

RBSM 解析による鉄筋-コンクリート間の付着すべり機構の評価

防衛大学校 学生会員 ○松本 全司
 防衛大学校 正会員 山本 佳士 黒田 一郎 古屋 信明

1. 研究目的

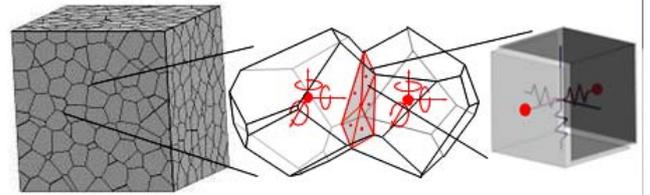
鉄筋コンクリート部材のひび割れ性状および耐荷性能を予測するにあたって、鉄筋とコンクリートの付着すべり挙動は、コンクリートあるいは鉄筋自身の力学特性と並んで重要な特性であり、これまでに多くの実験的研究が行なわれてきている。しかしながら、計測が困難であることから、コンクリート内部の破壊メカニズムについては十分理解されていない。内部の破壊メカニズムの評価を試みる際、材料界面の不連続挙動や節近傍の局所的なひび割れ、付着すべり挙動を比較的簡便に表現できる、剛体バネモデル（以下、RBSM）による解析的評価は有用であると考えられる。本研究では、RBSM を用いて異形棒鋼の付着すべり機構を評価することを目的とし、その基礎的検討として、横筋 1 個のみを持つ異形鉄筋の引抜き実験を対象として解析を行い、モデルの妥当性を検証したものである。

2. 解析概要

2. 1 RBSM

RBSM は、図一1 に示すように、対象を剛体要素と要素境界面上のバネで離散化する手法である。剛体要素重心には、6 自由度の 3 次元剛体変位を設定し、要素境界面上には境界面法線方向と接線方向に垂直バネおよびせん断ばねを配置する。垂直バネで材料の圧縮・引張特性を、せん断バネでせん断すべり挙動を表現する。本研究では、ひび割れ進展などの要素分割依存性を低減するために、ポロノイ分割を用いてランダムな要素形状で対象供試体をモデル化した。コンクリートを表現する垂直バネおよびせん断バネには、山本ら¹⁾が提案している、コンクリートのマクロな 1 軸引張、1 軸圧縮、3 軸圧縮挙動を再現できるようにキャリブレーションして決定した構成モデルおよび材料パラメータを用いた。鉄筋を表現するバネは降伏しないものと仮定して、

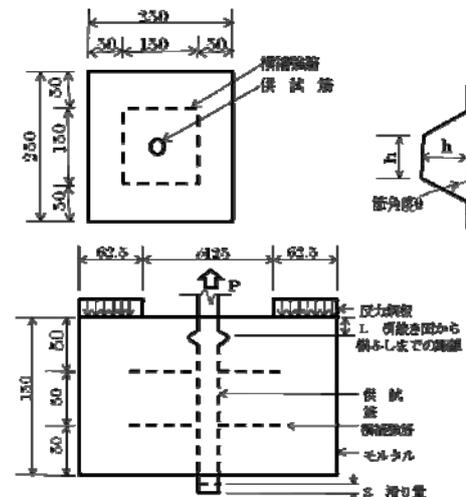
線形弾性モデルを用いた。鉄筋-コンクリート界面を表現するバネについては、コンクリートと同様の構成モデルおよび材料パラメータを用いた。



図一1 剛体要素へのポロノイ分割とバネ配置

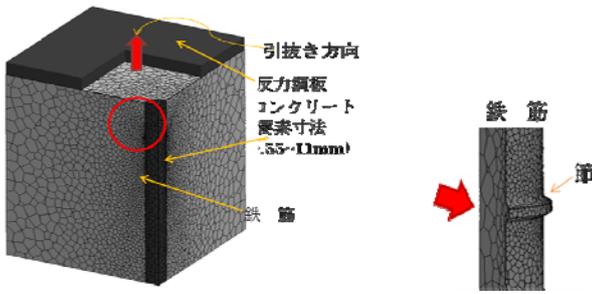
2. 2 解析モデル

解析は、長友ら²⁾によって行われた寸法、形状および埋込み位置を変化させた横筋 1 個のみを持つ異形鉄筋の引抜き実験を対象として行った。実験供試体の形状・寸法および载荷概要を図一2 に、解析モデルを図一3 に示す。解析モデルは対称性を考慮した 1/4 モデルとした。実験では、節以外の区間では、油を塗布することによって付着を低減させているので、解析においては、同区間でバネを配置せず応力伝達は行われぬものとした。また、反力鋼板の中央は、実験ではφ125mmの円孔であったが、解析では125×125mmの正方形の孔とした。表一1 に解析対象とした供試体の諸元を示す。

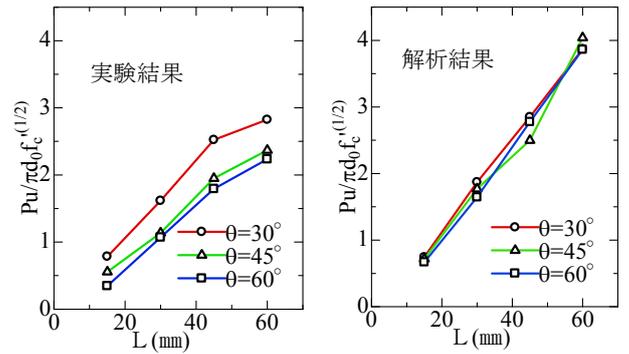


図一2 実験供試体の形状・寸法

キーワード RBSM, 引抜き, 付着性状, 節形状



図—3 D-3 供試体解析モデル



図—4 付着強度と節位置の関係 (h=1.5 mm)

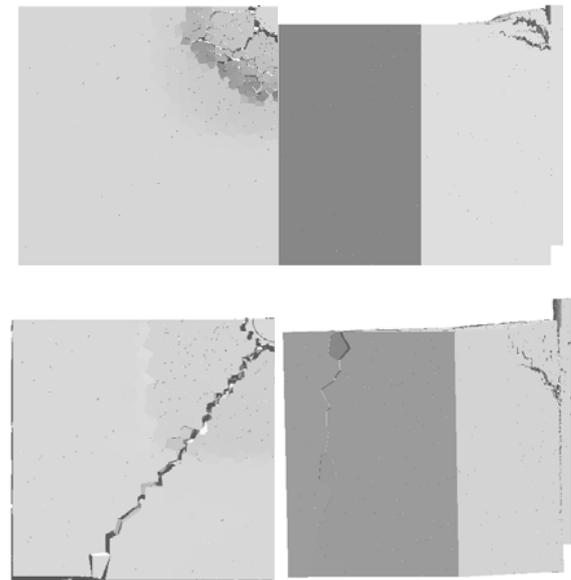
表—1 供試体諸元と破壊形状

series	No.	節角度 θ(度)	節高さ h(mm)	節位置 L(mm)
A	1	30	1.5	15
	2			30
	3			45
	4			60
B	1	45	1.5	15
	2			30
	3			45
	4			60
D	1	60	1.5	15
	2			30
	3			45
	4			60
I	1	45	1.5	60
	2		2	
	3		2.5	
	4		3	

3. 解析結果とその考察

図—4 に、実験および解析から得られた、付着強度と引抜き面から節までの距離 L の関係を示す。付着強度は、最大荷重 P_u を $\pi d_0 f_c^{1/2}$ (鉄筋径 $d_0=22\text{mm}$) で除して正規化したものである。図より、解析により得られた付着強度は実験値を大きく評価する傾向はあるが、その傾向は概ね再現できている。

図—5 に、解析により得られた破壊性状の一例として、D-1 および D-3 供試体の結果を示す。実験では、節位置が浅い場合では、節近傍から斜めに伸びるひび割れが引抜き面に達して漏斗状破壊に至った。節位置が深くなると、節近傍から発生する漏斗状のひびが大きくなり、引抜き面上では鉄筋近傍から放射状に現れるひび割れが供試体側面にまで達する破壊性状になった。これらの結果は実験で報告されているものと同じであった。



図—5 D-1, D-3 供試体の破壊性状

(上左;D-1 引抜き面. 上右;D-1 側面. 下左;D-3 引抜き面. 下右;D-3 側面)

4. まとめ

RBSM を用いて、横節 1 個のみを有する鉄筋の引抜き解析を行った。実験結果に比べて、付着強度を大きく評価する傾向にあるものの、実験で観察された節位置に応じた破壊モードの変化を再現することができた。今後は、鉄筋—コンクリート界面および節近傍の材料モデルについて、より詳細に検討を行っていく予定である。

5. 参考文献

- 1) 山本佳士, 中村光, 黒田一郎, 古屋信明: 3次元剛体パネモデルによるコンクリート供試体の圧縮破壊解析, 土木学会論文集 E, Vol.64 No. 4, pp. 612-630, 2008.
- 2) 長友克寛・角徹三: 横ふし 1 個のみを持つ異形鉄筋の付着性状に関する研究, 土木学会論文集, 第 372 号/V-5, 1986