

I-301

回転角速度比例型ダンパーを用いた橋梁の制振特性について

大林組 〇正 員 北村 肇
東北大学工学部 正 員 倉西 茂

1. まえがき： 橋梁において桁のたわみ振動を制御する場合、ダンパーをたわみの著しい地点（例えば桁の中央部）に設置すると、最も制振効果が得られるのは明らかである。しかし、減衰力の大きなダンパーほど重量も増加するため、桁中央部への設置は困難となる。よって桁中間部よりも、たわみ変位の小さい支承部やその近傍に設置されることが多い。そこで、支承部に設置しても桁中間部のたわみ変位を効果的に制御できるダンパーを考案することには、重要な意義がある。本論文では、支承部で最大となる回転変位を抑制することで桁中間部のたわみ変位をも制御することが可能となることに着目し、回転角速度に比例する減衰効果を持つダンパー（以下回転ダンパーと呼ぶ）を提案した。回転ダンパーを単純桁モデルに適用した場合について解析し、基本的な制振特性を調べる。この際、固有モード間の連成の影響についても検討を加える。また、実構造としての斜長橋モデルに対しても適用しその制振効果を確認する。

2. 解析方法： 回転ダンパーは回転角速度に比例した減衰力 M_d を持つものとし、次のようにモデル化する。

$$M_d = C \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

ここで、 M_d ：減衰力、 C ：減衰係数 [ton・m・sec/rad]、 θ ：回転角
図1に回転ダンパーの模式図を示す。具体的な回転ダンパーの機構の一例には、図2のような粘性流体によって桁たわみに対してモーメントを減衰力として与えるモデルを示す。また、回転ダンパーによる具体的な減衰力を把握するために図3のようにモデルを簡略化した。図4は単純梁の両支点部に回転ダンパーを適用した解析モデルであり、単純梁は8要素の平面骨組み構造として有限要素法で離散化する。まず通常モード解析法により、桁たわみに関する各振動モードのみかけの減衰定数を求め近似的に減衰効果を検討する。次に、各モードが独立して生じるような外力を運動方程式から逆算して求め、その外力を与えた場合の各モードの共振曲線を時刻歴応答解析により求める。

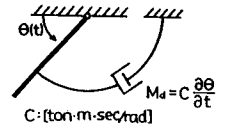


図1 回転ダンパー模式図

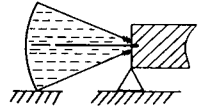


図2 回転ダンパーモデル

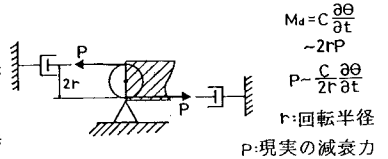


図3 モデル化の一例

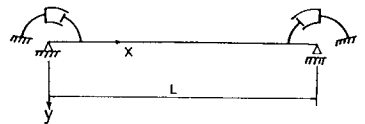


図4 単純梁モデル

表1 みかけの減衰定数(単純梁)

固有振動数 (Hz)	減衰定数 ($C=10^4$)
モード1	2.8106
モード2	11.2250
モード3	25.1665
モード4	44.3878

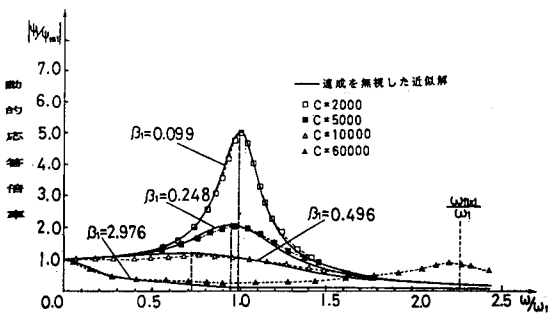


図5 1次モードの共振曲線(単純梁)

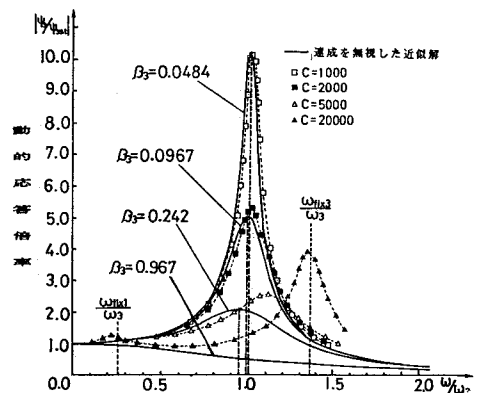


図6 3次モードの共振曲線(単純梁)

3. 解析結果 : モード解析により回転ダンパーの減衰係数に対応するみかけの減衰定数を求めた。各モードとも減衰係数とみかけの減衰定数とは比例関係にあり、その代表例として4次モードまでの減衰係数 $C=10^5$ に対応する減衰定数を表1に示す。これより、これらすべての振動モードに対して同等の減衰効果が得られることがわかる。図5、図6はそれぞれ1次モード及び3次モードの共振曲線である。縦軸の動的応答倍率 $|\psi/\psi_{st}|$ は、 $\psi_{st}=1/\omega_1^2$ で定義されるモードの静的応答で無次元化した量である。1次モードでは、 $C=10^4$ 程度までは連成を無視した近似解とほぼ一致し、減衰係数の増加とともにすべての振動数で応答倍率は小さくなるが、それ以上では両端固定梁の2次固有振動数で新たなピークが生じる。3次モードでは、 $C=10^3$ 程度までは近似解とほぼ一致しているが、それ以上では両端固定梁の3次振動数へ共振点が接近し共振する。図7はみかけの減衰定数に対する共振点の応答倍率を示したものである。2次モードでは $C=12200$ ($\beta=0.6$)、3次モードでは $C=8300$ ($\beta=0.4$) で最も減衰効果が現れる。

4. 回転ダンパーの斜張橋への適用 : 図8の斜張橋モデルの両端支承部に回転ダンパーを設置した系について桁のたわみ振動の減衰特性を調べる。構造諸元は安治川大橋の1次設計モデルに準じる。図9に4次までの固有振動モードを示す。減衰係数が $C=10^5$ のときの各モードのみかけの減衰定数を示したものが表2である。

減衰効果はこれらすべてのモードに対して期待できるが、特に高次のモードに対して顕著である。最も減衰効果の期待できる4次モードに関する共振曲線が図10である。減衰係数が増加すると、両端部を固定した系の4次固有振動数に接近してゆく。また、両端固定の系の2次固有振動数でもピークが現れる。4次モードに対しては、減衰係数が $C=10 \times 10^5$ ($\beta=0.1$) のとき減衰効果が最大となる。

5. まとめ : 回転ダンパーは、幅広い振動数域で減衰効果を持つ。また、モード間の連成の影響を考慮することで、各モードに対して最も効果的なダンパーの減衰係数を決定できる。しかし、現実に設置できるダンパーの減衰力の大きさは、本解析の範囲よりも小さいと考えられ、その場合モード間の連成の影響は極めて小さく、モード解析で求められる、みかけの減衰係数でも十分に減衰効果を把握できる。また、斜張橋に対しても減衰効果が確認できた。高次モードの影響が大きな斜張橋にとって、高次モードにも大きな減衰効果のある回転ダンパーの適用は、有効な制振手段である。

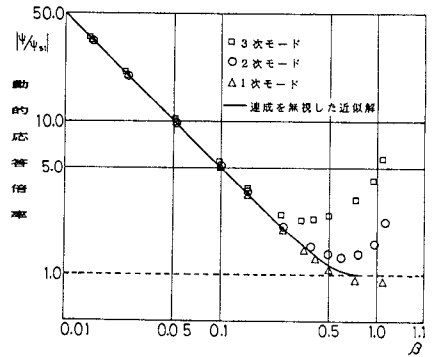


図7 みかけの減衰定数と共振点の応答倍率（単純梁）

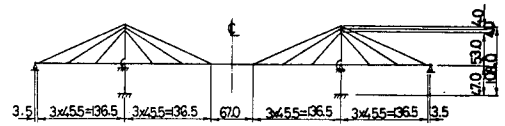


図8 斜張橋モデル（単位：m）

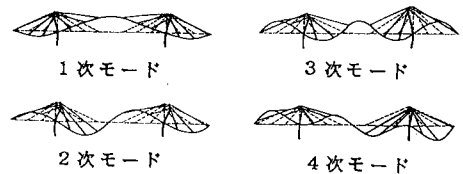


図9 斜張橋の固有振動モード

表2 みかけの減衰定数（斜張橋）

	固有振動数 (Hz)	減衰定数 ($C=10^4$)
モード1	0.410	0.850×10^{-3}
モード2	0.634	0.150×10^{-2}
モード3	0.730	0.298×10^{-2}
モード4	1.108	0.355×10^{-2}

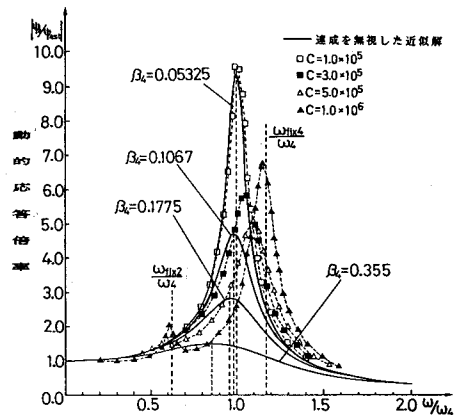


図10 4次モードの共振曲線（斜張橋）