

立命館大学理工学部 学生員○田中千尋 大学院理工学研究科 学生員 高橋弥成 学生員 日比野憲太
立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 正会員 児島孝之

1. はじめに

ねじりの研究は、今からおよそ 100 年前、1900 年初頭からおこなわれている。しかし、曲げやせん断を受ける部材に比べ、ねじりおよびねじりを含む組み合わせ応力を受けるコンクリート部材の力学的挙動はいまだ不明な点が多く、およそ 1 世紀を経た現在でも近似的な設計法をとらざるを得ない。このような状況の中で、より正確な算定式の確立とねじり挙動の把握が望まれている。そこで本研究ではねじりを受ける RC 梁の力学的挙動の把握を目的とし、筆者達が提案している離散型ひび割れモデルを適用した 3 次元有限要素法解析を試みたものである。

2. 要素特性

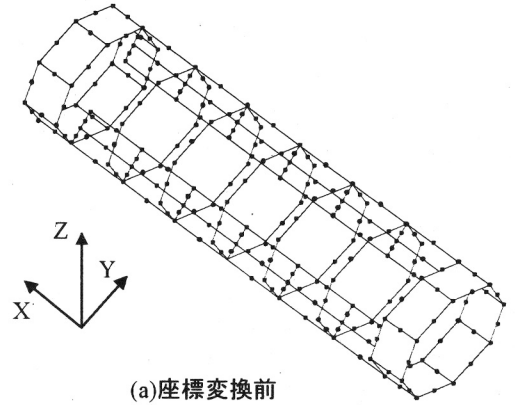
コンクリートは線形弾性体とし、二次のアイソパラメトリック六面体要素で表現している。ひび割れは重なった二次のアイソパラメトリック四辺形要素で表現し、ひび割れ界面で伝達される表面力として面法線方向に作用する垂直応力(σ_n)および面接線方向に作用するせん断力(τ_s , τ_t)を表現している。 σ_n は既報の研究成果を参考にして引張軟化特性を用いた。また、 τ_s , τ_t は、ひび割れ開口幅の増大による軟化を考慮したせん断応力-変位関係を仮定した。軸方向鉄筋および、スターラップには線要素を適用し、パイリニアモデルで表現した応力-ひずみ関係を用いた。

3. 解析手法および境界条件

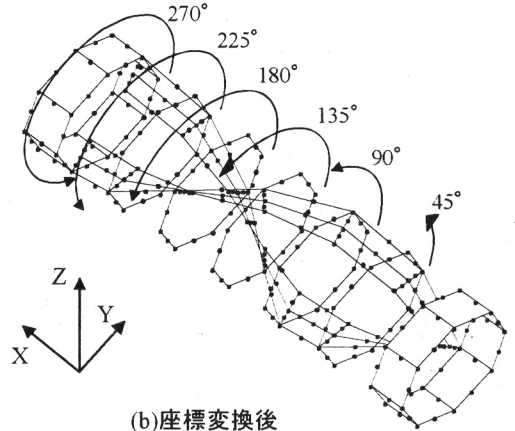
本解析では円形中空断面を有する RC 梁を対象とした。解析要因は無筋コンクリート(PI, SI: ひび割れ間の剛性なし)および鉄筋コンクリート(Rc-1: $P_t=P_w=1\%$, Rc-3: $P_t=P_w=3\%$)とした。解析モデルは半径方向に 2 分割、円周方向に 8 分割、ねじり回転軸方向に 8 分割の要素分割としている。解析モデル両端のコンクリート要素にはひび割れ要素を挿入しない強制変位区間を設け、その内側の 6 要素のコンクリート要素を試験区間としている。軸方向にわたって発生するらせんひび割れは、図 1 に示すように試験区間端部からねじり回転軸方向への距離にしたがって、ねじり回転軸を中心に座標変換をおこなうことで表現している。境界条件を図 2、与える強制変位を式(1)に示す。

$$U_y = -\theta z_r x, \quad U_z = \theta y_r x \quad (1)$$

ただし、 U_y , U_z は Y, Z 方向の変位、 y_r , z_r はねじり回転軸を基点とした Y, Z 方向の座標、 θ はねじり回転角を示す。

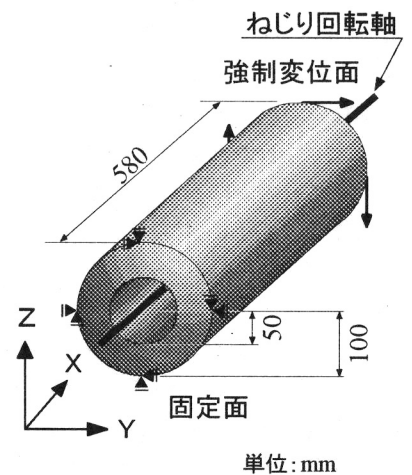


(a)座標変換前



(b)座標変換後

図 1 メッシュ分割と座標変換



単位: mm

図 2 境界条件

4. 結果および考察

図3に解析結果から得られた変形図を示す。PI および Rc を比較すると、PI は少数の大きなひび割れが発生するのに対し、Rc は多数の微細なひび割れが解析モデル全体に分散して発生する。これは、Rc の補強材が個々のひび割れの開口を抑制するためであると考えられる。

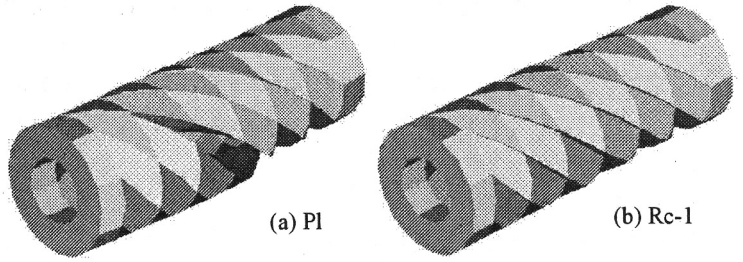


図3 解析モデルの変形図

図4、図5にねじりモーメント-ねじり回転角関係、図6、図7にスターラップ応力-ねじり回転角関係、軸方向鉄筋軸力-ねじり回転角関係を示す。解析結果は弾性理論計算値 EA を上限、SI を下限とするねじり剛性の範囲内に収まっており、適切な部材剛性を表現できていることが確認できる。ただし、SI は部材自身が有する潜在的な剛性を示しており、本解析においては、この剛性に漸近したときに終局ねじり耐力に達したものと考える。

ねじりひび割れ発生前の挙動は鉄筋の有無に関わらずほぼ等しく、ねじりひび割れ発生耐力に及ぼす鉄筋の影響は極めて小さい。ねじりひび割れ発生モーメントは理論計算値によるひび割れモーメント M_{cr} にほぼ一致しており、適切にひび割れ発生までの挙動を表現できていると考えられる。ねじりひび割れ発生後、ねじり回転角が増加するにつれ、PI はねじり剛性が大幅に低下している。一方、Rc-1 および Rc-3 は軸方向鉄筋およびスターラップの補強効果により、ほとんどねじり剛性が低下せず、ねじり剛性を維持していることが確認できる。

図4および図6、図7を比較すると、鉄筋が降伏強度に達すると解析モデルのねじり剛性は最大となり、適切に鉄筋の補強効果が解析結果に反映されている。また、Rc-1、Rc-3 の剛性がともに SI の剛性に漸近、すなわち解析上での終局ねじり耐力は、立体トラス理論による終局ねじり耐力 M_y とほぼ等しい値を示している。さらに、鉄筋比が大きいほど終局ねじり耐力までのねじり剛性は大きな値を示しており、その傾向はねじり回転角が大きくなるにつれ顕著に現れている。

5. 結論

- (1) 本解析手法をねじりを受ける RC 梁に適用することにより、ひび割れの発生および部材の降伏を表現することが可能となった。また、補強材の影響が適切に部材剛性に影響することが確認できた。
- (2) 今後、適切に終局状態まで表現できる解析プログラムの開発が必要である。そのためにはコンクリートの圧縮特性に関する影響を考慮するべきである。

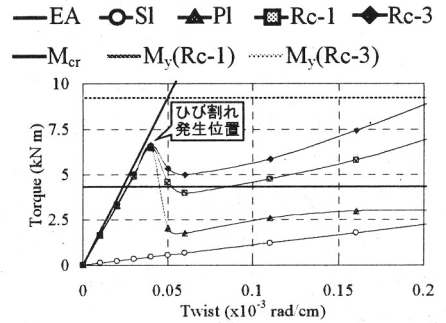


図4 ねじりモーメント-ねじり回転角関係 (Twist=2.0*10⁻³ rad/cm まで)

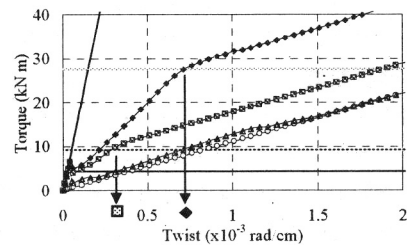


図5 ねじりモーメント-ねじり回転角関係 (Twist=2.0*10⁻³ rad/cm まで)

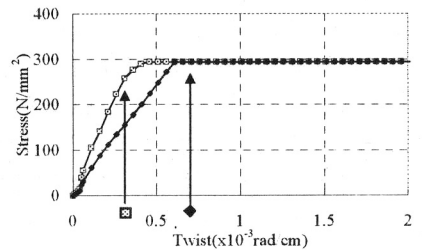


図6 軸方向鉄筋応力-ねじり回転角関係

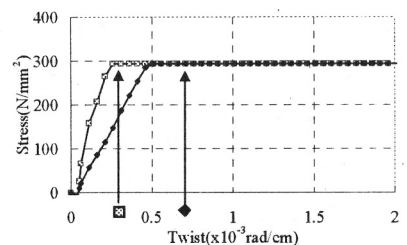


図7 スターラップ応力-ねじり回転角関係