

立命館大学大学院 学生員○岡田次郎 学生員 日比野憲太
立命館大学 正会員 高木宣章 正会員 児島 孝之

1. はじめに

ねじりおよびねじりを含む組み合わせ応力を受ける RC 部材の力学的特性は、曲げやせん断を受ける部材に比べてまだ不明な点が多く、近似的な設計法をとらざるを得ないのが現状である。本研究は、ねじりを受ける RC 梁の力学的挙動の把握を目的として、筆者等が提案した離散型ひび割れモデル¹⁾を 3 次元空間座標系に拡張し、ひび割れの界面を表現するアイソパラメトリック接合面要素からなる離散型ひび割れ面モデルを提案し、3 次元有限要素法解析に適用したものである。さらに、本解析結果を理論計算結果と比較することにより、本解析手法の妥当性および問題点に関して検討を行った。

2. 要素特性

コンクリートは非線形として扱い、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。コンクリートは、圧縮域に関しては二次曲線で仮定したモデルを用い、引張域に関しては線形弾性としている。さらに、圧縮域における 3 軸応力状態の破壊基準には、Mohr-Coulomb の破壊基準を適用した。ひび割れは、二次のアイソパラメトリック接合面要素で表現し、ひび割れ界面に分布している応力を、面接線方向に作用するせん断応力(τ_s, τ_t)および面法線方向に作用する垂直応力(σ_n)として扱っている。 σ_n は既報の研究成果²⁾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。軸方向鉄筋およびねじり補強筋は線要素を用いて表現し、応力-ひずみ関係にはパイリニアモデルを用いた。また、鉄筋要素はコンクリート要素の節点を共有し、完全付着として扱っている。

3. 解析手法および境界条件

本解析では円形中空薄肉断面を有する RC 梁を対象とした。解析要因には鉄筋比を選択し、PL (無筋コンクリート)、RC-1 ($P_l = P_w = 1.0\%$)、RC-2 ($P_l = P_w = 2.0\%$)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 3 分割の要素分割としている。さらに、解析モデル両端にはひび割れ要素を挿入しない部分を設け、節点に強制変位を与えた時の応力の集中を緩和させた。軸方向にわたって発生するらせんひび割れは、図-1 (a)に示すように、ねじり回転軸に平行に挿入したひび割れを図-1 (b)に示すようにねじり回転軸を中心にして YZ 平面の節点を周方向に座標変換することで表現した。境界条件を図-2、与える強制変位を式(1)に示す。

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

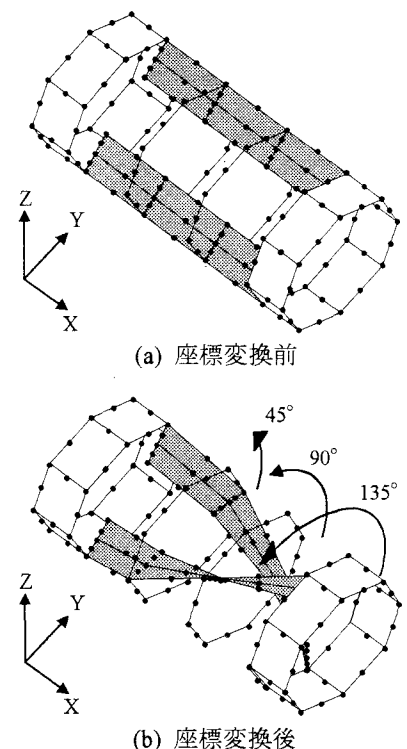


図-1 メッシュ分割と座標変換

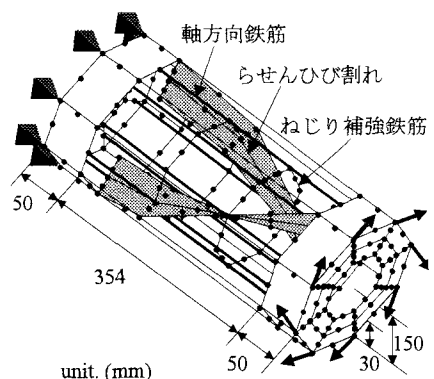


図-2 供試体概要および境界条件

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座標、 θ は単位長さあたりのねじり回転角、 l は供試体長を示す。

4. 結果および考察

図-3にPLおよびRC-1, 2の解析結果から得られた、ねじりモーメントーねじり回転角関係を示す。また、図-3中には、弾性計算から求めたねじりひび割れ発生モーメント(M_{ter})、および立体トラス理論から求めた理論計算値(M_{ty})を含めている。さらに、図-3中に○で示すモーメント段階での解析モデルの変形図を図-4に示す。

PLはひび割れの発生、すなわちひび割れ要素の開口により、ねじり回転角 2×10^{-4} rad/mm程度の早い段階で引張破壊している。また、そのねじり耐力は、図-3中に示す M_{ter} とよく一致している。図-4(a)に示す解析モデルの変形図を確認すると、一本のひび割れが局所的に開口し、その部分で破壊が生じている。

RCシリーズはひび割れ発生後、一時的にねじりモーメントは低下するものの、ねじり補強筋および軸方向鉄筋の補強効果により再びねじり剛性を取り戻している。また、RCシリーズの M_{ter} はPLのものとはほぼ一致する結果となった。図-4(b)に示す解析モデルの変形図を確認すると、RCシリーズでは補強筋の効果で、全てのひび割れが少しずつ開口し、局所的に大きく開口したひび割れが確認できない。鉄筋の補強効果によりねじりモーメントが著しく増加し、ねじり補強鉄筋および軸方向鉄筋の順で降伏した後、部材の降伏が生じた。また、降伏までのねじり剛性には、鉄筋比の影響が顕著に確認できる。さらに、この部材の降伏モーメントは、図-3中に示す M_{ty} に近い結果となった。鉄筋降伏後は部材のねじり剛性が大幅に小さくなり、少しずつねじりモーメントが増大するに従い、回転角が増大した。そして、最終的にコンクリートの圧縮ストラットの圧縮破壊により、そのねじり耐力を失った。また、この圧縮ストラットは、コンクリートの破壊基準の中でせん断型の破壊をする領域によって破壊していることが確認できた。

5. 結論

- (1) 本研究は、ねじりを受けるRC梁の表面に発生するらせんひび割れを、アイソパラメトリック接合面要素で表現した離散型ひび割れモデルを座標変換して挿入することにより表現した。本要素および要素分割を用いることにより、ねじりを受ける無筋およびRC梁の挙動をある程度推定することが可能となる。
- (2) 本研究では、その解析対象を円形の薄肉中空断面に限定して解析的検討を行った。今後、中実および矩形断面を対象とする場合、断面中央部および隅角部での応力状態およびひび割れの進展を、実験および解析的に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 松尾真紀, 日比野憲太, 高木宣章, 児島孝之: コンクリートのひび割れを表現する離散モデルとその基本特性, 土木学会論文集, No.556/V-48, pp. 1-11, 2000.8
- 2) 破壊力学の応用研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, 1993.10

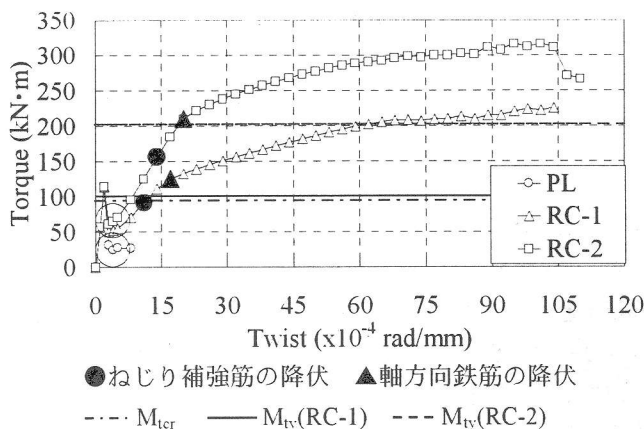
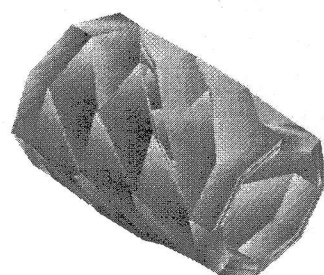
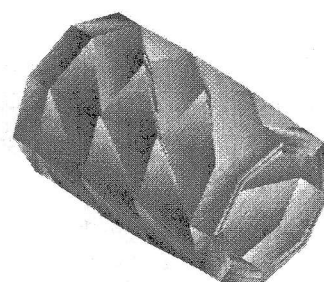


図-3 ねじりモーメントーねじり回転角関係



(a) PL step=4



(b) RC-2 step=4

図-4 解析モデル変形図