付着強度が重ね継手部の挙動に及ぼす影響の数値解析的評価

名古屋大学大学院　学生会員　○森　大輔
名古屋大学大学院　正会員　中村　光，三浦　泰人

1.　はじめに

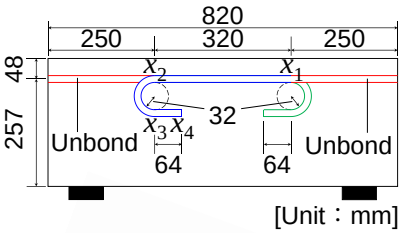
重ね継手は、設計では主に構造細目として規定されているが，関連する規定については，過去において行われた限られた実験結果に基づいて定められたものであり、その力学的根拠を説明することが困難となっている。そこで本研究では，端部にフックを有する重ね継手部を模擬した丸鋼と異形鉄筋を用いた RC 供試体を想定し、鉄筋の付着強度が、重ね継手やフック部のひび割れ進展や力の伝達挙動に与える影響について解析的に検討した．

2.　数値解析の概要

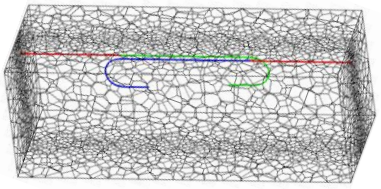
本研究では，剛体要素をバネで結ぶ 3D-RBSM（３次元剛体バネモデル）によりコンクリートをモデル化し，はり要素により鉄筋をモデル化した．また，はり要素と剛体要素をバネで結び，鉄筋軸方向バネに付着応力-すべり関係を導入している．本手法により鉄筋の付着挙動や付着ひび割れを妥当に再現できることが明らかになっている [1)]．

図-1 に供試体諸元と 3D-RBSM による解析モデルを示す．解析対象は 300×300×820mm の重ね継手を有する部材である．中央部の鉄筋直径 20 倍の 320mm で重ね継手となるように 2 本の D16 鉄筋をかぶり 40mm で配置した．また，端部のフックは曲げ内半径を鉄筋直径 2 倍の 32mm とした．なお，継手区間とフック部以外の直線部はアンボンド区間である．コンクリート要素の平均寸法は重ね継手周辺部で 8mm，それ以外で 30mm とした．

コンクリートの圧縮強度は 54.5N/mm^2 とし，鉄筋の付着強度は異形棒鋼を想定した 18.5N/mm^2 ならびに丸鋼を想定した 2.8N/mm^2 とする 2 体の供試体をモデル化した．解析モデルの境界条件は単純ばりと同様とし，両側面の鉄筋に引張変位を与えることで鉄筋の両引き試験を行った．



(a) 供試体諸元



(b) 解析モデル

図-1　供試体概要

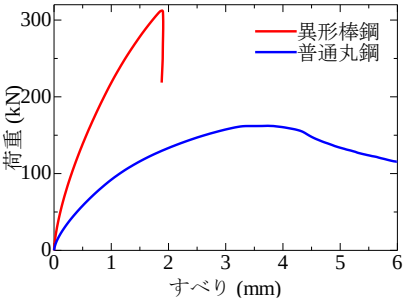


図-2　荷重-すべり関係

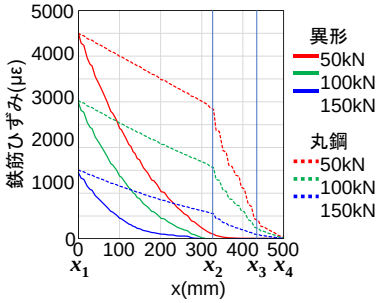


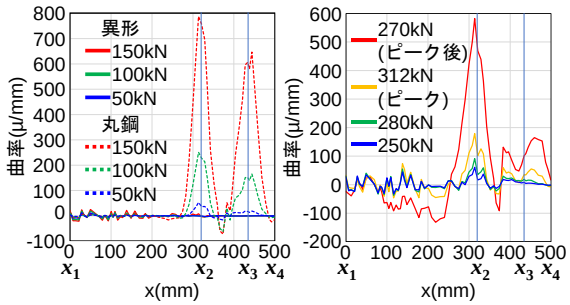
図-3　重ね継手鉄筋の軸ひずみ分布

3 付着強度の影響評価

3.1　荷重-すべり関係と鉄筋のひずみ分布

図-2 に，解析より得られた，鉄筋の荷重-すべり関係を示す．すべりは，**図-1(a)**の継手区間開始点x_1における鉄筋のコンクリートに対する相対変位である．最大荷重は異形棒鋼と普通丸鋼の場合でそれぞれ 312，162kN となった．異形鉄筋は丸鋼に比べて 2 倍程度の強度となる一方，急激な荷重低下がみられた．

図-3 に，荷重が 50，100，150kN 付近における異形鉄筋ならびに丸鋼の軸ひずみ分布を示す．横軸は継手区間開始点からフックの余長先端部までの区間における鉄筋位置を示している．横軸の x_1～x_4 は**図-1(a)**に示した鉄筋位置に対応しており，x_1 は継手区間開始点，x_2 はフック始点，x_3 はフ



(a)　付着強度の違いによる比較　　(b) 異形棒鋼

図-4　重ね継手鉄筋の曲率分布

ック終点，x_4 は余長先端部である．異形鉄筋は付着の効果により継手区間で急激にひずみが減少し，100kN の段階ではフックまでひずみが伝達していない．一方，普通丸鋼は 50kN の時点でフック終点までひずみが伝達した．その後，荷重増加に伴いフック部のひずみが増加した．

図- 4(a)に荷重が 50，100，150kN 付近における異形鉄筋ならびに普通丸鋼の曲率分布を示す．**図- 4(b)**に，異形棒鋼の 250，280，312（ピーク時），270kN（ポストピーク）における曲率分布を示す．正の曲率は，下に凸な曲げ変形が生じていることを表している．**図-4(a)**に示すように，フックまでひずみが伝達しやすい普通丸鋼の場合，フックの始点と終点で局所的な曲げ変形が生じていることがわかる．一方，異形棒鋼は，**図-4(b)**の 250kN 程度でフック部に局所的な変形が生じ，最大荷重以降，曲率が大幅に増大した．以上より，付着強度が継手区間の応力伝達とフック部の局所的な変形に大きな影響を及ぼすことが確認された．

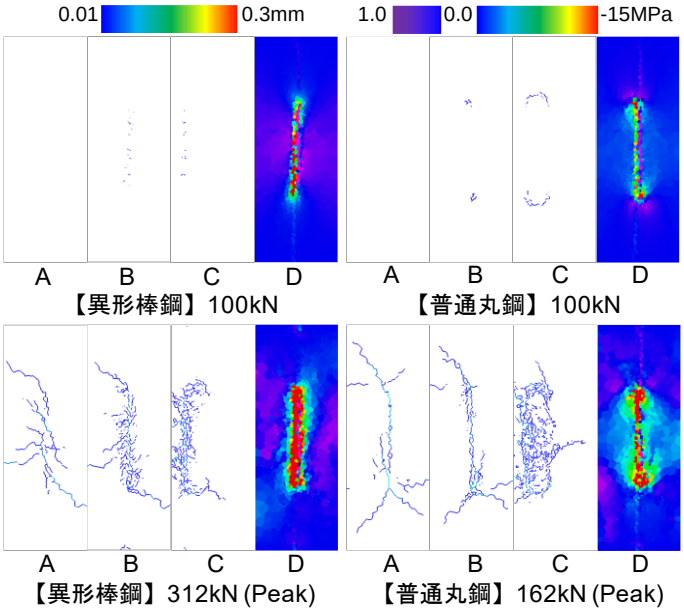


図- 5　ひび割れ性状と応力図

3.2　ひび割れ性状と応力分布

図-5 に，100kN ならびに最大荷重時における異形棒鋼および普通丸鋼供試体のひび割れ性状および応力図を示す． A~D のそれぞれの図は，A が上面におけるひび割れ図，B が重ね継手高さ断面におけるひび割れ図，C が正面から見た幅中央断面におけるひび割れ図，D がコンクリートに作用する軸方向応力図（重ね継手高さにおける断面）である．**図-5** に示すように 100kN 程度のとき，異形棒鋼においては重ね継手鉄筋間の圧縮ストラット部で，普通丸鋼においてはフック部で，内部ひび割れが生じた．応力図からも，異形棒鋼の方が重ね継手区間に高い圧縮のストラット応力が働いていることがわかり，この影響で継手間にひび割れが発生したと考えられる．一方で，普通丸鋼は異形棒鋼に比べ，フック部に初期から力が伝達されるため，フック部の局所的な応力がひび割れ発生に影響したと考えられる．いずれの鉄筋も 100kN の時点では表面にひび割れは生じず，内部のみに損傷が生じている．異形棒鋼の最大荷重時には，フック部からフック外側の斜め方向に側面まで進展するひび割れが発生するとともに，継手区間においても多数の損傷が確認できた．このフック外側のひび割れが耐力に影響したと考えられる．普通丸鋼は異形棒鋼と比べて，最大荷重を迎えても継手区間の損傷が少なかった．ただし，フック部を起点として外側 2 方向の斜めひび割れが進展した．このひび割れが耐力に関係しているとみられ，フック部周辺の局所的な応力評価が重要であると考えられる．

4.　まとめ

丸鋼と異形鉄筋を用いた重ね継手を有する RC 部材の両引き試験を想定し，付着強度が重ね継手の挙動に及ぼす影響を検討した．その結果，異形棒鋼の重ね継手の場合，継手部とフックが引張力に対して有効に抵抗するのに対して，付着強度の弱い丸鋼の場合，フック部に力が伝達された結果，フック部に局所的な変形挙動が生じ，その周辺の損傷が卓越する可能性が示された．付着強度の違いにより，重ね継手部とフックでの支配的な応力抵抗挙動が異なり，結果としてひび割れ挙動にも影響することが示された．

参考文献

1) Usman Farooq, Hikaru Nakamura, Taito Miura, Bond behavior evaluation of deformed rebar dependent on lateral pressure confinement including various structural parameters, Cem Concr Compos, 119 (2021), p. 103996

謝辞

本研究は，科学研究費基盤研究（B）（21H01408）の助成を受けて行ったものである．