

非線形動的応答解析における Reyleigh 型粘性減衰の設定法に関する検討

北武コンサルタント株式会社 正会員 ○坂口 淳一
 北武コンサルタント株式会社 正会員 笠井 尚樹
 北武コンサルタント株式会社 正会員 渡辺 忠朋
 株式会社ドーコン 正会員 小林 竜太

1. はじめに

近年、橋梁の耐震性能照査を行う場合には、設計実務においても部材の非線形性を考慮した動的応答解析によって照査を行うことが一般的となっている。

橋梁の動的応答解析において、部材の非線形挙動に伴う履歴減衰を除いた振動系の減衰力は、数値解析上粘性減衰マトリクスによって考慮される。代表的な粘性減衰マトリクスには質量比例型減衰、剛性比例型減衰、Reyleigh 型減衰があるが¹⁾、数値計算上の安定性が良いこと等の理由から道路橋の設計実務では Reyleigh 型粘性減衰が採用される場合が多い。しかしながら、Reyleigh 型粘性減衰ではその設定方法によっては解析結果に大きな影響を与えることが指摘されている²⁾。

このような観点から、本検討では 1 基の橋脚とそれが支持する上部構造から構成される単純な振動系を対象として、Reyleigh 型粘性減衰を設定する場合の第 2 基準モードをパラメータとした動的解析を実施して、それが解析結果に及ぼす影響について検討を行った。

2. 解析モデルの概要

図-1 に、本検討に用いた RC 橋脚の諸元を示した。本検討では、断面寸法 1.9m×7.8m、高さ 10.0m、死荷重反力 1,660kN の壁式橋脚（可動）を対象とした。

図-2 に、解析モデルを示した。柱部は基部から 0.95m を塑性ヒンジ区間と仮定し、その中心位置に曲げモーメント-回転角関係によって表現される非線形回転ばね要素を設定した。なお、回転ばね要素から塑性ヒンジ区間のそれぞれ上下両端節点までを剛体要素を用いて連結した。図-3 に、塑性ヒンジ区間の曲げモーメント-回転角関係を示した。本解析では Tri-linear 型の非線形特性を仮定し、履歴特性は武田モデルに従うものとした。なお、塑性ヒンジ区間以外に関しては線形梁要素によってモデル化を行っている。

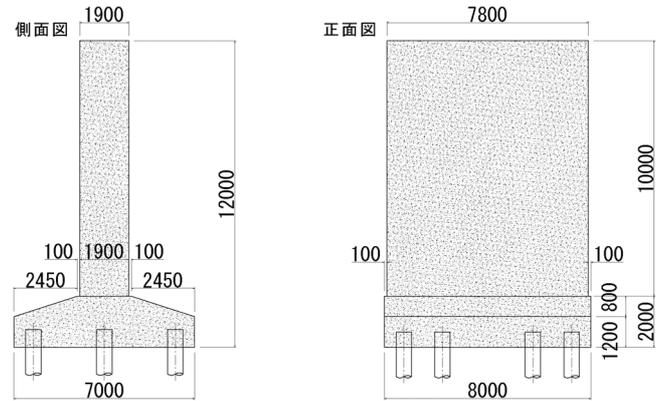


図-1 本検討で対象とした橋脚の諸元

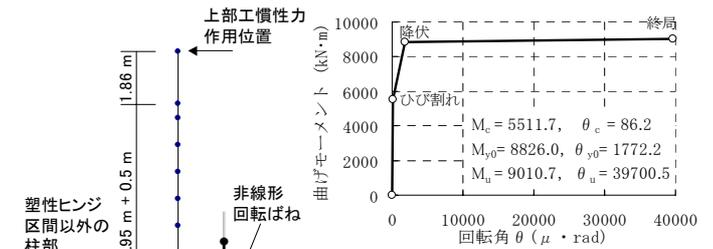


図-3 柱基部の M-θ 関係

表-1 基礎の集約ばね

	ばね定数
水平方向 (kN/m)	1305207
鉛直方向 (kN/m)	2781660
回転方向 (kN・m/rad)	16337530
連成項 (kN)	1269243
減衰定数	0.2

図-2 解析モデル

一方、杭基礎や周辺地盤の影響に関しては、表-1 に示す剛性を用いた集約ばね要素によって表現している。応答解析に用いた入力地震波形は、道路橋示方書 V【耐震設計編】¹⁾で規定されている II 種地盤用のレベル 2 地震動（タイプ II）における標準加速度波形とした。

応答解析は直接積分法（Newmark-β 法）による時刻歴応答解析とし、Reyleigh 型粘性減衰設定時の第 2 基準モードをパラメータとした動的応答解析を実施した。表-2 には検討ケース一覧を、図-4 に、各検討ケースにおける減衰定数と固有振動数の関係を示した。

キーワード：非線形動的応答解析, Reyleigh 型粘性減衰, RC 橋脚

連絡先：〒062-0020 札幌市豊平区月寒通 7 丁目北武第 2 ビル, 北武コンサルタント (株), TEL : 011-851-3181

表-2 検討ケース一覧

検討ケース	Rayleigh型減衰の設定				
	第1基準モード	第2基準モード			
		モード次数	振動数(Hz)	刺激係数	減衰定数
ケース1	1次モード	2次モード	11.35	13.370	0.14678
ケース2	振動数	3次モード	33.33	-2.096	0.07239
ケース3	2.91(Hz)	4次モード	76.31	0.446	0.04256
ケース4	刺激係数	5次モード	140.99	0.103	0.02559
ケース5	20.990	6次モード	249.54	0.020	0.02082
ケース6	減衰定数	7次モード	414.40	0.005	0.02014
	0.17167				

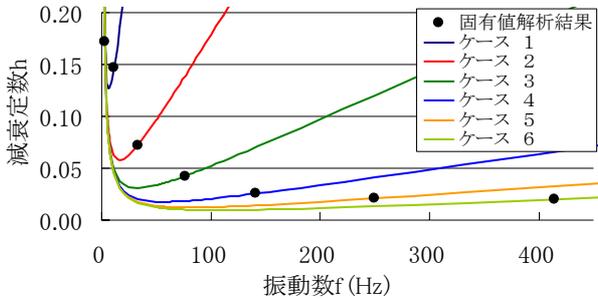


図-4 減衰定数と固有振動数の関係

3. 解析結果および考察

図-5に、塑性ヒンジ部の最大応答曲げモーメントを各ケースで比較して示した。なお、図中には非線形回転ばね要素の応答値と、回転ばねと連結された剛体要素の材端節点部における応答値を示している。図より、非線形回転ばね要素の最大応答値は検討ケースに関わらずほぼ同値であることが分かる。一方、剛体要素の材端節点部における最大応答値は、第2基準モードに低次振動数を選択した場合には非線形回転ばね要素に生じる最大応答値を上回り、かつ終局曲げモーメント以上の応答値が発生していることが分かる。

図-6に、塑性ヒンジ部の最大応答せん断力を各ケースで比較して示した。ここでは回転ばね要素と連結された剛体要素に生じるせん断力に着目している。図より、最大応答せん断力は第2基準モードに低次振動数を選択した場合ほど最大応答せん断力が大きくなる傾向にある。これは上述のように剛体要素の最大応答曲げモーメントが低次振動数で大きくなることに関連しているものと推察される。すなわち、応答せん断力は要素端部に生じる応答曲げモーメントに対応するため、剛体要素に作用する曲げモーメントが大きく評価された検討ケースでは、応答せん断力も大きくなるものと考えられる。図-7に、慣性力作用位置における最大応答変位を各ケースで比較して示した。図より、第2基準モードに高次振動数を選択するほど最大応答変位は大きくなるが徐々に収束する傾向にある。

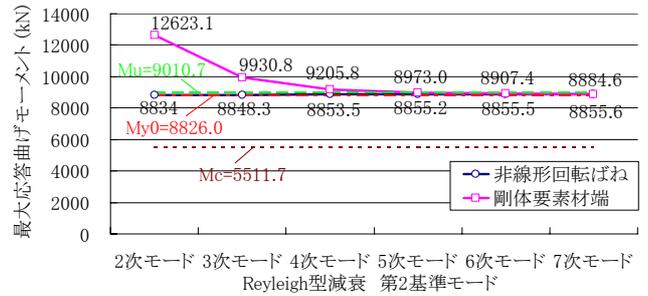


図-5 塑性ヒンジ部の最大応答曲げモーメント

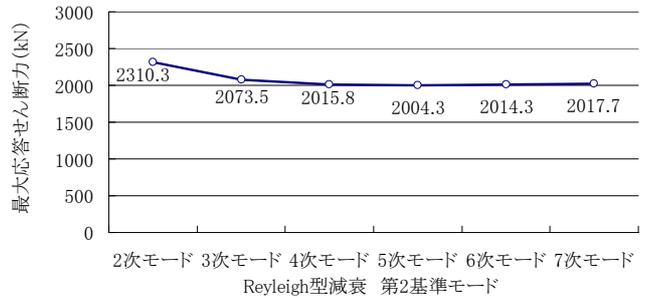


図-6 塑性ヒンジ部の最大応答せん断力

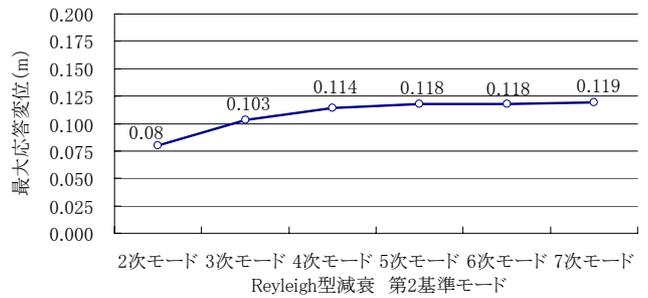


図-7 慣性力作用位置の最大応答変位

4. まとめ

本検討では、一般的な道路橋のRC橋脚を対象としてRayleigh型粘性減衰を設定する場合の第2基準モードをパラメータとした動的応答解析を実施し、それらが解析結果に及ぼす影響について検討を行った。なお、本検討では柱基部の最大曲げモーメント、最大せん断力および慣性力作用位置の最大変位に着目した。

検討の結果、第2基準モードに低次振動数を選択した場合には、応答断面力を大きく、応答変位を小さく評価する傾向にあることが確認された。また、高次振動数を選択するに伴って応答断面力や応答変位は一定値に収束する傾向を示すことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書V【耐震設計編】，2002.
- 2) 小倉祐介，運上茂樹：非線形動的解析における粘性減衰のモデル化に関する一考察，第7回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.155-162，2004.