

I-676

免震橋に用いる落橋防止装置の特性について（その2）

橋間組技術研究所 正員 松原 勝己 橋間組技術研究所 正員 浦野 和彦
 橋大林組技術研究所 正員 菊地 敏男

まえがき

耐震設計において、現在定量的・決定論的に設定されているレベル2（地震時保有水平耐力法）の範囲を越えるレベル3地震動に対しては、上下部構造間の相対変位を抑制し、落橋を防止する構造が必要となる。特に免震橋では、上下構造間を連結する部分を柔軟にすることによって、上部構造の地震力を低減するため大変形を生じるので、レベル3地震動に対しては、落橋防止構造により橋梁の安全性を確保することが望ましい。しかし、落橋防止のため過度に変位を抑制すると多大な反力が発生してしまい、地震力の低減効果が損なわれると同時に橋脚等に損傷を与える事が懸念される。

本報告では、免震橋に設けられる落橋防止装置の特性と地震時挙動（変位及び反力）の関係を、簡易な等価線形法を用いた応答スペクトル法により試算、検討する。

1. 等価線形化

免震装置と落橋防止装置の履歴特性と等価線形化の方法を表1に示す。ここでは、代表的なものとして、免震装置は弾塑性型、粘弾性型の2種類、落橋防止装置は粘弾性型、摩擦型、変位硬化型弾性の3種類について示す。また、免震装置と落橋防止装置を組み合わせた場合の履歴特性及び等価線形化を図1に示す。表1に示すように、最大変位点と原点を結ぶ直線の勾配として等価剛性 k_e を定義し、半サイクル間の履歴に伴うエネルギー損失 ΔW をもとに、次式で等価減衰定数 h_e を定義した。

$$h_e = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta W}{W}$$

$$W = \frac{1}{2} k_e \cdot X_{max}^2 \quad (X_{max}: \text{最大変位})$$

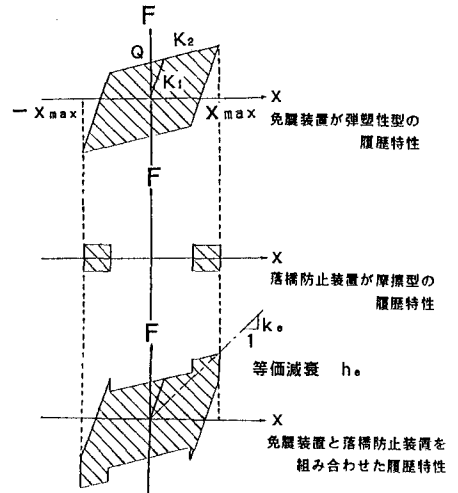


表1 免震装置と落橋防止装置の履歴特性と等価線形化

図1 履歴特性の等価線形化の方法

	免震装置		落橋防止装置		
	弾塑性型	粘弾性型	粘弾性型	摩擦型	変位硬化型弾性
履歴特性					
等価剛性 k_e の定義式					
等価減衰定数 h_e の定義式					
表示式	$k_{eB} = \frac{k_1}{2} \frac{(1-r+\mu r)}{(1-r)(\mu-1)}$ $h_{eB} = \frac{2}{\pi} \frac{(1-r)(\mu-1)}{\mu(1-r+\mu r)}$ ここに、 $r = \frac{k_1}{k_2}$ $\mu = \frac{X_{max}}{X_v}$	$k_{eB} = k_s$ $h_{eB} = \frac{c_s \omega_0}{2 k_s}$	$k_{eA} = \frac{k_s}{\pi}$ $h_{eA} = \frac{c_s \omega_0}{2 k_s \pi}$ ここに、 $\eta = \frac{X_{max}}{X_{max} - X_0}$	$k_{eA} = \frac{F_0}{X_{max}}$ $h_{eA} = \frac{2}{\pi \eta}$ ここに、 $\eta = \frac{X_{max}}{X_{max} - X_0}$	$F = a(X - X_0)^n$ $k_{eA} = \frac{a n (X_{max} - X_0)^{n-1}}{X_{max}}$ $h_{eA} = 0.0$

2. 数値解析

今回の計算に用いたパラメータの入力値を表2に示す。また、落橋防止装置は、レベル2の地震動による変位が生じた時点から作動するものと考え、上部工と落橋防止装置の遊間 x_0 をレベル2での免震装置の最大変位とした。解析モデル及び外力条件としての地震動スペクトル（レベル2地震動の1.5倍）は、免震橋に用いる落橋防止装置の特性について（その1）と同様とする。

以下に、免震装置が粘弾性型、落橋防止装置が粘弾性型、摩擦型、変位硬化型弾性の3種類の場合について、表1に示す等価線形化により、応答スペクトル法に基づく繰り返し計算を行った結果を図2～4に示す。ここで、レベル3における免震装置と落橋防止装置を組み合わせた全体構造の固有周期をレベル3における全体の固有周期 T_{L3} とする。また、変位図に破線で示しているのは、レベル3での免震装置のみでの変位である。

表2 計算に用いたパラメータの入力値

免震装置	落橋防止装置		
	粘弾性型	摩擦型	変位硬化型弾性
$T_s=2.0\text{sec}$ ($T_s=2.0\text{sec}$) $H_s=0.15$	$T_{L2}=1.30\sim 2.00\text{sec}$ $H_s=0.15$	$T_{L2}=1.35\sim 2.00\text{sec}$ ($\mu=0.0\sim 0.6$)	$T_{L2}=1.30\sim 2.00\text{sec}$

T_s : レベル1における免震装置の固有周期
 T_{L2} : レベル2における免震装置の固有周期
 T_{L3} : レベル3における全体の固有周期
 H_s : 免震装置の減衰定数
 H_d : 落橋防止装置の減衰定数
 μ : 落橋防止装置の摩擦係数
 W : 上部構造重量

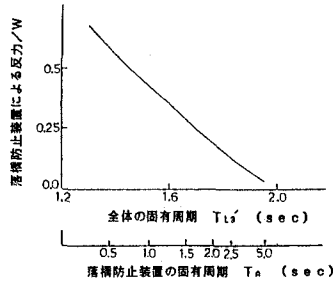
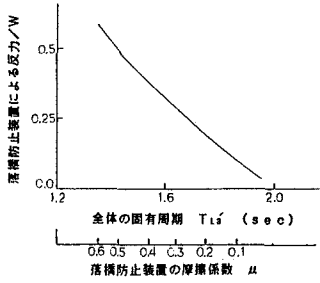
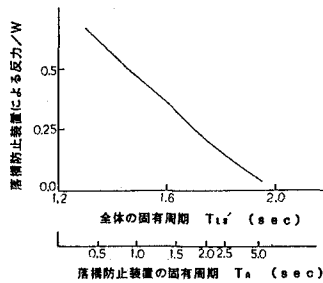
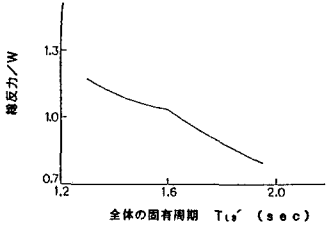
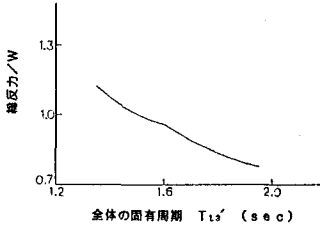
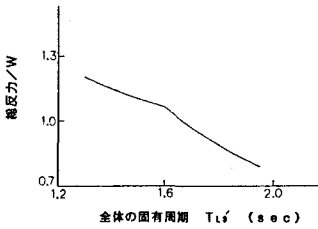
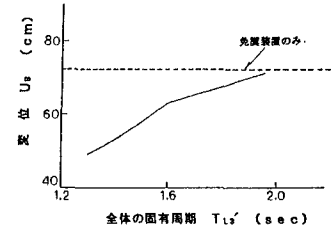
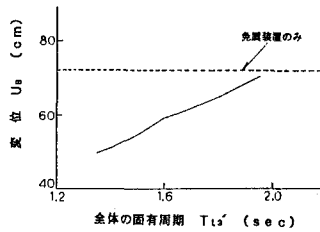
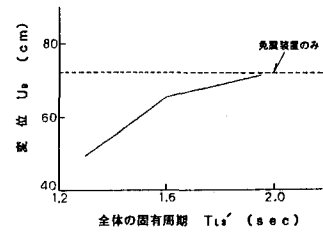


図2 計算結果（免震装置が粘弾性型、落橋防止装置が粘弾性型の場合）

図3 計算結果（免震装置が粘弾性型、落橋防止装置が摩擦型の場合）

図4 計算結果（免震装置が粘弾性型、落橋防止装置が変位硬化型弾性の場合）

まとめ

解析結果より、落橋防止装置が作動をし始めてから上部構造が停止するまでに、10～20 cm程度必要と考えられる。また、落橋防止装置の等価剛性が強いほど反力増加が著しく、剛性の上限としては免震装置の2～3倍程度と考えられる。この結果は、時刻歴解析による解析結果とほぼ一致している。

なお、本報告は建設省土木研究所と民間28社との官民連帯共同研究「道路橋の免震構造システムの開発」の一環として行われたものである。

参考文献；1）太田勤、立石信也、小島修、田子茂：ストッパー付き免震建物の振動性状に関する研究、

建築学会学術講演梗概集、1990