

剛体バネ要素法による無筋コンクリート短柱の解析

九州大学工学部 学生員 田中 大

" " 劉 玉撃

" 正会員 John Bolander Jr.

" " 彦坂 熙

1. まえがき

鉄筋コンクリートは、その終局状態において、鉄筋の塑性変形及びコンクリートのひび割れ、局所的圧壊などの非連続的現象を呈するので、FEMなどによる解析的検討に数多くの問題点が残されている。一方、剛体バネ要素法(RBSM)¹⁾は、要素自体を剛体と仮定し、要素同士は各要素辺上に分布したバネにより結ばれ、このバネにエネルギーを集中させて評価するもので、要素間のすべりや圧壊を比較的簡単に扱うことができる。

本研究は、剛体バネ要素法を鉄筋コンクリート構造物に適用する前段として、解析に必要なコンクリート材料の構成則及びせん断すべり破壊基準の考察を行い、実験結果が報告されているせん断破壊タイプの無筋コンクリート短柱の解析に適用して、本提案の有効性を検証したものである。

2. コンクリート材料の構成則

コンクリートの1軸圧縮試験での応力-ひずみ関係を図1に示すような初期剛性 E_c のトリリニアにより近似する。圧縮強度を f_c として、圧縮1次降伏 $f_{c1}=0.5f_c$ 、圧縮2次降伏 $f_{c2}=0.95f_c$ 、剛性低下率 $\beta=0.5$ とする¹⁾。 ϵ_u ($\approx 0.3\%$)まで f_{c2} を保持し、その後、 ϵ_u に達するまで直線軟化を仮定する。一方、引張り特性については、ひずみ軟化を考えない。

コンクリートのひび割れ面でのせん断剛性は、引張ひずみ $\epsilon_t > 0.0002$ の状態では急激に低下する傾向にあるので、その特性をせん断剛性低減係数で扱う。

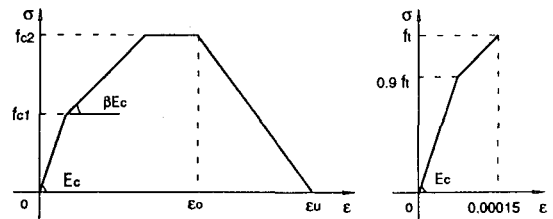


図1. 圧縮および引張りの応力-ひずみ関係

3. コンクリートのせん断すべり破壊基準の設定

コンクリートのせん断すべり破壊基準を図2に示す。この破壊基準は、内部摩擦角 ϕ 、せん断強度 c の直線として境界面に作用する垂直応力 σ の関数で表示する。これより、せん断すべり破壊基準に次式を用いる。

$$\tau = c - \sigma \tan \phi, \quad \tau = -c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

既往の実験結果によれば、コンクリートのせん断強度は、初期降伏強度 f_{c1} を越える場合、圧縮応力の増加とともに低下し、引張応力下のせん断強度も同様に低下する。この特性を考慮するために、引張側に次の式(2)を、圧縮側に式(3)を式(1)に内接させ、せん断すべり破壊基準を閉じた関数とした。

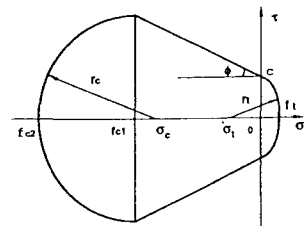


図2. せん断すべり破壊基準

$$(\sigma - \sigma_t)^2 + \tau^2 = \gamma_t^2, \quad \left(\sigma_t = \frac{f_t^2 - c^2}{2f_t}, \quad \gamma_t = f_t - \sigma_t \right) \quad (2)$$

$$(\sigma - \sigma_c)^2 + \tau^2 = \gamma_c^2 \quad (3)$$

$$\langle \sigma_c = \frac{f_{c2}^2 - (c - f_{c1} \tan \phi)^2 - f_{c1}^2}{2(f_{c2} - f_{c1})}, \quad \gamma_c = \sigma_c - f_{c2} \rangle$$

式(2)は、コンクリート引張強度 σ_t のみに依存する円で、点 $(0, \pm c)$ を式(1)との共通接点とする。式(3)は、点 $(f_{c1}, \pm c \mp f_{c1} \tan \phi)$ を式(1)との共通接点とし、圧縮強度 f_{c2} を通る円である。

剛体バネ要素法は、要素境界面上に分布する垂直及びせん断のバネを通して、単位面積あたりの表面力を各要素に伝える。このバネの受け持つ力が前述の破壊基準に達すると塑性破壊が発生し、塑性化後の剛度は、関連流れ則による。

4. 解析結果及び考察

図3は富井²⁾による定軸力 N とせん断力 Q を受ける無筋コンクリート短柱試験体の載荷状態及び構造図である。曲げモーメント M は試験体の両端のダミー部分を剛な加力ばりの中に埋め込むことにより与えられる。

図4のように、短柱(せん断スパン比=0.5)を三角形要素に分割し、加力のために柱の上、下端のダミー部分に各一つの要素を境界用の要素として、剛体バネ要素法により解析を行った。図5のように対角線方向に最終破壊メカニズムが形成され、材端の圧縮領域を結ぶ対角線方向のひび割れが発生すると同時にせん断破壊を生じ、実験結果がシュミレートされている。図6は、せん断力Qと部材角Rの関係を示したもので、終局変形が実験値より小さくなっている。

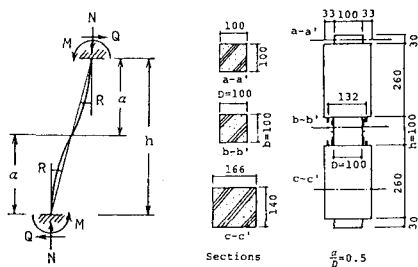


図3. 試験体の載荷状態及び構造図

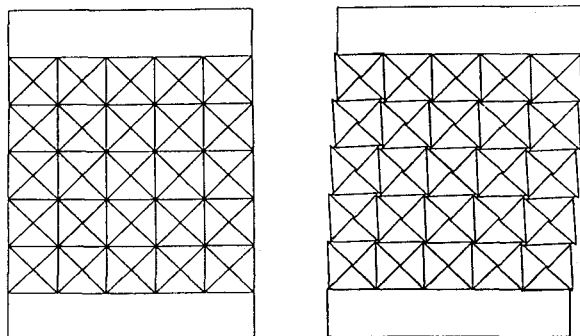


図4. 分割メッシュ

図5. 破壊メカニズム

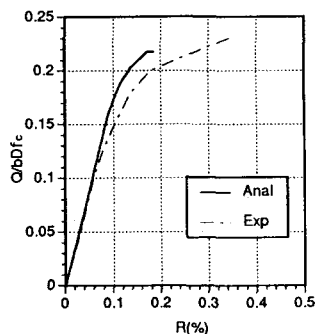


図6. Q-R関係

5. まとめ

本法により、無筋コンクリート短柱の終局強度、破壊メカニズムなどが評価可能であることを確認した。今後は、これを一般の鉄筋コンクリート構造物及び鋼・コンクリート混合構造物の解析に拡張適用する予定である。

〈参考文献〉

- 1) 川井 忠彦ほか：鉄筋コンクリート構造物の離散化極限解析（その1），生産研究，38巻4号，1986.4
- 2) 富井 政英ほか：Experimental Studies on Plain Concrete Columns Subjected to Monotonic Shearing Force and Constant Axial Force，日本建築学会論文報告集，第307号，1981.9