

鉄筋とコンクリートの付着特性に関するメソスケール解析

名古屋大学工学部

武藤 信太郎

名古屋大学大学院 正会員

伊藤 陸

名古屋大学大学院 正会員

中村 光

名古屋大学大学院 フェロ-会員

田邊 忠顕

1. はじめに

鉄筋とコンクリートの付着特性は、ひび割れ間隔やひび割れ幅に大きな影響を及ぼすため RC 構造物の構造性能ならびに耐久性能を評価する際の重要な要因となる。付着特性を解析的に扱う場合、一般に付着応力-すべり関係等のマクロな性状が用いられる。しかしながら、付着特性は、異形鉄筋のふし近傍の応力伝達と微細ひび割れの進展の結果として生じるものであるため、その特性をより詳細に評価するためにはメソスケールの現象を把握する必要があると考えられる。そこで、本研究では、剛性バネモデルにより異形鉄筋のふしまでをモデル化した解析を行い、ふし近傍のメソスケールでの現象の再現を試みた。

2. 解析概要

(1) 剛性バネモデル (RBSM)

本研究では、コンクリートの構造解析手法として、ひび割れ進展等の不連続現象を直接表現できる RBSM を用いた。

RBSM では、ひび割れをバネの破壊によって表現するため、ひび割れは要素境界辺上にそって発生する。このため、ひび割れの発生・進展がコンクリートの要素分割に大きく依存する。そこで、図-1 に示すように計算幾何学の概念であるボロノイ多角形分割により、構造物をランダムな要素に分割し、ひび割れの要素依存性を低減した。

また、本研究ではこの多角形を利用してランダムな多角形の要素を鉄筋とコンクリートを区別できる任意の形状で描くことを可能にした。

ボロノイ分割されたコンクリート要素は 3 自由度を持つ剛体と仮定し、要素の境界辺上に垂直バネおよびせん断バネを設けた。

(2) 材料モデル

コンクリートの材料モデルは、垂直バネに圧縮・引張挙動、せん断バネにせん断すべり挙動をモデル化した。本研究では、異形鉄筋を引っ張ることによって発生するコンクリートのひび割れを対象としたため、圧縮応力下のコンクリートを弾性に弾性と仮定した。引張応力下のコンクリートは、破壊エネルギーを考慮した 4 分の 1 モデルとした。一方、鉄筋は、降伏以前を対象とすることとし、弾性と仮定した。

(3) 解析モデル

解析モデルを図-2 に示す。このモデルは 20cm×20cm×20cm のコンクリート供試体中央に D22 鉄筋が配置されているとした、2 次元モデルである。解析は、モデル最上部以外のコンクリート・鉄筋すべてを剛体で固定し、最上部は鉄筋のみを剛体で固定し、最上部の鉄筋位置の剛体に引張変位を与えて行った。

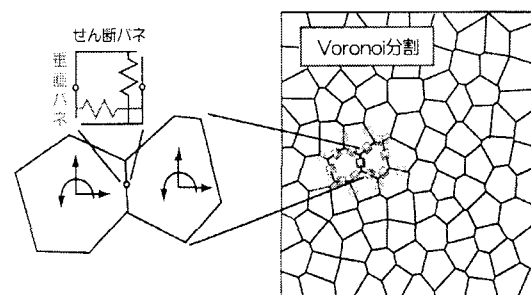


図-1 RBSM のバネとボロノイ図

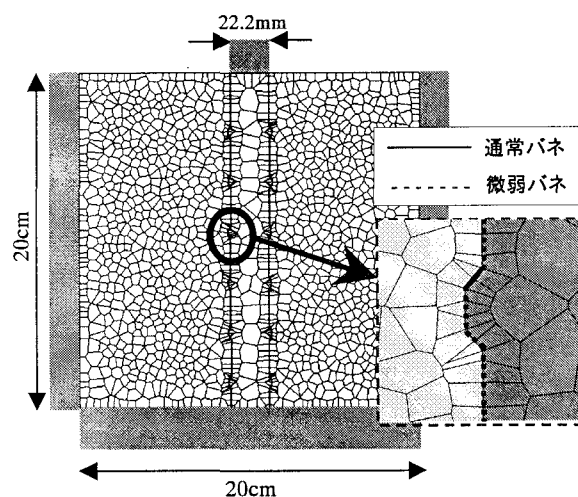


図-2 解析モデルと鉄筋のふしの拡大図

一方鉄筋は、幾何学的諸元としてふし1つ1つをモデル化した。なお、コンクリートとの境界面ではふしの上面だけをコンクリートの剛性の通常バネで結合させ、側面・下面は剛性が微小の微弱バネで結合させた。

3. 解析結果および考察

図一3に载荷中にひび割れが進展しているときの鉛直方向の主応力分布図を示す。このときの引張荷重は400Mpaであったまた、図一4に図一3のときのひび割れ図を示す。この時、平均応力は22.4Mpaであった。

図一3より、ふしの上面ではコンクリートに対して支圧による圧縮応力が作用し、側面・下面には引張応力が生じているのがわかる。図一4からは、ひび割れは最上部の表面付近では割裂破壊を生じて斜めにひびが生じ、一方、最下部では鉄筋軸方向に対して直角にひびが生じているのが見られる。また、鉄筋の右側の側面では鉄筋とコンクリートの剥離が生じている。これは、鉄筋の側面とコンクリートの結合が微弱バネで解析したために生じたと考えられる。

図一5に断面の平均応力61.9Mpaの時のひび割れ及び変形図を示す。ふしの先端からのひび割れが更に進展し、コンクリート上面付近ではコーン状の破壊をもたらす形状が再現されている。なお、非対称なひび割れ性状を示すのはランダムな多角形を用いるボロノイ分割のため、要素分割の鉄筋の左右で非対称となっているためである。

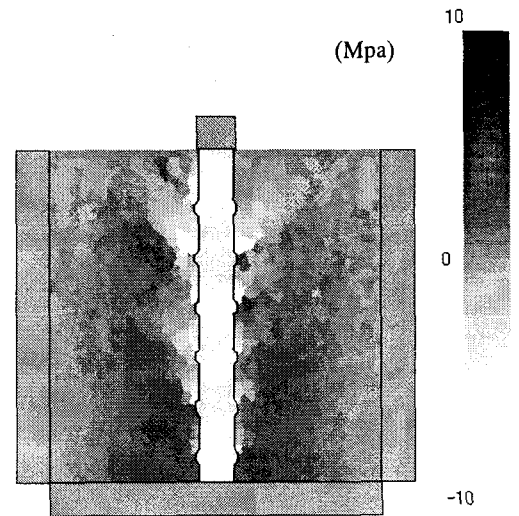
このような破壊形状はマッシュパなコンクリートに埋め込まれた鉄筋の引き抜き試験で観察されるのと同様であり、本解析により、メゾスケールの現象から生ずるマクロな挙動を再現できると思われる。

4. まとめ・今後の展望

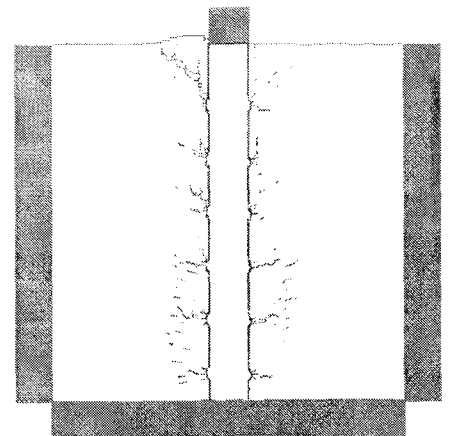
本研究では、鉄筋が弾性状態のみの二次元解析を行った。この結果、二次元的なメゾスケールでの付着によって生じたひび割れ性状が確認された。今後の展望として、鉄筋の塑性領域における付着特性の解析、更には、三次元RBSMで、より実現象に近い挙動の検討を行っていく予定である。

5. 参考文献

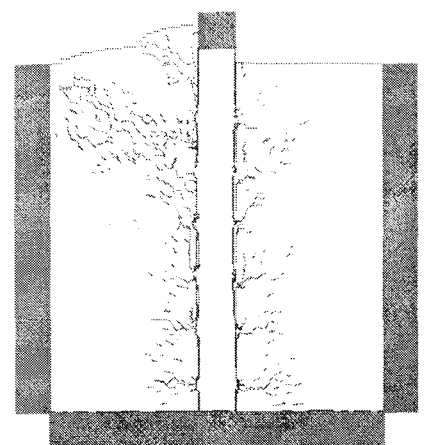
- 1) 齊藤成彦ほか：剛体－バネモデルを用いた軸方向圧縮力を受けるRC梁のせん断破壊挙動の数値解析,コンクリート工学論文集,第12巻第二号,pp.71-81,2001年5月
- 2) 川井忠彦・竹内則雄：離散化極限解析プログラミング.
- 3) 張 愛暉ほか：高強度太径鉄筋を用いたはり主筋定に関する実験研究,コンクリート工学論文集,第15巻,第二号,pp.141-146,1993
- 4) 大塚 浩司：X線造影撮影による鉄筋コンクリート内部の微細ひび割れ検出に関する研究,土木学会論文集第451巻, V-17,pp.169-178,1992.8



図一3 主応力分布図



図一4 ひび割れ図



図一5 ひび割れと変形図