

吊形式歩道橋の振動特性

九州産業大学大学院 学○馬越一也 九州産業大学 正 水田洋司
(株)構造技術センター 正 城 秀 夫 九州産業大学 正 吉 村 健

1 序論： 本研究では、既設の陣屋の森吊橋（吊床版歩道橋、 $l=123\text{m}$ ）と同じ諸元を持つ二種類の複合吊床版歩道橋（吊床版吊橋、吊床版斜張吊橋）を文献1）に従って設計し、振動特性を調べている。まず、固有値解析を実施し、吊床版橋、吊床版吊橋、吊床版斜張吊橋の固有振動数・固有モードを比較し、固有値特性を検討している。次に、兵庫県南部地震の地震波を作用させたときの変位応答やモーメント応答等の比較から吊床版橋、吊床版吊橋、吊床版斜張吊橋の振動特性を論じている。

2 解析対象モデル： 吊床版橋には大分県大分郡挾間町にある陣屋の森吊橋を用い、吊床版吊橋、吊床版斜張吊橋は、吊床版橋と同じ l を用いて設計し、表-1の諸元を持つ図-1の吊形式歩道橋を設計した。固有値解析、地震応答解析には集中質量系の三次元骨組み構造を用いた。図中のXは橋軸方向、Yは鉛直方向、Zは面外方向であり、矢印の方向を正方向としている。

表-1 解析対象吊形式歩道橋の諸元

	stress-ribbon	Stress-ribbon suspension	Stress-ribbon cable-stayed suspension
Structural type	Concrete	Concrete	Concrete
L(m)	123.00	123.00	123.00
l/L	0.033	0.02(Lower) 0.1(Upper)	0.02(Lower) 0.1(Lower)
BE(m)	330.00	209.72	209.72
w(kN/m)	23.99	3.42	3.34
$A_B(\text{cm}^2)$	7296.00	301.12×2	301.12×2
$A_C(\text{cm}^2)$	13.3×8(Inner)	9.709×2(Upper) 10.42×4(Lower)	9.709×2(Upper) 10.42×4(Lower)

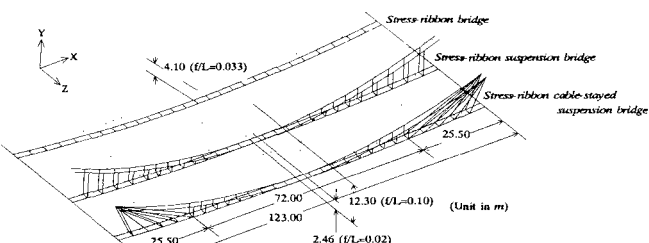


図-1 解析対象モデル

3 固有値解析： 吊床版橋、吊床版吊橋、吊床版斜張吊橋の固有値解析はTDAPⅢ（(株)アーク情報システム製）を用いて実施し、固有振動数、固有モード、刺激係数を求めた。表-2に三橋の固有振動数を固有モードごとに列記している。図-2に三橋の低次固有モードを示す。鉛直方向最低次固有振動数は吊床版橋では逆対称1次モードである²⁾のに対し、複合吊床版橋では対称1次モードである。また、それぞれの固有モード形状は三橋とも非常に類似しているが、吊床版吊橋と吊床版斜張吊橋はケーブルを有するためケーブルのみが揺れる振動数や、ケーブルと面外水平振動やねじり振動が同時に表れる固有振動数を持っている。表-2備考欄の+Torsionはケーブル振動と桁のねじり振動が同時に表れることを示す。面外水平方向の固有モードは三橋ともよく似ているが、複合吊床版橋の最低次の面外水平振動は吊床版橋の約1/3と非常に低い。これは面外水平方向の床版剛性が小さいためと考えられる。

表-2 固有振動数の比較

	Remark	Natural frequency(Hz)		
		Stress-ribbon	Stress-ribbon suspension	Stress-ribbon cable-stayed suspension
Vertical bending	Sym. 1st	0.8544	0.7098	0.7130
	Sym. 2nd	1.1703	1.0353	1.2631
	Sym. 3rd	1.7578	1.3314	2.0788
	Asym. 1st	0.6360	0.7896	0.8961
	Asym.	1.3443	1.0389	1.6432
Horizontal bending	Sym. 1st	1.0194	0.2953	0.2900
	Sym. 2nd	5.1389	0.8816	0.8612
	Asym. 1st	2.8596	0.5847	0.5739
	1st	1.4186	1.0995	1.0581
Torsion	2nd	1.6632	1.3127	1.6069
	3rd	2.3823	1.6479	2.2148
		-	1.5727	1.4191
Cable		-	-	1.5878
	+Torsion	-	-	1.5977

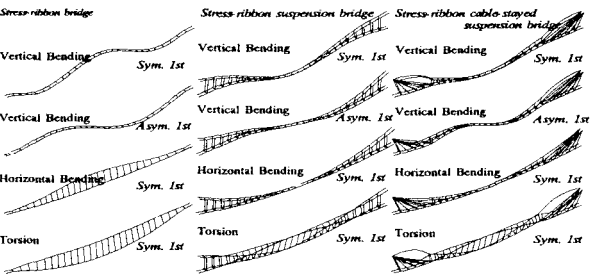


図-2 固有モード

4 地震応答解析： 地震応答解析には Newmark β 法 ($\beta=1/4$) を使い、時刻歴応答を求めた。材料非線形は考慮せず剛性は弾性とした。減衰マトリクスは固有値解析で得られた鉛直 1 次振動と 2 次振動の固有円振動数 (ω_1, ω_2) と振動実験で求めた陣屋の森吊橋の鉛直 1 次振動と 2 次振動の減衰定数 (h_1, h_2) を使用し、レ-リ減衰として算定した。三橋とも応答は床版の L/4 点、L/2 点に着目した。

4-1 入力地震波： 地震応答解析に用いた地震波は、兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）の J R 西日本鷹取駅構内地盤上（II 種地盤）N-S 成分を鉛直方向（Y 軸方向）に等倍（最大 686.83gal）で入力した。時間間隔 Δt を 0.01 秒とし、25 秒間の地震応答解析を行った。入力地震波形とその最大・最小加速度を図-3 に示す。

4-2 応答値の比較： 各橋の床版 L/4 点、L/2 点の応答変位、応答加速度、応答軸力、応答せん断力、応答曲げモーメント（図-4、5）の最大値・最小値についてまとめ、表-3、表-4、表-5 に示している。吊床版橋と吊床版斜張吊橋では L/4 点より L/2 点に大きな鉛直変位が生じ、吊床版吊橋では L/2 点より L/4 点に大きな鉛直変位が生じている。橋軸方向の変位は吊床版斜張吊橋が一番小さい。加速度応答の傾向は変位の場合と同じである。加速度は三橋の中で吊床版吊橋が一番小さな値を示し、三橋とも入力加速度の 6.0 倍以上の加速度が生じている。また、せん断力と曲げモーメントは複合吊床版橋より吊床版橋のほうが圧倒的に大きくなっている。

5 結論： 三種類の吊形式歩道橋の固有値解析と弾性地震応答解析から以下のことが判明した。

- ①固有振動数は吊床版橋、吊床版吊橋、吊床版斜張吊橋の順に大きくなっている。
- ②面外水平固有振動数は吊床版橋では鉛直固有振動数と同程度の大きさであるのに対し、吊床版吊橋・吊床版斜張吊橋では鉛直固有振動数の約 0.4 倍と非常に小さくなっている。
- ③複合吊床版橋は面外水平振動に対する対策を考慮する必要がある。
- ④吊床版橋の鉛直方向最低次固有振動数は逆対称 1 次モードであるのに対し、吊床版吊橋・吊床版斜張吊橋のそれは対称 1 次モードであり、前者と後者二橋の振動特性は異なる。
- ⑤鉛直方向加震時の鉛直方向変位の大きさは吊床版斜張吊橋、吊床版吊橋、吊床版橋の順である。
- ⑥鉛直方向加震時の断面力は吊床版橋が一番大きい。

参考文献

1) Yoshimura et al: Proposal of a Hybrid Stress-Ribbon Pedestrian Bridge for its Application to Roadway Bridges, Proceedings of the 1999 Symposium Vol.2, pp.697~703, October(1999).

2) 水田洋司 他 3 名: 吊床版歩道橋の鉛直固有振動数の解析法について, 構造工学論文集 Vol.38A, pp.755~763, 1992 年 3 月.

3) 水田洋司 他 3 名: 鋼吊床版歩道橋の一提案とその力学的特性, 構造工学論文集 Vol.43A, pp.1191~1196, 1997 年 3 月.

Earthquake wave	
Place	St. Takatori (N-S)
Date	1995/1/17 5:46 AM
Wmax	686.83 gal
Wmin	-612.81 gal

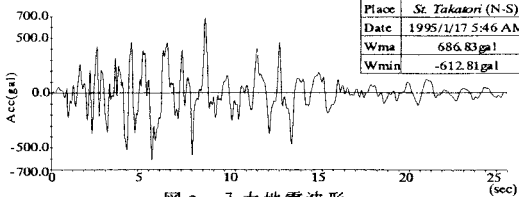


図-3 入力地震波形

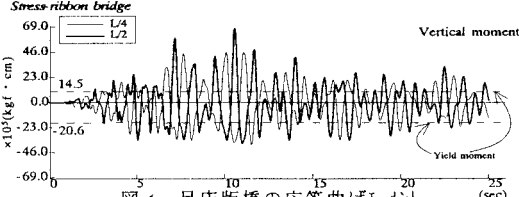


図-4 吊床版橋の応答曲げモーメント

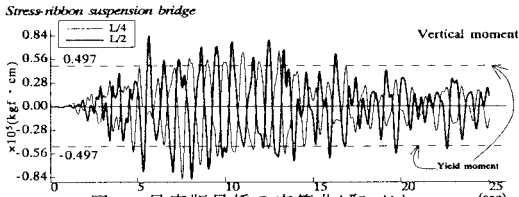


図-5 吊床版吊橋の応答曲げモーメント

表-3 応答変位の比較

direction	Stress-ribbon			Stress-ribbon suspension			Stress-ribbon cable-stayed			
	Tx	Ty	Tz	Tx	Ty	Tz	Tx	Ty	Tz	
	Dynamic	Max(cm)	Min(cm)	Dynamic	Max(cm)	Min(cm)	Dynamic	Max(cm)	Min(cm)	
point	L/4	6.61	61.71	0.00	4.66	96.93	0.00	1.43	9.58	0.00
		-6.00	-57.46	0.00	-4.63	-98.43	0.00	-1.12	-5.88	0.00
		0.03	120.63	0.00	0.03	35.98	0.00	0.01	88.42	0.00
L/2		-0.03	-97.53	0.00	-0.03	-43.63	0.00	-0.01	-98.10	0.00

表-4 応答加速度の比較

direction	Tx	Ty	Tz	Tx	Ty	Tz	Tx	Ty	Tz
point	Max(g _p)			Max(g _p)			Max(g _p)		
	Min(g _p)			Min(g _p)			Min(g _p)		
L/4	276.1	3428.9	0.0	193.8	4255.2	0.0	92.5	1315.6	0.0
	-299.5	-3228.8	0.0	-177.5	-3994.3	0.0	-113.9	-2163.8	0.0
L/2	1.4	2351.4	0.0	1.1	1874.5	0.0	0.4	2422.2	0.0
	-1.5	-4831.3	0.0	-1.0	-1812.9	0.0	-0.6	-4628.1	0.0

表-5 応答断面力の比較

Force type	Stress-ribbon			Stress-ribbon suspension			Stress-ribbon cable-stayed			
	Axial force (kgf)	Shearing force (kgf)	Vertical moment (kgf·cm)	Axial force (kgf)	Shearing force (kgf)	Vertical moment (kgf·cm)	Axial force (kgf)	Shearing force (kgf)	Vertical moment (kgf·cm)	
	Dynamic	Max Min		Dynamic	Max Min		Dynamic	Max Min		
point	L/4	10.95	0.27	46.00	0.65	0.00	0.66	0.36	0.00	1.08
		-10.80	-0.18	-38.90	-0.64	0.00	-0.87	-0.36	0.00	-1.00
		10.94	0.12	67.97	0.83	0.00	0.84	0.39	0.00	1.61
point	L/2	-10.80	-0.07	-37.78	-0.82	0.00	-0.87	-0.42	0.00	-0.78
		Remark the multiplier is 10 ³								

Remark the multiplier is 10⁴