (正会員)  
 \* 3 中央大学助教授 理工学部土木工学科 工博 (正会員)  
 \* 4 (株)ピー・エス 開発技術部長 (正会員)

表-1 供試体の種類 (スタッド片側1本)

供試体	スタッド高 H (mm)	スタッド径 D (mm)	高さ径比 H/D	$f_{kc}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$ (KN/mm <sup>2</sup> )	側圧 (%)
120-0	120	16	7.5	29.4	26.8	2.6	26.0	0
120-C50					29.3	3.3	29.1	C:50
120-T25					24.0	2.3	24.9	T:25

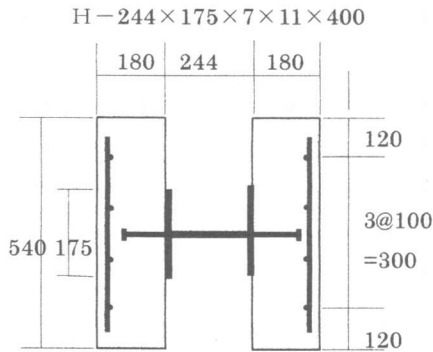
注) 側圧のCは圧縮、Tは引張を示す

表-2 コンクリートの配合

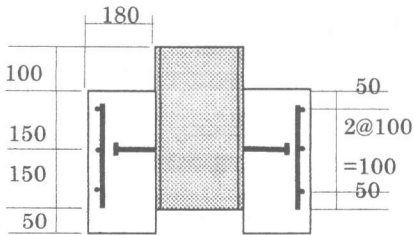
粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材
20	12	4.5	55.5	45.5	159	257	840	1030	2.87

表-3 スタッドの規格

機械的性質		
引張強さ N/mm <sup>2</sup>	降伏点 N/mm <sup>2</sup>	伸び (%)
402~549	235以上	20以上



平面図



正面図

図-2 供試体の寸法(単位: mm)

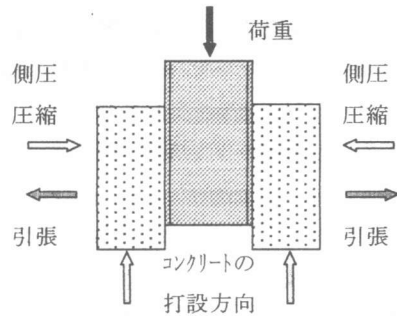


図-3 荷重方向と打設方向

ずれ関係の推定式の確立も目的のひとつとした。

## 2. 荷重実験の概要

### 2.1 供試体

押し抜き供試体の標準的な供試体<sup>1)</sup>を変更し、図-2に示すようなものとした。実験パラメータは、表-1に示す通りであり、供試体数は一体ずつ計三体とした。スタッドの寸法は、径が  $d = 16\text{mm}$ 、高さが  $H = 120\text{mm}$  で統一した。コンクリートスラブは、設計基準強度  $29.4\text{N/mm}^2$  とし、側圧による圧壊を防ぐため、鉄筋網が配置されている。打設方向は、図-2に示すように供試体の底となる下方より行った。なお、コンクリートの配合は表-2に示す通りである。また、スタッドの規格は JIS B 1198 によるものであり表-3に機械的性質を示す。

なお、今後の課題として、せん断応力~相対

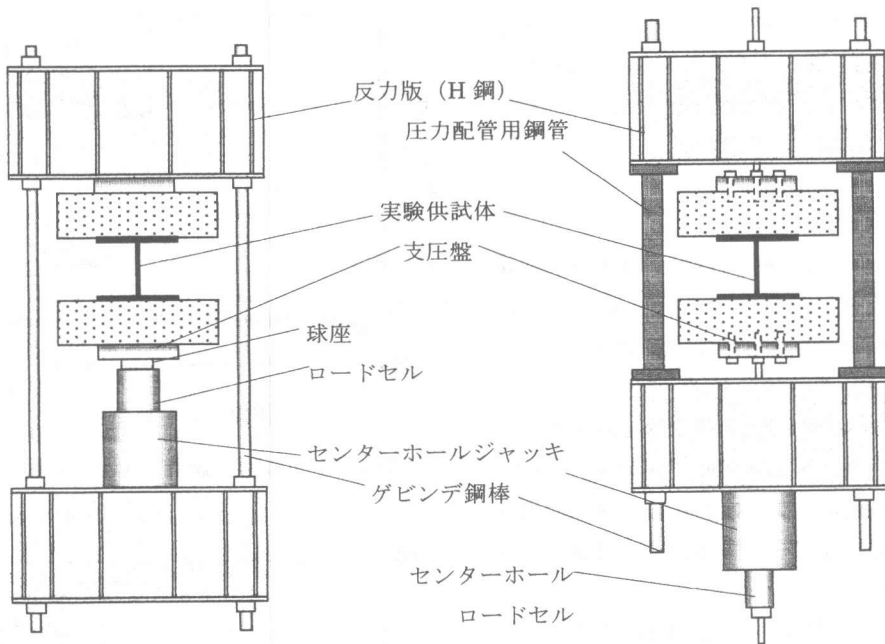


図-4 圧縮载荷装置(平面図)

図-5 引張载荷装置(平面図)

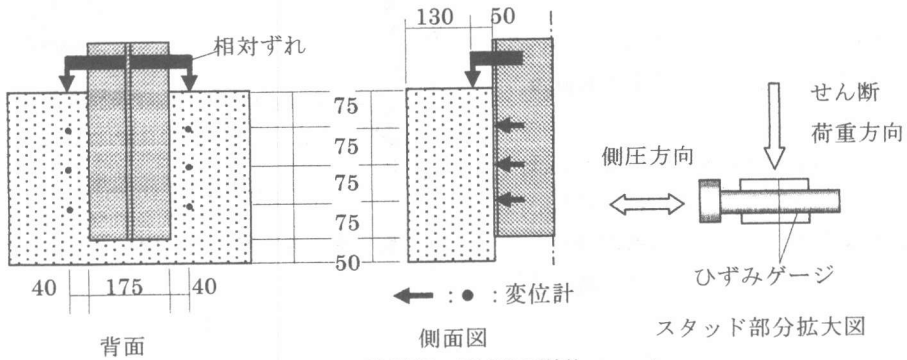


図-6 計測器の配置図(単位: mm)

## 2.2 実験方法

実験は、100 t アムスラー型試験機を用いて行なわれた。せん断荷重を静的速度 0.5 mm/min で载荷した。側圧の载荷は、図-4 および 5 に示すように、供試体の外側に配置した直応力载荷治具に油圧ジャッキを介することにより、所定の圧縮および引張力(側圧)が保持された。

実験パラメータは、表-1 に示すように、側圧 0%、圧縮強度の 50% (78.8 t f)、引張強度の 25% (3.1 t f) の直応力である。なお、せん断応力～相対ずれ関係の推定式の確立にお

いて、圧縮および引張の側圧の最大値を捉えるため、上記の側圧とした。

測定項目は側圧、せん断応力、相対ずれ、開口変位、スタッドひずみであり、得られた実験データから側圧をパラメータとしたせん断応力～相対ずれ、せん断応力～開口変位、せん断応力～スタッドひずみ関係を求めた。なお、変位計およびひずみゲージは図-6 に示すように供試体の片側だけに設置した。相対ずれ量は、供試体の側面に対し左右に設置した変位計の平均値とし、開口変位量は上段、中段、下段に設置

した変位計により計測した。そしてスタッドひずみゲージは、スタッド高の中心となる位置に上側と下側にスタッドに沿った方向に貼りつけた（以下、上側、下側と称す）。

### 3. 実験結果と考察

#### 3. 1 最大せん断応力および相対ずれ性状

図-7は、せん断応力～相対ずれ関係であり、記号○、△、□は、それぞれ供試体 120-0、120-C50、120-T25 を示している。

せん断応力の最大値は、供試体 120-0 で  $1.38 \text{ N/mm}^2$ 、供試体 120-C50 で  $9.50 \text{ N/mm}^2$ 、供試体 120-T25 で  $1.63 \text{ N/mm}^2$  であり、供試体 120-C50 では、他の供試体に比べ非常に大きな値である。

供試体 120-0 では、せん断応力が相対ずれ  $4.32 \text{ mm}$  の時点で低下し、その後緩やかに増加した。しかし、側定範囲内では圧壊現象は見られなかった。

供試体 120-T25 では、せん断応力はコンクリートの圧壊によりせん断応力の最大値直後、急激に低下した。

供試体 120-C50 のせん断応力の最大値は、供試体 120-0 と 120-T25 の耐力がほぼ等しいことに対し、拘束効果によってせん断応力およびコンクリートとH型鋼との付着性状が飛躍的に向上した。

相対ずれ量の最大値は、供試体 120-0 で、 $17.94 \text{ mm}$ 、供試体 120-C50 で  $0.03 \text{ mm}$ 、供試体 120-T25 で  $13.69 \text{ mm}$  である。供試体 120-C50 では、相対ずれは載荷時からせん断応力の最大値到達までほとんど生じなかった。

#### 3. 2 開口変位性状

図-8は、せん断応力～開口変位関係であり、記号○、△、□は、それぞれ供試体 120-0、120-C50、120-T25 を示している。

供試体 120-0 では、開口変位が  $0.64 \text{ mm}$  の時点までは、せん断応力は緩やかに生じ、その後は、開口変位の増加によらず一定値となってい

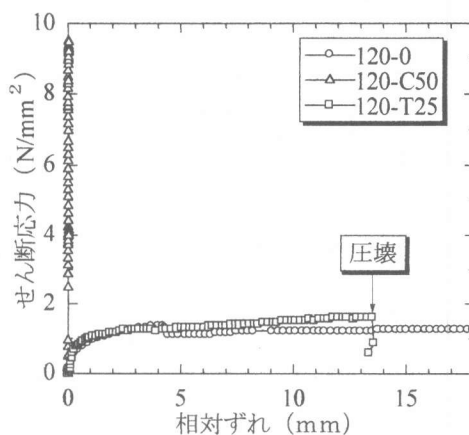


図-7 スタッド耐力～相対ずれ関係

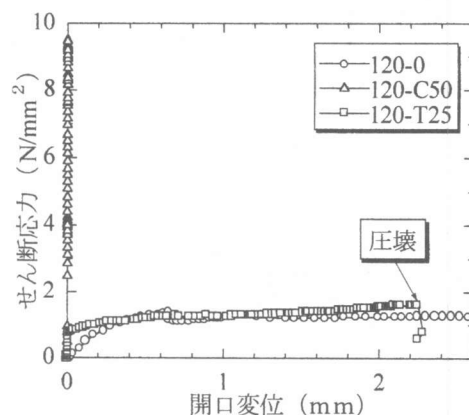


図-8 せん断応力～開口変位関係

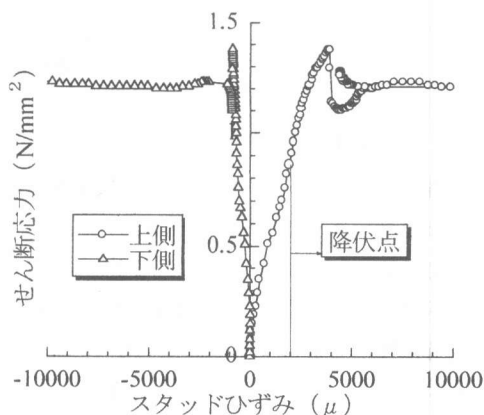


図-9 せん断応力～スタッドひずみ  
(供試体 120-0)

る。

供試体 120-T25 では、せん断応力  $0.75\text{N/mm}^2$  となった時点から、開口変位が生じ、その後開口変位の増加とともに緩やかなせん断応力の増加を示し、開口変位が  $2.26\text{m}$  で圧壊現象が生じた。

供試体 120-C50 では、開口変位が定値 0 であり無限大の剛性を持つことを示した。

### 3.3 スタッドひずみ性状

図-9~図-11は、各々の供試体のせん断応力~スタッドひずみ関係を示す。記号○, △は、それぞれスタッドの上側, 下側のひずみを示す。なお、各図には、スタッドの降伏ひずみを実線で示している。

せん断応力の最大値におけるスタッド上側のひずみは、供試体 120-0 で約  $4000\mu$ 、供試体 120-C50 で約  $100\mu$ 、供試体 120-T25 で約  $8000\mu$  である。この時点において、供試体 120-C50 では、スタッドの降伏が生じておらず、その他の供試体では降伏をしている。

供試体 120-0 では、最初から曲げ変形で降伏に達している。

供試体 120-C50 では、上側と下側のひずみが縦軸をほぼ対称とした変形挙動を示した。せん断応力の最大値付近までは両側とも圧縮ひずみを示した後、曲げ挙動へ移行することにより、飛躍的なひずみの増加が生じている。

供試体 120-T25 では、降伏点近傍まではせん断応力が急激に増加しているが、降伏後は緩やかに増加した。すなわち、コンクリートとH型钢の付着は、スタッドのみに依存しており、スタッドが降伏するとせん断応力は緩やかに増加するわけである。そして、スタッドの降伏の影響によりスタッド下側のひずみ増分がせん断応力  $1.24\text{N/mm}^2$  で圧縮から引張の挙動へと変化した。

供試体 120-0 と 120-C50 は、縦軸をほぼ対称とした変形を示しているのに対し、供試体 120-T25 はその限りではない。このことから推測す

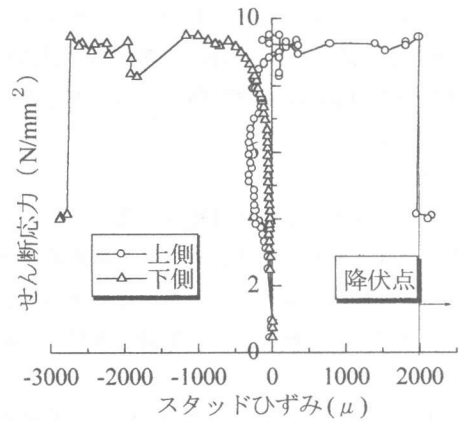


図-10 せん断応力~スタッドひずみ (供試体 120-C50)

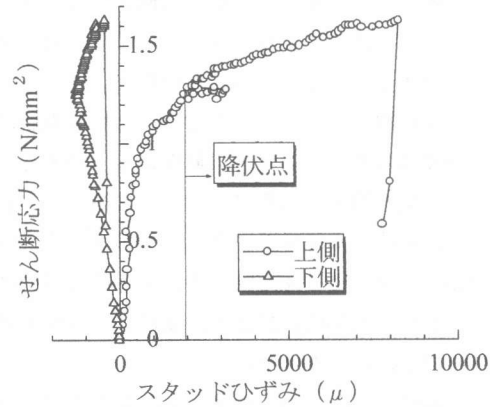


図-11 せん断応力~スタッドひずみ (供試体 120-T25)

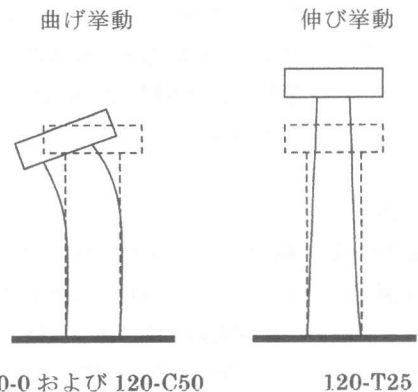


図-12 スタッドの変形図

ると、スタッドの変形は、図—12に示すように、供試体 120-0 および 120-C50 は曲げ挙動を、供試体 120-T25 は伸び挙動を示しているものと考えられる。

### 3. 4 側圧による付着性状評価

既往のせん断押し抜き試験である側圧载荷なしの場合と側圧载荷ありの場合を比較することで、付着に及ぼす側圧による影響を考察してみた。

上述したように供試体 120-C50 は、供試体 120-0 に比べてせん断応力が飛躍的に向上している。これは、スタッドひずみや相対ずれ、開口変位がほとんど生じていないことから考えると、鋼とコンクリート界面には側圧による非常に大きな摩擦により鋼とコンクリートとの完全なる一体化を生じていることになる。スタッドひずみに関連させて考えると、せん断荷重载荷初期ではスタッド上側と下側が縮んでいることから圧縮の側圧の影響によることは明らかであるが、それ以降はスタッド基部のコンクリートのひび割れによりせん断応力による曲げ挙動に移行した。結果的には圧縮の側圧による合成効果の向上は明らかである。

供試体 120-T25 は、供試体 120-0 に比べて相対ずれおよび開口変位挙動に大きな相違点は見られなかったが、供試体 120-T25 の場合は、コンクリートの圧壊によりせん断応力は急激に低下した。これはスタッド頭部分におけるコンクリートの引張応力とせん断応力との複合応力作用により、コンクリートの性質である脆性的破壊を起こしたものである。

### 4. 結論

本研究では、多軸応力状態下におけるスタッド付き鋼コンクリートとの付着特性に関して、押し抜き試験法、側圧制御式押し抜き試験法を用いることより拘束効果の影響を実験的に解明することを目的とした。

本研究により得られた結論は以下の通りであ

る。

- (1)圧縮の側圧により、せん断応力は飛躍的に向上し、相対ずれ、開口変位はほとんど生じなかった。これは、圧縮の側圧により膨大な摩擦が鋼コンクリート界面に働き、鋼とコンクリートとの完全なる一体化が生じたからである。
- (2)側圧無しと圧縮の側圧を载荷した場合、スタッドの挙動は、曲げ挙動を示した。一方、引張の側圧を载荷した場合、スタッドの挙動は伸び挙動を示した。
- (3)引張の側圧を载荷した場合、せん断応力の最大値は、側圧無しの場合とほぼ同じであるがある相対ずれ量、開口変位量に達するとコンクリートの脆性的破壊が生じた。
- (4)付着性状に及ぼす側圧の影響は、非常に大きい。
- (5)今後、せん断応力～相対ずれ関係の推定式の確立を目指し、研究を進めていく予定である。

### 参考文献

- 1)土木学会：鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン，1989
- 2)加瀬典文：鋼・コンクリート合成要素の急速载荷実験に関する基礎的考察，防衛大学校理工学研究科修士論文，1996.3
- 3)山田他：山形鋼と頭付きスタッドによる合成構造シアコネクタの耐荷力に関する実験的研究，日本コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14, No.2,1992
- 4)上中他：突起付鋼板に頭付スタッドを併用した場合の付着せん断特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20, No.3,1998
- 5)平他：孔あき鋼板ジベルの基本特性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20, No.3,1998
- 6)西海他：拘束条件を考慮した孔あき鋼板ジベルのずれ止め特性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20, No.3,1998