

相互連結法の橋梁、ケーブルへの適用について

山口大学院 学○森 桂一 志多組

黒木崇志

山口大学 正 會田忠義、山口大学 正 麻生稔彦

1. まえがき

二つの構造物をばね・ダンパーからなる連結部材で連結して、連結された構造系の減衰性能を最大に向上させる相互連結法を文献1)で検討し、連結部材の調整法および減衰性能向上に対する効果を明らかにした。本研究はその適用例で、次の二つの想定例に相互連結法を適用した結果を示す。1) 1次の逆対称モードの固有振動数の低いランガー橋が単純けた橋と立体交差している場合を想定し、これらを連結部材で連結する場合。2) 斜張橋のケーブル中の2段を連結部材で連結する場合について適用した例である。

2. ランガー橋と単純けた橋の連結

ランガー橋はスパン 112m、ライズ 16m、主アーチ間隔 7.4m の橋梁（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、標準げた）である。連結は Fig.1 に示すように、ランガー橋のスパンの 1/4 点と単純けた橋の支点より 8.5m の点を連結する。この場合、運動方程式から得られるモード方程式は、Fig.2 に示す 2 自由度モデルの運動方程式と等価になる。このモデル中に記されている単純けた橋の 1 次の一般化質量 m_{11} 、固有円振動数 ω_{11} 、連結点のモード関数値 $\Phi_{11}(8.5m)$ ならびにランガー橋の 1 次の一般化質量 m_{21} 、固有円振動数 ω_{21} 、連結点のモード関数値 $\Phi_{21}(28m)$ は下記の通りである。

$$m_{11} = 14.072(\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}) \quad \omega_{11} = 4.80(\text{rad/s})$$

$$\Phi_{11}(8.5m) = -0.8759 \times 10^{-2}$$

$$m_{21} = 4.777(\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}) \quad \omega_{21} = 22.04(\text{rad/s})$$

$$\Phi_{21}(28m) = -0.1015 \times 10^{-1}$$

参考文献1)で提示した連結部材の調整法を用いて求めたばねのばね係数の調整値 K_{opt} およびダンパーの減衰係数の調整値 C_{opt} はそれぞれ $K_{opt} = 0.1013 \times 10^7(\text{kgf}/\text{m})$ 、 $C_{opt} = 0.2647 \times 10^5(\text{kgf} \cdot \text{s}/\text{m})$ であった。この K_{opt} および C_{opt} を有する連結部材を用いた場合のランガー橋・単純けた橋の連結系について、複素固有値解析により固有円振動数およびモード減衰比を求めた。連結部材のばね係数を K_{opt} として、減衰係数 C が変化した場合の固有円振動数およびモード減衰比の挙動を、それぞれ Fig.3 と Fig.4 に示した。図より、連結系の 1 次モード（ランガー橋の逆対称 1 次モード）と 5 次モード（単純けた橋 1 次モード）の固有円振動数が $C = 0.7C_{opt}$ で一致し、モード減衰比はピークに達し、1 次のモード減衰比が低下し始める状況が明らかである。以上の結果より、相互連結法によりランガー橋の減衰性能を向上させることの有効性が示されたといえよう。

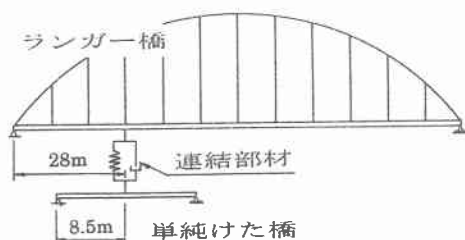


Fig.1 橋梁連結モデル

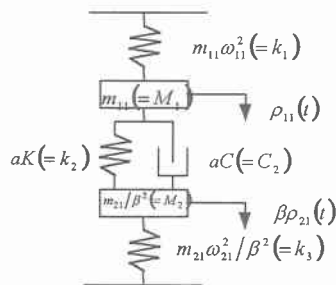


Fig.2 2質量3ばね系

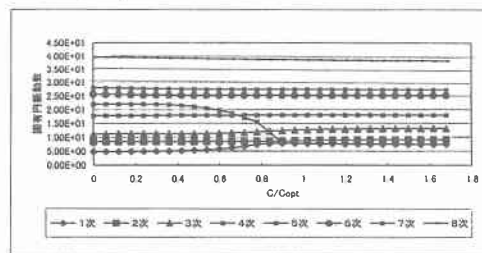


Fig.3 減衰係数比に対する固有円振動数

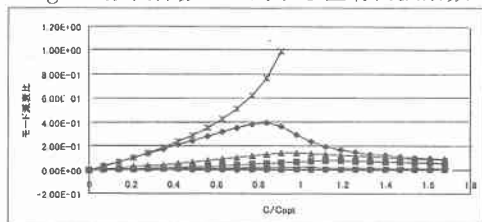


Fig.4 減衰係数比に対するモード減衰比

3. 斜張橋ケーブル（2本）の相互連結

計算モデルのケーブルとして伊唐大橋（PC斜張橋、鹿児島県）のケーブルを用いた。計算モデルの下段および上段ケーブルはケーブル長は、それぞれ 59.8m および 68.2m、初期張力は、それぞれ 106.7tf および 106.2tf、断面積はそれぞれ等しく $18.8 \text{ cm}^2 \times 2$ である。連結は Fig.5 に示すように、下段ケーブルの左支点より 21.3m の位置（路面から約 10m の高さ）で上段ケーブルと連結部材で連結した。この場合、運動方程式から得られるモード方程式は、

Fig.6 に示す 2 自由度モデルの運動方程式と等価になる。このモデル中に記されている下段ケーブルの 1 次の一般化質量 m_{11} 、固有円振動数 ω_{11} 、連結点のモード関数値 $\Phi_{11}(21.3\text{m})$ ならびに上段ケーブルの 1 次の一般化質量 m_{21} 、固有円振動数 ω_{21} 、連結点のモード関数値 $\Phi_{21}(27.7\text{m})$ は、それぞれ下記の通りであった。

$$m_{11} = 1.794(\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}) \quad \omega_{11} = 12.82 (\text{rad/s})$$

$$\Phi_{11}(21.3\text{m}) = 0.1648$$

$$m_{21} = 1.794(\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}) \quad \omega_{21} = 11.25 (\text{rad/s})$$

$$\Phi_{21}(27.7\text{m}) = 0.1639$$

また、図中 R_i および C_i^{11} ($i=1,2$) は、下記に示す諸量である。

$$K = \frac{\Phi_{21}(x_{2c})}{\Phi_{11}(x_{1c})} \quad \alpha = \Phi_{11}^2(x_{1c}) \quad R_i = EA_i \{ 8f_i/l_i \}^2 \{ 1 + 8(f_i/l_i)^2 \} \quad C_i^{11} = \left(\int_0^{l_i} \Phi_{ii}(x_i) dx_i \right)^2$$

($i = 1, 2$)

EA : ケーブルの伸縮剛性, f_i : サグ, l_i : ケーブルの長さ

参考文献 1) で提示した連結部材の調整法を用いて求めたばねのばね係数の調整値は $K_{opt} = 38.50(\text{kgf}/\text{m})$ 、ダンパーの減衰係数の調整値は $C_{opt} = 93.03(\text{kgf} \cdot \text{s}/\text{m})$ であった。これらの調整値を有する連結部材を用いた 2 ケーブル連結系について、複素固有値解析により固有円振動数およびモード減衰比を求めた。連結部材のばね係数を K_{opt} として、減衰係数 C が変化した場合の固有円振動数およびモード減衰比の挙動を、それぞれ Fig.7 および Fig.8 に示した。図には、1 次～6 次の固有円振動数とモード減衰比にのみを示している。ここで、1 次モードは上段ケーブルが卓越するモードで、2 次モードは下段ケーブルが卓越するモードである。図より、連結系の 1 次モードと 2 次モードの固有円振動数が $C \approx C_{opt}$ で接近し、モード減衰比は分岐して 1 次のモード減衰比が低下し始める状況が明らかである。

4. 結び

以上の結果より、2 構造物間にばねおよびダンパーから構成される連結部材を用いて連結することにより当該構造物の減衰性能を向上させる方法の有効性を実構造物に対して数値実験により示した。

参考文献 1) 滝内友則、會田忠義、麻生稔彦：相互連結法による構造物の減衰性能向上について、平成 11 年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集、平成 11 年 5 月

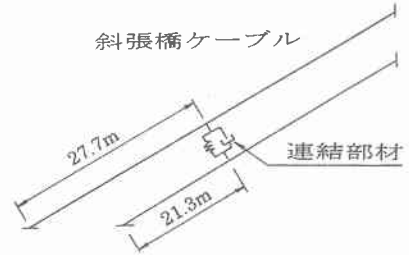


Fig.5 ケーブル連結モデル

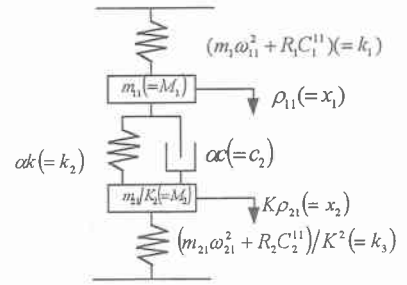


Fig.6 2質量3ばね系

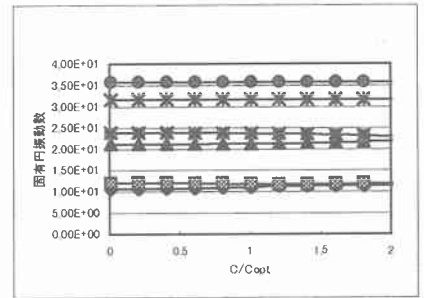


Fig.7 減衰係数比に対する固有円振動数

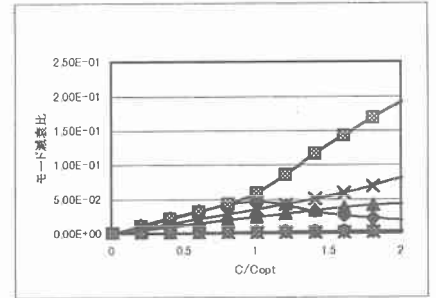


Fig.8 減衰係数比に対するモード減衰比