

3次元剛体バネモデルによる90度および180度フックの定着メカニズムの考察

名古屋大学 学生会員 ○濱千代 晃平
名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 三浦 泰人

1. はじめに

鉄筋の過密化の原因の1つとして標準フックの配置があり、生産性向上の観点から見直しが求められている。しかし標準フックの合理的な見直しを行うには、その定着メカニズムを明確にすることが必要となる。そこで本研究では3次元剛体バネモデルを用いて、90度、180度フックを対象として、フック部のひずみの伝達挙動やフック部周辺の応力伝達メカニズムの考察を行った。

2. 解析手法および解析モデル

解析手法は、当研究室で開発したコンクリートをバネで結んだ剛体要素でモデル化し、鉄筋をはり要素の断面を分割したファイバー要素でモデル化して構造解析を行う剛体モデルを用いた¹⁾。解析に用いた解析モデルを図-1に示す。解析モデルは、断面550mm×550mm、高さ440mmのコンクリート供試体の中央に、直径 $\phi=22$ mmで端部に90度および180度フックを有する異形鉄筋を、埋め込み深さ 12ϕ で配置している。フックの余長はいずれも 4ϕ とした。また、フック部の挙動を考察するのが目的のため、埋め込み深さのうちコンクリート表面から 11ϕ の区間は無付着区間とした。コンクリートの圧縮強度は27.8MPa、鉄筋の降伏応力は1031MPa、降伏ひずみは 5100μ である。解析モデル上部の鉄筋に引張力を与えて引抜き解析を行った。

3. 90度および180度フックの定着メカニズムの評価

3.1 荷重-すべり関係

図-2に引き抜き荷重とフック開始点におけるすべり関係を示す。180度フックでは、すべりが約2.4mmでピークを迎え、付着割裂破壊により荷重低下した。一方90度フックでは、すべりが約3.0mmの地点でほぼ一定の荷重(約250kN)となり、その後すべりだけが增大する結果となった。両者の荷重-すべり関係は、初期勾配は同一であるが、すべりが0.3mm程度から90度フックの方が小さな荷重を示すようになった。

3.2 フック部のひずみ分布および変形挙動

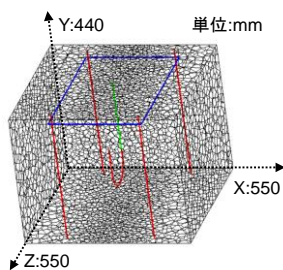
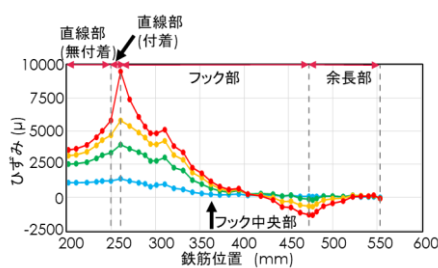
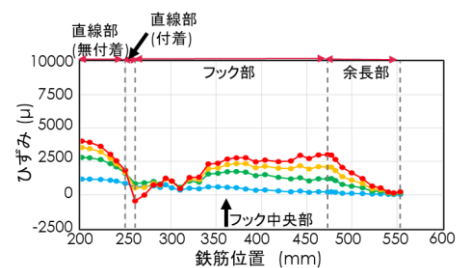


図-1 解析モデル(180度フック)



(a) 内縁ひずみ分布



(b) 外縁ひずみ分布

図-3 180度フックのひずみ分布

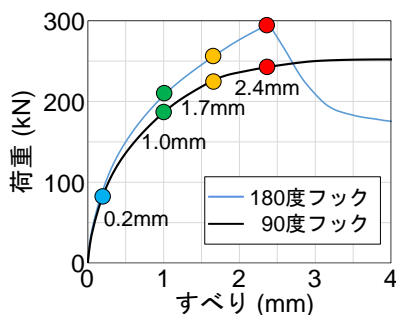
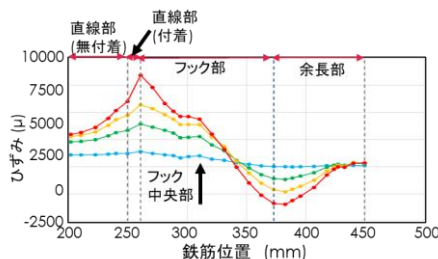
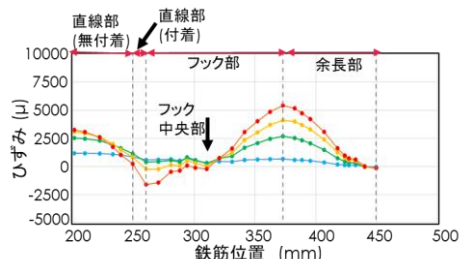


図-2 荷重-すべり関係



(a) 内縁ひずみ分布



(b) 外縁ひずみ分布

図-4 90度フックのひずみ分布

図-3 および図-4 に 180 度フックおよび 90 度フックの埋め込み深さ 9φ からフック端部までのフック内縁側およびフック外縁側のひずみ分布を示す。ひずみ分布は図-2 中の丸印に対応し、両者の荷重が等しいすべり 0.3mm 時点(水色)、荷重に差が生じたすべり 1.0mm(緑色)、1.7mm 時点(橙色)、180 度フックの最大荷重に対応するすべり 2.4mm 時点(赤色)を示している。

図-3 に示す 180 度フックのひずみ分布は、フック開始点で内縁に大きな引張ひずみが生じ、以降は減少して余長開始点で圧縮ひずみが生じる。余長部では圧縮ひずみが徐々に減少する。一方外縁では、フック開始点で圧縮ひずみが発生した後引張ひずみが分布し、余長部で小さくなる。一方外縁では、フック開始点で圧縮ひずみが生じ、フック中央部まで引張ひずみが増加する。その後は一定の引張ひずみ分布の後、余長部で減少する。図-4 に示す 90 度フックでは、内縁側では 180 度フックと同じ傾向にあるものの、外縁側ではフック中央部以降で挙動が異なり、余長開始点で引張ひずみのピークを迎えることが判明した。

上述のひずみ分布の考察から、フック部は圧縮および引張ひずみが交互に生じる複雑な曲げ挙動を示しながらひずみが伝達していくことが分かった。そこでフック部の変形挙動を検討するために、図-5 にすべりが 1.7mm 時点でのフック部の拡大変形図(拡大倍率:50 倍)を示す。180 度フック、90 度フックとも、フック開始点でフックの反対側に大きく変形し、フック開始点がフック先端部まで引き抜かれながら膨らむような挙動を示す。また 180 度フックでは、フックの余長部は直線形状を保つことからフック先端部以降も局所的に曲がる挙動を示し、フック内部を包みこむような変形となる。一方、90 度フックでは、フックが引き抜かれることでフック先端からフック端部までは開くような変形挙動を示す。

3. 3 フック部周辺のコンクリート応力分布

図-6 に 180 度フックおよび 90 度フックの鉛直方向応力分布を示す。圧縮応力の最大値は局所的な圧縮応力を確認するため、圧縮強度の 27.8MPa より大きい 40MPa までのコンターとした。

180 度フックでは、フック開始点からフック先端までを結ぶ領域で大きな圧縮応力が発生していることがわかる。その応力領域はすべりの増加とともに拡大している。またフック内部の全領域である程度の圧縮応力が分布している。フックがフック内部を包みこむように変形したため、内部で応力が保持されやすくなったと考えられる。一方 90 度フックでは、フック開始点からフック先端までの応力分布の傾向は、180 度フックと同様である。ただし、フック先端は開くような挙動を示すため、ある程度の応力を保持される領域は、フック部付近のみで拡大しない傾向となり、この応力分布の違いが耐荷力への違いになった可能性がある。

4. まとめ

90 度フックと 180 度フックの引抜き時の荷重-すべり関係、ひずみ分布、鉄筋の変形、周辺のコンクリートの応力分布を剛体バネモデルによる解析結果から考察した。フック形状によりひずみの伝達挙動やフック部の鉄筋の変形挙動が異なり、フック内部の応力分布が異なることで定着性能が変わる事が示唆された。

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, Cement and Concrete Composite, Vol.119, 2021

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。

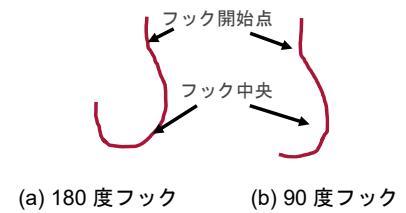


図-5 フック部の拡大変形図

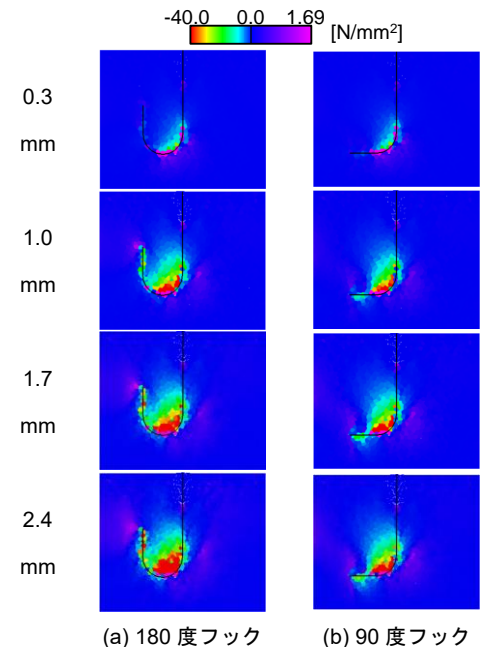


図-6 鉛直方向応力分布