

# 頭付きスタッドのずれ評価に用いる FEM解析の検討

1090427 岡本裕希

高知工科大学工学部社会システム工学科

合成桁にすべりが生じた際、コンクリートとスタッドの間ではどのような現象が起こっているのかを有限要素法解析により考察する。まず、解析自体を妥当性のあるものとするために実験を元にしたモデルを構築して検討を行った。その結果次のことが判明した。

- ・スタッドとコンクリートの境界における付着応力が解析に大きく影響する。
- ・フランジとコンクリートの剥離の有無による影響は少ない。
- ・フランジとコンクリートに働く摩擦が与える影響は複雑である。
- ・3軸応力下におけるコンクリートの破壊条件はほとんど影響を与えない。

**Key Words** : 頭付きスタッド, 3次元有限要素法, 非線形

## 1. はじめに

現在、合成桁の設計は両構造材間にすべりが発生しないという仮定の基で設計されているが、すべりは実際に発生することが分かっている。

そこで、このすべりを許容する設計が可能となれば社会資本のトータルコスト縮減につながると考えられる。この設計法の提案には実験およびせん断力-ずれ関係の定式化だけでなく、非線形有限要素解析によるデータの補完が必要である。

そこで本研究では、妥当性のある非線形有限要素解析を行うために解析モデルの検討を行う。

## 2. 解析手法及び検討の概要

### 2.1 解析の概要

解析の対象は島らが実験した試験体No.2である<sup>1)</sup>。効率化のため対称性を利用して試験体の1/4だけを解析対象とし、対称面(XZ面)においてY方向を拘束している。モデルはコンクリートと鋼材を六面体要素で構成するが、スタッドの中央は三角柱要素を使用した。スタッド-コンクリート間、およびフランジ-コンクリート間に関しては、各要素間に厚さ0のFILM要素を挿入することにより再現する。なお、便宜上スタッド-コンクリート間のFILM要素をstud film element、フランジ-コンクリート間のFILM要素をflange film elementと呼ぶ。解析には非線形FEM解析プログラムFINALを使用した。

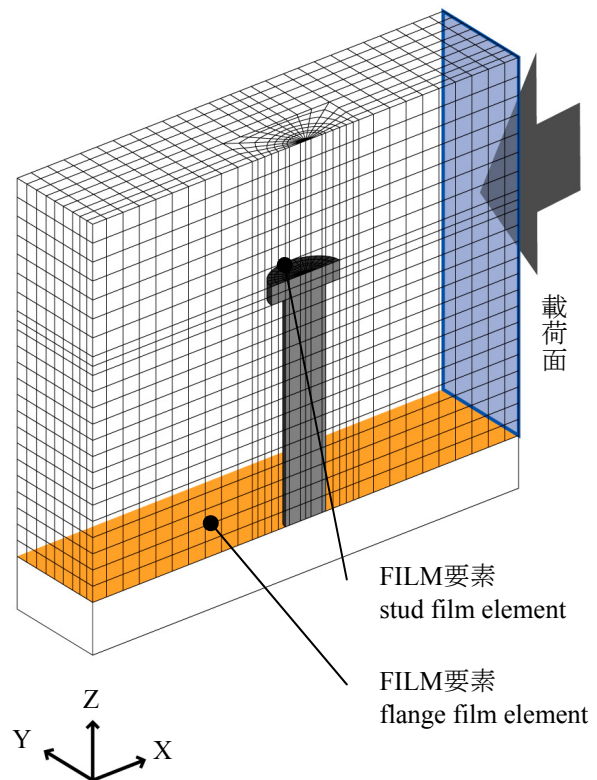


図-1 モデル概要図

### 2.2 モデル寸法

コンクリート躯体は200×50×180mm。  
フランジは200×50×30mm  
スタッドは軸径19mm、高さ120mm、頭部径32mm、頭部厚10mm。

## 2.3 主な構成則

### (a)スタッドの構成則

ヤング率	ポアソン比	降伏点応力
1.86E+5 N/mm <sup>2</sup>	0.27	-

※応力-ひずみ関係を実験値より多角節点で定義。

### (b)鋼フランジの構成則

ヤング率	ポアソン比	降伏点応力
1.86E+5 N/mm <sup>2</sup>	0.27	326N/mm <sup>2</sup>

※応力-ひずみ関係はbilinearモデルとした。

### (c)コンクリートの構成則

ヤング率	ポアソン比	一軸圧縮強度
1.60E+5 N/mm <sup>2</sup>	0.17	31.4N/mm <sup>2</sup>

テンションステイニング特性はひび割れ後の応力が0となるモデルを使用した。

圧縮応力-ひずみ曲線についてはスタッド周辺部のコンクリートは圧壊してもその周辺の健全なコンクリートによって拘束され、軽度の三軸応力下となると予測してパラメータを設定した。圧縮破壊条件については5章にて検討を行っている。

コンクリートのひび割れ後のせん断伝達特性については、ひび割れ後のせん断剛性を保持するモデルを適用した。

### (d)FILM要素の構成則

stud film elementおよびflange film elementのケースごとの構成則をそれぞれ表-1、表-2に示す。

フィルム要素の接合タイプは付着タイプ（せん断方向および垂直方向の剛性を定義する）とした。

### (e)載荷方法

フランジ下面を完全拘束し、コンクリート側面に対して変位制御を行う。最大変位は絶対座標で7mmとする。

## 2.4 解析のアウトプット

### (a)スタッドのひずみ

実験のゲージ位置はスタッド頭部の付け根から30mm下の載荷方向に対して垂直なスタッド側面であるが、メッシュ分割の都合で実験と同じ場所のひずみを見ることができない。そのため、ゲージ位置より少し下の引張・圧縮ひずみを合計している。

### (b)ずれ変位

ずれ変位の値は変位制御の制御値とする。

### (c)せん断力（荷重）

せん断力（荷重）はモデル全体の節点反力の和とする。解析ではスタッドを半分になっているため、比較対象の実験値も1/2の値としている。

表-1 stud film elementの構成則

Case	せん断	引張
1	長沼らのモデル	2N/mm <sup>2</sup> -0.1mm
	15N/mm <sup>2</sup> -0.1mm	
2	長沼らのモデル	2N/mm <sup>2</sup> -0.1mm
	1N/mm <sup>2</sup> -0.1mm	
3	長沼らのモデル	2N/mm <sup>2</sup> -0.1mm
	15N/mm <sup>2</sup> -0.1mm	
4	長沼らのモデル	2N/mm <sup>2</sup> -0.1mm
	15N/mm <sup>2</sup> -0.1mm	
5	長沼らのモデル	2N/mm <sup>2</sup> -0.1mm
	15N/mm <sup>2</sup> -0.1mm	

表-2 flange film elementの構成則

Case	せん断	引張
1	長沼らのモデル	剥離なし
	0.1N/mm <sup>2</sup> -0.1mm	
2	長沼らのモデル	剥離なし
	0.1N/mm <sup>2</sup> -0.1mm	
3	長沼らのモデル	2N/mm <sup>2</sup> -0.1mm
	0.1N/mm <sup>2</sup> -0.1mm	
4	長沼らのモデル	剥離なし
	圧縮応力による	
5	長沼らのモデル	剥離なし
	C4に付着を追加	

## 3. スタッドとコンクリートの付着

stud film elementの付着応力の違いによる影響を評価するためにstud film elementの付着応力が高いCase1と、付着応力が低いCase2を比較した。

### 3.1 付着応力の違いによる影響

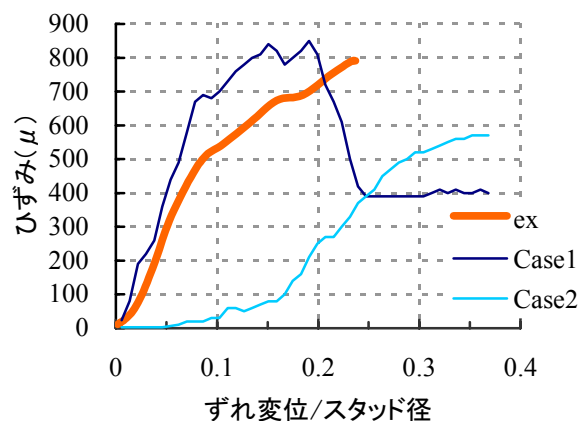


図-2 スタッドの引張ひずみ

Case1とCase2を比較してみるとCase1が実験値に近い傾向を示している。

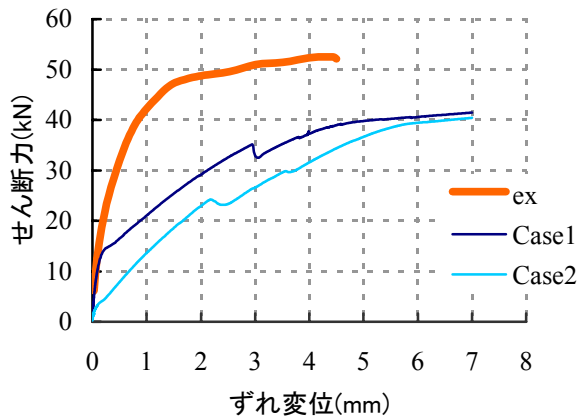


図-3 せん断力-ずれ関係

スタッドの引張ひずみ (図-2) , せん断力-ずれ関係 (図-3) どちらを見てもCase1のほうが実験に近い傾向を示していることが分かる。

### 3.2 スタッドの変形への影響

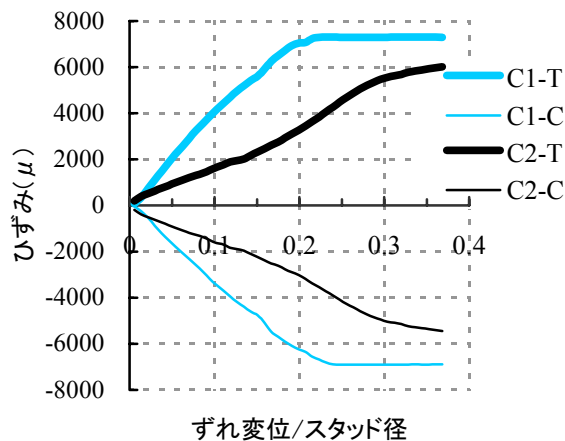


図-4 スタッドの引張・圧縮ひずみ

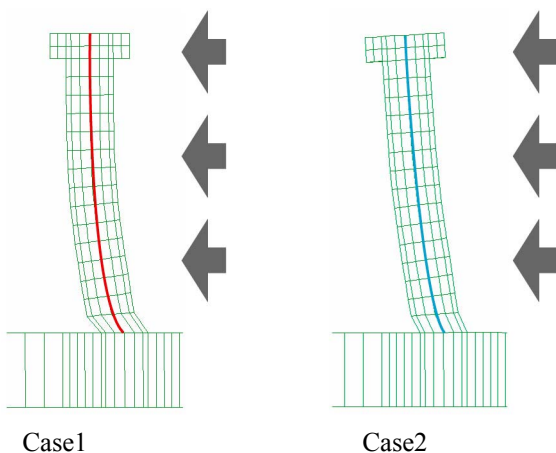


図-5 最終ステップでの変形 (変形倍率×2)

図-4を見ると、Case1がCase2よりも強い曲げを示している。これは変形図 (図-5) を併せて見れば明らかである。Case2は曲げが小さい状態でせん断力による変形を受けているが、Case1は強い曲げを受けながらせん断力による変形を受けていることが分かる。

当初はスタッド-コンクリート間の付着応力の影響は小さいと予測していたが、スタッド-コンクリート間の付着応力がスタッドの変形に及ぼす影響が大きいことが分かった。

結果は省略するが、他の解析ケースにおいても同様にstud film elementの付着応力が高いケースでは曲げが強くなり、逆に付着応力が低いケースでは曲げが弱くなっている。

今回の解析ではCase1の付着応力として入力した値に必ずしも合理的な根拠があるとは言えないため、今後は摩擦やコンクリートとスタッドの付着などを考慮した詳細な解析と検討が必要である。

## 4. コンクリートとフランジの付着関係

コンクリートとフランジの付着について検討するためにflange film elementのせん断特性と引張特性に着目して解析を行った。

Case3はCase1を基本としてフランジ-コンクリート間に剥離が生じるようにパラメータを定義した。

Case4はCase1を基本としてフランジから1mmの面の応力分布を目見当で分割し、作用圧縮応力の0.5倍を付着応力として定義した。

Case5はCase4を基本として、引張部分 (圧縮なしの部分) に2N/mm<sup>2</sup>で0.1mmの付着応力を追加で定義した。これは、摩擦ではなく、コンクリートと鋼の付着を再現するためのものである。

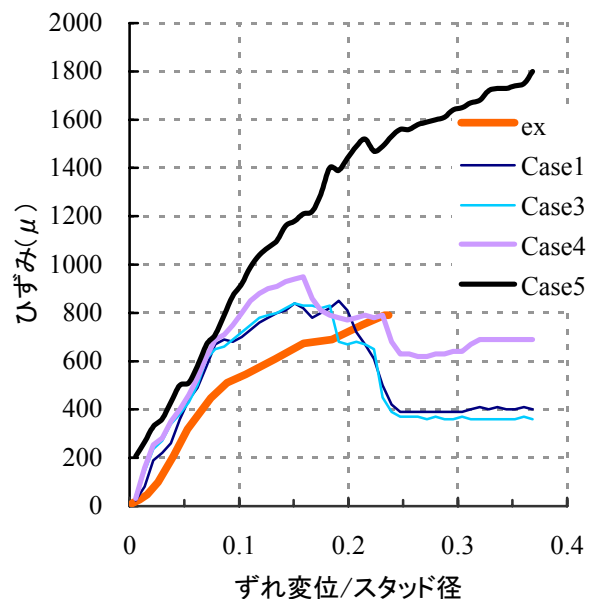


図-6 スタッドの引張ひずみ

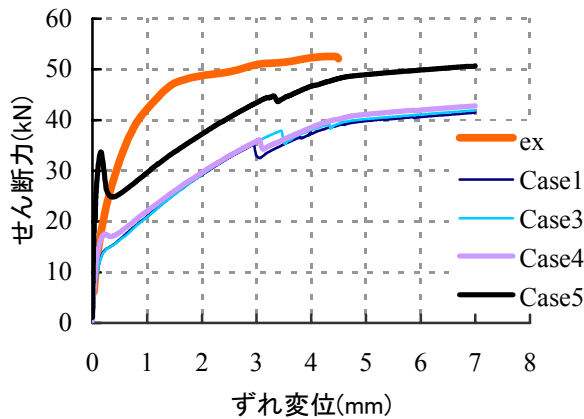


図-7 せん断力-ずれ関係

図-6と図-7を見てみると、Case1とCase3はほぼ同じ傾向が見られる。これは、剥離の有無が解析へ及ぼす影響が小さいことを示している。

Case4は図-7せん断力-ずれ関係においてはあまり変化が見られないが、図-6の引張ひずみにおいて変化が見られる。せん断力-ずれ関係への影響が少なかったことは、作用圧縮応力の分布が局所的であったことが原因と考えられる。しかしながら、ひずみへの影響があると判明した以上、これがどのような影響を与えるのか詳細な検討が必要である。

Case5を見ればわかるとおり、鋼とコンクリートの付着は解析結果に大きな影響を与えることが分かる。これは全体に付着応力を定義したため、モデルの影響が顕著に表れたと考えられる。ただし、引張ひずみ(図-6)において実験値との大きな隔たりが見られることから、コンクリートとフランジの付着は複雑な影響を生じていると分かる。

## 5. 三軸応力下のコンクリートの破壊条件

コンクリートの圧縮破壊条件について検討する。本解析は別モデルで行っているため、傾向が違うことを付記しておく。

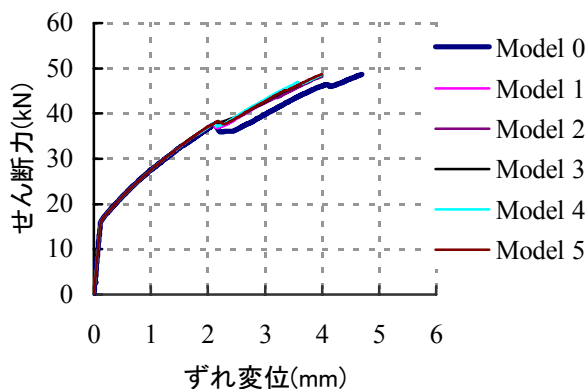


図-8 せん断力-ずれ関係

図-8を見ると、一軸圧縮応力保持のモデルと三軸応力下のモデルでは両者に少しの違いが認められる。しかし三軸応力下のモデルにおいてはModel1からModel5までがほぼ同じ結果のため、グラフが重なっている。

長沼らのモデル<sup>2)</sup>から考察すると、本解析では側圧が低い場合解析結果への影響が少なかったと考えられる。ただし、スタッド周辺のコンクリートは近辺の健全なコンクリートからある程度の側圧を受けると考えられるため、一軸圧縮強度を保持する設定よりも、三軸応力下のいずれかのモデルを適用すべきだと考える。

## 6. 結論

本研究では以下のことが判明した。

- ①スタッドとコンクリートの境界における圧縮側の付着応力がスタッドの変形に大きな影響を与える。
- ②フランジとコンクリートの剥離が与える影響はほとんどない。
- ③フランジとコンクリート間の摩擦による影響はせん断力-ずれ関係ではあまり影響を及ぼさないが、ひずみにおいては無視できない影響を与える。
- ④コンクリートの圧縮破壊条件は大きな影響を与えることはないが、軽度の三軸応力下が予想されるため、いずれかのモデルを適用すべきである。

スタッド-コンクリート間に関しては付着応力を定義することでせん断力-ずれ関係および引張ひずみに関して改善が見られる。これに対してフランジ-コンクリート間の付着応力はせん断力-ずれ関係および引張ひずみに関してそれぞれ別の変化が見られる。従ってフランジ-コンクリート間の付着に関しては、せん断力-ずれ関係もしくは引張ひずみのどちらか片方で良好な結果が得られれば、もう片方でも良好な結果が得られるというような単純な話ではなく、複雑な挙動が起こっている。

フィルム要素による付着の再現にはいくつかの疑問点が残っており、今後の研究では付着の再現に関して摩擦も含めたより詳細な検討が必要である。

### 参考文献

1) 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 Vol.64 No.4 P.935-947 (2008年11月)

2) 長沼一洋: 三軸圧縮下のコンクリートの応力~ひずみ関係, 日本建築学会構造系論文集 第474号 (1995年8月)