

外部拘束力作用下における頭付きスタッドのせん断耐力の検討

法政大学 学生会員 ○星名浩人 正会員 藤山知加子
 一般社団法人 日本橋梁建設協会 正会員 松村寿男 正会員 和田均 正会員 熊野 拓志

1. 研究の目的

鋼コンクリート合成構造において鋼材とコンクリートを一体化させるためのずれ止めの1つである頭付きスタッド(以下、スタッドと称す)の設計せん断耐力式¹⁾は、様々な条件下での実験結果をもとに提案されたものである。本研究では既往の研究を参考に、活荷重を想定した外部拘束力を与えた条件を対象として、非線形3次元FEMによるスタッドのせん断力-ずれ変位関係、鋼板の拘束条件の違いによる影響の分析を行うことを目的とした。

2. 解析モデル

2.1 概要

本研究は、非線形3次元FEMを用いてロビンソン型合成床版の一部を再現した解析モデル(図-1)を構築した。解析モデルは、コンクリート、底鋼板、主鉄筋、配力鉄筋、スタッド(φ16×180mm)をソリッド要素でモデル化した。モデル寸法は、400mm×500mm×260mmとし、中央にスタッドを配置した。コンクリートとスタッド及び底鋼板の境界面には、境界面要素を設定した。境界要素特性値は、既往の研究²⁾を参考にコンクリートと鋼材の付着力を用いた。なお、スタッドと底鋼板は、節点共有で完全に一体化している。材料諸元を表-1に示す。

2.2 荷重条件および境界条件

本解析の荷重イメージ図を図-2に示す。せん断力は、床版に活荷重が作用した際、接合部に生じるせん断力を再現するため、水平方向に荷重を与えた。圧縮力に関しては、コンクリート上面に与えた。引張力に関しては、底鋼板上部のコンクリート要素に荷重を与えることで、引張力を再現した。境界条件は、底鋼板の面外変形による影響を生じさせないため、底鋼板の端部の節点変位を全方向固定、底鋼板底面の節点変位をZ軸方向固定とした。

2.3 解析ケース

解析ケースは、拘束力を与えないせん断力みのケース(Case 0)と圧縮力を2パラメータ、引張力を2パラメータとし、合計5ケース(表-2)とした。

圧縮力と引張力のパラメータは、コンクリートの圧縮強度、引張強度に対する3%、6%の荷重とした。(以下、圧縮力3%のケース:C-3などと称す)

図-3に、3.3で分析するコンター図の着目断面A-A'を示す。

3. 解析結果と分析

3.1 拘束力による影響

図-4に5ケースのせん断力-ずれ変位関係を示す。圧縮のケースに関してせん断耐力を比較すると、拘束力がないCase0のせん断耐力118kNに対して、C-6が240kN、C-3が176kNであり、圧縮の拘束力が作用することでせん断耐力が上昇した。また、引張のケースに関して、T-6のせん断耐力が109kN、T-3のせん断耐力が111kNであり、わずかにせん断耐力が減少した。

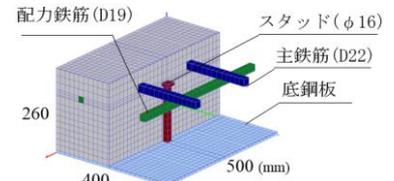


図-1 FEM解析モデル

表-1 材料諸元

項目	強度特性 N/mm ²	弾性係数 N/mm ²	ポアソン比
コンクリート	圧縮強度 $f_c=30$	2.8×10^4	0.2
	引張強度 $f_t=2.2$		
鉄筋(D22,D19)	降伏点 $f_y=345$	2.0×10^5	0.3
スタッド(φ16) 底鋼板(t=8mm)	降伏点 $f_y=245$		

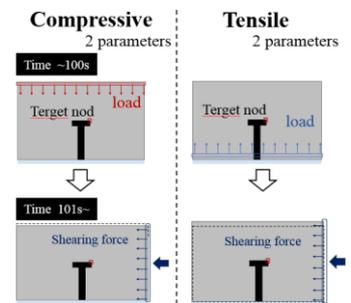


図-2 荷重イメージ図

表-2 軸方向拘束力パラメータ

No	Analysis Case	Parameters	force (kN)
1	Case 0		拘束力なし
Compressive			
2	C-3	3%	172
3	C-6	6%	352
Tensile			
4	T-3	3%	13.3
5	T-6	6%	26.6

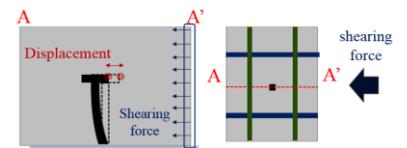


図-3 コンター着目断面図

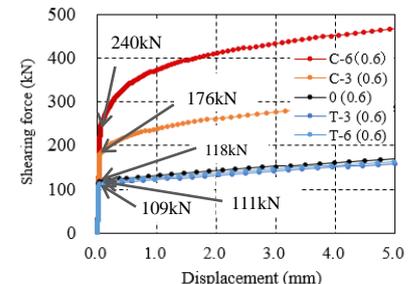


図-4 せん断力-ずれ変位関係

3.2 摩擦係数による影響

摩擦係数 0.3, 0.6 を用いてせん断耐力の比較を行った, 図-5 と表-3 の結果より, 拘束力がない Case0 と引張力を与えた場合では耐荷力が 20~30kN 低下し, 圧縮力を与えた場合では 70~90kN 低下した. よって, 異なる拘束力作用下においても, 摩擦力がせん断耐力に与える影響が大きいことを確認した.

3.3 境界条件の影響

本研究では, 図-6 (a) に示すような鋼板の底面の節点変位を全点固定した条件で解析を行った. これと周辺のみ節点変位を固定した場合(図-6 (b))を比較し, 境界条件の与える影響を分析した. 図-7 に示すが, 周辺のみ固定した場合, 全点固定したケースの耐荷力の 3 割程度のせん断力で一度勾配が変化した. これは周辺のみ固定したことにより底鋼板が面外方向へ変形し, スタッドの首振り量が顕著に増加したことが考えられる. また, 図-8 にスタッド降伏時のコンター図を示す. スタッド降伏時には底鋼板の変形性状は異なるが, スタッド降伏時の作用せん断力および応力分布性状に大きな差異は生じなかった.

4. せん断耐力の検証

4.1 示方書式との比較

複合標準示方書¹⁾に記載されている拘束力作用下でのせん断耐力算出式の式(1)と解析より得られたせん断耐力の比較を行った. 結果を表-4 に示す.

$$V_{Nssud} = V_{Ossud} + \mu \cdot N'_d \quad (1)$$

ここに, V_{Ossud} は圧縮力が作用しないときのスタッドのせん断耐力, μ は摩擦係数, N'_d はスタッド一本あたりの軸圧縮力である. 表-4 より, 本解析で得られた摩擦係数 0.6 のときの C-3 のせん断耐力は 176kN で, 式(1)より得られたせん断耐力は 178kN であった, 摩擦係数 0.3 のときの C-3 のせん断耐力は 106kN で, 式(1)によるせん断耐力は 125kN であった. 摩擦係数 0.6 の方が示方書式に近い値を示した. また, 圧縮力が増加すると耐力に差異が生じたものの, 同様にせん断耐力が上昇する傾向が確認できた.

4.2 既往の研究との比較

既往の研究²⁾により導き出された算出式の式(2)と比較を行った.

$$V_{Nssu} = (-0.0034N + 0.92)V_{ssu} \quad (2)$$

ここに, V_{ssu} は示方書より算出したせん断耐力, N は接合面に作用するスタッド一本あたりの軸圧縮力である. なお, 式(2)はスタッドの軸径が 19 mm の適用式であるが比較を行った. 算出結果を表-4 に示す. 既往の実験の算出式の C-3 におけるせん断耐力は 156kN, C-6 は 217kN であり, 概ね既往の研究と同様の傾向を得られた.

5. 結論

本研究では, 試験的に数値解析によるパラメトリックスタディを行った. 以下に得られた結論を示す.

- 1). 拘束力の影響に関して, 圧縮強度の3%の拘束力を与えた場合, せん断耐力が1.5倍に増加した.
- 2). 摩擦係数の影響に関して, 圧縮力を与えたケースではせん断耐力への影響が顕著に現れた.
- 3). 解析結果と示方書式および既往の研究による算出式の結果を比較すると, 解析ケースにより異なるが, 概ね同様のせん断耐力が確認できた. 摩擦係数0.6を用いた場合に実験値と近い結果が得られた.

参考文献

1. 複合構造標準示方書, 設計編, 原則編. 2014年制定
2. 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, Vol70, No.5, II 69-II 80, 2014

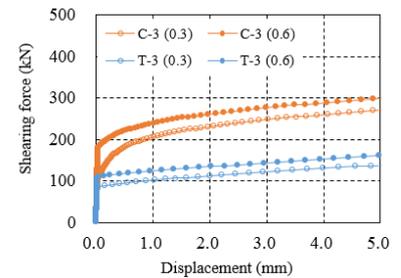


図-5 せん断力-ずれ変位関係(摩擦比較)

表-3 せん断耐力比較結果(単位 kN)

μ	0	C-3	C-6	T-3	T-6
0.3	87	106	150	85	82
0.6	118	176	240	111	109

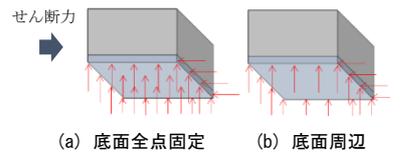


図-6 底鋼板の拘束条件

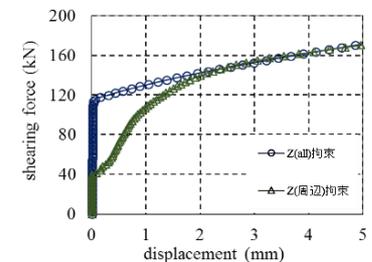


図-7 せん断力-ずれ変位関係(拘束比較)

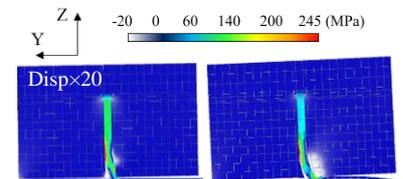


図-8 スタッド軸応力分布図(降伏時)

表-4 示方書・既往の研究との比較(kN)

	C-3			C-6		
	本解析	示方書	既往の実験	本解析	示方書	既往の実験
0.3	106	125	156	150	178	217
0.6	176	178		240	284	