

## (212) 超多径間連続免震橋の最適固有周期に関する考察

(株) 大林組技術研究所 正員 後藤 洋三  
同 上 正員 菊地 敏男  
(株) 大林組土木技術本部 正員 伊奈 義直

### 1. まえがき

超多径間連続免震橋とは、都市内高架道路橋のような一般的な多径間橋において、免震支承を採用し、桁を1km程度まで連続させて路面のノージョイント化を図った橋梁のことである。この形式の橋梁では、免震設計の適用により、長周期化ならびに多橋脚への反力分散化が行われ地震力が低減される。また、常時の温度変化等による桁の伸縮を免震支承の変形によって吸収できるため、連続桁長を長くすることができ、ジョイントを少なくして路面の走行性が良く保守も容易な橋梁が設計できる。このように地震時と常時の両面でメリットを引き出すバランスの良い免震設計を実現するためには、免震支承の変形係数ならびにそれより決定される1次固有周期の設定が重要となる。そのため、桁の変形量と橋脚に作用する水平力をそれぞれ地震時と常時でバランスさせる規範を設け、それによって定まる固有周期の設定範囲を検討した。また、桁断面の温度応力によって定まる設定範囲についても検討した。

### 2. モデル橋梁

線形が直線でPC桁の多径間連続橋を考える。検討を単純化するため、橋脚の剛性は免震支承より充分に大きく、桁の水平変位は免震支承のせん断変形で総て生じると仮定した。また、桁断面、スパン割り、免震支承の剛性等は全長にわたり一様とした。

### 3. 桁の水平変位量から定まる固有周期の設定条件

連続桁長が長い橋梁では常時の温度変化等による桁の伸縮が大きくなるので、桁端の遊間や伸縮ジョイントが大きくなるのは避けられない。一方、免震設計が適用されて長周期化されると桁の水平変位が大きくなるが、その変位が温度変化等による桁の伸縮量以下であれば地震対策として特別な伸縮ジョイントを設ける必要がなく好都合である。そこで、通常的设计地震力(震度法レベルの地震力)が作用する時の桁の水平変位 $u_d$ (m)と桁端の温度伸縮量 $u_t$ (m)の間に次の規範を設ける。

$$u_d \leq u_t \quad \text{----- (1)}$$

連続桁長を $L$ (m)、コンクリートの線膨張係数を $1.0 \times 10^{-5}$ 、温度の変動幅を $\pm 20^\circ\text{C}$ とし、免震支承から作用する水平反力の影響による伸縮を無視すると、 $u_t$ を概略次式で表すことができる。

$$u_t \cong L \times 10^{-4} \quad \text{----- (2)}$$

一方、 $u_d$ は震度法を適用し、かつ橋脚の変位を無視すると次式から求められる。

$$u_d = \frac{W_u k_h}{K_D} \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 $W_u$  : 上部構造物の1橋脚当たりの死荷重(ton)       $k_h$  : 設計水平震度  
 $K_D$  : 地震時の免震支承の1橋脚当たりの等価バネ定数(tf/m)

さらに、橋梁の1次固有周期 $T$ (sec)は、桁を1質点と仮定し橋脚の質量と剛性を無視することにより、次式で表すことができる。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_u}{K_D g}} \cong 2 \sqrt{\frac{W_u}{K_D}} \quad \text{----- (4)}$$

(1)、(2)、(4)式を(1)式に代入して整理すると次式を得る。

$$T \leq \frac{1}{50} \sqrt{\frac{L}{k_n}} \quad \text{----- (5)}$$

#### 4. 橋脚に作用する水平力により定まる固有周期の設定条件

次に、温度変化などによって橋脚に作用する常時の水平力  $H_t$  (tf) が地震時に作用する水平力  $H_a$  (tf) より大きくなるのは橋脚の安定上好ましくないので、 $H_t$  (tf) と  $H_a$  (tf) の間に次の規範を設ける。

$$\alpha H_t \leq H_a \quad \text{----- (6)}$$

ここに、 $\alpha$ ：常時の許容応力に対する地震時の許容応力の倍率で通常は1.5倍である。

橋脚の変位と橋脚自体の慣性力を無視すると、桁端部における  $H_t$  と  $H_a$  は次式で求められる。

$$H_t = \beta K_D u_t \quad \text{----- (7)}$$

$$H_a = W_u k_n \quad \text{----- (8)}$$

ここに、 $\beta$ ：免震支承の静的なバネ定数と動的なバネ定数の比である。図-1と図-2に示す代表的な免震支承の応力～歪関係から、 $\beta = 0.6 \sim 0.7$  であることがわかる。(4)、(7)、(8)式を(6)式に代入して整理すると次式を得る。

$$T \geq \frac{1}{50} \sqrt{\frac{\alpha \beta L}{k_n}} \quad \text{----- (9)}$$

#### 5. 桁断面の温度応力により定まる設定条件

多径間連続橋では桁断面に不静定の温度応力度  $\sigma$  (tf/m<sup>2</sup>) が発生する。この温度応力は免震支承の変形係数と関係するので、桁の断面設計に不都合が生じないようにするためには、 $T$ を適切に設定し支承の変形係数が大きくなるようにする必要がある。

温度応力度  $\sigma$  は連続桁の中央で最も大きくなるが、桁の延長方向に断続的に作用する支承反力を連続的な分布反力置き換えると、 $\sigma$  は次式で求めることができる。

$$\sigma = \frac{\int_0^{1/2L} \beta K_D U_t(x) dx}{A} = \frac{\frac{1}{4} \beta K_D u_t}{\frac{W_u}{\gamma_c L}} \quad \text{----- (10)}$$

ここに、 $U_t(x)$ ：桁軸方向  $x$  における温度伸縮量

$\gamma_c$ ：鉄筋コンクリートの単位体積重量 (ton/m<sup>3</sup>)

PC桁の温度変化に対する許容引張応力を  $\sigma_{t,a}$  (tf/m<sup>2</sup>) とし、 $\gamma_c = 2.4 \text{ ton/m}^3$ 、 $\beta = 0.6$  とし  $\sigma \leq \sigma_{t,a}$  を満足する条件を整理すると次式が得られる。

$$T \geq 1.2 L \sigma_{t,a} \times 10^{-5} \quad \text{----- (11)}$$

$\sigma_{t,a}$  は桁断面に導入するプレストレス力に関係し、 $\sigma_{t,a}$  を大きく取ると不経済な設計になる。ここでは  $\sigma_{t,a} = 100 \text{ tf/m}^2$  とし整理すると、(11)式は次のように書き直される。

$$T \geq 1.2 L \times 10^{-3} \quad \text{----- (12)}$$

#### 6. 最適固有周期の設定条件

固有周期  $T$  を求める式として(5)式、(9)式ならびに(12)式が得られたが、(9)式の  $\alpha \cdot \beta$  はおよそ0.9以上の値となるので、(5)式と(9)式を同時に満足させる  $T$  の値が存在することになる。 $k_n$  は免震設計の結果定まる設計水平震度で、建設省土木研究所と民間28社がとりまとめた「道路橋の免震設計法マニュアル

(案) 」によることにすると、次式によって求めることができる。

$$k_h = c_z \cdot c_g \cdot c_i \cdot c_T \cdot c_E \cdot k_{h0} \quad \text{----- (13)}$$

ここに、  $k_{h0}$  : 震度法の標準設計水平震度(0.2) とする

$c_z$  : 地域別補正係数

$c_g$  : 地盤別補正係数

$c_i$  : 重要度別補正係数

$c_T$  : 固有周期別補正係数

$c_E$  : 減衰定数  $h$  に基づく補正係数で、表-1 の値を取る。

表-1 橋の減衰定数  $h$  に基づく補正係数  $c_E$

橋の減衰定数 $h$	橋の減衰定数 $h$ に基づく補正係数 $c_E$
$h < 0.1$	1.0
$h \geq 0.1$	0.9

図-3 に  $c_g \cdot c_T \cdot k_{h0}$  を示す。  $c_z = c_i = 1.0$ 、  $c_E = 0.9$  として(5) 式と(9) 式から  $T$  と  $L$  の関係を求め、さらに(12) 式の条件を含めて図-4 に示した。同図の黒塗部が3つの条件を満足する固有周期の設定域であることを示す。黒塗部を外れても設計は可能であるが、例えば、連続桁長が1 km を越えるようなPC 桁の超多径間連続免震橋をII 種地盤やIII 種地盤に架設しようとする場合には、桁に生じる温度応力が重要な設計要因となることがわかる。

## 7. むすび

図-4 に示した最適固有周期の設定範囲は震度法レベルの設計地震力に基づいている。この設計地震力よりも大きい地震力が作用する場合には、  $u_d > u_e$  となり、  $u_e$  に合わせて設計された伸縮装置は破損し、桁は橋台又は桁同士で衝突することになる。しかし、そのような地震は橋の耐用年数の間に希にしか発生しない。桁の衝突が落橋等の重大な損傷につながらないように構造的処置が可能であれば、  $u_d \leq u_e$  となるように固有周期を設定し、桁端部の遊間や伸縮装置が過大とならないように設計するのが合理的といえる。

以上の検討では橋脚の変形や自重の影響は無視しているが、免震設計された橋梁では免震支承に変形が集中するので、無視したことによる誤差は小さい。一方、PC 桁の橋梁の場合はクリープ乾燥収縮があるので、施工条件によってはクリープ乾燥収縮の影響も含めて固有周期の設定条件を検討する必要がある。

なお、本研究は建設省土木研究所と民間28社が実施した共同研究「道路橋の免震構造システムの開発」の成果を礎に検討を進めたものである。

## 参考文献

1) 建設省土木研究所と民間28社：

「道路橋の免震設計法マニュアル(案)」建設省土木研究所共同研究報告書 No.75、平成4年10月

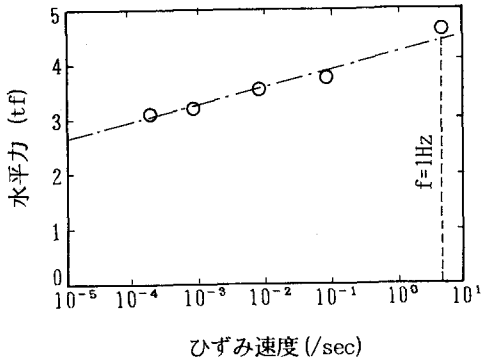


図-1 鉛プラグ入り積層ゴムの  
 載荷速度と剛性の関係

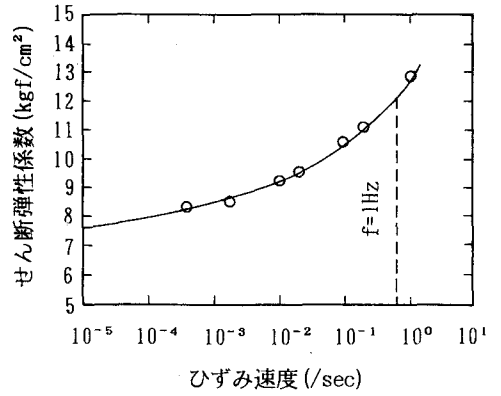


図-2 高減衰積層ゴムの  
 載荷速度と剛性の関係

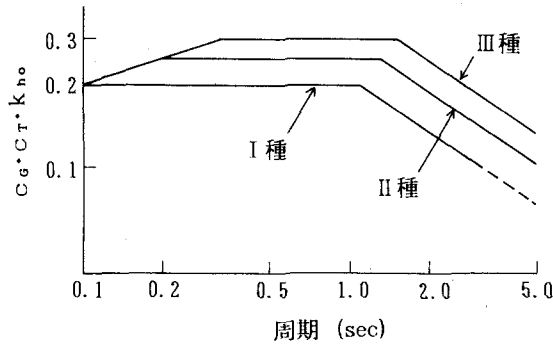


図-3  $C_g \cdot C_r \cdot k_{no}$

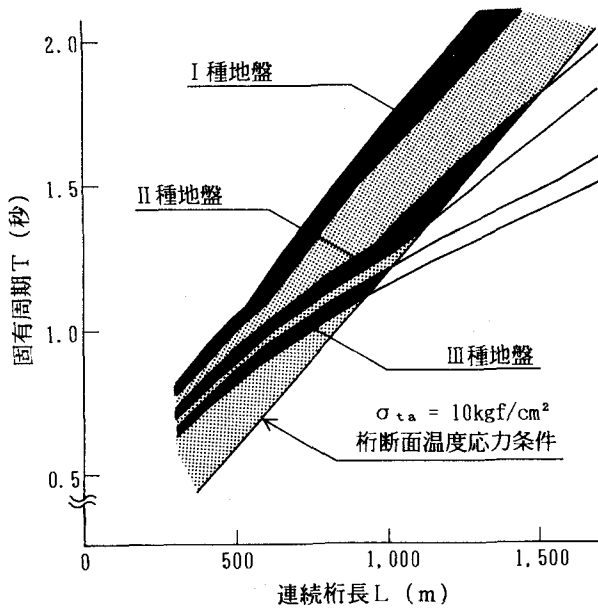


図-4 連続桁長と最適1次固有周期の関係