

## 異形鉄筋の半円形フック定着の FEM 解析

大成建設(株) 正会員 ○横井 晶有  
岐阜大学 正会員 内田 裕市

## 1. はじめに

近年、数値解析によるコンクリートのひび割れの進展や鉄筋の付着、定着挙動を解明する研究が進められている。磯部ら<sup>1)</sup>は一軸引張りを受ける鉄筋コンクリート部材を対象として、異形鉄筋の節サイズまで分割したモデルを用いて、三次元 FEM 解析により、ひび割れや鉄筋の付着挙動を再現している。しかしながら、フックによる定着挙動に関しては、実験的に検討した事例が多く、解析的に検討したものは非常に少ない。

そこで、異形鉄筋のフック定着の定着挙動を解析的に再現することを目的とし、半円形フックの引張試験を行い、これを FEM 解析により再現することを試みた。

## 2. 試験概要

本試験で使用した半円形フック試験体を図-1 に示す。試験体は鉄筋定着・継手指針[2020 年度版]においてせん断補強筋の評価基準フック試験体として規定されているものであり、鉄筋を D22 (SD345) とし、曲げ内半径 55mm、フック長  $8\phi$  としたものである。試験体はフック部のみの定着を検討するために、鉄筋の定着長に相当する部分はアンボンドである。また、かぶりコンクリートが剥落した状態を想定し、鉄筋の最下端はコンクリートから露出している。

荷重装置を図-2 に示す。荷重試験は指針に準じて行った。計測項目は荷重（鉄筋応力度）とフックの拔出し量とした。フックの拔出し量は、フックの折曲げ位置（図-1 中の赤丸）にインバー線を取り付けて計測した。なお、拔出し量はコンクリート底面の中心部から 100mm の位置を不動点として計測した。

## 3. 解析概要

FEM 解析には、汎用有限要素解析プログラム DIANA を用いた。解析モデルは図-3 に示すように対称性を考慮して試験体の 1/2 をモデル化した。本研究では、異形鉄筋の節からの支圧を考慮するために、図-4 に示すように、異形鉄筋の節サイズをモデル化し、鉄筋-コン

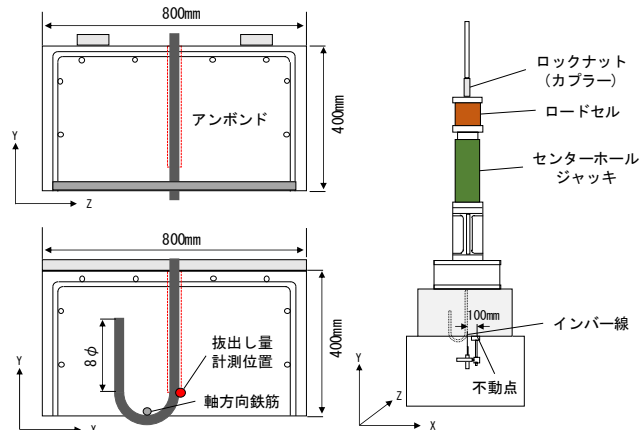


図-1 試験体 図-2 試験体荷重装置

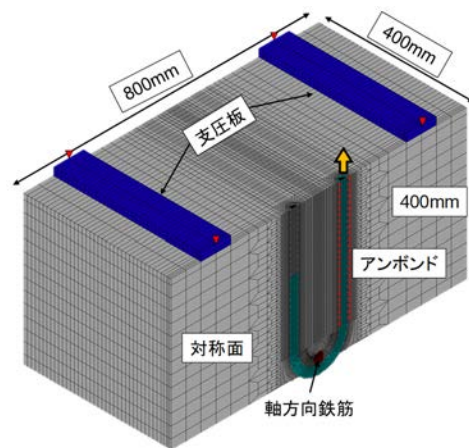


図-3 解析モデル

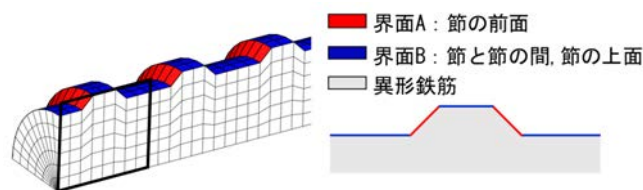


図-4 界面要素形状

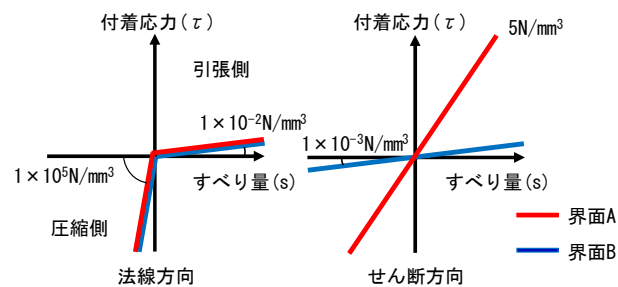


図-5 界面要素の特性

キーワード 定着, 半円形フック, 三次元 FEM 解析, 横拘束

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株) 土木設計部橋梁設計室 TEL:03-5381-5297

クリートの界面には界面要素を設けた。支圧抵抗力が發揮される節の前面を界面 A、節と節の間および節の上面を界面 B とした。本解析では磯部ら<sup>2)</sup>を参考に界面要素の特性を設定した。(図-5)

本解析で使用した材料定数を表-1 に示す。鉄筋は弾性体とした。コンクリートの圧縮強度と引張強度は材料試験結果から決定した。コンクリートは全ひずみひび割れ理論に基づくモデルとし、ひび割れは破壊エネルギーを考慮した回転ひび割れモデルを用いた。通常、コンクリートが圧縮力を受ける場合、コンクリートはポアソン効果により、圧縮力を受ける方向と直交する方向に膨らもうとする。本検討のように、半円形フックから局所的な支圧力を受けると、周囲のコンクリートの拘束によって横拘束状態となり、支圧強度が増大すると考えられる。そこで、コンクリートの横拘束状態を考慮することとし、破壊基準として今回は、Selby and Vecchio の横拘束モデル<sup>3)</sup>を用いた。一軸の圧縮応力-ひずみ曲線は bi-linear 型とし、横拘束を考慮する場合としない場合を検討した。横拘束を考慮する場合のコンクリート降伏後の挙動は、支圧強度の増大を考慮して、降伏後の勾配をヤング率の 1/200 (125N/mm<sup>2</sup>)、1/100 (250N/mm<sup>2</sup>) とし線形硬化させる場合とさせない場合 (0N/mm<sup>2</sup>) の 2 パターンとした。解析ケースを表-2 に示す。

表-1 材料定数

コンクリート		鉄筋(弾性体で降伏しない)	
ヤング率	25kN/mm <sup>2</sup>	ヤング率	200kN/mm <sup>2</sup>
ポアソン比	0.2	ポアソン比	0.3
圧縮強度	24.4N/mm <sup>2</sup>		
引張強度	2.9N/mm <sup>2</sup>		
引張破壊エネルギー	0.136N/mm		

表-2 解析ケース

解析ケース	多軸拘束状態を考慮	降伏後の勾配(N/mm <sup>2</sup> )
ケース①	なし	0
ケース②	あり	0
ケース③		125
ケース④		250

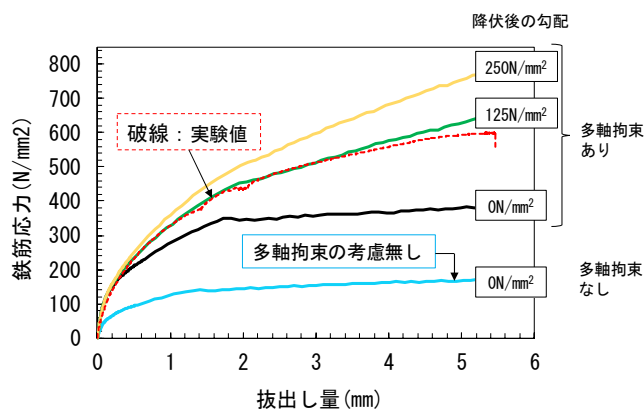


図-6 鉄筋応力-拔出し量

#### 4. 解析結果

図-6 に鉄筋応力-フックの折曲げ位置の拔出し量の FEM 解析結果と実験結果を示す。横拘束の影響を考慮しないケースでは、鉄筋応力が 180N/mm<sup>2</sup> 程度までしか達せず、実験結果を大きく下回る結果となった。一方、横拘束を考慮したケースでは、降伏後の勾配に応じて鉄筋応力が增大する結果となった。今回の検討では、横拘束を考慮し、降伏後の勾配を 125N/mm<sup>2</sup> とする場合に実験値とほぼ一致する結果となった。今後の課題として、横拘束効果を含めたコンクリートの材料モデルの妥当性、ならびに鉄筋の径、強度などのパラメータの影響について検討する必要があると考えている。

#### 5. まとめ

本検討では異形鉄筋の半円形フックの定着挙動に関して、鉄筋の節サイズまでモデル化し、圧縮強度に対する横拘束効果を考慮したコンクリートの材料モデルを用いて、三次元 FEM 解析を行った。検討の結果、横拘束を考慮し、降伏後の勾配を 125N/mm<sup>2</sup> とすることで、鉄筋応力-拔出し量関係の実験値と解析値がほぼ一致した。

#### 参考文献

- 磯部岳, 竹山忠臣, 佐々木亘, 内田裕市: 繊維補強鉄筋コンクリート部材のひび割れ性状に関する解析的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol41, No.2, p1159-p1164, 2019
- 磯部岳, 横井晶有, 竹山忠臣, 内田裕市: 重ね継手の付着割裂破壊の FEM 解析における付着モデルの影響, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, V-615, 2020
- Vecchio, F. J. and Collins, M. P: Compression Response of Cracked Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.119, No.12, pp.3590-3610, 1993