

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

○新田直也
服部匡洋

九州大学工学研究院 フェロー 大塚久哲

1. はじめに

当研究室では、3室中空断面を持つ供試体の実験¹⁾を行っている。本文ではこの実験結果を元に、骨格曲線とねじりと曲げの相関曲線を提案し、これらを考慮した非線形動的解析を行った。

2. 解析ツールの定式化

2.1 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ている。以下に提案式の一例を示す。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る事で相関曲線の実験値を図-1のようにモデル化した。

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

$$\begin{array}{ll} \text{ねじり降伏} & \alpha = -0.593 \quad \text{曲げ降伏} \alpha = -2.34 \\ & \beta = 1.00 \quad \beta = 2.34 \end{array}$$

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)

2.2 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し、初期剛性を弾性理論から導出する。第2剛性 K_2 、第3剛性 K_3 は初期剛性との比を定式化し剛性を推定する。解析ではねじりモーメントに比べて大きな曲げモーメントが生じているため、曲げ卓越型の骨格曲線の実験値(2次剛性と初期剛性の比 K_2/K_1 と3次剛性と初期剛性の比 K_3/K_1)を使用した。

$$\begin{array}{l} \text{ねじり剛性比} \quad K_2/K_1 = 0.2557 \\ \quad \quad \quad K_3/K_1 = 0.0401 \end{array}$$

2.3 履歴復元力特性

履歴特性は武田モデルのパラメータ α を変化させて表現する。²⁾

$$K_d^+ = \frac{M_y - M_c}{\phi_y - \phi_c} \left| \frac{\delta_{\max}^+}{\delta_y} \right|^{-\alpha}$$

武田モデルでは降伏点以降の除荷勾配 K_d^+ 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

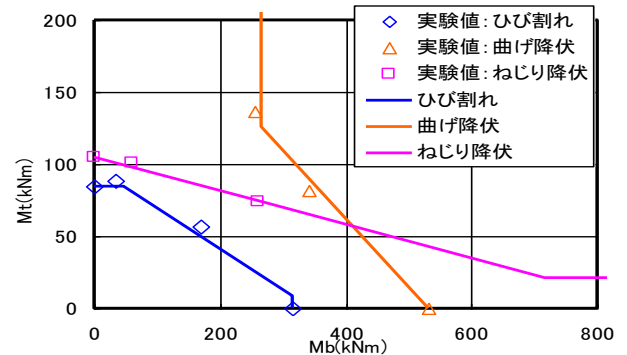


図-1 モデル化した相関曲線の一例

(軸力比 20%, 帯鉄筋間隔 60mm)

ギー吸収量が一致するように武田モデルのパラメータ α を設定する。図-2 は武田モデルによるループと実験値(軸力比 20%, 帯鉄筋間隔 60mm)との比較である。本研究では $\alpha = 0.708$ とした。

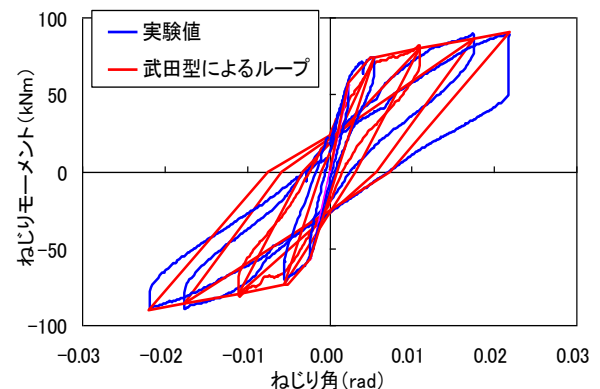


図-2 武田モデルと実験値との比較

3. 非線形動的解析手法の提案

図-3 に示すようにはじ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。初めて載荷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。ひび割れ同様載荷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す。曲げ降伏点、ねじり降伏点を算出する。

4. 解析手法・解析条件

解析条件を表-1 に、解析モデル図を図-4 に示す。入力地震動は道示標準波形の Type2-1-1 を用い、振幅は1倍、

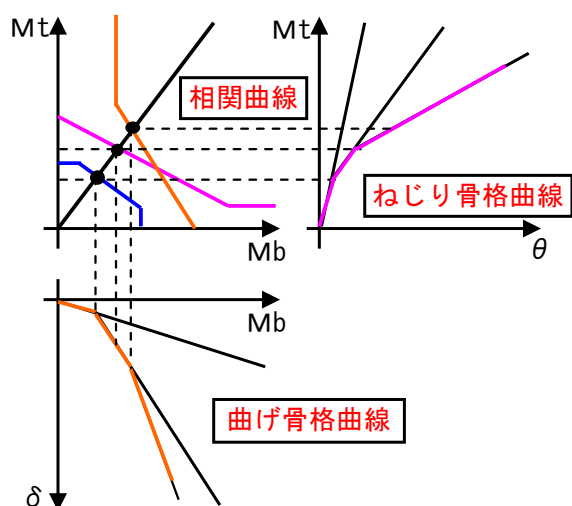


図-3 相関曲線を組み込んだ解析手法

加振方向は橋軸直角方向とした。本解析においては、大きなねじりモーメントが想定されるアーチリブ、アーチクラウンの計 24 部材に対してねじりと曲げの相関曲線を考慮した提案手法を適用した。(本解析のフローについては文献 3) を参照) 図-5 は解析によって得られたねじりと曲げの相関曲線と履歴曲線の関係図である。

5. 等価線形解析との比較

図-6 はアーチリングの最大応答の比較である。(a) より、アーチリブ基部やアーチリブとアーチクラウン端部でねじりモーメントが大きくなるという傾向は同じだが、ねじりモーメントはほぼ全ての部材についても本解析の応答が等価線形解析の応答を上回る結果となっており(特にアーチリブでその差は大きい)、等価線形解析ではアーチリブのねじりモーメントが 50% 程度過小評価されている。また、(b) より、面外曲げモーメントは左アーチリブ右端を除いて概ね一致しており、ねじりの非線形性およびねじりと曲げの相関曲線の考慮による曲げモーメントへの影響は少なかった。

6. 結論

相関曲線や複合載荷時の骨格曲線をモデル化し、また、履歴特性を武田モデルで表現して、これらを考慮した非線形動的解析を行った。等価線形解析の応答は、本解析の応答と比較すると、曲げ応答は左アーチリブ右端を除いてほぼ一致するが、ねじり応答はどの部材においても小さく、等価線形解析ではねじりモーメントを危険側で評価する可能性がある。

参考文献

- 1) 大塚久哲・篠島隆司・今村壮宏：CFS 巻き立て補強を施した 3 室中空断面 RC 部材の複合荷重下における力学特性に関する研究，土木構造・材料論文集，第 27 号，2011.12
- 2) 大塚久哲：実践 耐震工学，共立出版株式会社，2004
- 3) 服部匡洋・大塚久哲：ねじりと曲げの相関曲線及び非線形を考慮した動的解析手法の提案，第 20 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2011.10

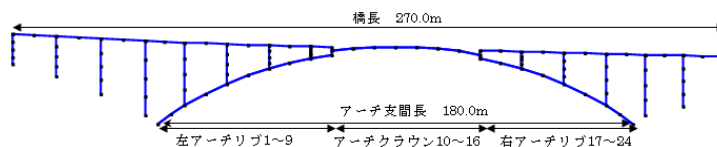


図-4 解析モデル

表-1 解析条件

対象橋梁	RCアーチ橋
減衰	レイリー減衰
数値計算法	ニューマークβ 法 β = 0.25
積分時間間隔	0.005(sec)
判定時間間隔	1.0(sec)

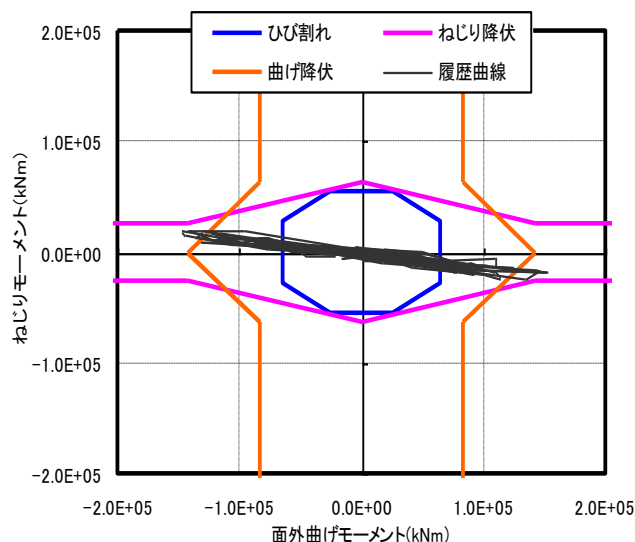
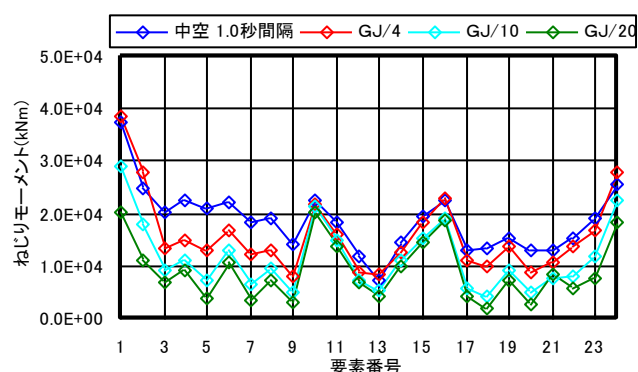
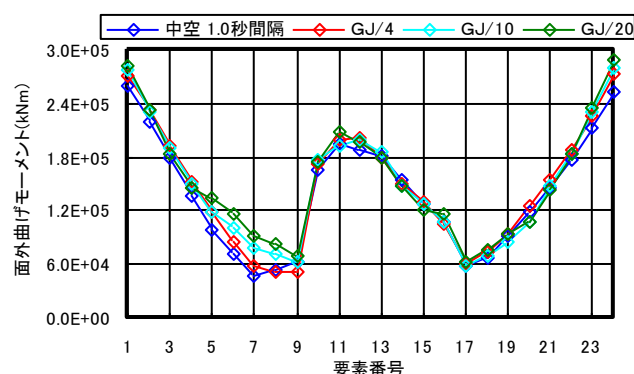


図-5 相関曲線と履歴曲線の関係図 (部材10)



(a) ねじりモーメント



(b) 面外曲げモーメント

図-6 等価線形解析との比較