

吊床版橋のアクティブ振動制御の実験

長崎大学工学部 学生員○栗山 佳寛 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 長崎大学大学院 学生員 小松 正貴

1. はじめに

吊床版橋は、経済性や景観の良さから、長スパン化あるいは大幅員化する傾向にあり、その架設事例が増えつつある。長大化に対応して、今後振動対策が必要となるものと予想される。吊床版橋は、固有振動数が互いに接近しているの、同時に複数の振動次数の振動を制御する必要がある。このような振動制御には、アクティブ振動制御が適している。著者らは、既設のPC吊床版橋にアクティブ振動制御を適用し、振動制御実験を行った。本報告では、実験に用いた橋梁の振動特性と振動制御結果を報告する。

2. 橋梁の諸元と振動特性

対象とした橋梁は、ゴルフ場内に架けられている図-1に示すような吊床版橋である。振動モード、振動特性をそれぞれ図-2、表-1に示す。固有振動数については、実測値が解析値よりも少し高い結果が得られた。解析値では無視している高欄の影響が実験では現れているものと思われる。振動モードは、解析値と実測値は良く一致している。減衰定数は、自由減衰振動の実測値と一致する

ような理論式を非線形最小二乗法により求めた。

3. 実験方法とフィードバックの方法

(1) 実験方法

振動実験は、平成5年 8月と11月に実施した。本

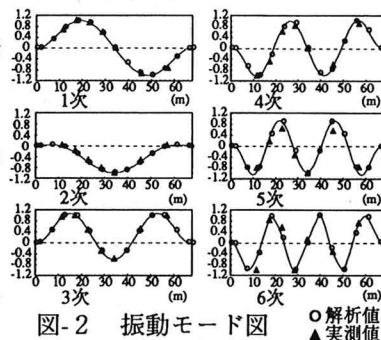


図-2 振動モード図

次数	振動数		減衰定数	橋梁諸元
	解析値(Hz)	実測値(Hz)		
1	1.0276	1.10	0.0023	橋名: 耕雲橋 位置: 熊本県天草郡、天草C.C内 橋種: 歩道橋 構造形式: PC吊床版橋 基礎形式: 直接基礎 (グラウンドアンカー併用) 橋長: 80.500 m 支間: 68.000 m サグ: 1.495 m 有効幅員: 1.500 m 活荷重: 100 kgf/m ² 架設工法: プレキャスト版スライド架設工法
2	1.1968	1.37	0.0083	
3	1.7349	1.89	0.0054	
4	2.3325	2.58	0.0050	
5	3.1541	3.54	0.0058	
6	4.0576	4.62	0.0057	

表-1 振動特性

実験では、単純フィードバック制御とレギュレータ理論による状態フィードバック制御を行った。実験の流れを、図-3に示す。実験は次のような手順で行った。

①L/6 (L=68.0m) 点に設置した写真-2の加振器(アクチュエータとして使用)で定常加振する。加振力は重りをつけたアクチュエータの駆動部が上下運動することで与えられ、この時の加振力は3次で6.48kgf、4次で15.55kgf、5次で

15.55kgfであった。②定常加振後、自由減衰を行う。③次に、同様な定常加振を行った後アクチュエー

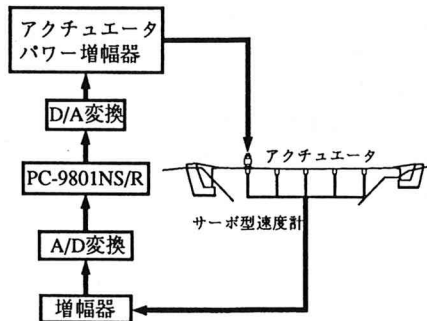


図-3 実験システム図

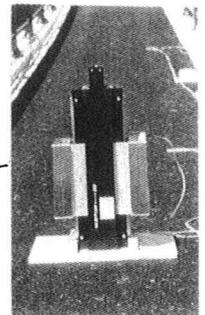


写真-2

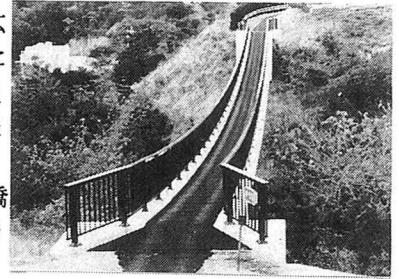


写真-1

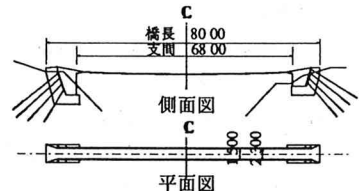


図-1 吊床版橋一般図

タを加振器から制御器へ切り換え、速度フィードバックを行う。この時の減衰効果を制御のない場合と比較する。なお、アクチュエータは図-4のような周波数特性を有している。サーボ型加速度計は((株)東京測振)のものを用いた。

(2) フィードバックの方法⁽¹⁾⁽²⁾

構造系のモデルに、外力 $f(t)$ と制御力 $u(t)$ が作用した場合の運動方程式を状態空間表示すると(1)式のようにになる。

$$\dot{X}(t) = AX(t) + B_1 f(t) + B_2 u(t) \quad (1)$$

ここに、 $X(t)$ は状態変数である。

$$X(t) = [q_1(t) \cdots q_n(t) \quad \dot{q}_1(t) \cdots \dot{q}_n(t)]^T \quad (2)$$

速度フィードバックのために、次式を定義する。

$$Z(t) = [\dot{q}_1(t) \cdots \dot{q}_n(t)]^T \quad (3)$$

制御力 $u(t)$ は(4)式の形式のものを考える。

$$u(t) = -k\dot{q}_i(t), \quad u(t) = -KZ(t) \quad (4)$$

単純フィードバックと速度フィードバックを考える。

5. 実験結果

図-5に、4次と5次の自由減衰の変位応答を示す。図-6、図-7はそれぞれの振動数における単純フィードバック、速度制御した場合の変位応答を示す。図はすべてL/6点の変位応答を表したものである。図-6と制御しない図-5と比較すると、制御をかけることにより大きな減衰が確保でき、制御の効果は明らかである。図-7の出力フィードバックによる制御については3次、4次、5次モードを制御対象とした。この時、観測点はL/6、3L/6、5L/6点である。図-6と図-7を比較すると、単純フィードバックの方が、出力フィードバックによる制御よりも良い制御ができています。この理由として、実験で用いたフィードバックゲインがアクチュエータの動特性を考慮しないで求めたものであるためと考えている。図-7.a)の4次振動とb)の5次振動の制御効果を比較すると、4次振動に対しては制御効果が現れている。しかし、5次振動においては1、2次の振動モードを加振している結果になっている。

6. 考察

実験結果はアクティブ振動制御の有効なことを示している。しかし、本実験では全ての条件にわたり制御が可能になった訳ではない。この理由としてまず第一に、制御力が小さいことである。橋の重量が約90kfであるのに対し、最大加振力が30kgf程度であった。次にアクチュエータの動特性を考慮に入れずに最適設計したフィードバックゲインを使用したことが上げられる。シミュレーションによれば、アクチュエータの動特性は、フィードバックゲインを決定するのに敏感に反応していることがわかった。アクチュエータやその他の加振器の位相特性を考慮に入れた上での最適設計が望まれる。今回は一点加振であったが、今後は多点加振やランダム加振、歩行者による加振などさまざまな条件下での制御実験が必要と思われる。実験とシミュレーションの関係については、講演時に報告する。

[参考文献] (1) 角本他, 振動制御コロキウムPART B, 1993, pp167-174 (2) 岡部他, 第48回土木学会講演集, 1993, pp670-671

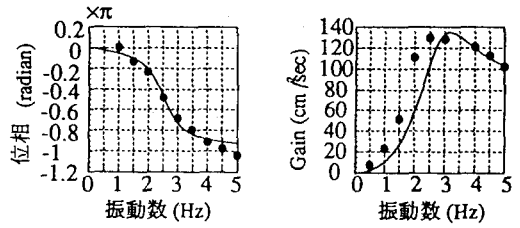


図-4 アクチュエータ特性 ●実験値 - - - フィットティング

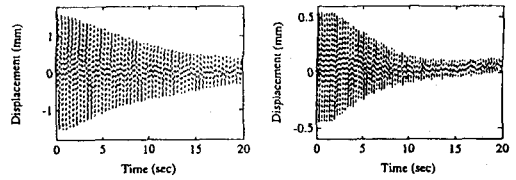


図-5 変位応答 (自由減衰振動)

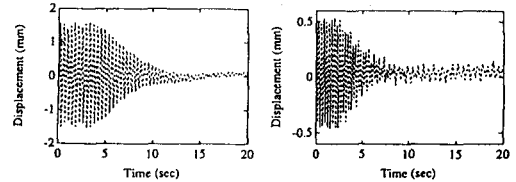


図-6 変位応答 (単純フィードバック)

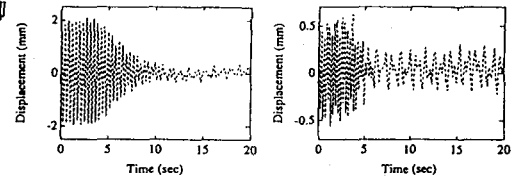


図-7 変位応答 (最適レギュレータ)