

論文 鉄筋コンクリート柱の破壊形式の判定と靱性評価

池谷和之*1・吉川弘道*2・宮城敏明*3・服部尚道*4

要旨： 鉄筋コンクリート柱を対象とし、ファイバーモデルにより曲げ変形解析した荷重-変位曲線上に、大変形に伴うコンクリート劣化過程を考慮したせん断耐力劣化曲線を併記することにより、破壊形式の判定方法と靱性評価手法の提案を行った。加えて、異なる破壊形式を有する鉄筋コンクリート柱の正負交番載荷実験結果との照合を行い、本提案手法の妥当性について検証した。さらに、本提案手法による破壊形式の判定および靱性評価と鉄道設計標準に準拠した設計パラメータとの相関性を把握するため、数値シミュレーションを実施した。

キーワード： 破壊形式の判定, 部材靱性率, ファイバーモデル, せん断耐力劣化曲線

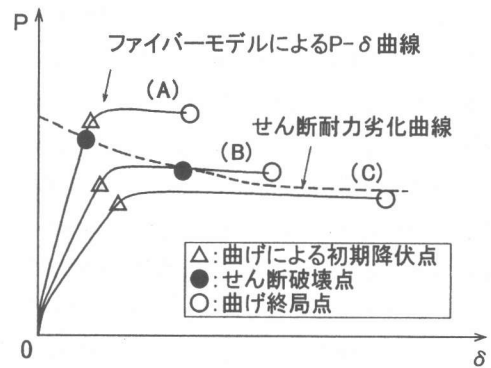
1. はじめに

鉄筋コンクリート柱において、地震時の大変位繰返しによりせん断耐力が低下することが知られている。せん断耐力の劣化が柱の破壊形式および変形性能に及ぼす影響を把握することは、脆性的な破壊を防ぐ上で重要である。

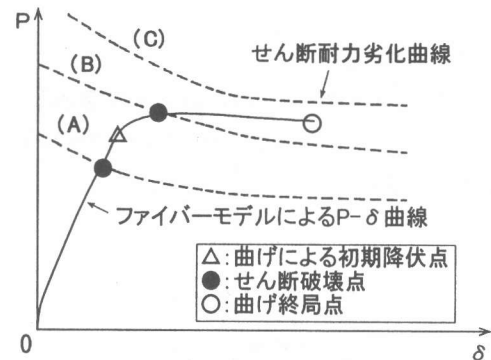
本研究は、鉄筋コンクリート柱を対象とし、拘束効果を考慮したコンクリート構成則を用い、ファイバーモデルにより算出した荷重-変位曲線（以下、 $P-\delta$ 曲線）と、大変形に伴う劣化過程を考慮したせん断耐力劣化曲線を併記させることにより、破壊形式の判定方法と靱性率評価手法を提案した²。そこで、本提案手法の妥当性を検証するため、曲げせん断耐力比が異なる試験体による交番載荷実験を実施した。さらに、曲げせん断耐力比、せん断耐力に対するコンクリート寄与分および曲げ補強強度を設計パラメータとして本提案による数値シミュレーションを実施し、破壊形式の判定および靱性評価と設計パラメータとの相関性について考察した。

2. 破壊形式の分類

鉄筋コンクリート柱部材における破壊形式



(a) 主鉄筋量を変化させた破壊形式の分類



(b) 帯鉄筋量を変化させた破壊形式の分類

図-1 破壊形式の分類

は、せん断破壊、曲げによる初期降伏後のせん断破壊（以下、曲げせん断破壊）、曲げ破壊に

*1 武蔵工業大学大学院 工学研究科土木工学専攻（正会員）

*2 武蔵工業大学教授 工学部土木工学科 工博（正会員）

*3 東急建設（株） 技術研究所（正会員）

*4 東急建設（株） 技術研究所 工修（正会員）

分類される。図-1(a)に、主鉄筋量を変化させた場合の破壊形式の分類を示す。図中の実線はファイバーモデルにより算出したP-δ曲線であり、破線はせん断耐力劣化曲線を示している。せん断耐力劣化曲線がP-δ曲線と交差した点がせん断破壊となる。曲げによる初期降伏点より早い時期に交差する場合はせん断破壊(A)となり、初期降伏後に交差する場合は、曲げせん断破壊(B)となる。また、両曲線が交差しない場合は曲げ破壊(C)となる。(A)は主鉄筋量が特に多い場合に見られる傾向があり、部材靱性率も1.0未満となり脆性的な破壊に至るものである。このように、変形に伴いせん断耐力が劣化しせん断破壊に至る場合の変形性能評価の指標として、本提案ではせん断靱性率 $\mu_s = \delta_s / \delta_y$ を定義する。ここで、 δ_s はせん断破壊時の変位とし、 δ_y は曲げ挙動のみを考慮した曲げ降伏変位である。また、図-1(b)に、帯鉄筋量を変化させた場合の破壊形式の分類を示す。図-1(a)の場合と同様、(A),(B),(C)の3破壊形式に分類される。当然のことながら帯鉄筋量が特に小さい範囲ではせん断破壊となる。

3. 解析手法

3.1 ファイバーモデルによる曲げ変形解析

ファイバーモデルによる柱の曲げ変形解析のフローチャートを図-2に示す。

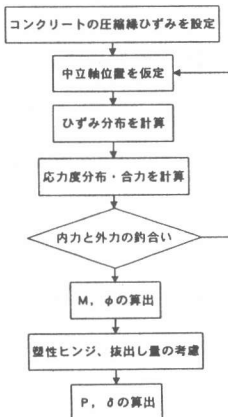


図-2 曲げ変形解析のフローチャート

解析はコンクリートの終局ひずみまで逐次繰返し計算を行った。終局の定義としては、最外縁圧縮鉄筋位置におけるコンクリートひずみが終局ひずみに達した時点とした。

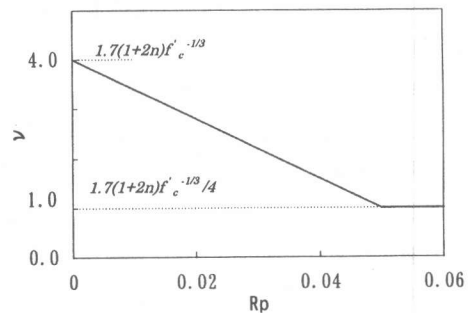
解析条件は、コンクリート構成則には帯鉄筋による拘束効果を考慮した道路橋示方書(H8年改定)³⁾に基づき、鉄筋構成則にはトリリニア型⁴⁾を仮定した。塑性ヒンジ長は曲げ降伏後最大耐力まで1.0d(有効高さをdとする)形成されるモデルとし、主鉄筋の抜出し量は鉄道構造物等設計標準・同解説⁵⁾(以下、鉄道標準)により算出した。

3.2 せん断耐力劣化曲線

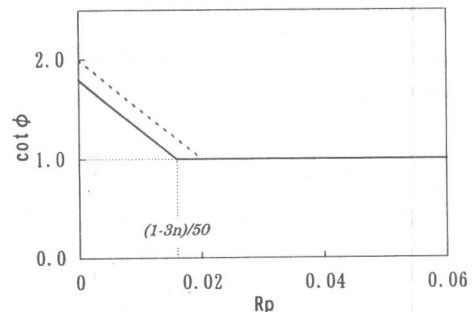
地震時の繰返し荷重に伴うコンクリートの

$$V_s = Bz p_w f_{wy} \cot \phi + B \tan \theta (1 - \beta) (H/2) v f'_c \quad (1)$$

ただし、 B : 断面幅(mm), z : 有効高さ(= jd), p_w : 帯鉄筋比(%), f_{wy} : 帯鉄筋降伏強度(N/mm^2), ϕ : トラス機構角度, θ : 圧縮ストラット角度, β : コンクリート圧縮力のトラス機構の負担比率, v : 断面高さ(mm), v : コンクリート有効係数, f'_c : コンクリート圧縮強度(N/mm^2)



(a) 保証ヒンジ回転角とvの関係



(b) 保証ヒンジ回転角とcotφの関係

図-3 NewRC 指針式におけるパラメータ