

橋りょう・高架橋の部材非線形化が1次モード刺激係数に与える影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○松本 星斗 坂井 公俊 豊岡 亮洋

1. はじめに

橋りょうや高架橋などの構造物の地震時の挙動は一見複雑であるが、線形状態における応答は複数の固有モードの重ね合わせで表現できる。一方、構造物が非線形化すると、部材の剛性低下に伴って振動モードの形状が変化し、刺激係数も変化する。この変化が明らかになれば、非線形領域におけるモードの重ね合わせが可能となり、結果として複雑な構造物に対しても地震被害を即時推定できる可能性がある。そこで本検討では、単純な柱モデルを用いて、部材の非線形化に伴う刺激係数の変化に関する基礎的な検討を行った。

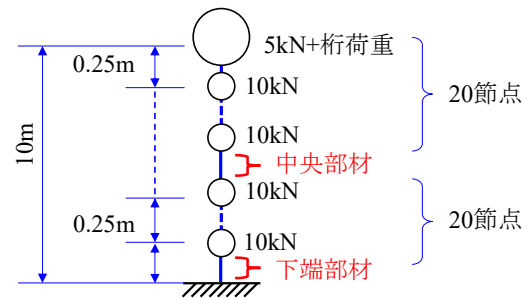


図1 解析モデル概要

2. 部材の非線形化に伴う刺激係数の変化

2.1 解析条件

橋脚を想定した高さ10mの柱を仮定し、図1に示す40自由度の解析モデルを作成した。上部に付加した重量の違いが結果に与える影響を考慮するため、桁荷重は0kN, 200kN, 1000kN, 2000kNの4ケースを設定し、いずれのケースも線形状態で1次モードの固有周期が1.0sとなるように柱の剛性を決定した。次に、一般的に構造物の損傷が発生しやすい柱の下端部が徐々に非線形化する過程を模擬し、下端部材の剛性を20%, 10%, 5%に低下させたケースを設定した。線形状態も含めた全ケースについて固有値解析を行い、桁荷重や部材剛性の変化に伴う1次モードの刺激係数と有効質量比の変化を求めた。

2.2 刺激係数の評価結果

一例として桁荷重200kNのケースの固有値解析結果を表1に、1~4次モードの刺激関数を図2に示す。表1より、当然ではあるが、部材の剛性が低下するにつれていずれのモードも固有周期が長くなることが確認できる。また図2より、下端部剛性が低下するほど振動モードの下端部の変形が顕著になる。

全ケースの1次モードの有効質量比と刺激係数の関係を図3に示す。全体的な傾向として、桁荷重が大きいケースほど1次モードの有効質量比は100%に、刺激係数は1に近づき、逆に桁荷重が小さいケースほど有効質量比は小さく、刺激係数は大きくなった。続いて部材の剛性低下による変化を見ると、いずれの桁荷重のケースにおいても刺激係数の変化は僅かであることが分かった。一方、1次モードの有効質量比は下端部材の剛性が低下するほど大きくなった。これは1次モードにおいて変形が集中する下端部材の剛性が低下し、変形が更に局所化す

表1 固有値解析結果（剛性低下位置：下端部）

(a) 桁荷重200kN, 線形

モード次数	固有周期 (s)	振動数 (1/sec)	刺激係数	有効質量比 (%)
1	1.000	1.000	1.189	71.0
2	0.119	8.382	0.699	15.8
3	0.039	25.639	0.414	5.2
4	0.019	52.595	0.303	2.5

(b) 桁荷重200kN, 下端部剛性20%

モード次数	固有周期 (s)	振動数 (1/sec)	刺激係数	有効質量比 (%)
1	1.151	0.869	1.196	73.6
2	0.134	7.439	0.677	15.7
3	0.043	23.372	0.383	4.7
4	0.020	48.902	0.266	2.1

(c) 桁荷重200kN, 下端部剛性10%

モード次数	固有周期 (s)	振動数 (1/sec)	刺激係数	有効質量比 (%)
1	1.316	0.760	1.199	75.4
2	0.145	6.914	0.653	15.0
3	0.045	22.432	0.361	4.2
4	0.021	47.670	0.248	1.9

(d) 桁荷重200kN, 下端部剛性5%

モード次数	固有周期 (s)	振動数 (1/sec)	刺激係数	有効質量比 (%)
1	1.597	0.626	1.200	77.2
2	0.155	6.468	0.623	14.0
3	0.046	21.761	0.339	3.8
4	0.021	46.852	0.235	1.7

キーワード 固有値解析, 刺激係数, 地震応答解析, モード解析

連絡先 〒185-0034 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7336

めであると考えられる。逆に、下端部の変形が小さい2次モード以上のモードでは、下端部材の剛性が低下するほど有効質量比が小さくなることが表1から確認できる。

2. 3 非線形化位置が異なる場合の検討

前節では下端部の非線形化に着目したが、非線形化する位置が異なる場合には刺激係数や有効質量比の変化の傾向が異なる可能性がある。そこで、図1のモデルに対して剛性を低下させる部位を柱中間部に設定し、前節と同様の解析、結果の整理を行った。

結果の一例として、桁荷重 200kN とした場合の1~4次モードの刺激関数を図4に示す。前節と同様に、部材の剛性が低下するほど、剛性を低下させた周辺における曲率が大きくなっていることが確認できる。

中央部の剛性を低下させた全ケースの1次モードの有効質量比と刺激係数の関係を図5に示す。なお、比較のために、下端部の剛性が低下するケースを灰色でプロットした。前節と同様に、いずれの桁荷重においても部材の剛性低下に伴う刺激係数の変化は僅かであることが分かった。一方、有効質量比の変化に注目すると、中央部材の剛性が低下するほど、1次モードの有効質量比は小さくなった。これは、剛性低下位置である中央部が大きく変形する偶数モードの寄与率が増加したことで、相対的に1次モードの寄与率が低下したためと考えられる。なお、スペースの都合により固有値解析結果の掲載を省略したが、実際に中央部材の剛性が低下するほど2次モードおよび4次モードの有効質量比が増加することを確認している。

3. まとめ

単純な柱を模擬したモデルを使用し、部材の剛性を低下させた固有値解析を行うことで、構造物の非線形化に伴う刺激係数の変化を調べた。解析の結果、部材の非線形化に伴い1次モードの有効質量比は変化するが、刺激係数の変化は僅かであることが明らかとなった。また、この傾向は部材が非線形化する位置が異なっても同様であることを確認した。以上の結果から、例えば非線形領域を考慮したモードの重ね合わせを行う際に、線形状態で求めた刺激係数をそのまま用いることができる可能性が考えられる。

参考文献

- 1) 柴田明徳：最新耐震構造解析（第3版）、森北出版株式会社、2019

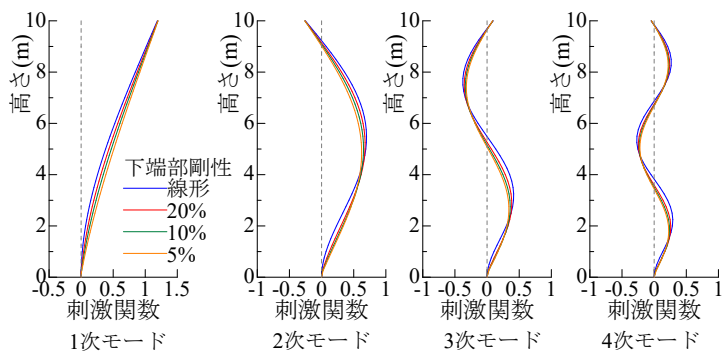


図2 刺激関数（剛性低下位置：下端部）

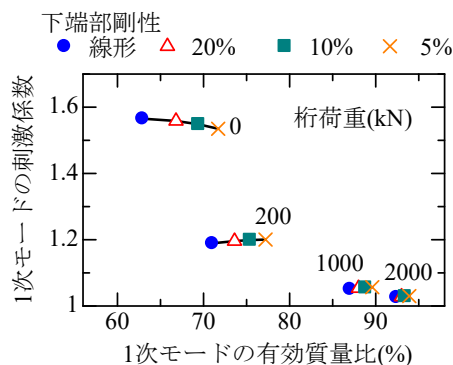


図3 刺激係数の評価結果（剛性低下位置：下端部）

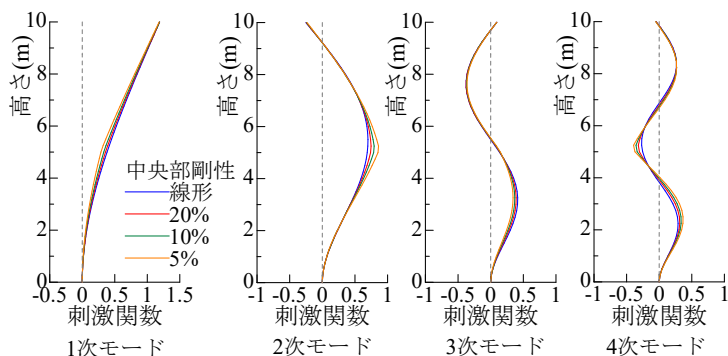


図4 刺激関数（剛性低下位置：中央部）

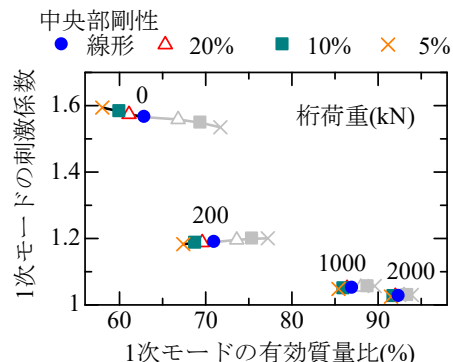


図5 刺激係数の評価結果（剛性低下位置：中央部）