

○正員 建設省土木研究所 川島一彦  
正員 建設省関東地方建設局 長島博之

## 1 まえがき

建設省土木研究所と民間26グループ28社は、平成元年度から平成3年度まで「道路橋の免震構造システムの開発に関する共同研究」を行った。これは、特殊な長大橋ではなく一般橋クラスの橋を対象として、長周期化とエネルギー吸収を基本とする免震設計システムを開発することを目的と実施したものである。共同研究では、1)道路橋への適用に優れた免震装置の開発、2)免震橋に適用できる落橋防止装置及び伸縮装置の開発、3)簡便で合理的な免震設計法の開発、4)免震設計の適用性に優れた橋梁タイプの検討の4項目を開発目標とした。毎年の検討内容は共同研究報告書としてまとめられているが、3か年全体の研究成果を「道路橋の免震設計法マニュアル(案)」として取りまとめたので、その概要を報告する。

## 2 マニュアル(案)の性格と構成

このマニュアル(案)は、免震装置を用いることにより、道路橋示方書V耐震設計編の「8章 地震の影響の低減を期待する構造」に規定される「慣性力の低減を期待する構造」を採用する場合の耐震設計法及び構造細目を示すものである。ただし、本マニュアル(案)は、共同研究の成果をマニュアルふうにとまとめたもので、行政上の示方書や指針ではなく、単なる研究成果である。

マニュアル(案)の構成は、表-1に示す通りである。

## 3 長周期化と設計地震力

道路橋に免震設計を適用する際に、一番問題となるのはどの程度まで長周期化するかという点である。長周期化すると桁に生じる慣性力は低下するが、桁の変位は増大する。このため、桁と桁、あるいは、桁と橋台間の遊間を大きく取らないと、桁と桁あるいは桁と橋台が衝突することになる。しかし、遊間を大きくすると伸縮継手も大きくしなければならない。こうすると、ここで車両の走行による大きな騒音や振動が生じるだけでなく、維持管理上の問題も大きい。このため、道路橋では桁端の処理の問題からあまり長周期化することは好ましくない。したがって、道路橋の免震設計の基本的な考え方としては、長周期化ではなく、減衰性能の向上と分散沓としての地震力の分散に重点をおかなければならない。すなわち、

1)免震支承の剛性を変えることにより、下部構造ごとに望み通りの地震力の分散を図りつつ、免震支承の導入により減衰性能を向上させて地震力の低減も図る。

2)無理に長周期化するのではなく、地震力の配分とのバランスをとりつつ、地盤との共振を避けるように固有周期を調節する。

なお、免震設計では、免震装置の設計は道路橋示方書に規定される震度法と地震時保有水平耐力法の2つにより行う。また、橋の設計は震度法によるほか、RC橋脚の地震時保有水平耐力を照査する。

震度法に用いる設計水平震度 $k_h$ は、式(1)により求める。

$$k_h = c_z \cdot z_g \cdot c_1 \cdot c_T \cdot c_E \cdot k_{h0} \geq 0.1 \quad (1)$$

ただし、

$$c_T \cdot c_E \geq 0.8$$

ここで、 $c_z$ :地域別補正係数、 $z_g$ :地盤条件別補正係数、 $c_1$ :重要度別補正係数、 $c_T$ :固有周期別補正係数、 $k_{h0}$ :標準設計水平震度(=0.2)で、これらはいずれも道路橋示方書に規定される通りである。 $c_E$ は、免震装置のエネルギー吸収特性に基づく補正係数で、橋の1次のモード減衰定数 $h$ に応じて表-2の値を用いる。

地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度 $k_{hc}$ 及び等価水平震度 $k_{he}$ は、式(2)、(3)により求める。

$$k_{hc} = c_z \cdot c_1 \cdot c_R \cdot c_E \cdot k_{hc0} \geq 0.3 \quad (2)$$

$$k_{he} = k_{hc} / \sqrt{2\mu - 1} \quad (3)$$

ここで、 $c_2$ ：地域別補正係数、 $c_1$ ：重要度別補正係数、 $c_R$ ：振動特性格別補正係数、 $k_{h=0}$ ：地震時保有水平耐力法に用いる標準設計水平震度（=1.0）、 $\mu$ ：RC橋脚の許容じん性率で、これらはいずれも道路橋示方書に規定される通りである。 $c_E$ は、免震装置のエネルギー吸収特性に基づく補正係数で、橋の1次のモード減衰定数 $h$ に応じて表-3の値を用いる。

4 免震装置の設計

免震装置は、次式による免震装置の設計変位 $u_B$ に対応する等価剛性 $K_E$ 及び等価減衰定数 $h_E$ が震度法及び地震時保有水平耐力法の設計で必要とされる値を持つように設計する。

$$u_B = \begin{cases} k_h \cdot W_u / K_B & \text{(震度法)} \\ k_{hc} \cdot W_u / K_B & \text{(地震時保有水平耐力法)} \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $W_u$ ：免震装置が水平力を分担する上部構造の重量、 $K_B$ ：免震装置の等価剛性である。免震装置の等価剛性 $K_E$ 及び等価減衰定数 $h_E$ は、免震装置に生じる最大変位の $c_E$ 倍（ $c_E=0.7$ ）の変位に相当する割線剛及び履歴減衰定数として求める。

橋本体は、免震装置をこれと同じ等価剛性を有する等価線形ばねによってモデル化し、この部材の減衰定数を等価減衰定数 $h_B$ として、静的フレーム法もしくは動的解析により設計する。

5 まとめ

一般橋クラスの道路橋では、諸外国のように長周期化による設計地震力の低減はI種地盤等ごく特別な場合をのぞいてできないことから、減衰性能と慣性力の分散を中心とした日本向けの免震設計法を提案した。これはBaseをIsolateする免震設計ではなく、減衰性能の向上により橋の振動低減を目指した設計法である。海外で使われているBase Isolationという言葉で表される概念の免震とは明らかに異なるものであることから、別の名称にすることも考えたが、日本語の免震の意味を道路橋示方書に規定される「地震力の低減」ととらえ、免震と呼ぶこととしたものである。ただし、この設計法を英語で表現する際にはBase Isolationは適当ではなく、Menshin Designと呼んでこれと区別することを提案する。以上のようにした上で、従来の道路橋示方書に規定される地震力を減衰性能の度合に応じて最大10%（地震時保有水平耐力法では30%）低減した値を用いることを提案としてまとめた。諸賢の御批判を仰ぐ次第である。

表-1 道路橋の免震設計法マニュアル（案）

- 1 総則
- 2 免震設計の基本方針
- 3 免震設計
- 4 免震装置の設計
- 5 動的解析による免震橋の照査
- 6 免震装置を用いた場合の構造細目
- 7 免震装置の性能確認試験
- 8 免震装置を用いた耐震補強
- 9 免震設計を用いた単純桁の連続化

表-2 震度法に用いる補正係数 $c_E$

橋の減衰定数 $h$	免震装置のエネルギー吸収特性に基づく補正係数 $c_E$
$h < 0.1$	1.0
$h \geq 0.1$	0.9

表-3 地震時保有水平耐力法に用いる補正係数 $c_E$

橋の減衰定数 $h$	免震装置のエネルギー吸収特性に基づく補正係数 $c_E$
$h < 0.1$	1.0
$0.1 \leq h < 0.12$	0.9
$0.12 \leq h < 0.15$	0.8
$0.15 \geq h$	0.7

参考資料

- 1) 建設省土木研究所及び民間28社：道路橋の免震構造システムの開発に関する共同研究報告書、（その1）（その2）、（その3）、平成2年7月、平成3年7月、平成4年3月
- 2) 建設省土木研究所及び民間28社：道路橋の免震設計法マニュアル（案）、土木研究所共同研究報告書、平成4年3月