ケーブルトラスト橋の車両走行振動解析

神戸製鋼所	正会員	森山	佳樹	正会員	本家	浩一
神戸製鋼所	正会員	濱崎	義弘	正会員	岡田	徹
日本道路公団	正会員	山田	稔	正会員	花田	克彦

1.まえがき 徳島自動車道のかっさこ橋および竹花橋では,鋼桁とケーブルでトラス構造を形成したケーブルト ラスト橋梁形式を採用している.ケーブルトラスト橋の特徴は,支間中央付近に配置した支柱をケーブルにより弾 性支持し,鋼桁に作用する断面力の低減,活荷重たわみの改善などを図る点にある.新形式構造の適用に際し,振 動特性に関して十分な安定性を有していることを把握しておく必要があるため,本報ではケーブルトラスト橋上を 車両が走行する際の鋼桁及びケーブルの振動挙動解析及び若 干の実験比較について報告する.

2.かっさこ橋の振動モデル

2.1 解析モデル 橋梁の解析モデルおよび基本諸元を図1,表 1 に示す.解析モデルは3次元立体モデルとし,橋桁を梁要素 で,ケーブルをトラス要素でモデル化した.図1中の黒丸は解 析節点である.中央の主梁に橋桁の剛性および慣性特性を与え 横梁は質量のない剛体梁とした.横梁の両端の位置は車両走行 位置とし,後述の走行解析では,図中の点線部を走行させた. また,ケーブルの横振動の影響を考慮する為に,ケーブルに中 間節点を設け,張力による幾何学的非線形性を考慮した.なお,

実橋ではタワーを中心に4本のケーブルが張られているが,ここでは2本のケ ーブルにまとめている.また,橋梁の両端部は,鉛直方向はゴム支承により弾 性支持されているものとし,橋軸方向および橋軸直角方向は単純支持とした. 橋梁全体の減衰特性は,構造物が釣合った状態における各部材の剛性を基準と して,橋桁,ケーブルの構造減衰をそれぞれ1%,0.1%と仮定した.

2.2 固有振動特性 表 2 に橋梁の固有振動数と減衰比,図 2 に振動モードを示 す.表 2 の実験値は,車両走行後の残留振動を分析した結果である.解析によ る固有振動数は実験と比較的良く一致するとともに,一般にその推定が困難と されている減衰特性についても,定性的に実験と良く似た傾向を示している.







図1 ケーブルトラスト橋の解析モデル

表1 構造諸

衣 I 桶垣 油 兀				
	項目	構造諸量		
	支間長/桁幅	87m∕10.4m		
	鉛直曲げ剛性EI	$9.24 \times 10^{10} \text{Nm}^2$		
揷	水平曲げ剛性EI	$1.35 \times 10^{12} \text{Nm}^2$		
们向 北行	ねじれ剛性 GJ	$4.62 \times 10^{10} \text{Nm}^2$		
111	質量	12.82t/m		
	慣性モーメント	184tm²/m		
タ	高さ	15m		
7	質量	27.3ton		
I	橋桁回り慣性モーメント	3550tm ²		
ケ	断面積	1.53 × 10 ⁻² m ²		
ゴ	単位重量	120.3kg/m		
ル	張力	270tonf/本		

表2 かっさこ橋の固有振動特性

	解析	結果	実験結果		
振動モード	振動数 Hz	減衰比 ζ	振動数 Hz	減衰比 ζ	
鉛直1次	1.327	3.0E-3	1.318	8.2E-3	
鉛直2次	3.036	8.8E-3	2.856	1.2E-2	
鉛直3次	5.052	9.2E-3	5.176	8.2E-3	
ねじれ1次	2.784	5.5E-3	2.710	3.4E-3	
ねじれ2次	5.981	1.0E-2	6.543		
水平1次	1.880	6.7E-3	1.978	6.0E-3	
ケーブル1次	2.3	1.0E-3	2.3	約1.0E-3	
ケーブル2次	4.6	1.0E-3	4.6	約1.0E-3	
ケーブル3次	7.2	1.0E-3	7.0		
ケーブル4次	9.8	1.0E-3	9.4		

キーワード:ケーブルトラスト橋,振動特性,走行荷重,動的応答解析,固有振動数,減衰特性 〒657-0845 神戸市灘区岩屋中町 4-2-15 (株神戸製鋼所 TEL 078-261-7285 FAX 078-261-7807

3. 走行車両の解析モデル

本走行実験では,自重 26.5 トンのラフテレーンクレ ーンを使用した.通常の車両のモデル化は,タイヤとサ スペンションを直接バネとダンパに置き換えた 4 自由 度モデルで表される場合が多い.しかし,本クレーンで は、サスペンション構造として油圧シリンダとアキュム



図3 クレーンの解析モデル

レータを利用したハイドロニューマチックサスペンション(以後,ハイサス)が使用されているとともに,重量お よび慣性モーメントの大きいブームが車両上部に搭載されその振動の影響も無視できない.このため,車両系を図 3に示すようにモデル化した.ハイサスでは,前後輪のシリンダがヘッド側とロッド側がクロスする様に管路でつ ながっているために,前輪に作用した荷重は,前輪ばね上だけでなく後輪およびそのばね上にまで荷重が伝達する ことになり、通常のばね支持と比較してピッチングモードの剛性が高くなる傾向にある、本モデルの固有値解析に よる車体の上下およびピッチングの1次の固有振動数は,それぞれ0.89Hz,1.38Hzとなった.

4.クレーン車両の走行解析

走行車両による橋梁の振動応答解析手法については,詳細は省略するが,文献(1)を参考に,橋梁についてはモー ダルアナリシスを,車両については3章で説明したモデルを用い,車両走行位置に応じて時々刻々変化する荷重分 配係数ベクトルを介してこれらを連成させる手法を用いている.

4.1 路面の凹凸特性 路面のパワースペクトルについては文献(2)を参考に, $S_{t}(\Omega) = \alpha/(\Omega^{n}+\beta^{n})$, $\alpha=0.001$, $\beta=0.05$, n=2 で近似した.これは名神高速道路の完成直後に野州川橋において測定された路面凹凸スペクトルをモデル化したも のであり, ISO 評価基準では「非常に良い状態」に相当する.実験が共用開始前であったことから,同程度のスペ クトルになるものと予想される.伸縮継手部の路面段差特性は,両凸型の緩やかな段差でモデル化する(1).ここで は、車両の振動特性が比較的実験と良く一致する様に、伸縮継手の端部から前後8mの区間に高さ2cmの凸型の段 差を前述の路面凹凸スペクトルを有する波形に重ね合わせた.その路面波形を図4に示す.

4.2 車両走行解析結果 橋梁上を時速 42km/h でクレーンを走行させた時の ,クレーンおよび橋梁とケーブルの振動 の時刻歴応答波形を図5に,スペクトル波形を図6に示す.解析と実験の結果をそれぞれ実線,破線で示す.クレ ーンの振動評価点は,フロントのばね上とした.その応答レベルは実験での最大応答加速度を基準に正規化して表 示する、クレーンの振動特性および橋梁・ケーブルの振動特性とも、解析と実験結果はおおむね一致しており、解

析の妥当性が確認できる.3~4Hz付近での橋梁応答が実験 値を大きく上回っているが,これはこの領域でクレーンの 動特性のモデル化誤差(バネ下振動の固有振動数)が影響 しているものと思われる.



実験

かーン

5. まとめ ケーブルトラスト橋の車両走行振動解析手法 10 解析 を確立した 実験と概ね一致した結果が得られ、解析手法の妥当性を確認した. Acc 10



【参考文献】

1)米田他:路面上の緩やかな段差によって誘起される橋梁交通振動に対する解析的考察,鋼構造論文集,7-25,pp79-87,2000 2)川谷他:曲げとねじりを考慮した単純桁橋の走行荷重による連成不規則振動解析,土木学会論文集,No570/I-40,pp231-238,1997