

二つの構造部材および構造物の相互連結による減衰性能向上について

榊コプロス 正員 野島庸一 山口大学大学院 学生員 森 桂一
山口大学工学部 フェロー 會田忠義 山口大学工学部 正員 麻生稔彦

1. まえがき 二つの構造部材および構造物をばね・ダンパーから構成される連結部材で相互に連結して、ばね・ダンパーの特性を調整することにより両構造系の最低次振動モードの減衰性能を最大に向上させる手法(相互連結法)を、文献1)に基づいて若干の構造系に適用して、構造系の減衰性能向上に対する相互連結の効果を明かにするとともに相互連結法に検討を加えた。本報文では、並立した二つの塔、ランガーけた橋と単純けた橋、斜張橋の2本のケーブル、並立する二つの3層立体ラーメンへの適用結果を示す。

2. 並立する二つの塔 Fig. 1 に示す高さ 30m の塔を想定する。塔 1 の 1 次固有円振動数は $\omega_{11}=2.47\text{rad/sec}$ 、1 次一般化質量は $m_{11}=190.6\text{kg}$ 、塔 2 のそれぞれは $\omega_{21}=1.26\text{rad/sec}$ 、 $m_{21}=529.3\text{kg}$ である。ここでは同じ基盤上に並立する塔を水平に連結部材で連結する場合(Case1)、 e だけ高低差がある基盤上に並立する塔を水平に連結する場合(Case2)および両塔を傾斜した連結部材で連結する場合(Case3)について調査した結果の概略を示す。(Case1 について): 頂部 10% の

位置に連結部材を取りつけた場合の連結部材の近似最適ばね係数 K_{opt} 、減衰係数 C_{opt} および近似最大モード減衰比 ξ_{max} を求め、ついで連結部材のばね係数が近似最適値を取り、減衰係数が変動したときのモード減衰比を複素固有値解析によりモード減衰比を求め Fig. 2 に示した。ここで $K_{\text{opt}}=7.008 \times 10^3(\text{N/m})$ 、 $C_{\text{opt}}=1.185 \times 10^4(\text{Ns/m})$ 、 $\xi_{\text{max}}=0.2995$ であった。Fig. 2 Case1 のモード減衰比

図より $C/C_{\text{opt}}=1.0$ で 1 次および 2 次のモード減衰比がよく接近しているのがわかる。近似調整法の妥当性の示している。Fig. 3 に取り付け位置の変動にともなう減衰比の変動を示した。図には Fig. 2 の $C/C_{\text{opt}}=1.0$ における 1 次および 2 次のモード減衰比 ξ_1 、 ξ_2 とともに、近似最大モード減衰比 ξ_{max} を示した。連結位置が基部に近づく(e/l が 1 に近づく)にしたがって ξ_1 と ξ_2 は離れ近似調整法限界を示している。(Case2 に

ついて): 塔 1 を基準として塔 2 が低い場合 $e>0$ 、塔 2 が高い場合 $e<0$ とするとき、基盤の高低差の変動に対するモード減衰比の挙動を Fig. 4 に示した。固有円振動数の高い塔が低い位置にある場合の減衰効果が大きいといえる。ただしこの場合 $e/l=0.2$ が限度でそれ以上の高低差をつけることは出来ない。(Case3 について): Fig. 1 の

Case3 において $e/l=0.1$ の場合の K_{opt} 、 C_{opt} および ξ_{max} を求め、連結部材のばね係数を K_{opt} として減衰係数 C を変化させたときのモード減衰比の変動を Fig. 5 に示した。ここで、 $K_{\text{opt}}=8.287 \times 10^4(\text{N/m})$ 、 $C_{\text{opt}}=9.955 \times 10^4(\text{Ns/m})$ 、 $\xi_{\text{max}}=0.2718$ であった。Fig. 1 の Case2 において $e/l=0.1$ としたときのモード減衰比を挙動も求めた。ここでは示さないが、Fig. 5 の挙動とほぼ同一であった。ただし、この場合の $K_{\text{opt}}=8.287 \times 10^3(\text{N/m})$ 、 $C_{\text{opt}}=9.554 \times 10^3(\text{Ns/m})$ 、 $\xi_{\text{max}}=0.2718$ であった。この結果から K_{opt} 、 C_{opt} は大きく変化するが、塔状構造物では連結部材の傾斜は減衰性能に殆ど影響しないといえる。

3. ランガーけた橋と単純けた橋 対象とするランガーけた橋はスパン 112m、ライズ 16m、主アーチ間隔 7.4m の道路橋(山田橋、千葉県)で、単純けた橋はスパン 30m、幅員 8.5m のプレートガーダー橋(建設省、旧標準けた)である。立体交差などを想定し、ランガー橋の逆対称 1 次のモードの減衰性能をキーワード: 構造振動、振動減衰、振動制御、相互連結

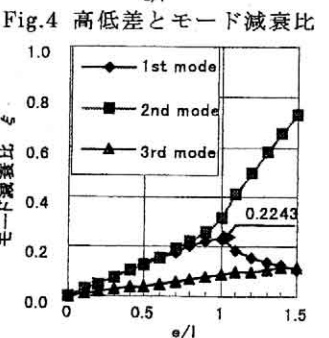
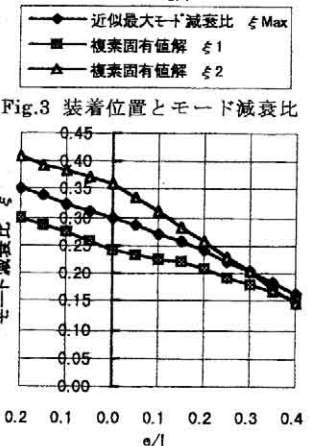
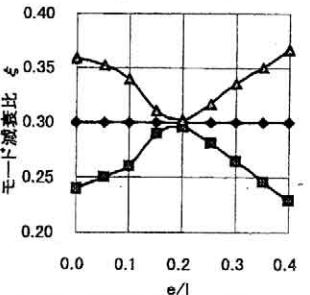
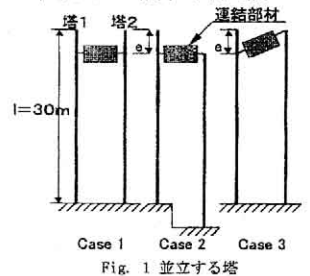


Fig. 5 Case3 のモード減衰比

高めるために、スパンの 1/4 点近傍の近傍の下節点と単純けた橋の支点から 8.5 m 点とを連結部材で連結した場合(Fig.6 参照)を調査した。単純けた橋の 1 次モードの固有円振動数は $\omega_{11}=22.04\text{rad/sec}$ 、1 次の一般化質量は $m_{11}=46.81\text{kg}$ 、ランガー橋の逆対称 1 次のモードに対しては $\omega_{21}=4.80\text{rad/sec}$ 、 $m_{21}=137.9\text{kg}$ であった。この場合の連結部材の近似最適ばね係数 K_{opt} 、減衰係数 C_{opt} および近似最大モード減衰比を求め、ついで連結部材のばね係数が近似最適値を取り、減衰係数が変動したときのモード減衰比を複素固有値解析によりモード減衰比を求め Fig.7 に示した。ここで、 $K_{\text{opt}}=0.9927 \times 10^7 (\text{N/m})$ 、 $C_{\text{opt}}=0.2594 \times 10^6 (\text{Ns/m})$ および $\xi_{\text{max}}=0.7414$ であった。これらの結果から近似調整値が正しく最適調整値を示さないが、連結部材がランガー橋の逆対称 1 次のモード減衰比を大きく引き上げることが明らかにたつた。

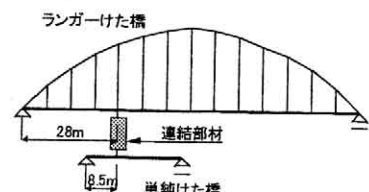


Fig.6 ランガーけた橋と単純けた橋の連結

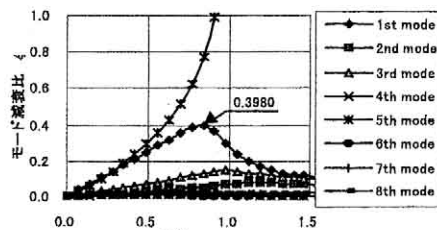


Fig.7 ランガーけた橋と単純けた橋の連結時のモード減衰比

4. 斜張橋ケーブルの相互連結 対象の斜張橋ケーブルは伊唐大橋(PC 斜張橋、鹿児島県)のケーブルで、ケーブル 1 (下段)のケーブル長は 59.8m、ケーブル 2 (上段)は 68.2m、ケーブル 1 および 2 の断面積はいずれも $18.2\text{cm}^2 \times 2$ 、ケーブル 1 の初期張力は 106.7tf、ケーブル 2 は 106.2tf である。ケーブル 1 の 1 次の固有円振動数は $\omega_{11}=12.82\text{rad/sec}$ 、1 次の一般化質量は $m_{11}=17.44\text{kg}$ 、ケーブル 2 のそれぞれは $\omega_{21}=11.25\text{rad/sec}$ 、 $m_{21}=17.78\text{kg}$ である。Fig.8 に示すように上段ケーブルは下端より 27.7 m、下段ケーブルは 21.4m の位置を連結した場合を想定し、連結部材の近似最適ばね係数 K_{opt} 、減衰係数 C_{opt} および近似最大モード減衰比を求め、ついで連結部材のばね係数が近似最適値を取り、減衰係数が変動したときのモード減衰比を複素固有値解析によりモード減衰比を求め Fig.9 に示した。ここで、 $K_{\text{opt}}=0.3772 \times 10^2 (\text{N/m})$ 、 $C_{\text{opt}}=0.9117 \times 10^2 (\text{Ns/m})$ および $\xi_{\text{max}}=0.0612$ であった。図より $C/C_{\text{opt}}=1.0$ において 1 次および 2 次のモード減衰比 ξ_1 、 ξ_2 はともに良く接近している様子がわかる。図には近似最大モード減衰比 ξ_{max} を示した。

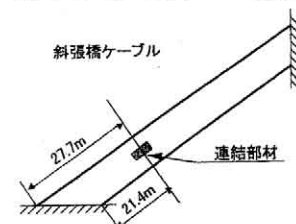


Fig.8 斜張橋ケーブルの連結

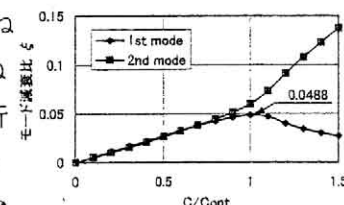


Fig.9 斜張橋ケーブルのモード減衰比

5. 並立する立体ラーメン Fig.10 に示す 3 層からなる立体ラーメンを想定した。これらラーメンは柱に H400x400x13x21 を、はりに H700x300x13x24 を使い、ラーメン 1 の 1 次の固有円振動数は $\omega_{11}=26.23\text{rad/sec}$ 、1 次の一般化質量は $m_{11}=1.278\text{kg}$ 、ケーブル 2 のそれぞれは $\omega_{21}=20.65\text{rad/sec}$ 、 $m_{21}=1.731\text{kg}$ である。両ラーメンが 1 直線上に配置され、連結に当って曲げとねじりの連成振動が生じないように連結された

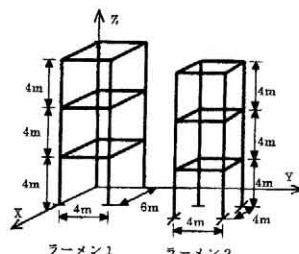


Fig.10 連結する立体ラーメン

場合(Case1)と、1 直線上に配置されず連結によって曲げとねじりの連成振動が誘発される場合(Case2)を考察した。これら二つの場合について連結部材の近似最適ばね係数 K_{opt} および減衰係数 C_{opt} を求め、ついで連結部材のばね係数が近似最適値を取り、減衰係数が変動したときのモード減衰比を複素固有値解析によりモード減衰比を求め Fig.11 に示した。Case1 および Case2 いずれの場合でも、

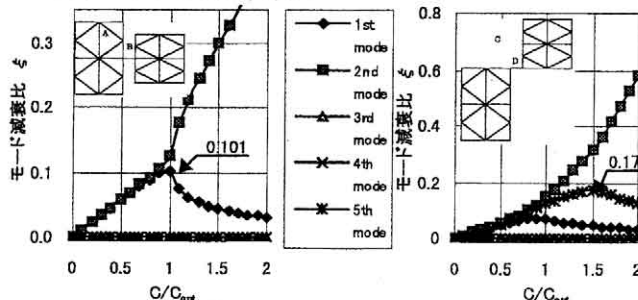


Fig.11 立体ラーメンの連結位置とモード減衰比

$K_{\text{opt}}=0.340 \times 10^6 (\text{N/m})$ 、 $C_{\text{opt}}=0.682 \times 10^5 (\text{Ns/m})$ および $\xi_{\text{max}}=0.1141$ であった。これらの図から Case1 は近似調整法を満たしているものの、Case2 では近似調整値が正しく最適調整値を示さないこと、自明であるがねじり振動(5 次モード)のモード減衰比を大きく引き上げることが明らかにたつた。

5. 結び 以上の数値解析例から、減衰性能向上のための連結部材の近時調整法が構造系の 1 次モードに注目して誘導されたことから、1 次モードが卓越した節点のその変位方向に連結部材を装着するときは、近似調整式は比較的良好な結果を与えることが明らかになった。参考文献 1) 會田、麻生、竹下：二つの構造物の相互連結による減衰性能向上の一手法について、土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第 1 部(B)