

ねじりと曲げの相関特性およびねじり非線形を考慮した動的解析手法の提案

九州大学 学生会員 ○服部 匡洋
九州大学 フェロー 大塚 久哲

1. 研究の背景と目的

構造物にねじりと曲げが同時に作用すると相互作用によりそれぞれの耐力が純荷重時に比べて低下することが知られている。しかし、橋梁の設計において、ねじりはひび割れが想定される場合、ねじり剛性を $1/10 \sim 1/20$ に下げた等価線形解析によって簡易的に評価するのが一般的であり、ねじりを厳密に評価する耐震設計は行われていない。よって、本研究では、汎用解析ソフトを用いて、ねじりと曲げの相関特性及びねじりの非線形性を考慮した非線形動的解析手法の提案を行い、ねじりを厳密に評価することができる耐震設計法を確立することを目的としている。

2. 解析条件・解析手法

本解析ではねじり非線形を考慮することができる汎用解析ソフト RESP-T (version5.1.0) を用いた。解析条件を表-1 に、解析モデルを図-2 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2倍、加震方向は橋軸直角方向とした。

本解析手法のフローを図-2 に示す。本解析手法には、ねじりと曲げの相関曲線、複合荷重時のねじり骨格曲線、ねじり履歴モデルの3つの解析ツールが必要である。これらの解析ツールに関しては参考文献¹⁾を参照のこと。

まず、判定時間間隔を設定する。各部材に対して、弾性理論から算出した初期剛性を持つ部材として弾性解析を行い、対象とする時間間隔内のねじりモーメント、曲げモーメントをねじりと曲げの相関曲線図状にプロットし、ひび割れ判定を行う。ひび割れに到達しなかった場合は、骨格曲線は弾性のまま次の対象時間へと進む。到達した場合は、その時点の耐力をひび割れ耐力とし、定式化した剛性比から2次剛性を算出する。バイリニアとして次の対象時間についての非線形動的解析を行う。同様の手順で降伏判定を行う。全ての部材について新たに判定が出なくなった時点で最終解析とし、この応答が本解析手法で得られた応答となる。

判定時間間隔ごとに順を追って判定をチェックすることで、マニュアルでも塑性化による荷重の再配分を厳密に評価することができる。本解析モデルにおいてねじりと曲げの相関曲線は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部材に対してのみ適用した。

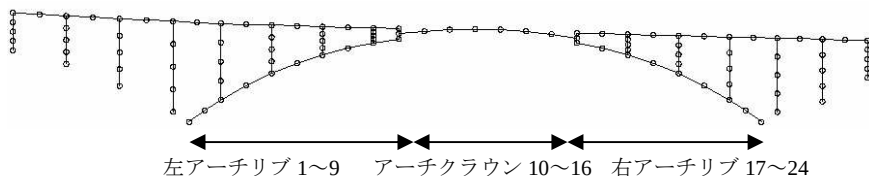


図-1 解析モデル

表-1 解析条件

対象橋梁	RCアーチ橋	
減衰	レイリー減衰	
	$\alpha_0=0.193217$	$\alpha_1=0.001121$
数値計算法	ニューマークβ法 $\beta=0.25$	
積分時間間隔	0.005 (sec)	
出力時間間隔	0.05 (sec)	

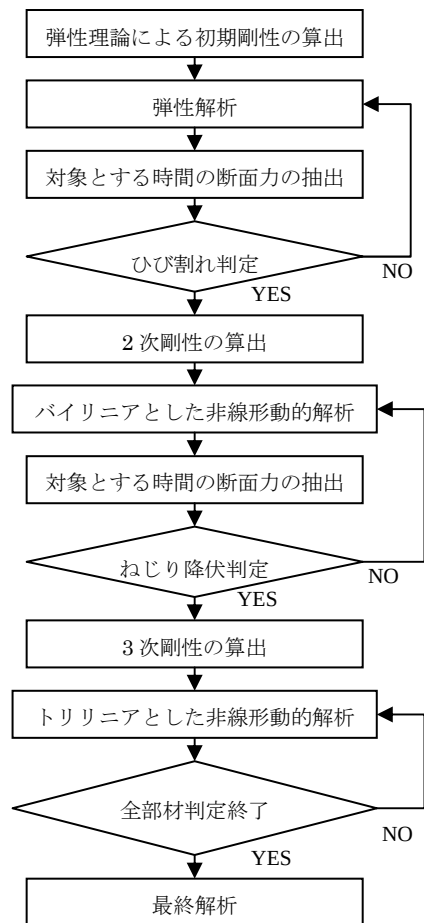


図-2 解析手法のフロー (ねじり)

キーワード ねじりと曲げの相関曲線、非線形動的解析、RCアーチ橋、ねじり非線形、骨組解析

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

3. 判定時間間隔に関する検討

最適な判定時間間隔について検討した。検討ケースは 1.0 秒, 0.5 秒, 0.2 秒, 0.1 秒間隔の 4 ケースである。それぞれの解析ケースで行った解析回数を表-2 に示す。

どの判定時間間隔においても、全ての部材でひび割れに到達し、ねじり降伏判定及び曲げ降伏判定状況はほぼ一致した。ねじり降伏に到達した部材は左アーチリブ中央部及びアーチクラウンであった。一方曲げは右アーチリブの数部材を除いてほぼすべての部材が曲げ降伏に到達していた。

ねじりと曲げの最大応答を図-3 に示す。ねじりも曲げも判定時間間隔に依らず、ある程度収束した値となっていることがわかる。また、最大応答でも 0.2 秒間隔と 0.5 秒間隔の最大応答が非常に近く、0.5 秒程度から収束すると考えられる。

以上のことから、本解析手法では 0.5 秒以下が適切であると考えられる。しかし、0.1 秒間隔のように判定時間間隔が小さいと、解析回数が多くなり、実務的ではない。

4. 等価線形解析との比較

一般的なねじり評価手法である等価線形解析を実施し比較した。ねじり剛性を $1/20$, $1/10$ とした等価線形解析と本手法（判定時間間隔 0.2 秒）の比較結果を図-4 に示す。アーチリブの基部やアーチリブとアーチクラウンの接合部でねじりモーメントが大きくなるといった傾向は類似している。

図-4 (a) より、ねじりモーメントはどの部材についても本解析手法の応答が等価線形解析の応答を大きく上回っている。特にアーチリブでその差は大きくなっており、等価線形解析ではアーチリブのねじりモーメントを過小評価する恐れがあることがわかる。また、図-4 (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応答への影響は小さい。これは、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、曲げは純荷重時に比べてもそれほど耐力が低下していないからである。

5. 結論

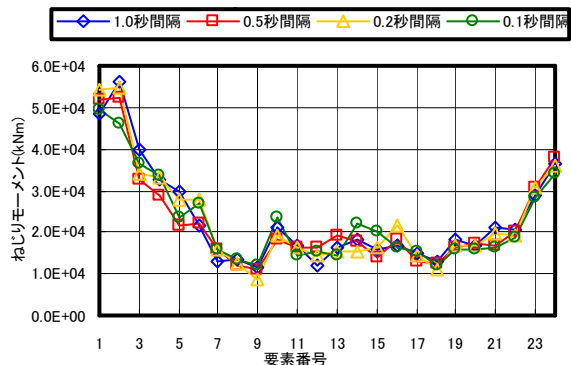
ねじりと曲げの相関特性やねじりの非線形性を厳密に考慮した非線形動的解析手法の提案を行った。本解析手法において、判定時間間隔は 0.5 秒以下（積分時間間隔の 10 倍程度）が望ましい。また現行の等価線形解析の応答と比較すると、曲げ応答はほぼ一致するが、ねじり応答はどの部材においても小さく、等価線形解析ではねじりを危険側で評価する可能性があると考えられる。

参考文献

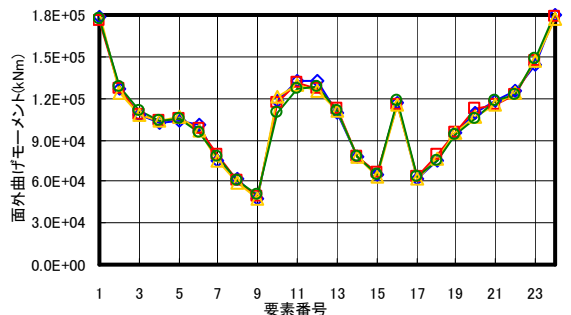
- 1) 大塚久哲・服部匡洋：ねじりと曲げの相関特性及びねじり非線形を考慮した動的解析手法の提案，土木学会論文集（投稿中）

表-2 解析回数

	1.0秒間隔	0.5秒間隔	0.2秒間隔	0.1秒間隔
解析回数	12	14	13	19

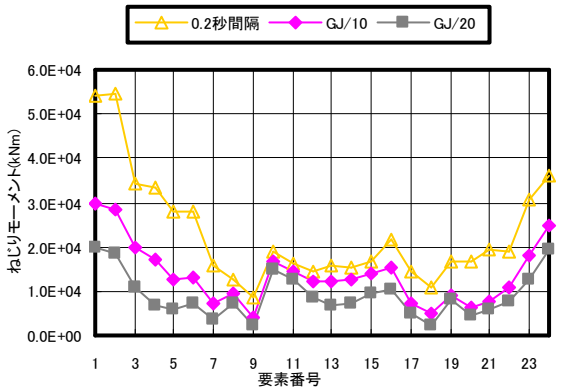


(a) ねじりモーメント

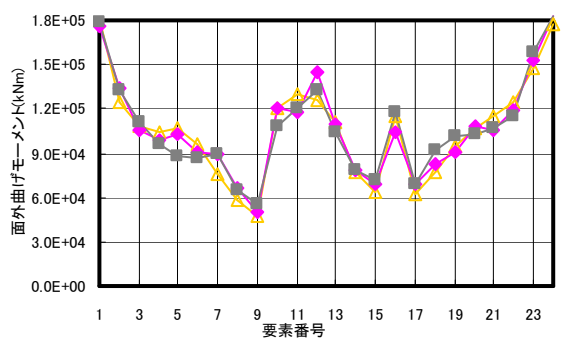


(b) 面外曲げモーメント

図-3 判定時間間隔による応答の変化



(a) ねじりモーメント



(b) 面外曲げモーメント

図-4 等価線形解析との比較