

吊床版歩道橋の 3 次元解析と振動制御

長崎大学工学部 学生員○馬渡 あかね

長崎大学工学部 正 員 岡林 隆 敏

オリエンタル建設(株) 正 員 角本 周

1.はじめに

近年、橋梁の美観が重要視されるなかで、吊形式の橋梁が多く架設されている。しかしこのような構造の橋梁、たとえば吊形式の歩道橋はフレキシブルな構造形式であるため、通常の歩道橋に比べて揺れやすい⁽¹⁾。そこで吊床版歩道橋の振動を低減するために、その対策の一つとして振動制御を考える⁽²⁾。対象構造物となる吊床版橋は、橋脚が高く、3次元的な挙動を示す可能性があるため、3次元骨組構造でモデル化した。この数値解析では、有限要素法によるモデル化を行い、数値処理ソフトウェアMATLABを用いて固有値解析、ならびに振動制御のシミュレーションを行った。さらに、振動制御では、定常最適レギュレータ制御理論を用いて、その有効性を数値シミュレーションにより検討した。

2. 制御対象

制御対象とした吊床版橋は、大分県内の香下ダム吊床版橋で、これはダムの中に架設された歩道橋である。橋長139.0m、橋脚高さ31.5mであり、その一般図および諸元を図-1、表-1に示した。歩道橋であるために、人力走行外力に対する振動を制御の対象とする。このため対象となる振動数範囲は、人の歩調の周波数帯域である1.5Hzから3.5Hzである。吊床版橋における減衰は小さいので、シミュレーションでは減衰定数を0.005とした。

図-1 香下ダム吊橋一般図

橋名	香下ダム吊橋
構造形式	2径間連続吊床版橋
橋長	139.0m
吊支間長	62.5m
サグ	1.6m

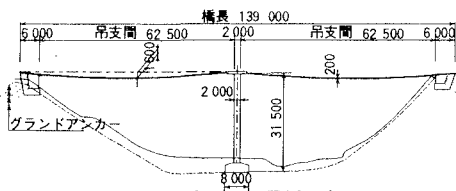


図-1 香下ダム吊橋一般図

橋名	香下ダム吊橋
構造形式	2径間連続吊床版橋
橋長	139.0m
吊支間長	62.5m
サグ	1.6m

3. 振動解析

有限要素法解析のための解析モデルを、図-2に示す。このモデルの総節点数は99、総要素数は150であり、吊床版の振動特性に対応した、3次元骨組構造である。上部構および橋脚部の境界条件はすべて固定とした。橋梁部の橋軸方向中央部、および橋脚部のみに集中質量があるものと仮定した。モデル化においては橋脚部を含む2径間を対象とし、数値処理ソフトウェアMATLABを使って、プログラムを作成した。これより固有値解析の結果の中で7、8、9、10次モードを、図-3に示す。7、8次モードはそれぞれ逆対称、対称の曲げ3次モードであり9、10次モードはそれぞれ逆対称、対称の曲げ4次モードである。また、1次から12次までの固有振動数の解析結果を表-2に示す。この結果から比較的低い振動数の範

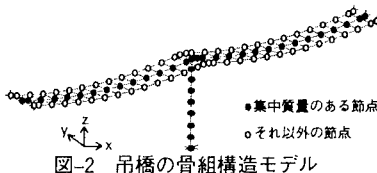


図-2 吊橋の骨組構造モデル

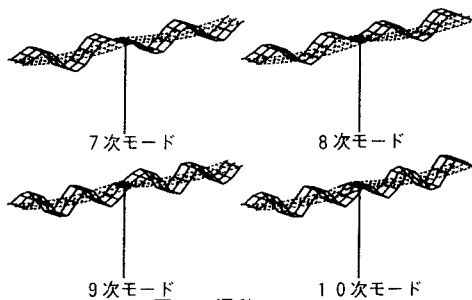


図-3 振動モード

振動次数	振動数 (Hz)	振動次数	振動数 (Hz)
1 次	0.5897	7 次	1.9001
2 次	1.1661	8 次	2.0756
3 次	1.1676	9 次	2.7583
4 次	1.4705	10 次	2.7642
5 次	1.7055	11 次	2.9550
6 次	1.7191	12 次	3.5487

囲に多くの固有振動数が存在している。また、振動数が近接しているところは、それぞれ対称、逆対称を示すモードであり、吊床版橋の振動特性を示している。このため、振動制御を行った際の振動波形には、いくつかの近接する振動モードが同時に励起されるものと考えられる。走行外力の歩調が2.8Hzであることを考え、振動制御の対象とする振動モードは、11次までとした。

4. 振動制御について

構造物の運動方程式および変位ベクトル $y(t)$ は、次式で与えられる。 m 、 c 、 k はそれぞれ質量、減衰、

$$m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = f(t) + u(t) \quad (1) \quad \text{剛性マトリクスである。}$$

$$y(t) = \Phi q(t) \quad (2)$$

Φ は、モード行列である。基準座標方程式は次のようになる。

$$\ddot{q}(t) + H\dot{q}(t) + \Omega q(t) = bf(t) + du(t) \quad (3)$$

(3) 式を、状態空間表示すると、次式を得る。

$$\dot{x}(t) = [q(t) \quad \dot{q}(t)]^T \quad (4)$$

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bf(t) + Du(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases} \quad (5)$$

振動制御に、最適レギュレータ理論を用いた。全状態量がフィードバックできるとして、制御力を $u(t) = -Kx(t)$ とする。フィードバックゲイン行列は、次のRiccati方程式で計算できる。

$$K = R^{-1}B^TP \quad (6)$$

$$PA + A^TP - PDR^{-1}D^TP + Q = 0 \quad (7)$$

5. 解析結果と考察

MATLABを用いて、制御対象橋梁に、2種類の外力を作用させた場合の振動制御を行った。①自由振動：橋長の7/16地点に1.0tの衝撃力を0.2秒間作用させた場合。観測および制御地点は7/16地点とし、この場合の変位応答と制御力の結果が図-4で

ある。振動波形はさまざまな振動数をもつ振動モードの複合波形になっている。そこで振動エネルギーが突出した振動数2.09Hzの領域だけの波形を取り出し、減衰定数を比較した。その結果、制御前と制御後で、0.005から0.02となった。

②走行外力による振動：体重60kgfの人が、歩調2.8Hz、走行速度2.9m/sで走行する場合。衝撃力比を1.6とし、走行外力波形として図-5のような正弦波形を用いることとする。観測および制御地点は3/8地点とし、この場合の変位応答と制御力の結果が図-6である。振幅の最大値は、制御後には、83%程度に抑えられた。いずれの制御も制御地点にアクチュエータ1台を設置している。制御力の最大値は外力の最大値と比較すると、①が10%程度、②が30%程度であり、制御の有効性が確認できた。

6. まとめ

構造物のモデル化、および数値解析に数値処理ソフトウェアMATLABを利用した。その結果、プログラムの開発環境が効率的であり、構造物の振動へも適用可能であることが確認できた。さらに、シミュレーションより振動の低減状態および制御力から、吊床版橋におけるアクティブ振動制御の有効性が確認された。

【参考文献】 1) 角本・前田・梶川・黒野：橋梁交通振動コロキウム論文集、B、pp.207-214、1995。

2) 小松・岡林・角本：平成6年度土木学会西部支部講演概要集、I-54、pp.108-109。

3) The Math Works, Inc: MATLAB Reference Guide、サイバネットシステム株式会社、1993。

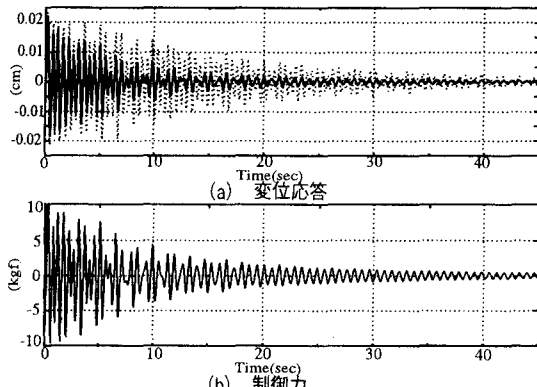


図-4 自由振動の応答解析

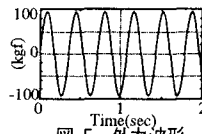


図-5 外力波形

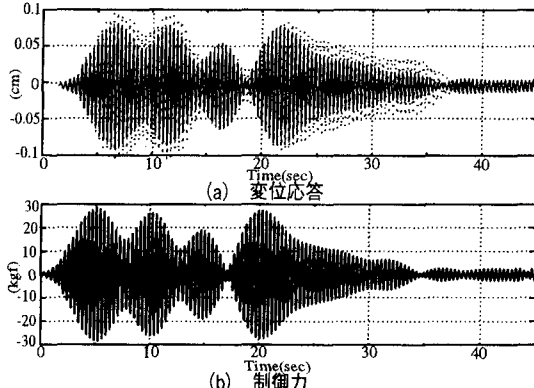


図-6 走行外力の応答解析