

ケーブル併用制震すべりシステムを適用した吊橋各部位の応答周期特性

西日本高速道路エンジニアリング九州(株) 正会員 ○坂田裕彦 熊本大学大学院 正会員 松田泰治
西日本高速道路(株) 正会員 今村壮宏 正会員 山下恭敬 神鋼鋼線工業(株) 正会員 榊 一平
オイレス工業(株) 正会員 宇野裕恵 (株)ドゥユー大地 正会員 松田 宏 JIPテクノサイエンス(株) 打越丈将

1. 目的

吊橋の床組縦桁を支間内で一連の連続桁としてすべり支承で支持させ、制震ダンパーと固定ケーブルにより床組縦桁と主塔およびアンカレイジを連結するケーブル併用制震すべりシステム¹⁾は、床組縦桁と補剛桁が絶縁されるため周期特性が異なる。解析上の固有周期は各部位を弾性とし、非線形履歴を等価線形化あるいは履歴を非考慮で算定している。本論文では履歴を非考慮として粘性減衰が大きく評価されないようにした場合において、橋軸方向の応答変位から各部位の周期特性を把握した。

2. 対象橋

対象橋は図-1に示す支間 178+712+178m の鋼 3 径間吊橋である。橋の重要度区分 B 種，地域区分 C 地域，地盤種別 I 種地盤である。すべり支承および制震ダンパーを考慮しない橋軸方向のモードを図-2に示す。1 次と 2 次の固有周期は 6.1 秒および 2.7 秒であり，それぞれ補剛桁および主塔が支配的な振動モードである。

3. 解析条件

解析は橋軸方向の非線形時刻歴応答解析で，直接積分法の Newmark's β method ($\beta=0.25$)，積分時間間隔 0.01 秒，部材の減衰定数は Rayleigh 減衰を用い，床組縦桁，補剛桁，主塔およびケーブルを 2%，アンカレイジおよび基礎を 0%とした。入力地震波は I - I - 3，解析モデルは約 10,000 節点の 3 次元モデルである。固定ケーブルにはプレストレスを導入し常時および地震時に弾性挙動させるが，本検討では温度変化を考慮しており，-30 度とした場合，固定ケーブルは若干塑性化する。制震ダンパーは抵抗力が速度の 0.1 乗に比例し 50kine で 1,500kN の仕様で，各桁端に 4 基用いた。固定ケーブルは中央径間 $\phi 7 \times 73$ ，側径間 $\phi 7 \times 31$ の平行線ケーブルを用いた。すべり支承は摩擦係数 0.02，降伏変位 0.01mm とした。

4. 応答変位と周期特性

図-1に●で示した位置の時刻歴応答変位を図-3に示す。また，I - I - 3 のウェーブレット変換と標準加速度応答スペクトルを図-4に示し，図-3の応答変位に基づくフーリエスペクトル，ウェーブレット変換およびウェーブレット卓越断面を表-2に示す。本論文のウェーブレット変換では時刻 80 ~ 150 秒を対象した。また，固有値解析による固有周期，ウェーブレット密度による卓越周期を表-1に示す。ここで，表-2に示すウェーブレット断面例は，表-1に黄色で示した時刻 100 ~ 105 秒付近での卓越周期位置のウェーブレット値を正規化したものである。

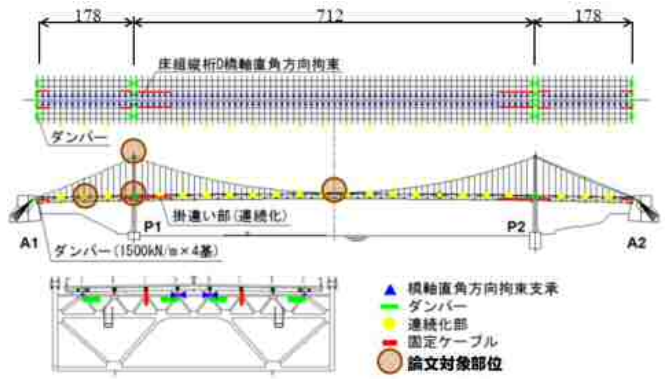


図-1 対象橋とケーブル併用制震すべりシステム

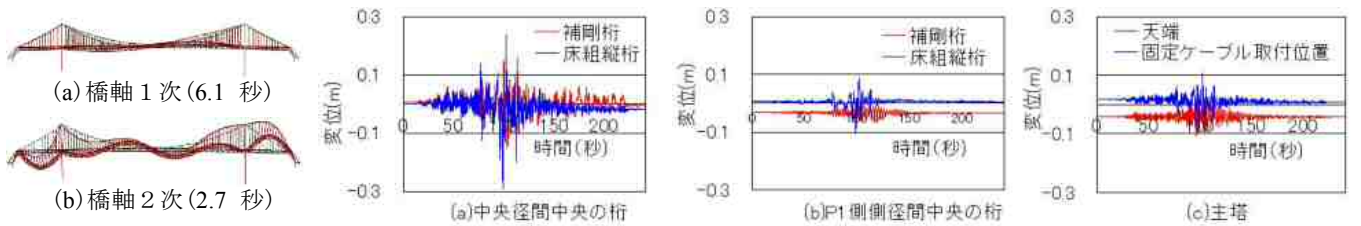


図-2 振動モード

図-3 時刻歴応答変位

キーワード 吊橋床組縦桁，ケーブル併用制震すべりシステム，周期特性，ウェーブレット変換，時刻歴応答解析
連絡先 〒810-0073福岡市中央区舞鶴1-2-22天神ジャパンビル西日本高速道路エンジニアリング九州(株)TEL092-771-1434

5. 考察

フーリエスペクトルでの周期特性は全時間を評価するのに対し、ウェーブレット変換では時刻毎で評価する。このため、それぞれの卓越周期は概ね同様な傾向にあるものの、フーリエスペクトルでは長周期領域でもやや卓越する傾向が見られる。

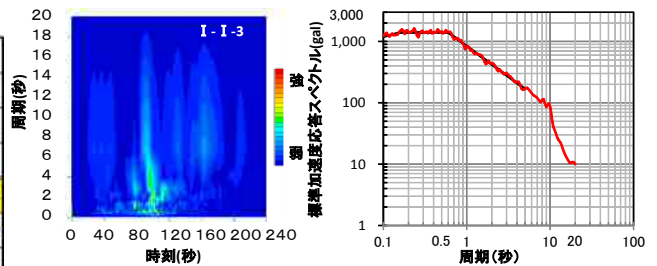
床組縦桁の応答周期には補剛桁に比べ長周期領域にも卓越が見られる。これは補剛桁の応答は主ケーブルの弾性履歴に依存しやすいのに対し、床組縦桁の応答は制震ダンパーおよびすべり支承の非線形履歴に依存しやすいためと考えられる。このため、補剛桁の卓越周期は主塔天端に、床組縦桁の卓越周期は主塔の固定ケーブル取付け位置に類似している。また、表-1より全ての部位で周期2秒余りに卓越周期が見られ、2次固有振動数2.7秒に近い値となっている。1次固有周期6.1秒付近に卓越周期が顕著に見られないのは、制震ダンパーとすべり支承の抵抗が振動系の剛性により床組縦桁の周期特性が短周期化されるためである。

6. まとめ

吊橋のような集成構造からなる橋では構造部位毎に周期特性が異なる。また、非線形履歴を有する場合の応答周期は特定の周期で卓越するのではなく、卓越が抑制されて広範囲の周期領域に広がる。このため、非線形部材の設定にもよるが、固有値解析による固有周期は、動的挙動時の応答周期とは異なる。

表-1 固有周期，地震波と応答変位による卓越周期

固有周期解析	I-I-3地震波	応答													
		補剛桁				床組縦桁				主塔					
		時刻	周期	時刻	周期	時刻	周期	時刻	周期	時刻	周期	時刻	周期		
1次振動 6.1秒	最大卓越	98.54	0.80	101.23	2.19	117.85	2.67	101.12	2.16	99.37	4.32	118.26	2.71	101.11	2.14
2次振動 2.7秒	3番目卓越	104.98	0.41	112.01	2.21	104.75	2.63	98.15	10.06	104.07	2.16	107.55	2.79	98.84	4.32
	3番目卓越	95.32	0.54	97.37	8.23	137.63	2.67	98.67	4.42	95.13	9.05	97.43	3.36	112.38	2.24
	4番目卓越	-	-	102.44	4.42	83.77	2.63	112.34	2.24	112.46	2.30	88.96	2.84	83.41	8.62
	5番目卓越	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	136.82	2.79	-	-



(a) ウェーブレット変換図 (b) 標準加速度応答スペクトル

図-4 地震波 I-I-3

表-2 応答変位の周期分析

	フーリエスペクトル	右図ウェーブレット断面例	ウェーブレット変換	
中央径間中央				
側径間中央				
主塔				

参考文献 1) 松田ほか:既設吊橋に適用するケーブル併用制震すべりシステムの研究,土論 A1,70(4), I_469-,2014