

## ケーブル併用制震すべりシステムを適用した吊橋の地震時エネルギー

神鋼鋼線工業(株) 正会員 ○榎 一平, 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  
 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, 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. はじめに

検討対象とした吊橋の床組縦桁は補剛桁で鉛直支持され、側径間、中央径間毎にそれぞれ一連の連続桁としている。この床組縦桁にケーブル併用制震すべりシステム<sup>1)</sup>を適用し、鉛直支持する支承をすべり支承として水平方向にはアイソレーションし、制震ダンパーと固定ケーブルを床組縦桁と主塔またはアンカレイジに橋軸方向に連結して慣性力を伝達させ、慣性力の低減を図ると共に固定ケーブルによる復元力により地震時の挙動を制御している。本論文では橋軸方向の地震時応答を対象として、床組縦桁を支持するデバイスの地震時におけるエネルギーの蓄積と消散の状態から、地震時の各デバイスの役割分担を評価した。

### 2. 対象橋および検討条件

図-1 に支間 178+712+178mの鋼3径間吊橋である対象橋と、ケーブル併用制震すべりシステムの各デバイス配置を示す。解析は節点数約 10,000 点の3次元モデルを用い、直接積分法の Newmark's  $\beta$  method( $\beta=0.25$ )による非線形時刻歴応答解析を行った。減衰には Rayleigh 減衰を用い、入力地震波は道示標準波 I-I-3 とした<sup>2)</sup>。履歴復元力特性は図-2 に示す様に、すべり支承は降伏変位 0.01mm の摩擦型復元力特性、制震ダンパーは抵抗力が速度の

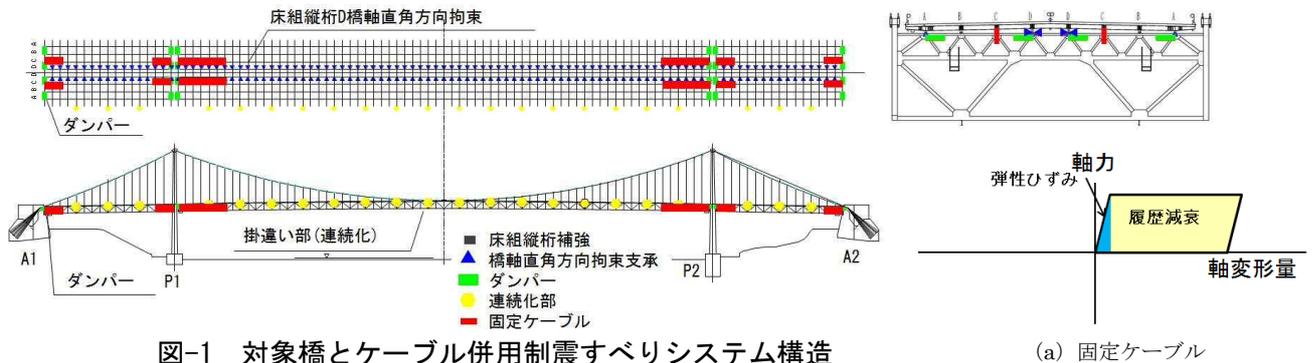


図-1 対象橋とケーブル併用制震すべりシステム構造

表-1 地震時エネルギーの分類と要因

	弾性エネルギー		減衰エネルギー	
	弾性ひずみエネルギー	履歴減衰エネルギー	粘性減衰エネルギー	
固定ケーブル	鋼線の弾性軸ひずみ	鋼線の塑性化	粘性減衰	
制震ダンパー	-----	粘性減衰として算定	非考慮	
すべり支承	設定履歴上の微小変位	摩擦減衰	粘性減衰	

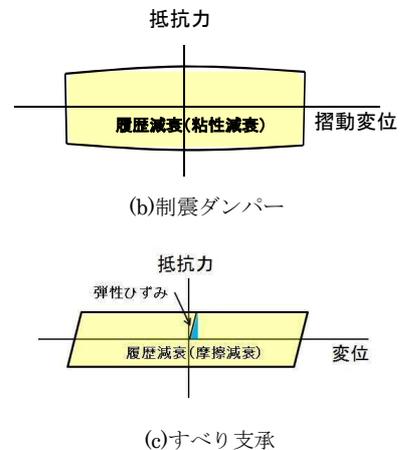


図-2 地震時エネルギー

0.1 乗に比例する速度—抵抗力モデル、固定ケーブルは中央径間φ7×73、側径間φ7×31の被覆平行線ケーブルとし、バイリニア型スリップモデルとした。

固定ケーブルにはプレストレスを導入し、弾性挙動させることを基本とするが、低温時(温度変化-30度)においては、レベル2地震動に対して固定ケーブルが塑性化してもよいものとした。本検討では固定ケーブルが塑性化する温度変化-30℃での応答を検討対象とし、図-2 および表-2 に示す地震時エネルギーに着目した検討を行った。

キーワード 吊橋, 固定ケーブル, 制震ダンパー, すべり支承, ひずみエネルギー, 減衰エネルギー

連絡先 〒660-0091 兵庫県尼崎市中浜町10番地1 神鋼鋼線工業(株) 技術部 TEL 06-6411-1082

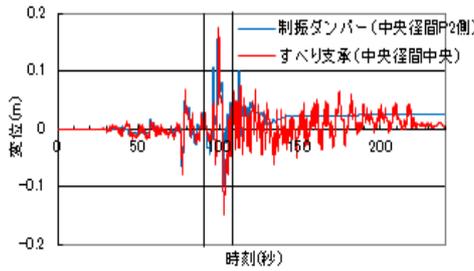


図-3 時刻歴応答変位

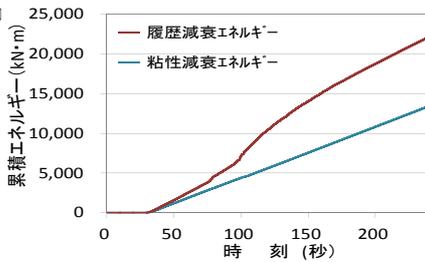


図-4 すべり支承累積減衰 E (中央径間)

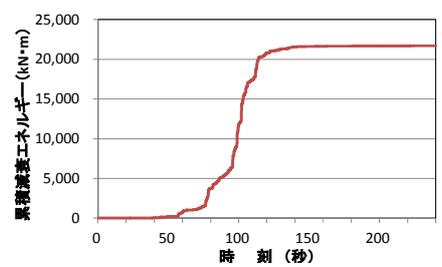


図-5 ダンパー-累積減衰 E (中央径間)

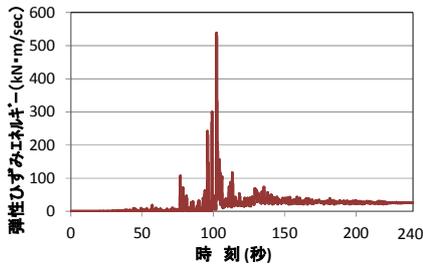


図-6 ケーブル弾性ひずみ E (中央径間)

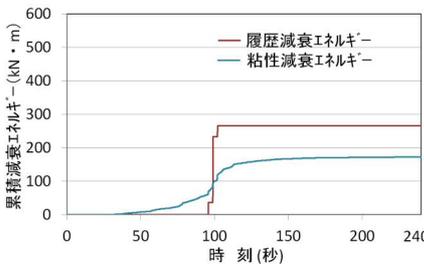


図-7 ケーブル累積減衰 E (中央径間)

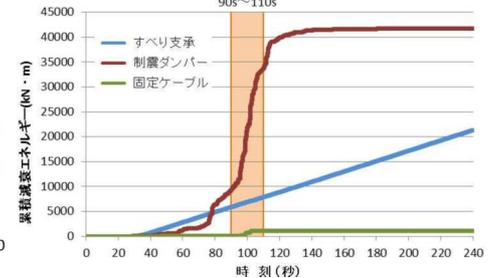


図-8 累積減衰 E (全径間)

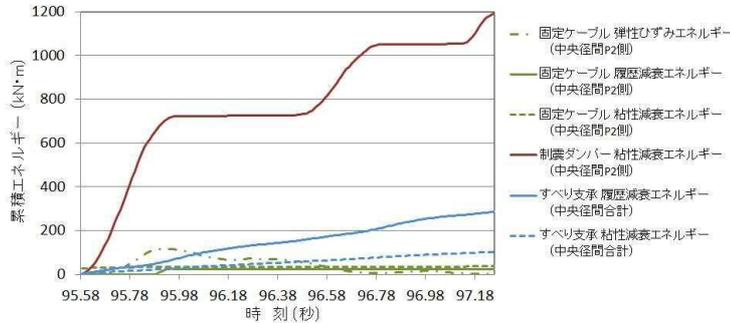


図-9 最大応答時のデバイス毎のエネルギー状態

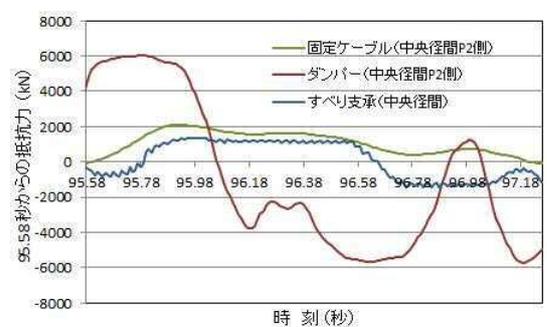


図-10 最大応答時のデバイス毎の抵抗力

### 3. 検討結果

本橋の地震時挙動として中央径間中央のすべり支承と制震ダンパーの応答変位を代表して図-3 に示す。両者とも 90~110 秒あたりで大きな応答となるが、すべり支承は補剛桁との相対変位であり 110 秒以降も有意な応答変位が続いているのに対し、制震ダンパーは主塔との相対変位であり 110 秒以降の応答変位は小さい。すべり支承と制震ダンパーの中央径間の累積減衰エネルギーをそれぞれ図-4、図-5 に示す。すべり支承では全時間に渡りほぼコンスタントに、制震ダンパーでは 90 秒から 110 秒で大きく、減衰エネルギーを消散している。固定ケーブルの径間毎の弾性ひずみエネルギーと累積減衰エネルギーをそれぞれ図-6、図-7 に示す。弾性ひずみエネルギーは最大応答時間帯で大きく蓄積し、塑性化による累積減衰エネルギーも応答が大きな時間帯で増加するが、塑性化は僅かであり他のデバイスに比べ消散するエネルギーは小さい。全径間のデバイス毎の累積減衰エネルギーを図-8 に示す。すべり支承は 240 秒間では大きなエネルギー消散を示すが、最大応答時間の増加は大きくない。これに対し、制震ダンパーは大きな応答を示す 90~110 秒の間が大きい。

96 秒付近の固定ケーブルに最大応答変位が生じる半波形区間のエネルギー状態と抵抗力について図-9、図-10 にそれぞれ示す。制震ダンパーが主として地震エネルギーを消費し、固定ケーブルはその 1/6 程度を弾性ひずみエネルギーとして貯蔵し、応答変位方向が逆になると弾性ひずみエネルギーをはき出している。

### 4. まとめ

吊橋に適用したケーブル併用制震すべりシステムについて、地震時のエネルギーが消費・分担されている状況を分析し、それぞれのデバイスが床組縦桁の耐震性に及ぼす効果を明らかにした。

**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,土木学会論文集 A1,Vol.70No.4,2014. 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, V耐震設計編, 2012