

FEMによる鋼・コンクリート接合部の非線形挙動に関する研究

(株)建設技術研究所 正会員 安達 弘展
 首都大学東京 正会員 野上 邦栄
 首都大学東京 正会員 山沢 哲也

1. 研究背景と目的

合成桁、合成床版やCFTに代表される合成構造は、構造的にも経済的にも優れていることから近年土木構造物で多用されるようになっており、問題となる部材の接合部における挙動も実験的に明らかになりつつある。しかし、接合部の挙動は、有限要素法などを用いた合理的な設計法に十分な精度を持って反映されていない。加えて有限要素法では解析コストが掛かることも懸念されている。そこで、本研究では、有限要素法による接合部の挙動の解析方法、さらに接合部の挙動を考慮した簡易解析法について「押し抜き試験¹⁾」を対象にして検討を行う。

2. 接合部の詳細FEMモデル

2-1. モデルの構築

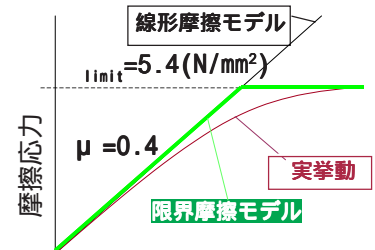
押し抜き試験のモデル化に際し、(1)～(5)の特性、および材料のモデル化を行った。

- (1)スタッド : ソリッド要素 (溶接部はモデル化しない)
- (2)鋼 : ソリッド要素
- (3)コンクリート : ソリッド要素 (補強鉄筋はモデル化しない。)
- (4)接合面の摩擦 : クーロン摩擦を「ばね」で表現 (図-1)
- (5)接合面の付着 : 非線形ばね要素 (図-2)

スタッドと鋼の構成則は、引張試験結果を参考にマルチリニア型とした。また、コンクリートの構成側は、圧壊、引張軟化を考慮している。圧壊発生ひずみ、引張軟化係数は、パラメータ解析の結果を参考にし、解析が行える範囲で実材料の挙動に即した値を選定している。

接合面の摩擦には、より実挙動に即した限界摩擦モデルを採用した。限界摩擦モデルとは、図-1に示すように、摩擦応力が一定の値に達するとそれ以上増加しないようにしたモデルを言う。

付着をモデル化した非線形ばねは、接合面に対して平面方向(2方向)、鉛直方向(1方向)の計3方向配置した。また、非線形ばねの挙動は、押し抜き試験²⁾、鉄筋の引張試験⁴⁾の実験結果を参考に決定した。



法線方向応力
 図-1 摩擦の挙動^N

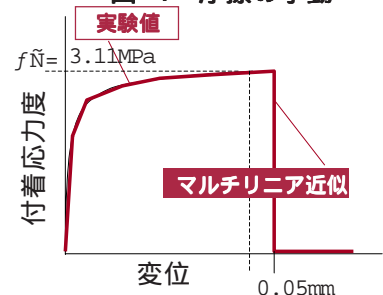


図-2 付着の非線形ばね

2-2. モデル化の範囲と解析ケース

解析対象である押し抜き試験の構造及び載荷条件が対称であることから、図-3に示すように、1/4断面のみをモデル化した。この条件の下、摩擦・付着のそれぞれを考慮する場合と考慮しない場合にケースを分類して解析を行った(表-1)。

表-1 解析ケース1

モデル名	スタッド	摩擦	付着
solid-1	ソリッド要素	無し	無し
solid-2	ソリッド要素	無し	付着考慮
solid-3	ソリッド要素	摩擦考慮	無し
solid-4	ソリッド要素	摩擦考慮	付着考慮

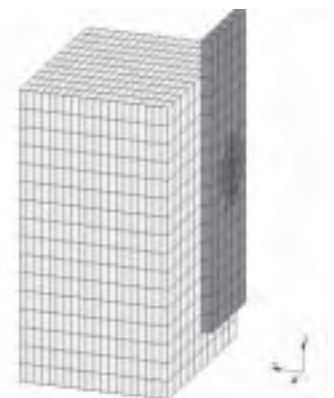


図-3 モデル図

2-2. 解析結果

図-4に荷重-相対変位を示す。最大せん断耐力に比較すると、図よりsolid-1, solid-3の解析結果では、せん断耐力を概ね精度良く評価していることがわかる。これに対して、solid-2, solid-4の付着を考慮したモデルでは、せん断耐力が実験値より30%程増加していることがわかる。

次に弾性限界に焦点を当てると、どの解析モデルでも実験値よりも25～30%程耐力が減少している。このことは、スタッドの溶接部分をモデル化していないために、スタッド溶着部分への応力集中が増大したことが要因の一つとして考えられる。

図-4の弾性域を拡大したものを図-5に示す。この図より、荷重42(kN/stud)程度までならsolid-2(付着考

キーワード：合成構造，押し抜き試験，FEM

連絡先：〒192-097 東京都八王子市南大沢1-1 TEL：0426-77-1111 FAX：0426-77-2772

慮) の耐力が他のモデルの3倍ほどに増加していることがわかる。このことから、設計荷重を考えた場合には、接合面の付着がせん断耐力に及ぼす影響が大きいと考えられる。

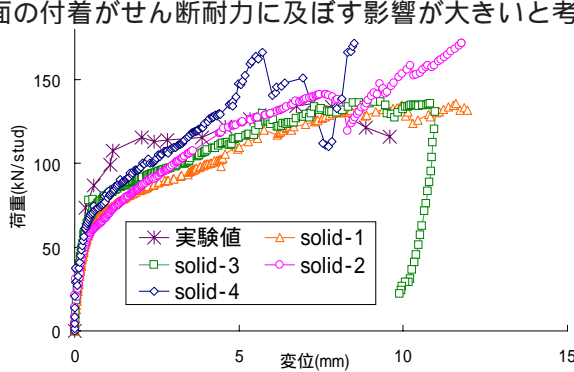


図-4 荷重 - 相対変位(詳細モデル)

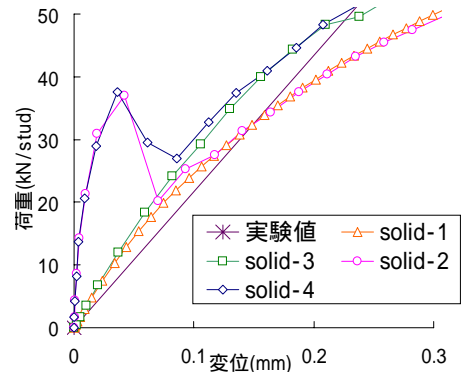


図-5 荷重 - 相対変位(拡大図)

3. 接合部の簡易FEMモデル(簡易ばねモデル)

3-1. モデルの構築

前項の詳細モデルを考慮しつつ、構造全体系でも解析が行えるように、簡易ばね要素による簡易解析方法を検討した。具体的には、スタッドのモデル化をソリッド要素の代わりにばね要素で行った。ばね要素の構成則は、前述の2-2の解析結果から、(スタッドに作用する力)と(スタッドの変位)の関係に着目して決定した(図-6)。そして、表-2に示すケースにおいて解析を行った。

表-2 解析ケース2

モデル名	スタッド	摩擦	付着
spring-1	ばね要素	無し	無し
spring-2	ばね要素	無し	付着考慮
spring-3	ばね要素	摩擦考慮	無し
spring-4	ばね要素	摩擦考慮	付着考慮

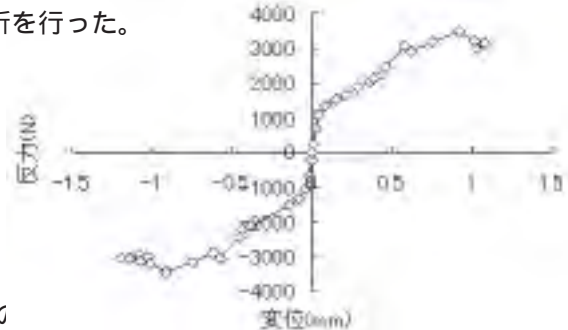


図-6 ばね要素の構成則

3-2. 解析結果

図7に荷重 相対変位を示す。図より、spring 1~3の解析結果では、せん断耐力を概ね精度良く評価していることがわかる。これに対して、spring-4(付着・摩擦を考慮)のモデルでは、弾性限界の辺りで解の収束性の悪化が起こり、解析が終了している。

次にspring-2,3を比較すると、最大耐力はspring-3(摩擦考慮)が8%程大きい。スタッドの設計強度(40kN/stud)の範囲においては、spring-2(付着考慮)のほうが耐力が高い結果が得られた。これは、前述の2と同様に設計強度の範囲では付着の効果により耐力が増加し、塑性域では付着切れのために耐力の低下が起こっているためと考えられる。

また、spring-1とsolid-1を比較すると、曲線の形状、及び最大耐力が概ね一致している。

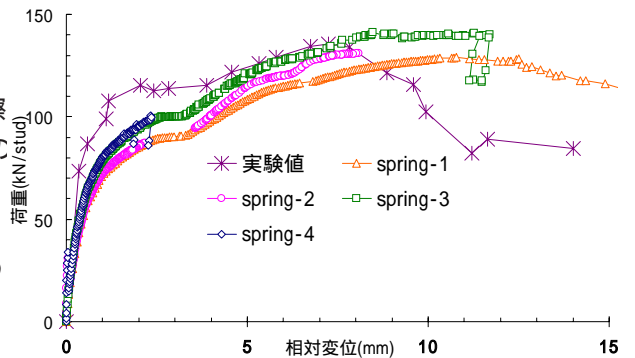


図-7 荷重 - 相対変位(簡易モデル)

4. 結論

- (1) ずれ止めをソリッド要素にし、摩擦を考慮したモデル、また、ばね要素を用いた簡易ばねモデルでも、押し抜き試験のせん断耐力を精度良く評価できることが明らかになった。
- (2) 付着を考慮することによる耐力の増加は、最大耐力のみならず、弾性域における耐力の増加も起こし、更に付着切れの挙動を生じることがわかった。
- (3) 提案する簡易ばねモデルを用いたせん断耐力評価は、FEMによる詳細な解析と同等の精度を得ることが明らかになった。

参考文献

- 1) 平城弘一・松井繁之・武藤和好: 柔な合成作用に適するスタッドの開発, 構造工学論文集 vol.44A 1998
- 2) 岡田敦・依田照彦・Jean-Paul LEBET: グループ配列したスタッドのせん断耐荷性能に関する検討, 土木学会論文誌No.766/ -68,81-95,2004.7
- 3) 西村美也子: 複合構造鋼・コンクリート接触面の付着性状に関する研究, 宇都宮大卒論, 2004
- 4) 河村祐作・深沢協三・立花正彦: 防錆塗装鉄骨を用いたSRC部材の力学的性状に関する実験的研究, 第5回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 2003