

部材別減衰係数を用いたレーリー減衰の適用性

(株) 総合技術コンサルタント 正会員 西森 孝三
 阪神高速道路公団 工務部 正会員 足立 幸郎

1. はじめに

多自由度系の直接積分法による地震応答解析では、全体減衰行列(C)は、式(1)のとおりレーリー減衰係数(α, β)を全体の質量行列(M)と剛性行列(K)にそれぞれ乗じて作成され、多用されている。そして、係数 α, β は、実務的には道示・耐震設計編に示されるひずみエネルギー比例によるモード減衰定数をもとに、地震応答に影響の大きい2つの固有振動数とそのモード減衰定数を用いて式(2)により設定されている。ただし、モード減衰定数の算定に際しては、部材ごとの減衰定数は振動数に無関係に一定として与えている。

$$C = \alpha \cdot M + \beta \cdot K \quad (1)$$

$$\alpha = 4 \pi \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot (h_1 \cdot f_2 - h_2 \cdot f_1) / (f_2^2 - f_1^2), \quad \beta = (h_2 \cdot f_2 - h_1 \cdot f_1) / (\pi \cdot (f_2^2 - f_1^2)) \quad (2)$$

ここに、 f_1, f_2 : それぞれ採用する2つの固有振動数(Hz)、 h_1, h_2 : f_1, f_2 に対応するモード減衰定数である。

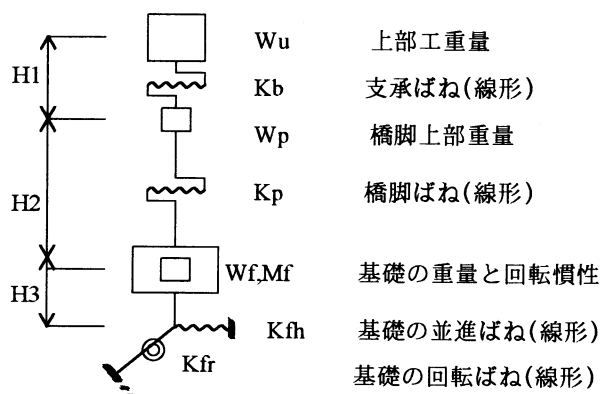
この方法によると、骨組みモデルに剛な部材を組み込むことが実務上多々あるが、本来その減衰性は無視すべきと考えられるにもかかわらず、結果的に大きな減衰性を与えることとなり、不合理なモデル化となる場合がある。ここでは、部材単位のレーリー減衰係数を提案し、その適用性について検討した。

2. 部材別レーリー減衰係数の設定方法とその適用性

部材減衰定数(h_i)は、上記と同様に振動数の影響を受けなく一定とし、レーリー減衰係数の設定には同じく支配的な2つの固有振動数を採用し、式(1)は部材単位でも適用できるものと仮定する。この場合、部材ごとのレーリー減衰係数(α_i, β_i)は、式(3)のとおりとなる。

$$\alpha_i = 4 \pi \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot h_i / (f_2 + f_1), \quad \beta_i = h_i / (\pi \cdot (f_2 + f_1)) \quad (3)$$

この考え方を、橋梁を上部工、橋脚上部および基礎の並進と回転を有する4自由度系にモデル(図-1)化して適用した。諸元を図中に示すが、支承、橋脚および基礎の部材減衰定数をそれぞれ $h=2, 5, 10\%$ とした。固有値とひずみエネルギー比例によるモード減衰定数を表-1に示す。入力振動数ごとの応答を見るため、



	重量	質点高さ
上部工 (ton)	817.22	19.2m
橋脚上部 (ton)	163.44	15.2m
基礎並進 (ton)	913.00	3.3m
基礎回転 (tm ²)	8642.00	3.3m

	ばね係数	減衰定数
支承 (kN/m)	31099.3	0.02
橋脚 (kN/m)	241976.9	0.05
基礎並進 (kN/m)	6.566×10^6	0.10
基礎回転 (kNm/r)	1.274×10^8	0.10

図-1 力学モデル

表-1 モデルの固有振動数

次数	1	2	3	4
固有振動数(Hz)	0.885	5.382	12.09	27.22
有効質量比(%)	47.6	16.3	31.1	5.0
モード減衰定数(%)	2.99	6.16	8.44	9.41

表-2 入力正弦波: $A_{max}=200gal$

$A_c = A_{max} \cdot t / 10 \cdot \sin(2 \pi f \cdot t)$	$t \leq 10sec$
$= A_{max} \cdot \sin(2 \pi f \cdot t)$	$10sec < t$
Ac: 時刻 t の加速度、 f: 加振振動数(Hz) 計算時間 30 秒	

キーワード: レーリー減衰係数、地震応答解析、部材減衰定数

連絡先: 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 3-5-9 (株)総合技術コンサルタント, TEL:06-6325-5229, FAX:06-6321-5114

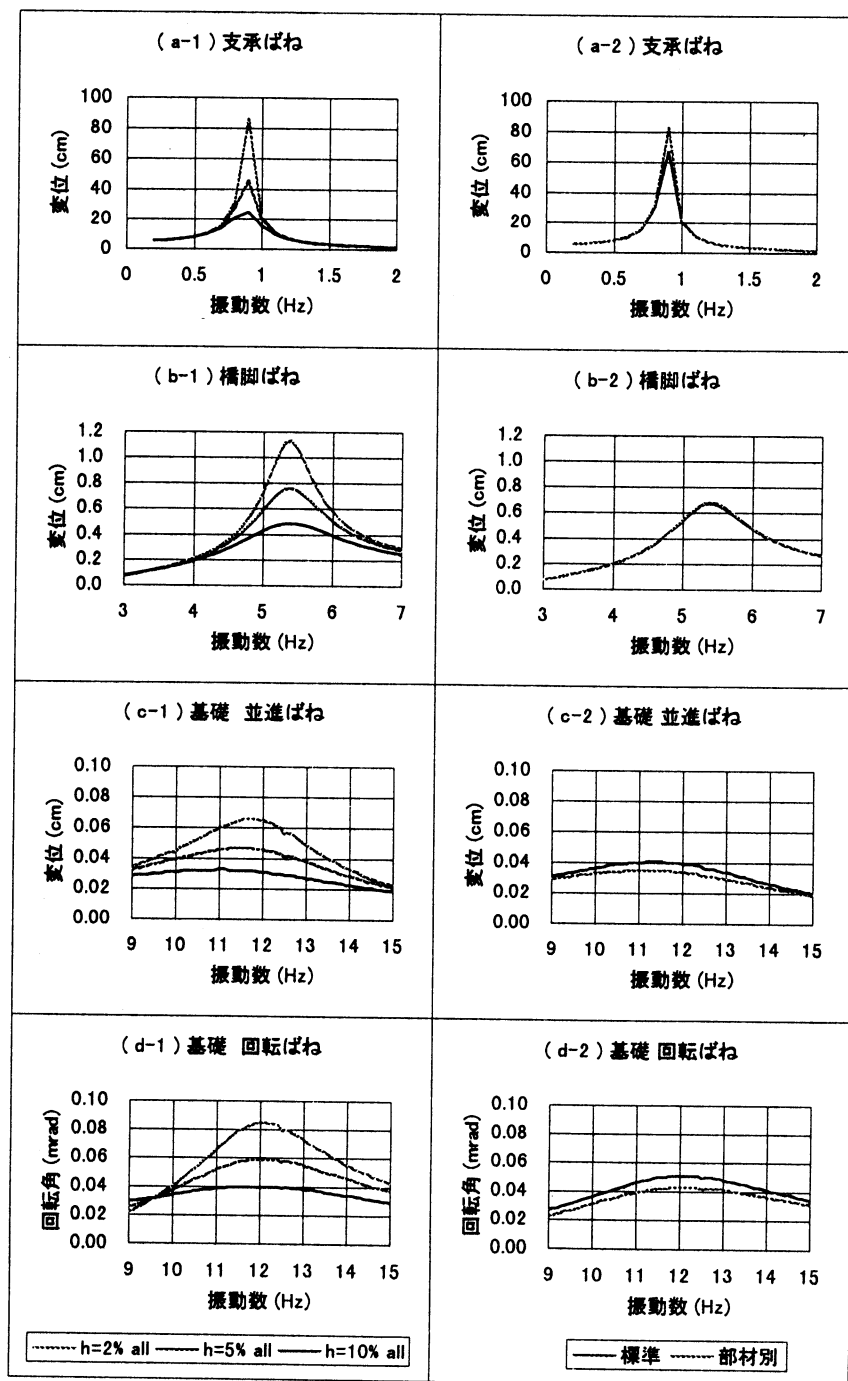
表一 2 の正弦波とした。結果をばね変位の共振曲線として図一 2 に示す。同図には比較のため、減衰定数を全部材 $h=2, 5, 10\%$ としたケース、さらにモード減衰定数を用いた式(2)による標準の方法のケース(以下、標準と略記)も示す。なお、レーリー減衰の設定は 1 次と 2 次の固有値を採用した。

図一 2 には、着目部材の支配的な固有振動数ごとに、「標準」の場合よりも、提案の「部材別」の方が部材に与えた減衰性が効果的に発揮されている様子が認められる。すなわち、1 次は支承の変位が支配的であり全部材 $h=2\%$ とした応答に「部材別」の方がより非常に近い。2 次は橋脚の応答であり、両方法で値が一致し、全部材 $h=5\%$ の応答をわずかに下回る。3 次は基礎の並進が卓越しており「部材別」の方が減衰性をより強く発揮して、全部材 $h=10\%$ の値により近い。回転成分においては他部材の影響が小さいためであろうが、全部材 $h=10\%$ の応答とほぼ一致する。なお、4 次は 27Hz と高振動数のためピークが現れないので示していない。これらは、地震波入力による応答解析において、部材応答波形の周波数成分にはその部材に与えた減衰性が適切に反映され得ることを示唆しているものと考えられる。

一方、全部材に同じ減衰を与えた場合は、その減衰を与えた着目部材の支配的な振動モードについて、妥当な解を与えられ思考えられる。また、「標準」の方法は 1 次と 2 次には精度良く与えた減衰性が発揮されるが、それ以上の高次モードには 2 次の減衰性が強く影響していると推測される。

3. あとがき

系の全体質量行列と全体剛性行列に適用されるレーリー減衰係数の設定法に代え、部材減衰定数を直接的に考慮した設定法を提案し、その適用性について検討した。この方法ではモード減衰定数が不要であり、かつ、部材ごとに適切な減衰性を与えることができるので、より合理的な地震応答解析の可能性があると思考えられる。提案の方法では、着目部材の卓越する振動モードにおいて、その部材に与えた減衰性が、全体行列に適用されるレーリー減衰の場合よりも、より効果的に発揮されていることを示した。



図一 2 減衰係数の与え方によるばね変位の共振曲線の比較