

RC アーチ橋に対するねじりと曲げの相関特性を考慮した非線形動的解析

九州大学大学院 学生会員 ○服部 匡洋
 九州大学大学院工学研究院 フェロー 大塚 久哲
 九州大学大学院 学生会員 新田 直也

これまで、図-1 に示す RC アーチ橋のアーチリブを想定した扁平な中空断面を有する供試体に対して、軸力やねじり、曲げ/せん断の複合交番載荷実験を実施し、ねじりと曲げの相関曲線やねじり骨格曲線等の力学特性を明らかにした。本稿では、得られた力学特性を基に、RC アーチ橋に対してねじりと曲げの相関特性を考慮した非線形動的解析を実施し、比較した。さらに、従来設計で用いられてきた等価線形解析やねじりと曲げの相関曲線は考慮せず、純ねじり及び純曲げの非線形性のみ考慮した解析を実施し、応答の違いについて考察した。解析手法や複合載荷試験の実験結果及び解析ツールの定式化の詳細は参考文献^{1),2)}を参照されたい。

1. 本解析手法の特徴

従来はねじりひび割れが生じる場合、ねじり剛性を 1/10~1/20 程度低下させた線形部材として等価線形解析を実施することで簡易的に評価してきた。提案手法では、ねじりと曲げの相関特性を考慮し、さらにねじりの非線形性を考慮することで、ねじりと曲げをより厳密に評価できる解析手法となっている。

2. 解析ケース・解析条件

2.1 解析ケース

各解析ケースでの骨格曲線の違いを表-1 に、ねじり骨格曲線のイメージを図-2 に示す。CASE_1 はねじりと曲げの相関曲線を考慮した非線形動的解析、CASE_2 はねじり剛性を全断面有効剛性の 1/10 とした等価線形解析、CASE_3 は参考文献³⁾より最適なねじり剛性とされた、ねじり剛性を 1/4 とした等価線形解析、CASE_4 はねじりと曲げの相関曲線は考慮せず、純ねじり及び純曲げ時の非線形性のみ考慮した解析である。

2.2 解析条件

解析条件を表-2 に、骨組解析モデルを図-3 に示す。対象橋梁は非対称固定 RC アーチ橋である。本解析において、大きなねじりモーメントが生じると想定されるアーチリブ、アーチクラウンの計 24 部材を非線形はり要素でモデル化し、ねじりと曲げの相関曲線を考慮した。ねじり履歴モデルは武田モデル ($\alpha=0.71$) とした。補剛桁、鉛直材は全断面有効剛性を有する線形はり要素とした。

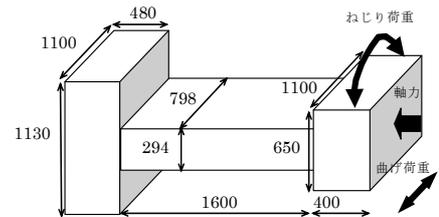


図-1 実験供試体

表-1 骨格曲線の違い

| CASE | ねじり | 曲げ |
|------|-----------|-----------|
| 1 | 非線形(複合) | 非線形(相関考慮) |
| 2 | 線形(GJ/10) | 非線形(純曲げ) |
| 3 | 線形(GJ/4) | 非線形(純曲げ) |
| 4 | 非線形(純ねじり) | 非線形(純曲げ) |

表-2 解析条件

| | |
|--------|------------------------------------|
| 積分方法 | Newmark β 法 ($\beta=0.25$) |
| 積分時間間隔 | 0.005秒 |
| 減衰 | Rayleigh減衰 |
| 地震動 | Type II - I - 1 |
| 加震方向 | 橋軸直角方向 |

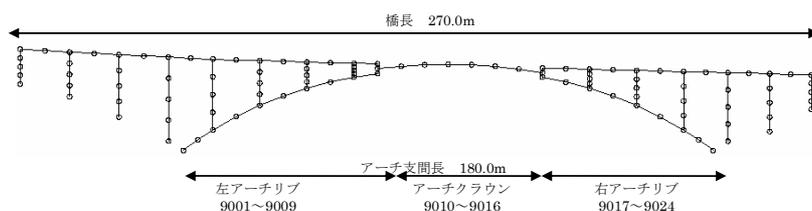


図-3 骨組解析モデル

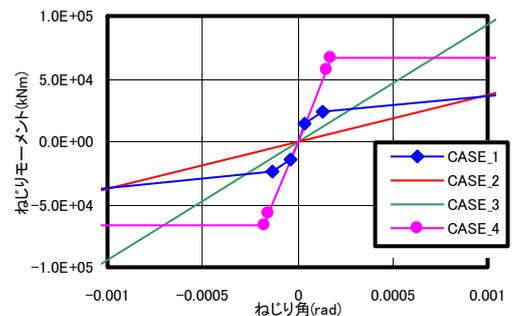


図-2 ねじり骨格曲線のイメージ

キーワード ねじりと曲げの相関曲線, RC アーチ, 中空断面, ねじり非線形, ねじり降伏

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 W2-1101 TEL 092-802-3374

3. 動的解析結果の比較

3.1 CASE_1(提案手法)の解析結果

図-4 にアーチクラウン端部 (9010 要素) におけるねじりと曲げの相関曲線と断面力経路を、図-5 にアーチリブのイベント到達状況を示す。図-4 よりひび割れ、曲げ降伏には到達しているが、ねじり降伏にはわずかに到達しなかった。図-5 より他の部材を見ても、ねじり降伏に到達した部材はないが、アーチスプリングング部やアーチクラウンでは曲げ降伏まで到達した。

3.2 等価線形解析 (CASE_2, 3) との CASE_1 の最大応答の比較

図-6 にアーチリブの最大ねじりモーメント及び最大曲げモーメントの比較を示す。図-6 (a) よりアーチスプリングング部やアーチクラウン端部でねじりモーメントが大きくなる傾向は類似しているが、ねじりモーメントはどの部材についても CASE_1 の応答が CASE_2, 3 の応答を大きく上回っている。特にアーチリブの中央部でその差は大きくなっており、ねじり剛性 1/4 とした CASE_3 でもアーチリブのねじりモーメントを過小評価する。また、図-6(b) より、面外曲げモーメントは概ね一致しており、ねじりの非線形性及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小さい。これは、図-4 のようにどの部材においてもねじりモーメントより面外曲げモーメントが卓越しており、ねじりと曲げの相関曲線を考慮しても、曲げ耐力の低下が小さい。

3.3 純ねじり/純曲げ骨格曲線を用いた解析 (CASE_4) と CASE_1 の最大応答の比較

図-7 より、CASE_4 ではねじりと曲げの相関曲線を考慮せず、またひび割れ後もねじり降伏に到達するまで初期剛性を保つため、CASE_1 に比べねじり耐力やねじり剛性を過大に評価し、最大ねじりモーメントも大きくなる。特にアーチリブでその影響は顕著である。面外曲げモーメントは等価線形解析同様、大きな差異は見られなかった。そのため、提案手法である CASE_1 では CASE_4 に比べて、ねじりに対してより合理的な設計が可能となる。

4. 結論

提案手法を用いて非線形動的解析を実施し、一般的な等価線形解析や純曲げ/純ねじり骨格曲線を用いた解析と比較することで本手法の有用性を示した。

参考文献

1)新田, 大塚, 服部: 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, 平成 23 年度土木学会西部支部発表会, I -2, 2012
 2)大塚, 宇山, 秦: RC 柱部材のねじり剛性低下の定式化と動的解析への適用の研究, 構造工学論文集 A, Vol.55A, pp.680-690, 2009.
 3)大塚, 服部: ねじりと曲げの相関曲線及びねじり非線形を考慮した RC アーチ橋に対する動的解析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.67 (2011), No. 4, [特]地震工学論文集, Vol.32. 2012.

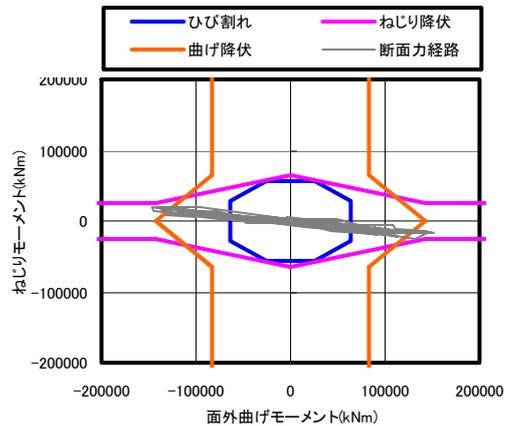
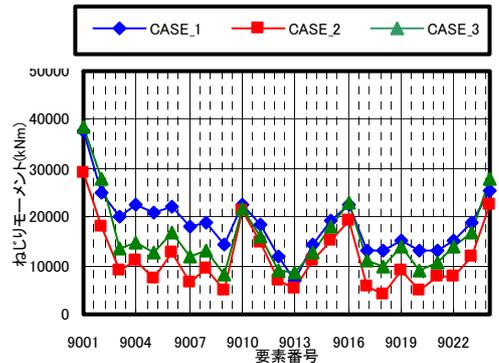


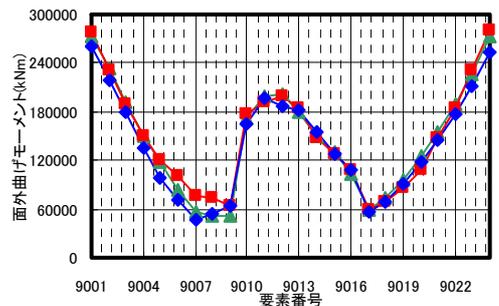
図-4 ねじりと曲げの相関曲線と断面力の経路



図-5 イベント到達状況



(a) ねじりモーメント



(b) 面外曲げモーメント

図-6 CASE_1~3 の比較

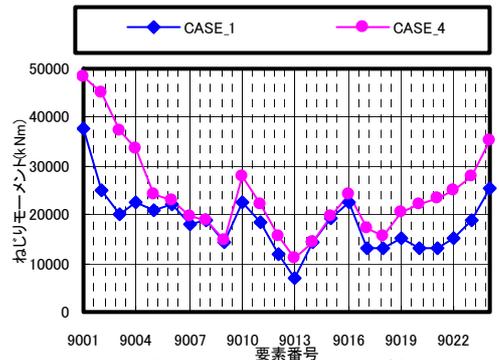


図-7 CASE_1, 4 の比較

(ねじりモーメント)