

I - 644

ダンパーによるPC斜張橋の制震

鹿 島 正員 新原雄二 竹田哲夫 伊東祐之

1. まえがき

長大PC斜張橋の支承部に履歴型ダンパーを取り付けることにより橋軸方向の地震応答の低減を図ることが可能である¹⁾。我国のように地震の多い地域では、PC斜張橋の耐震性を高めるための1つの方法として、橋軸方向に主桁を拘束せずにオールフリーとして長周期化し、地震力の低減を図ることがあるが、この場合、斜材がファン形式だと橋軸方向の主桁の変位が大きくなるため、主塔の低い位置まで斜材が張られているハープ形式にすることが多い。このように、橋軸方向にフリーな斜張橋の地震応答には、斜材の形式の影響が大きい。そこで、本研究では、斜材形式に着目して、オールフリータイプのPC斜張橋(以下、フローティング型)の支承部にダンパーを設置することによる地震応答の低減について、時刻歴応答解析を行い検討した。

2. 解析の概要

検討の対象とした斜張橋は、中央径間400mの3径間連続PC斜張橋である。斜材形式はセミハープ形式とハープ形式を考慮した(図-1)。ダンパーは、履歴型ダンパーと粘性型ダンパーの2種類を考え、それぞれ主橋脚上と端橋脚上に設置した。履歴型ダンパーの履歴特性は、バイリニア型とした。履歴型ダンパーの履歴特性と粘性型ダンパーの減衰係数を表-1に示す。構造物の減衰は1次と2次のモードの減衰が5%となるようなレイリー減衰とした。一般に、PC斜張橋の地震時の応答が問題となるのは、主桁の変位と主塔基部・橋脚基部の曲げモーメントであるので、これらの応答がダンパーによってどのくらい低減されるかを、時刻歴応答解析によって検討した。時刻歴応答解析に用いた入力波形の加速度応答スペクトルは、道路橋示方書に示されているI種地盤の加速度応答スペクトルを、長周期側に直線的に延長したものである。

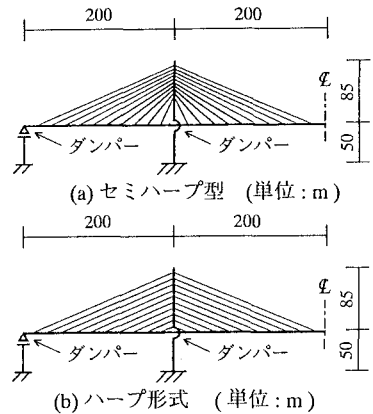


図-1 PC斜張橋の解析モデル

表-1 ダンパーの特性

履歴型ダンパー	初期剛性	$K_1=200\text{tf/cm}$
	2次剛性	$K_2=20\text{tf/cm}$
	降伏変位	$\delta_y=1\text{cm}$
粘性型ダンパー	減衰係数	$C=20\text{tf/kine}$

3. 斜材形式に着目したダンパーによる制震効果

時刻歴応答解析によって求められた主桁変位と主塔基部・橋脚基部の曲げモーメントの最大値を表-2に示す。また、主塔・橋脚の曲げモーメント分布を図-2に示す。

最大応答値についてみると、セミハープ形式の場合、主桁の変位と主塔基部の曲げモーメントは、ダンパーを設置することによりフローティング型の半分以下に低減されている。セミハープ形式のフローティング型の場合、斜材を介して主塔に伝わる主桁の慣性力が主塔の高い位置に作用するため、主塔基部の曲げモーメントが大きくなってしまいが、ダンパーを設置することにより、主桁の慣性力の一部を橋脚頂部に分散させることができ、主塔基部の曲げモーメントを大きく低減することができる。しかし、橋脚基部の曲げモーメントに関しては、ダンパーを設置しても応答の低減はわずかであり、履歴型ダンパーでは逆にフローティング型よりも大きくなっている。ダンパーは主桁と橋脚の相対変位の大きい1次モードに対しては有効であるが、それ以外のモードに対しては効果が少ない。今回の解析モデ

表-2 時刻歴応答解析による最大応答値

斜材形式	ダンパーの種類	主桁の変位 (cm)	主塔基部の モーメント(tf・m)	橋脚基部の モーメント(tf・m)
セミハープ形式	フローティング型	38.2	31990	80130
	履歴型	11.8(31%)	15500(48%)	85000(106%)
	粘性型	8.9(23%)	13400(42%)	72000(90%)
ハープ形式	フローティング型	13.0	27700	148000
	履歴型	10.0(77%)	17200(63%)	145000(98%)
	粘性型	9.7(75%)	18200(66%)	139000(94%)

かつこの数値は、フローティング型の応答に対する比を表している。

ルは橋脚の高さが高いため、橋脚自身が大きく変形する高次モードが存在し、橋脚の曲げモーメントに対してこのモードの寄与が大きいために、ダンパーによる効果は橋脚の曲げモーメントに関しては少なくなったものと考えられる。

ハープ形式の場合にも同様の傾向がうかがえるが、主桁変位と主塔基部の曲げモーメントの低減が、セミハープ形式に比べて少ない。これは、ハープ形式では斜材が主塔全体に分散して定着されているため、主桁の慣性力を橋脚頂部に分散させても効果は少ないことによるものと思われる。

一般に、セミハープ形式の方がハープ形式よりも斜材が鉛直に近く張られているため、常時の荷重に対しては有効であるといわれている。以上のようなことを踏まえると、フローチング型のP C斜張橋の地震応答を低減するという観点からは、セミハープ形式にダンパーを設置した方が効果的であるといえる。

4. ダンパーの特性の影響について

ダンパー特性の影響について検討するために、セミハープ形式に関して、ダンパーの特性を様々に変化させて時刻歴応答解析を行い、主塔・橋脚の曲げモーメントの低減について検討した。履歴型ダンパーに関しては、2次剛性を初期剛性の1/10とし、降伏変位を1cmに固定して、初期剛性を変化させて解析を行った。粘性型ダンパーの場合には、減衰係数Cを変化させた。主塔・橋脚の曲げモーメント分布を図-3に示す。

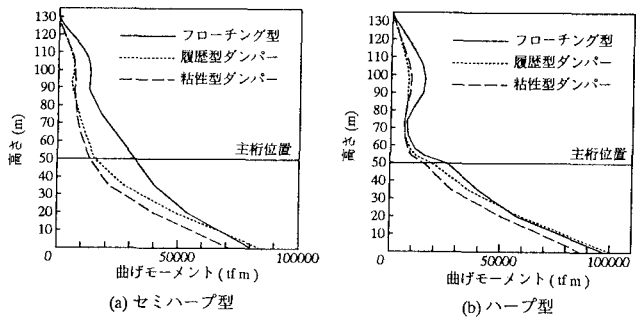


図-2 主塔・橋脚の曲げモーメント分布

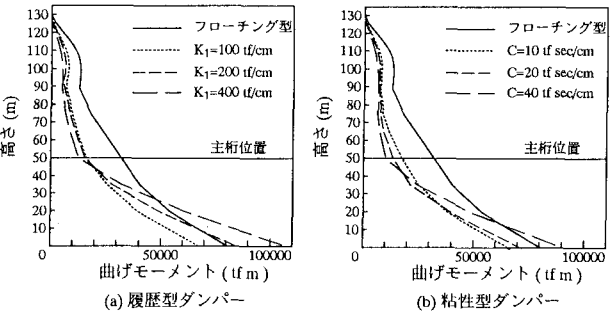


図-3 ダンパーの特性の違いによる(セミハープ形式)

履歴型ダンパーに関しては、初期剛性が大きいほど、また粘性型ダンパーに関しては減衰係数が大きいほど、主塔の曲げモーメントは小さくなる。逆に、ダンパーの剛性や減衰係数を大きくし過ぎると、橋脚の曲げモーメントがフローチング型よりも大きくなってしまふ。橋脚の曲げモーメントを最も低減させる最適なダンパーの特性値があることがわかる。

5. ダンパーによるP C斜張橋の地震応答の低減に関する若干の考察

P C斜張橋の支承部にダンパーを設置すると、固有周期が短くなり加速度応答スペクトルが大きくなるため、地震力が大きくなるが、結果的には地震応答を大きく低減できる。これは、①ダンパーによる振動エネルギーの吸収、②主塔に伝達される主桁の慣性力のケーブルとダンパーによる分散、③主橋脚と端橋脚との主桁慣性力の分散、などが主な理由と考えられる。ダンパーの種類については①に、斜材形式については②に、ダンパーの剛性や減衰係数については②と③に対して、それぞれ影響を及ぼしているものと考えられる。地震応答を低減させる上記の3つの効果のうち、①と③については一般の免震橋の応答低減の理由と同じであるが、②はP C斜張橋の耐震性を高める上で特徴的なものであるといえる。

本研究は、建設省土木研究所、土木研究センター、民間19社による共同研究「高減衰材料を用いた長大橋の免震技術の開発」の一環として行われたものである。関係各位に謝意を表する。

参考文献 1) 沖見ほか:「履歴ダンパーによるP C斜張橋の耐震性の向上」, 土木学会第47回年次学術講演会。