

(110) 模型実験による斜張橋の振動特性の検討

建設省土木研究所

正会員 川島 一彦

〃

〃 運上 茂樹

〃

〃 吾田 洋一

○(株) ビーエスコンクリート

〃 久保 明英

1. まえがき

斜張橋の振動特性を調査する目的で、主塔及び両端での主桁支持形式をフリー（以下、これをオールフリーと呼ぶ）としたファン状二段張及び三段張モデル、同様の支持形式でハーブ状二段張及び三段張モデルを用いた斜張橋の橋軸方向及び鉛直方向自由振動実験の結果を報告する。

2. 模型及び模型実験の概要

模型の形状寸法は図1及び、写真1に示す通りであり、三段張の場合には図中の3本のケーブルを用い、また、二段張の場合には中段のケーブルを撤去して2本のケーブルとして用いた。模型の形状寸法は名港西大橋を参考とし、長さの相似比を1/150として断面諸元を定めた。ただし、支持形式をオールフリーとした場合の中央径間の主桁の鉛直たわみを小さくし、また、計測器具から受ける反力、空気抵抗及び、ケーブル張力不均衡の影響をそれぞれ小さくするために、実橋の1/150スケールモデルよりも主桁重量及び剛性を大きくし、また、中央径間長をやや短くした。さらに、主桁重量の決定に際しては、模型の橋軸及び鉛直方向の一次振動モードの固有振動数が5Hz以下となるように配慮した。

主桁模型の骨組（以下、剛性棒と呼ぶ）は、SS41材を12.7mm×3.0mmに削り、その中心線に沿って規則的にφ1.7mmのビス孔を点孔して作った。ケーブルを取り付ける帯鋼は、ビスにより主桁剛性棒に堅固に固定した。主塔はSS41材を5mm×5mmに削り出して作った2本の剛性棒をI形鋼で作った支持台に鉛直にビスで固定し、剛性棒上端及び中間部の一箇所を門型に組んで作った。ケーブル取付具は実験ケースに応じて位置を変えられるようになっており、また、ケーブルの伸び剛性は焼青銅製バネ（厚さ1.2mm）により調節した。

橋軸方向加振に際しては、桁端において主桁を水平に20mm程度引くか、もしくは押すかして初期変位を与え、静かに放すことにより自由振動を生じさせた。同様に、鉛直方向加振に際しては、主桁中央を上側より引くか、もしくは押すかして初期変位を与え、自由振動を生じさせた。橋軸方向の変位は桁を引張った側とは反対側の端部において、また、鉛直方向の変位は主桁の中央において、それぞれ計測した。加振は正・負2方向行い、再現性の検討を行った。計測にはうず電流式非接触変位計（公称振動数範囲DC～20kHz測定可）を用いた。減衰定数は桁の自由減衰波形より対数減衰率を求めこれより計算した。

3. 斜張橋模型の減衰特性

橋軸及び鉛直方向の各々の最低次の固有振動モードを模型の寸法、諸元を用いて計算すると図2のようになる。自由振動波形とこれより求めた減衰定数の一例として、ハーブ状二段張りモデルの例を図3に示す。これによれば、鉛直方向振動については時間に対してほぼ一定の減衰定数を示すが、橋軸方向については指数関数的に減少し、最終的にある一定値に漸近する傾向を示している。図4及び図5は、これを減衰定数と振動振幅の関係としてまとめたものである。図4及び図5には正方向に加振した場合と負方向に加振した場合の両方向の結果を示しているが、いずれの場合にも両者の関係はよく一致している。図4及び図5によれば、ハーブ状モデルを橋軸方向に振動させた場合には、二段張り、三段張りともに、減衰定数は振幅の減少と共に減少し、やがて一定の値に漸近する傾向を示している。ただし、

これ以外の場合には、減衰定数は振動振幅の減少と共にわずかに減少する傾向を有するが、その程度は上述したハープ状モデルの橋軸方向振動の場合よりもはるかに小さい。

加振方向及びケーブル張形状ごとに減衰定数及び振動周期をまとめると、表1のようになる。ここで、減衰定数は、振幅依存性を示すため、橋軸方向の場合には桁端の変位が、また、上下方向の場合には主桁中央の変位が、それぞれ振幅5mm（橋長の0.1%に相当）になった段階の減衰定数を示している。これによれば、斜張橋の減衰特性に関し、以下の事項が指摘される。

1) 上下方向の減衰定数は0.0018～0.0024となり、ケーブル形状およびケーブル段数による顕著な違いは認められない。なお、このような減衰定数は、鋼材の材料減衰に近い値と考えられる。

2) 橋軸方向の減衰定数は0.0034～0.0074となり、上下方向の減衰定数よりも大きい。また、ハープ形状の方が、ファン形状よりも減衰定数が大きい。

ただし、上記の結果はあくまでも、橋長の0.1%に相当する5mmの変位振幅時の結果である。橋長の0.1%とは、実橋では0.76mに相当するため、実際にはもう少し小さな変位振幅時の減衰特性を検討する必要があるが、ここでは、小振幅時の減衰が変動し、うまく求められなかったために、5mmの時の減衰定数を求めたものである。したがって、このような点については、今後、さらに検討していく必要がある。

また、表1に示した固有周期を、図2に示した計算による固有周期と比較すると、かなり大きく異なっているものがある。このような違いの生じる原因の一つとして、計算で仮定した変形状態（桁は直線）と、死荷重により変形した状態がかなり異なっていることが挙げられる。剛性の相対的に低いファン形状の場合に両者の違いが著しいことは、このような考え方を支持していると考えられるが、これについても、今後、さらに検討していく必要がある。

なお、図3において、ケーブル形状がハープ状とファン状とで、減衰定数の振幅依存性が大きく異なる点が注目される。両形式の剛性を表すために、桁端部及び桁中央点に、それぞれ、橋軸方向および上下方向の単位荷重を静的に作用させた場合の荷重作用点の変位を計算すると表2のようになる。これによると、ハープ状モデルは、ファン状モデルに比較して水平変位は1/2以下となっており、水平方向に変形しにくいことがわかる。

4. 結論

斜張橋の減衰特性を検討するために、ケーブル形状及びケーブル本数を変化させたオールフリー形式の自由振動模型実験を行った。固有周期の算定結果が実測と十分一致しない、微小振動時の減衰定数を求めている等、今後さらに検討すべき点が多く、まだ、一般的な結論を出す段階ではないが、今回の検討結果から得られた知見を示すと以下になる。

- 1) 減衰定数は振幅依存を有し、振幅が大きくなると減衰定数も大きくなる。このような振幅依存性はハープ状モデルの場合に最も顕著である。
- 2) 同一変位振幅（橋長の0.1%）に対応する減衰定数は、上下方向には0.0018～0.0024程度であるのに対し、橋軸方向には0.0034～0.0074程度となり、上下方向加振の場合よりも大きい。

【参考文献】

- 1) 伊藤学：橋梁上部構造の振動減衰，KABSE，1986
- 2) 加藤雅史，島田静雄：橋梁実測振動特性の統計解析，土木学会論文集，1981
- 3) 堤洋一，伊藤学，米田昌弘：橋梁構造の振動減衰に関する2，3の考察，土木学会第41回全国大会，1986

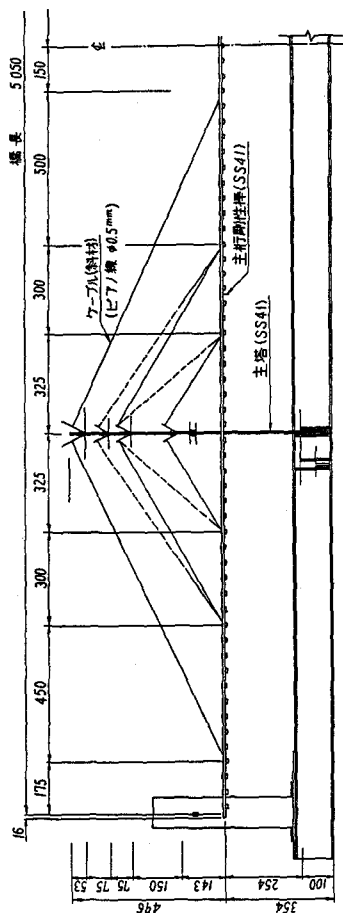


図 1 実験模型

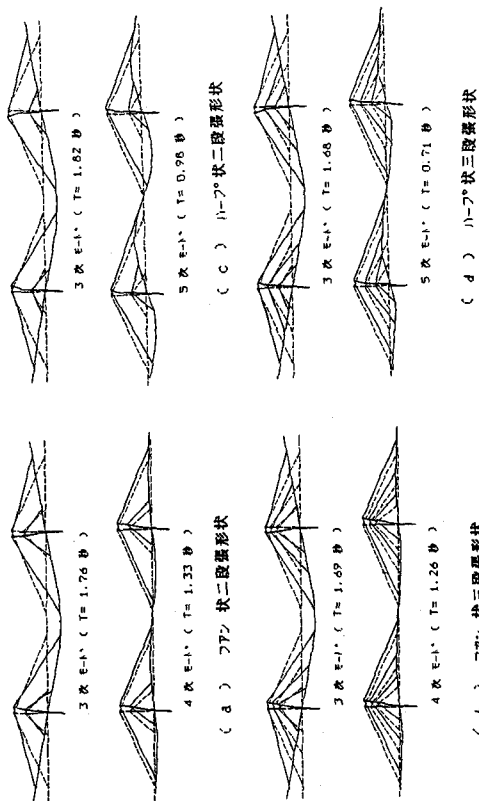


図-2 中央点鉛直変位を同じにした場合の振動モード形状及び
桁端橋軸変位を同じにした場合の振動モード形状

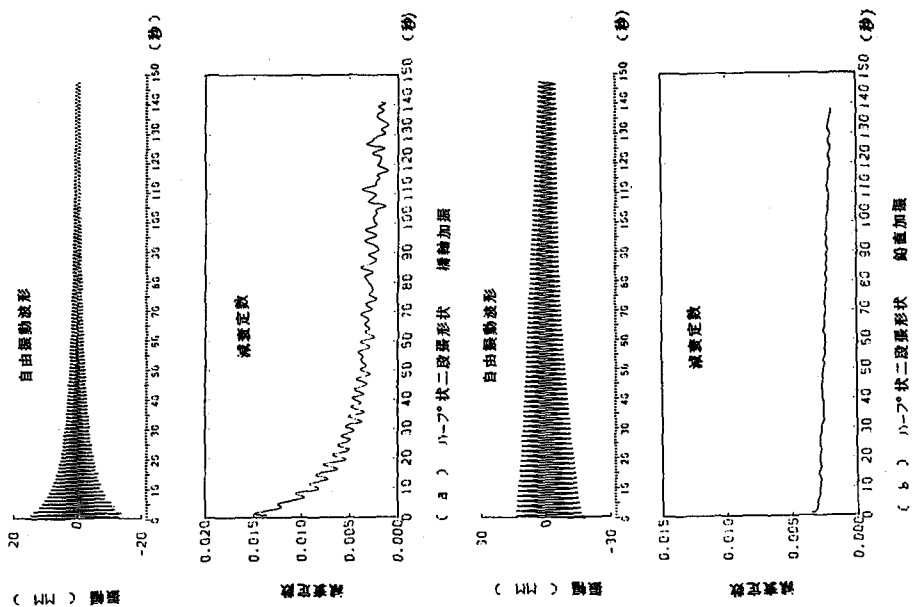


図-3 自由振動波形及び減衰定数

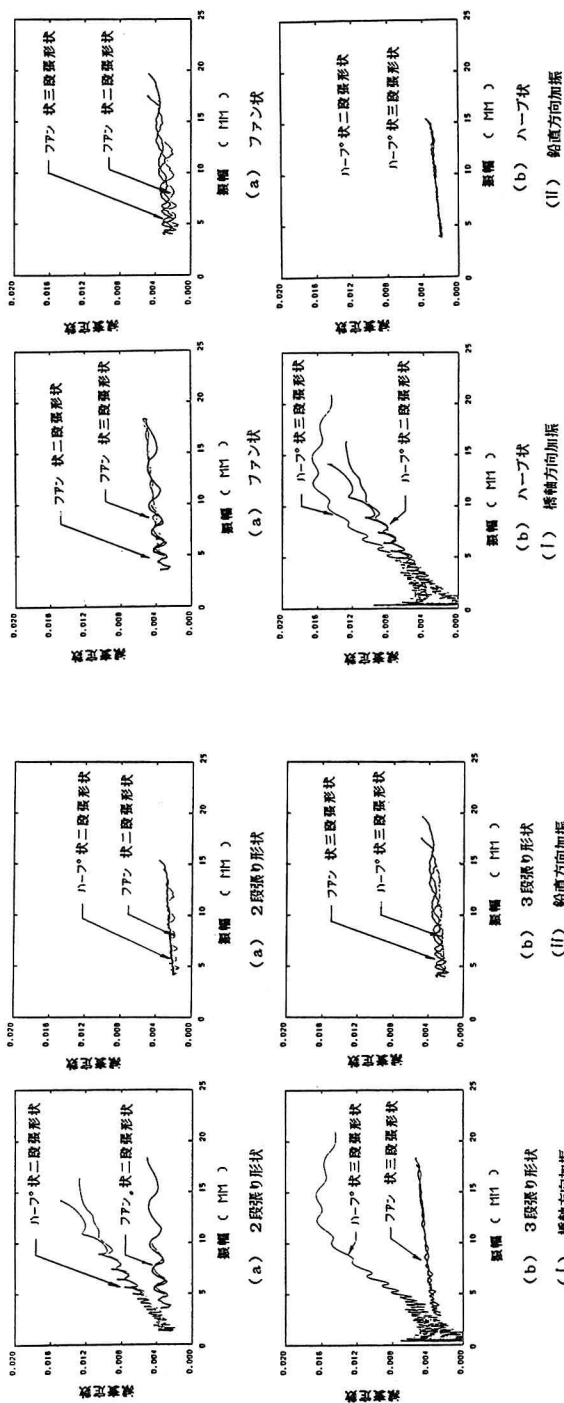


図-4 ケーブル張り形状の影響

表-1 オールフリー形式減衰定数及び振動周期
表-2 オールフリー形式モデルに1.0kgfの荷重を載荷したときの載荷点、載荷方向変位計算結果

ケーブル形状	載荷点	載荷方向	変位
ファン状二段張	中央点	鉛直	13.09
	端点	水平	2.83
	中央点	鉛直	12.28
ファン状三段張	中央点	鉛直	2.05
	中央点	鉛直	14.42
	中央点	鉛直	1.02
ハープ状二段張	中央点	鉛直	12.01
	端点	水平	0.70

(単位 cm)

加振方向	ファン状二段張形状	ファン状三段張形状	ハープ状二段張形状	ハープ状三段張形状
鉛直方向加振	0.0036	0.0034	0.0059	0.0074
橋軸方向加振	0.0035	0.0035	0.0056	— 注1
上側加振	— 注1	0.0024	0.0021	0.0021
下側加振	0.0018	0.0025	0.0021	0.0021

a) 計算結果

加振方向	ファン状二段張形状	ファン状三段張形状	ハープ状二段張形状	ハープ状三段張形状
鉛直方向加振	2.03	1.76	1.21	0.77
橋軸方向加振	1.89	1.77	1.20	— 注1
上側加振	— 注1	1.43	1.47	1.48
下側加振	1.44	1.41	1.47	1.47

b) 振動周期

(注1) 計算失敗

図-5 ケーブル段数の影響

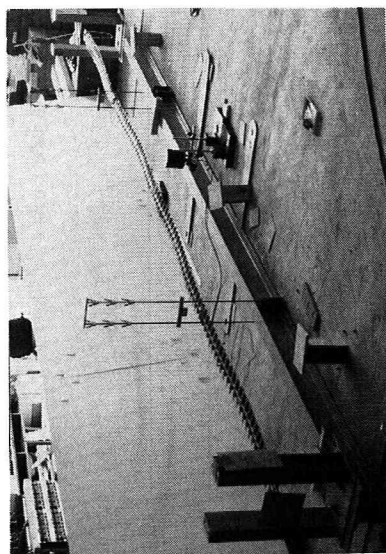


写真-1 自由振動実験中の模型