

ねじりと曲げの相関特性を考慮した非線形動的解析手法の提案

九州大学工学部 学生会員
九州大学大学院 学生会員

○服部匡洋 九州大学工学研究院 フェロー 大塚久哲
秦逸平

1. はじめに

これまでに行われた RC 橋脚をモデルとした模型供試体に対する交番載荷試験¹⁾により、ねじりと曲げを同時に載荷するとそれぞれの挙動に影響を与えることがわかっている。現在は一般的にねじりと曲げの相互作用を考慮せず、ねじりと曲げの相関関係を組み込んだ解析は行われていない。本稿では、ねじりと曲げの相関関係を考慮した解析に必要なツールとして相関曲線、骨格曲線、履歴復元力特性をモデル化し、そのツールを用いた非線形動的解析の手法を提案することを目的としている。

2. 実験概要

当研究室では、これまでに軸力、帯鉄筋間隔、載荷比率等をパラメータとした RC 柱部材の正負交番載荷試験を行ってきた。実験供試体は 400mm×400mm の充実矩形断面である。本稿では 35 体の実験結果を利用している。

3. 解析ツールの定式化

3.1 相関曲線

載荷比率に応じて実験値をプロットし、ひび割れ点、降伏点、最大耐力点のイベントごとに実験値を直線で結んだ。ここでねじりの降伏の定義は剛性が急激に低下する点、曲げの降伏は主鉄筋降伏点とし、両降伏を別のイベントとして表記した。実験結果を整理すると、軸力や帯鉄筋間隔の影響により相関曲線の形状が変化することが知られた。

相関曲線の実験値を図-1 のようにモデル化した。モデル化する際、ねじりと曲げの一方が最大耐力に達した点を終局と定義した。相関曲線の実験値を純曲げ、あるいは純ねじり時の値で除して正規化し、正規化した相関曲線の定式化を行った。以下に提案式の一例（ねじり降伏）を示す。また純荷重時の挙動、複合載荷時の挙動を示す領域を区別するため境界線を設けた。

$$\text{提案式} \quad \frac{M_{ty}}{M_{ty0}} = \alpha \cdot \frac{M_{by}}{M_{by0}} + \beta$$

$$\alpha = (25.918\rho_s + 4.3174)N_0 + (-56.143\rho_s - 1.0212)$$

$$\beta = (45.347\rho_s - 0.4444)N_0 + (14.143\rho_s + 1.2566)$$

M_{ty0} : 純ねじり時の降伏ねじりモーメント (kNm)

M_{by0} : 純曲げ時の降伏曲げモーメント (kNm)

N_0 : 軸力比

ρ_s : 帯鉄筋体積比

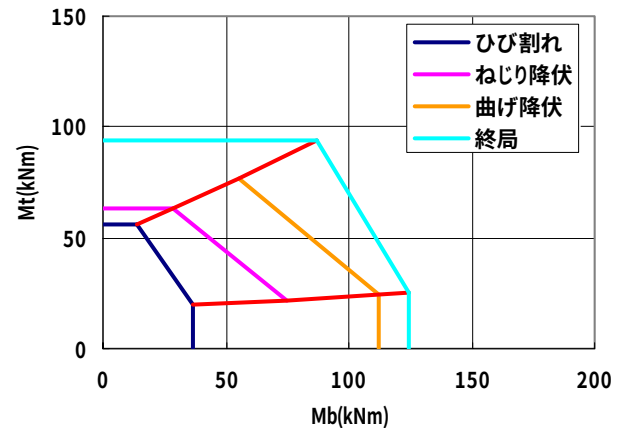


図-1 モデル化した相関曲線の一例
(軸力比 0%, 帯鉄筋間隔 30mm)

3.2 骨格曲線

骨格曲線はひび割れ、降伏、最大点を直線で結んだトリリニア型とする。相関曲線を組み込んだ解析を行うには複合載荷時の骨格曲線の剛性（傾き）を知る必要がある。初期剛性を弾性理論から導出する。第2剛性 K2、第3剛性 K3 は初期剛性との比を定式化し剛性を推定する。

実験結果より初期剛性は載荷比率によらずほぼ一定であり、弾性理論より算出した初期剛性ともほぼ一致することから複合載荷時ねじり骨格曲線の初期剛性算出方法として弾性理論が適用可能であることが示された。また純ねじり、ねじり卓越型の骨格曲線は降伏点まで初期剛性を保つが中間型や曲げ卓越型ではひび割れ後剛性が低下する、曲げが多く載荷されている中間型、中間2型、曲げ卓越型ではねじり骨格曲線の形状が類似しているなどの知見を得た。

図-2 に示すように実験値との誤差が最小となるような K2/K1、K3/K1 を算出すると、K2/K1 は軸力の影響のみ、K3/K1 は軸力と帯鉄筋間隔両方の影響が見られた。

図-2 の直線を以下のように定式化した。

$$\frac{K3}{K1} = (-89.796\rho_s + 0.61)N_0 + (-0.4694\rho_s + 0.0518)$$

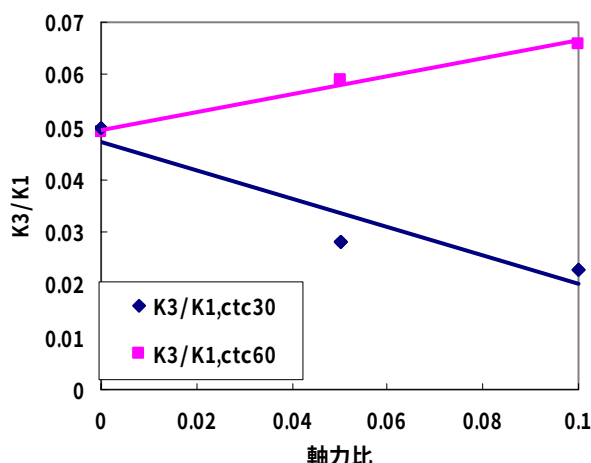


図-2 剛性比の定式化 ($K3/K1$)

3.3 履歴復元力特性

非線形動的解析を行うには履歴モデルを設定する必要があるが、市販ソフトの履歴モデルは曲げの履歴モデルしかない。そのため曲げの履歴モデル中からねじりの履歴特性に似た特徴を持つモデルをねじり履歴として用いることとする。既存のモデルの中で武田モデルはユーザーがパラメータを設定することで履歴形状を変化させることが出来るので武田モデルのパラメータを変化させてねじり履歴特性を表現する。

図-3 のように純ねじりの履歴曲線は全体的に原点指向型に近いが最大耐力以前の履歴ループは紡錘形で、最大耐力経験後は次第に S 字型となることが実験結果²⁾よりわかっている。武田モデルでは降伏点以降の除荷勾配を変化させることが出来るため、降伏点、終局点までの累積エネルギー吸収量が一致するように武田モデルのパラメータを設定する。

4. 非線形動的解析手法の提案

図-4 に示すように初めに弾性理論から初期剛性を算出する。その初期剛性を持つ弾性部材として弾性解析を行う。初めて荷重経路がひび割れ相関曲線を越えた時にひび割れ判定を出す。続いて定式化した剛性比から第2剛性を推定する。その際に履歴モデルとして武田モデルを選択してエネルギー吸収を考慮した適切な降伏時の α を設定する。ひび割れ同様荷重経路が初めて降伏相関曲線と交わった点で降伏と判定し、以下同様の手法を繰り返し、曲げ降伏点、終局点を算出する。

現在相関曲線はどの象限でも対象であり、相関曲線と

境界線によって区切られる領域ごとに適切な骨格曲線、履歴特性を設定するなどのルールを想定している。

5. 結論・今後の課題

相関曲線や複合荷重時の骨格曲線をモデル化し、実験結果を精度よく評価することが出来た。また相関曲線を組み込んだ解析手法を提案することが出来た。今後は本稿の解析手法で実橋の解析を行い、ねじりの危険性を証明できればと考えている。

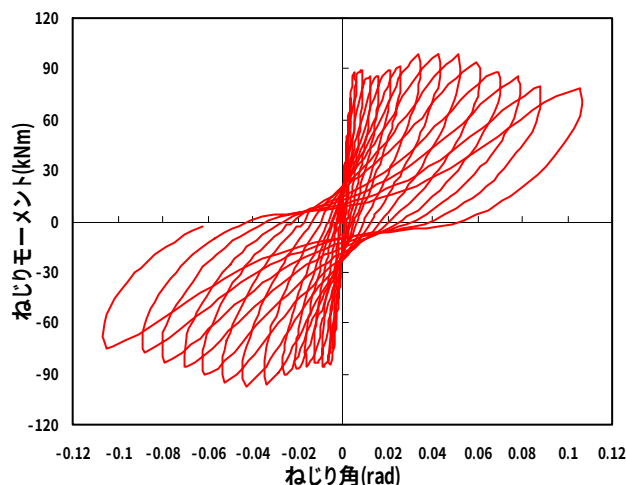


図-3 履歴曲線の一例 (軸力比 5%, 帯鉄筋間隔 30mm)

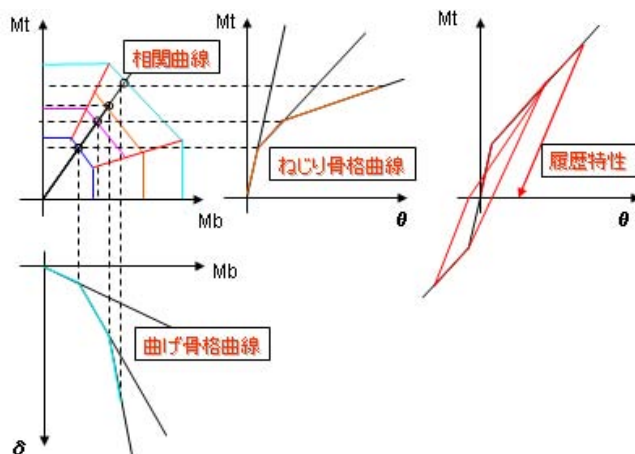


図-4 相関曲線を組み込んだ解析手法

参考文献

- 1) 大塚久哲・竹下永造・浦川洋介：軸力、曲げ／せん断、及びねじりの複合荷重を同時に受ける RC 部材の相関特性
土木学会論文集, No.801/I-73,2005.10,pp.123-139
- 2) 大塚久哲・王堯・高田豊輔・吉村徹：純ねじりを受けるRC部材の復元力特性の定式化
土木学会論文集, No.739/V-60,pp.93-104,2003.8