

鉄筋の節形状を考慮した拘束型重ね継手の FEM 解析

FEM Analysis of Constrained Lap Joint Considering Nodal Shape of Reinforcing Bar

○伊藤 輝哉(前工大・院) 岡野 素之 (日本鉄筋継手協会) 宮川 睦巳(前工大)

Teruya ITO, Maebashi Institute of Technology graduate school, 460-1, Kamisadori, Maebashi-City, Gunma 371-0816

Motoyuki OKANO, Japan Reinforcing Bar Joints Institute, Kudan 101 Building 2F, 1-8-1 Kudan-kita, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0073

Mutsumi MIYAGAWA, Maebashi Institute of Technology graduate school, 460-1, Kamisadori, Maebashi-City, Gunma 371-0816

1.はじめに

建設分野で用いられるプレキャスト部材の継手において機械式継手に代わるものとして図 1 に示すような拘束型重ね継手がある。拘束型重ね継手は周囲のモルタルをスパイラル鉄筋で拘束することにより重ね長さを短くすることができる。また鉄筋とモルタルのみを使用しているため施工性、経済性に優れている¹⁾。これらは既往の研究において解析によるモデル化が進められている。しかし、付着性状に関しては精度が低い部分があり、その理由の 1 つに挙げられるのが継ぎ手に使用される鉄筋を丸鋼でモデル化しているために、図 2 に示すモルタルの内部ひびわれが再現できず、それによるモルタルの破壊を考慮していなかったことである。

そこで本研究では鉄筋の節をモデル化することで内部ひび割れやモルタルの破壊を再現し、付着モデルの精度を高めることを目的とする。

2.解析の概要

2.1 解析モデルと解析方法

本研究では主鉄筋降伏前抜け出し型破壊を起こす重ね長さ 5Φ 、スパイラル筋ピッチ 20mm、添え筋 2 本の 05202 試験体を対象とし、3次元 FEM 解析ソフト FINAL²⁾を用いて解析を行う。

解析モデルを図 3 に示す。継手の対称性から水平断面の 1/4、鉛直断面の 1/2 を解析する 1/8 断面とした。モルタルと全ての鉄筋は六面体要素を用い、図 4 に示す通り鉄筋の節も再現する。また、主鉄筋とモルタル間に FILM 要素を入れ、付着特性を考慮する。この際の平滑な面の付着強度はコンクリート標準示方書⁴⁾を参考に既往のモデル¹⁾を調整する(図 5)。なお、実験で用いたスパイラル筋は端部が解放されているが、モデル化が困難なため短形断面の帯筋として表現し、拘束効果の整合性を図るため既往の研究⁵⁾を参考に上端を 1 リング減らす調整をする。

2.2 荷重条件

荷重は主鉄筋上端を鉛直上向きに 1/4 断面当たり 0.5kN/step (98.7N/mm^2) ずつ単調増加させた。なお、1step での変位が大きくなりすぎるとうまく解析ができなくなる場合があるため、134kN 載荷時以降は 1/4 断面あたり約 0.08kN/step ずつ載荷している。

2.3 材料条件

材料条件は実験結果を参考にモルタルの圧縮強度を 47.1N/mm^2 、ヤング係数を 23009N/mm^2 とし、引張側に出雲らのモデル、圧縮側に修正 Ahmad モデルを用いた。また主鉄筋(D25SD390)、添え筋(D19SD390)スパイラル筋の降伏点をそれぞれ 414.4N/mm^2 、 437.3N/mm^2 、 292.3N/mm^2 とし、各鉄筋のヤング係数を 200000N/mm^2 とした。そして鉄筋には引張側にバイリニアモデルを用いる。

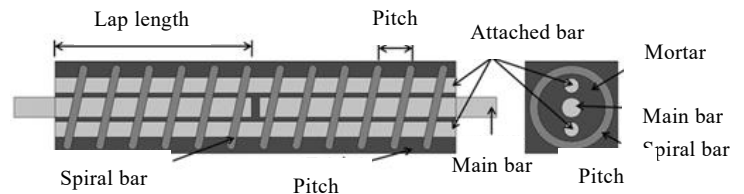


Fig.1 Outline of constrained lap joint.

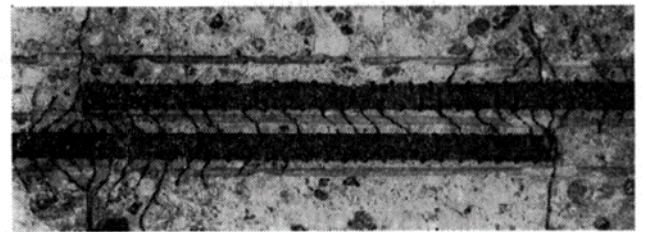


Fig.2 Internal cracks in concrete around lap joints of bar¹⁾

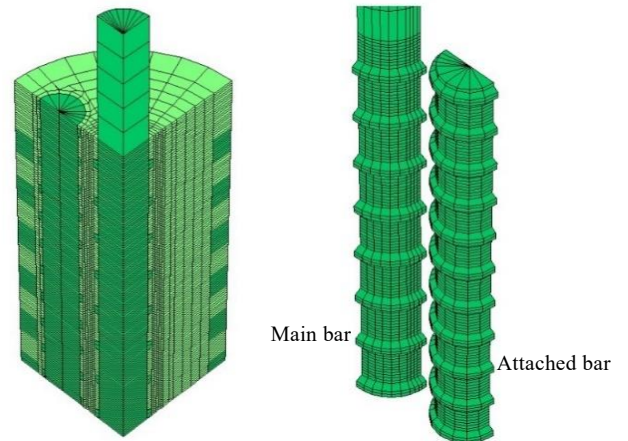


Fig.3 Analysis model (Overall) Fig.4 Analysis model (bar)

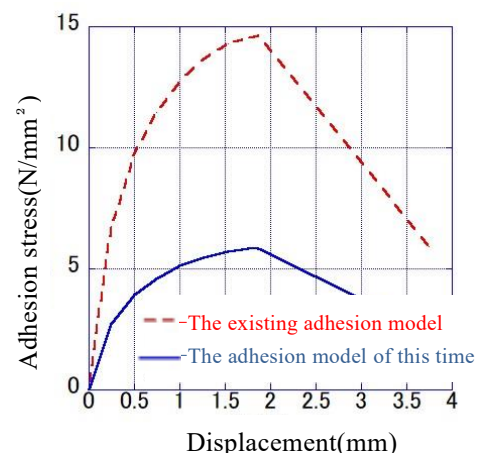


Fig.5 Adhesion model³⁾

3.解析結果と考察

3.1 モルタル内部の応力状態

主鉄筋と添え筋の間における荷重 50kN 時でのモルタル部分のひび割れ図(図 6)と最小主応力コンター図(図 7)を右に示す。図 6 より、モルタル全体に図 2 で示したような主鉄筋(右側)の節から添え筋(左側)の節に伸びるひび割れが発生していることがわかる。また、図 7 より、主鉄筋前面及び内部ひび割れ発生個所に圧縮力が作用していることがわかる。さらに同様の位置でのモルタルの Softened(圧縮軟化)および P-softened(圧縮破壊)の進展状況(図 8)を見ると、110kN から荷重が増加するにしたがって主鉄筋の節前面およびひび割れ発生位置より圧縮軟化が進展していくようすが確認できる。このとき、抜け出した主鉄筋側の方が添え筋側より破壊が進んでいることから主鉄筋側により大きい付着応力がかかっていると考えられる。以上より、重ね継手における内部ひび割れの発生とそこから発生するモルタルの破壊挙動を再現することができたと言える。

3.2 既往の研究との比較

今回の解析における主鉄筋の荷重変位関係を図 9 に示す。なお、プロットした点は図 8 の荷重と対応している。これを踏まえて実験値と比較すると、初期剛性や破壊荷重はおおむね一致しているが、その間での剛性を高く評価していることがわかる。図 8 を見ると 100kN 時では鉄筋間のモルタルの軟化はほとんど見られないが、実験値では傾きが大きく変化している。この理由として、実際は荷重が小さい時にも圧縮軟化が進行していることや、施工時のブリーディング水による影響があると推測される。

また既往の解析と比較すると傾きが軟化する荷重が小さくなっている。これは今回の解析で鉄筋の節を再現したことによりモルタル内部の Softening が早く進行していることが原因であると考えられる。また、軟化前の傾きが小さくなっているのはモルタルの節前面での抵抗が原因と考えられる。

4.まとめ

拘束型重ね継手において、鉄筋の節をモデル化し引き抜き試験の FEM 解析を行った結果、以下のことが分かった。

- 1) モルタルの内部ひび割れの発生とそこから圧縮軟化が進展する様子といったモルタル内部の応力状態を解析により再現することができる。
- 2) モルタルの圧縮軟化は主鉄筋の節前面より進行する。
- 3) 実験での荷重変位関係と比較して、初期剛性や破壊荷重をおおむね再現することができたがその間でのモルタルの引き抜き剛性を高く評価してしまう。
- 4) 解析値と実験値との整合性を高めることで、既往の付着モデルの精度を解析的に評価することができる可能性がある。

5.今後の課題

今後同様の解析をする際に以下のような課題が残されている。

1)解析モデルの再検討

今回使用したすべり性状を現す式は精度が十分に評価されていないため、平滑な面、節前面、後面に使用する式を個別に検討し直す必要がある

2)適用範囲の拡大

重ね長さや添え筋の本数を変えることで C 型破壊だけでなく Yc 破壊や Yb 破壊する継手にも応用可能なものとし、さらに異なる鉄筋径でも使用できる付着モデルを作成する必要がある。

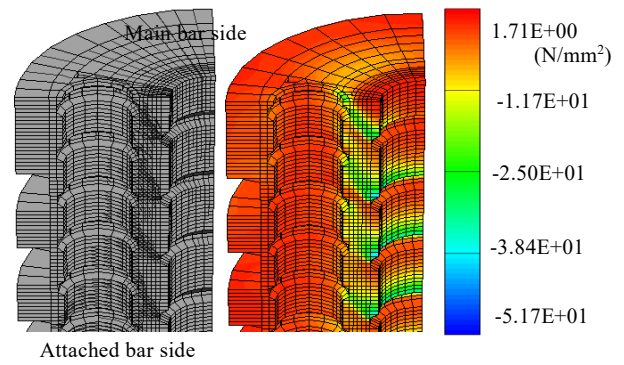


Fig. 6 Crack figure

Fig. 7 Min. principal stress contour figure

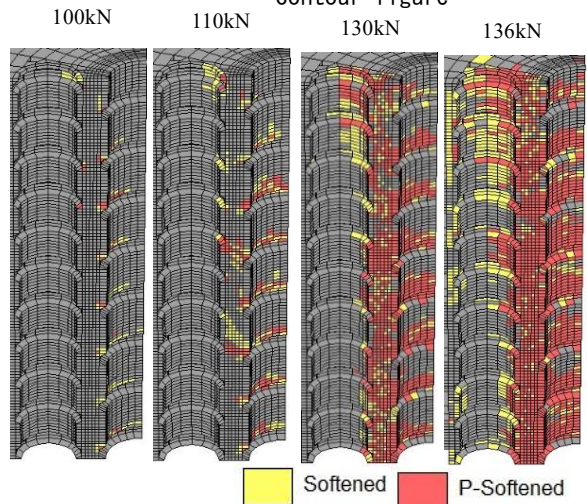


Fig. 8 Progress of softening and P-softening

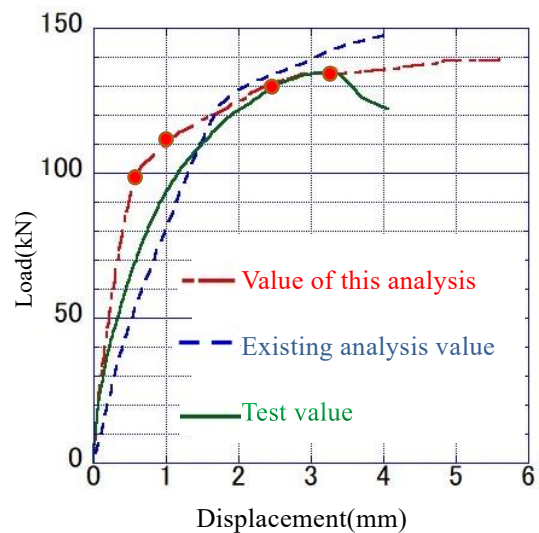


Fig. 9 Load-displacement relationship

参考文献

- 1) 深澤 祐輔: 付着モデルを考慮した拘束型重ね継手の FEM 解析, 前橋工科大学 H29 年度卒業研究論文, 2018.
- 2) 後藤幸正, 大塚浩司: 引張を受ける異形鉄筋周辺のコンクリートに発生するひびわれに関する実験的研究, 土木学会論文報告集第 294 号, 1980 年 2 月
- 3) FINALHP: (<http://www.engineering-eye.com/>)
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書設計編, 2012.
- 5) 佐々木 裕明: スパイラル筋による重ね継手の拘束効果に関する解析, 前橋工科大学 R3 年度修士論文, 2021