

(118) 斜張橋の減衰定数の評価

建設省土木研究所

正会員 川島 一彦

〃

〃 運上 茂樹

○オリエンタルコンクリート(株)

〃 角本 周

1. まえがき

斜張橋は多くの構造部分からなり、また全体系の構造形式においても多様な選択が可能であることから、減衰定数に寄与する要因が橋ごとに複雑に変化し、減衰定数を一般的に求めようとすると具体的な手法がないのが現状である。本文は、斜張橋の減衰定数の推定手法を提案し、模型実験結果との比較によってその適用性を検討したものである。

2. 減衰定数の推定手法

以下に、斜張橋を構成する各部分の吸収エネルギー特性から全体系の任意の振動モードに対する減衰特性を推定する手法を示す。

① 斜張橋を、エネルギー吸収のタイプや程度に応じて、構造、材料などにより適当ないくつかの部分構造に分ける(例えば、主桁、塔、ケーブル、橋脚、基礎、支承など)。

② 部分構造の吸収エネルギーがひずみエネルギーに依存するもの、もしくは、ひずみエネルギーの関数として表現し得るものについては、吸収エネルギーを式(1)により評価する。

$$\delta E_i = f_i(E_i) \quad (1)$$

ここで、 δE_i は吸収エネルギー、 E_i は部分構造のひずみエネルギー、 f_i は E_i と δE_i の関係を表す関数(以下、吸収エネルギー率関数と呼ぶ。)であり、実験や過去のデータ等に基づいて定めなければならない。

③ 支承部の摩擦によるエネルギー吸収や地下逸散減衰によるエネルギー吸収など、ひずみエネルギーの関数ではないか、もしくは、ひずみエネルギーの関数として表現しにくい吸収エネルギーについては、構造系内のある代表点の変位等との関係を求め、式(2)により吸収エネルギーを評価する。

$$\delta E_j = f_j(u_j) \quad (2)$$

ここで、 δE_j は吸収エネルギー、 u_j は部分構造の代表点の変位、 f_j は吸収エネルギー率関数である。

④ 固有振動解析により、 n 次振動モードに関して、基準点の振幅 $\bar{u}$ に対する構造全体の振動エネルギー E_n および各部分構造のひずみエネルギー E_{in} や代表点の変位 u_{jn} を求める。

⑤ ④で求めた各部分構造の E_{in} や u_{jn} から、式(1)、(2)などの吸収エネルギー率関数により、 n 次振動モードの基準点の振幅 $\bar{u}$ に対する各部分構造の吸収エネルギーを求める。

⑥ ⑤で求めた各部分構造の吸収エネルギーを合計して、 n 次振動モードの基準点の振幅 $\bar{u}$ に対する全体系の吸収エネルギー(δE_{in} 、 δE_{jn} 、 $\dots$)を求める。

$$\Sigma \delta E_n = \delta E_{in} + \delta E_{jn} + \delta E_{kn} + \dots \quad (3)$$

⑦ n 次振動モードの基準点の振幅 $\bar{u}$ に対する減衰定数 h_n を式(4)より求める。

$$h_n = \frac{\Sigma \delta E_n}{4 \pi E_n} \quad (4)$$

3. 模型振動実験および各部分構造の吸収エネルギー特性

推定手法の適用性を検討するために、模型振動実験を実施した。模型の全体系形状を図-1に示す。模型は、名港西

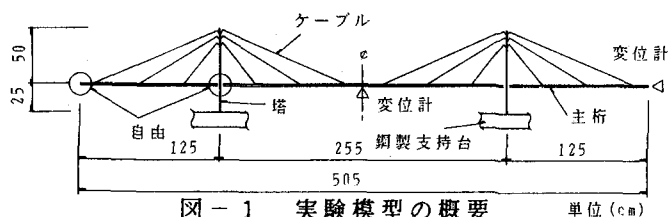


図-1 実験模型の概要 単位(cm)

大橋を基本に、長さの相似比を1/150として模型の諸元を定めたものであり、実験ケースとしてケーブル形式を8種類（ファン状～ハープ状）設定した。図-2にケーブル形式を示す。なお、塔および主桁両端部での主桁の支持形式は自由とした。実験では目標とする低次の振動モード形に近い初期変形が生じるように、模型を静的に変形させておき、この状態から静かに自由振動させることにより、減衰特性を求めた。図-3に目標とした振動モードの固有振動解析結果を示す。自由振動は、鉛直方向の変位については主桁の中央で、水平方向の変位については主桁の端部で計測した。実験結果として、各実験ケースにおける振動振幅と自由振動波形から求めた減衰定数の関係を図-4に示す。

減衰定数の推定手法の適用において、各部分構造の吸収エネルギー率関数を定めなければならない。今回、部分構造の吸収エネルギー率関数は、模型を構

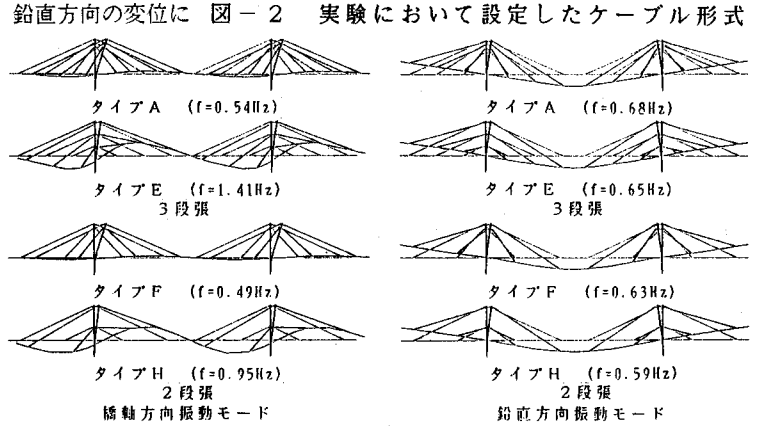
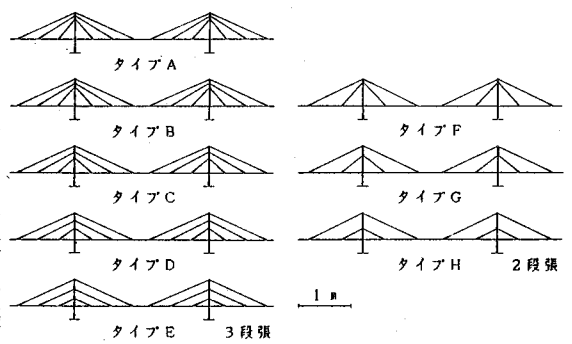
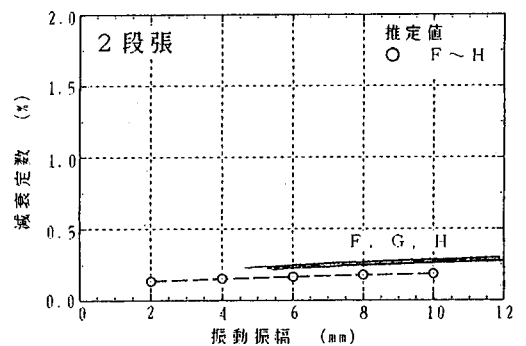
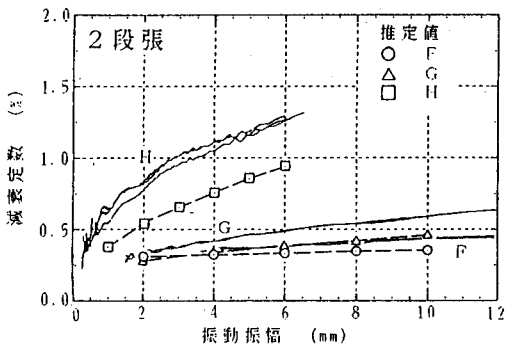
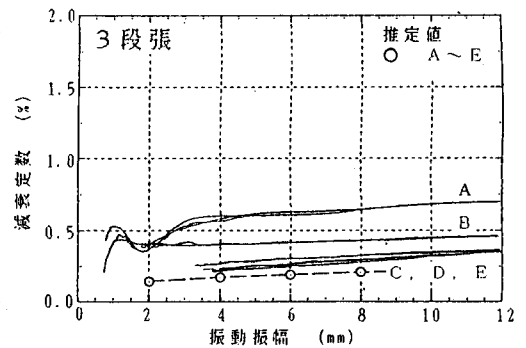
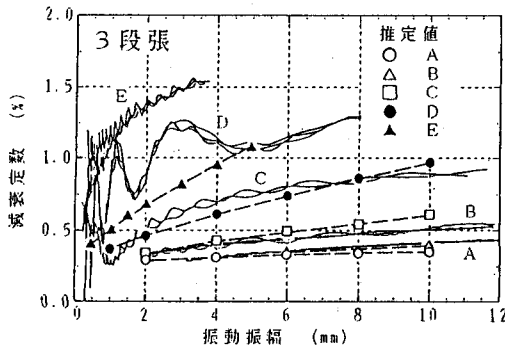


図-3 振動モード形



橋軸方向振動モード

鉛直方向振動モード

図-4 振動振幅と減衰定数の関係

成する各部分構造別の振動実験より決定した。なお、部分構造としては模型橋のエネルギー吸収に大きな影響を与えられ塔、主桁およびケーブル取付部の3つを考慮した。

図-5に塔の吸収エネルギー特性を求めるための実験の概要を示す。実験は模型橋の塔部分を用い、部材軸力(幾何剛性)が減衰特性に与える影響を調査するために塔頂部に付加重量を設置して行った。図-6に塔の振動振幅と減衰定数の関係を示す。減衰定数は振幅に比例して増加している。また、付加重量(軸力)が増加すると減衰定数も増加することが認められた。図-7に、塔の減衰特性より求めた塔のひずみエネルギー(幾何剛性によるひずみエネルギーを含まない。)と吸収エネルギーの関係を示す。これによると、塔の吸収エネルギーは付加重量によらず、本来の変形によるひずみエネルギーに依存する。よって、塔の吸収エネルギー率関数を式(5)で近似した。

$$\delta E = 0.016 \cdot E + 0.002 \cdot E^{1.5} \quad (5)$$

図-8に主桁の吸収エネルギー特性を検討するための実験の概要を示す。実験は模型橋の主桁の一部を用い、これを鉛直方向に片持ち梁方式で立て、

塔と同様に頂部に付加重量を設置して行った。図-9に主桁の振動振幅と減衰定数の関係を示す。塔と同様に振幅の増加に伴って減衰定数は増加しており、かつ付加重量(軸力)が増加すると減衰定数も増加することが認められた。また、主桁は塔に比べて高い減衰性を有して

いる。図-10に、主桁の減衰特性より求めた主桁のひずみエネルギー(幾何剛性によるひずみエネルギーを含まない)と吸収エネルギーの関係を示す。塔と同様に、主桁のエネルギー吸収はひずみエネルギーに依存し、よって、主桁の吸収エネルギー率関数を式(6)で近似した。

$$\delta E = 0.016 \cdot E + 0.083 \cdot E^{1.365} \quad (6)$$

ケーブル取付部においては、ケーブルと取付装置との間の摩擦によるエネルギー吸収が考えられる。図-11に、ケーブル取付部の吸収エネルギー特性を検討するために行った実験の概要を示す。実験は、付加重量、ケーブル長およびケーブル角度を変化させて行った。図-1

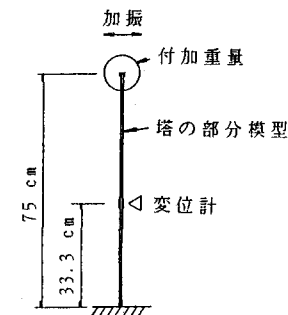


図-5 塔の部分模型実験の概要

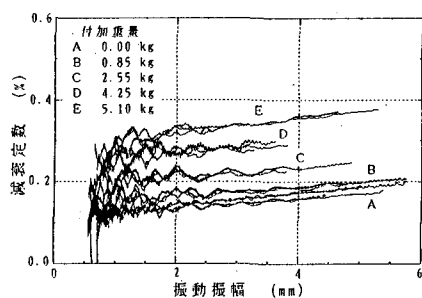


図-6 塔の減衰特性

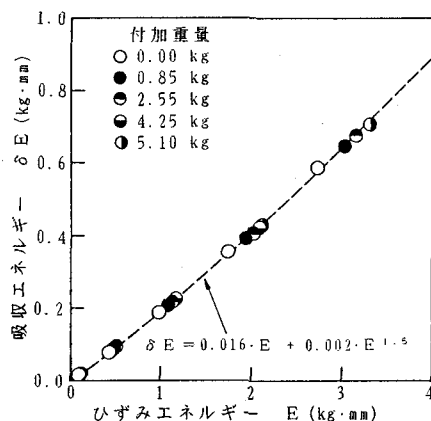


図-7 塔のエネルギー吸収特性

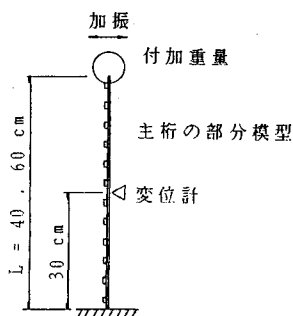


図-8 主桁の部分模型実験の概要

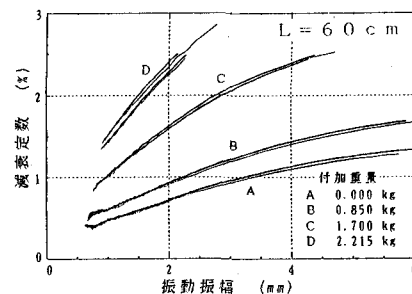
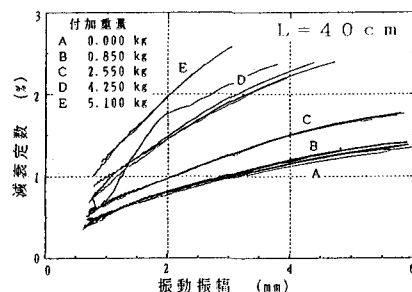


図-9 主桁の減衰特性

2に実験より得られた角振動数とケーブルと取付部の相対回転角当りの吸収エネルギーの関係を示す。なお、ケーブル取付部の減衰性に及ぼす相対回転角の振幅の影響は実験ケースによってばらつきがあり、よって、ここでは各実験ケースごとの平均的な減衰定数から吸収エネルギーを求めた。ケーブル取付部のエネルギー吸収性は、角振動数の増加にともなって増加している。また、エネルギー吸収性に及ぼすケーブル軸力の影響は顕著ではない。図-12より、ケーブル取付部の吸収エネルギー率関数を式(7)で近似する。

$$\delta E = 0.018 \cdot \omega^{2.15} \cdot \theta^2 \quad (7)$$

4. 模型斜張橋の減衰定数の評価

塔、主桁およびケーブル取付部のエネルギー吸収特性を用いて推定手法により評価した模型橋の減衰定数を、図-4に示す。推定値と模型橋の自由振動実験から得られた減衰定数を比較すると以下ようになる。

1) 橋軸方向振動では、ケーブル形式がファン状からハープ状になるにつれて減衰定数は大きくなっている。また、減衰定数の振幅依存性も上記の順に大きくなっている。このような特徴は実験結果と良く一致している。ただし、減衰定数の値そのものは、ファン状の場合には実験値と良く一致しているが、ハープ状になるに連れてやや過小評価となっている。

2) 鉛直方向振動では、減衰定数はケーブル形式によらずほぼ同一の値をとる。実験でも、2段張りの場合にはケーブル形式によらず減衰定数はほぼ同一の値を示す。ただし、3段張りの場合にはファン状からハープ状になるにつれて減衰定数は多少小さくなる傾向がある。

以上の比較からわかるように、推定した減衰定数は、実験結果の特徴をよく表すことがわかる。全体に、解析値の方が実験値よりも小さいためであるのは、解析で仮定した塔、主桁及びケーブル取付部以外の箇所におけるエネルギー吸収によると考えられる。従って、さらに詳細に各部のエネルギー吸収を評価して行けば、本手法の推定精度をさらに高めることができると考えられる。

5. 結論

本文の検討から得られた結論は、以下の通りである。

1) エネルギー吸収を生じる原因別、箇所別に、吸収エネルギー率関数を評価し、これを合計して任意の振動モードに対する減衰定数を推定する手法を提案した。

2) 模型斜張橋の自由振動実験から得られた減衰定数と比較すると、橋軸方向振動に対する減衰定数が鉛直方向振動に対する減衰定数よりも大きくなり、また、前者はケーブル形式により大きく変化するのに対して、後者は余りケーブル形式によらないという特徴をよく説明することができる。

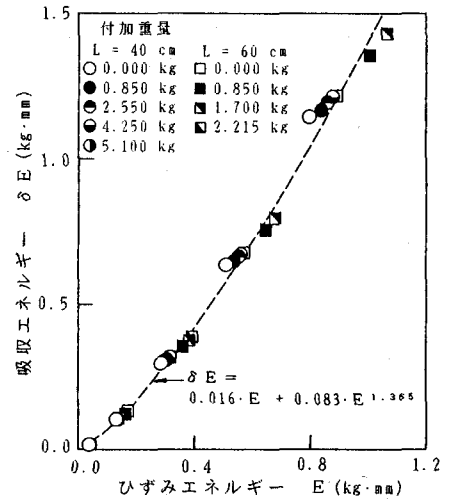


図-10 主桁のエネルギー吸収特性

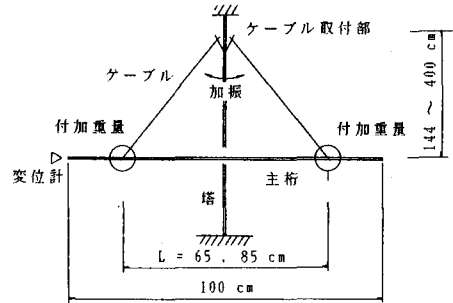


図-11 ケーブル取付部の部分模型実験の概要

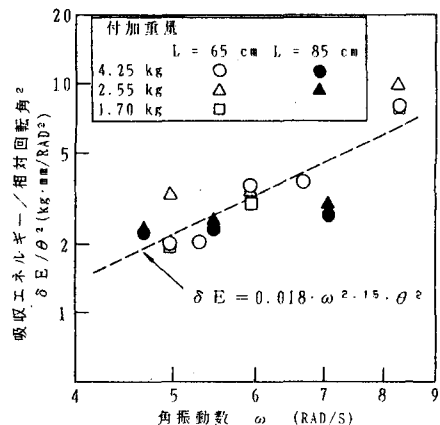


図-12 ケーブル取付部のエネルギー吸収特性