

首都高速道路公団 正員 桜井 順
正員 吉川 博

1. まえがき

従来の耐震設計では、下部構造に作用する上部構造の慣性力は、原則として水平2方向に別々に作用させるものとし、水平2方向は一般に橋軸方向および橋軸直角方向とされている。しかしながら、曲線橋においては、橋軸方向および橋軸直角方向が構造物に対して最も不利な地震入力方向とは一致せず、動的解析においては、入力方向の設定やそれに伴う最大応答値の評価について確立された手法が無かったため、設計者により種々の方法が用いられて来たものと思われる。

後に示す方法は、直交する任意の2方向入力による別々の応答から、着目する応答量毎に最大応答値が発生する入力方向(最も不利な作用方向)を決定することを可能としており、本論はこの手法を用いて、首都高速道路葛飾江戸川線S字形曲線斜張橋(図-1)をモデルに動的解析を実施し、同橋の地震入力方向による応答性状および直交2成分入力による応答性状について検討を行ったものである。

2. 解析方法

入力方向が、構造座標系XYに対して角度 θ を持つ場合、各モード毎の応答はX方向入力とY方向入力による応答の和で示される。

$$\hat{u}_k = \cos \theta \cdot \hat{u}_{kx} + \sin \theta \cdot \hat{u}_{ky} \quad (1)$$

ただし、 $\hat{u}_k$: k次モードの最大応答値、 $\hat{u}_{kx}$: X方向入力によるk次モードの最大応答値
ところで、CQC法による最大応答値 $\hat{O}$ は次式で示される。

$$\hat{O} = \left\{ \sum_k \sum_l \rho_{kl} \cdot \hat{u}_k \cdot \hat{u}_l \right\}^{1/2} \quad (2)$$

ここで、 ρ_{kl} はモード相関係数である。(1)式を(2)式に代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} \hat{O} &= \left\{ \sum_k \sum_l \rho_{kl} (\cos \theta \cdot \hat{u}_{kx} + \sin \theta \cdot \hat{u}_{ky}) (\cos \theta \cdot \hat{u}_{lx} + \sin \theta \cdot \hat{u}_{ly}) \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ \cos^2 \theta \cdot \hat{O}_{xx}^2 + 2 \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \hat{O}_{xy}^2 + \sin^2 \theta \cdot \hat{O}_{yy}^2 \right\}^{1/2} \quad (3) \end{aligned}$$

ただし、 $\hat{O}_{xy} = \left\{ \sum_k \sum_l \rho_{kl} \cdot \hat{u}_{kx} \cdot \hat{u}_{ly} \right\}^{1/2} \quad (4)$

$\hat{O}$ が最大となる入力角 θ は、(3)式を θ について微分して0と等しいと置くことにより得られる。

$$\therefore \theta_{cr} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ 2 \hat{O}_{xy}^2 / (\hat{O}_{xx}^2 - \hat{O}_{yy}^2) \right\} \quad (5)$$

(5)式を(3)式に代入して最大応答値を得る。

次に、前記の入力地震動に加えて直交成分の入力がある場合の最大応答は以下のように示される。直交成分の応答スペクトルとは全周期にわたって一定の比率 γ を持つものとし、また、直交2成分相互の相関はないものとする。各モード毎の直交成分による応答 $\hat{u}'_k$ は次のように示される。

$$\hat{u}'_k = \{-\sin \theta \cdot \hat{u}_{kx} + \cos \theta \cdot \hat{u}_{ky}\} \cdot \gamma \quad (6)$$

(6)式を(2)式に代入することにより、直交成分による最大応答値 $\hat{O}'$ を得る。

$$\hat{O}' = \left\{ \sin^2 \theta \cdot \hat{O}_{xx}^2 - 2 \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \hat{O}_{xy}^2 + \cos^2 \theta \cdot \hat{O}_{yy}^2 \right\}^{1/2} \cdot \gamma \quad (7)$$

よって、直交2成分による応答の和は次式で示される。

$$U = \{\hat{O}^2 + \hat{O}'^2\}^{1/2} \quad (8)$$

解析対象は、平面線形にクロソイド曲線を持ち高さの異なる2本の主塔を有する4径間連続曲線斜張橋であり、多質点立体フレームとしてモデル化している。また、入力地震動は「道路橋示方書277成分応答スペクトル(2種地盤)」を用いた。

3. 解析結果

図-2, 3に主桁面内曲げモーメント、主桁面外曲げモーメントが最大応答を生ずる入力方向と、親塔位置での橋軸あるいは橋軸直角方向入力に対する最大応答値の比率を示す。主桁の軸力、せん断力、曲げモーメントなどの各断面力力が最大応答を生ずる入力方向は、主桁各位置における断面力方向とほぼ一致しており、主桁曲線の接線あるいは法線方向となる。また、親塔位置での橋軸あるいは橋軸直角方向を入力方向とした場合の最大応答値に比べて、曲げモーメントでは最大14%増となる点が生ずる。

一方、親塔に関しては最大応答を生ずる入力方向は一樣ではなく、特に、親塔主塔の面内曲げモーメントでは断面力方向(橋軸方向)とかなりの差(ほぼ40度)があり、親塔に関する橋軸方向に入力した場合と比べて30%増の応答となる。親塔橋脚の面外曲げモーメントに関しても同様であり、このように大きな差を生ずるのは、親塔では、

主塔の主軸方向、ケーブルの張力方向、橋脚の主軸方向がそれぞれ異なっており、力の流れが複雑なことが原因と考えられる（図-4）。

図-5、6に、主桁面内曲げモーメント、主桁面外曲げモーメントについて、最大応答を生ずる入力方向だけでなく、その直交方向にも地震動を作用させた2方向入力の場合の一方入力に対する最大応答値の比率を、直交成分の比率 $\gamma=0.25$ 、 $\gamma=0.5$ の場合について示した。 $\gamma=0.5$ においても最大応答値の増加は10%以下であり、その影響は大きくない。しかしながら、直交成分比率の増加による最大応答値の増加は急激であり、今後は地震観測により直交成分比率を把握すると共に、詳細な検討が必要である。

4. あとがき

S字形曲線斜張橋は、昭和62年1月にほぼ完成し、現在地震計の設置工事が進行中である。本橋のように特異な構造系を有する曲線橋の地震応答性状は非常に複雑であり、地震観測結果と合わせて、今後とも検討を続けて行きたいと考えている。

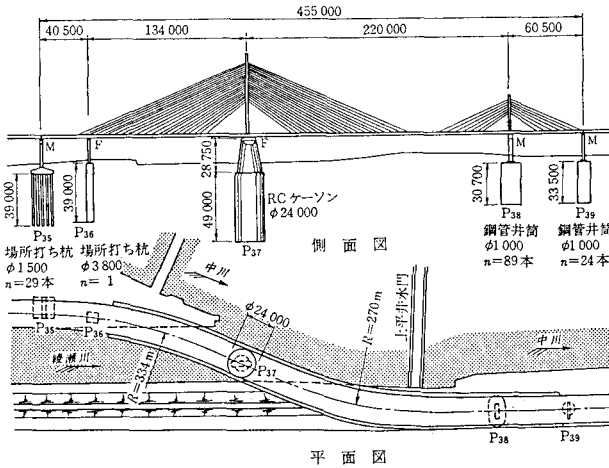


図-1 S字形曲線斜張橋の側平面図

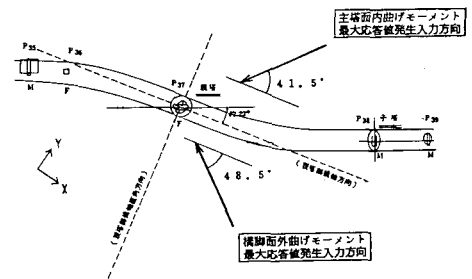


図-4 親塔部の最大応答値発生入力方向

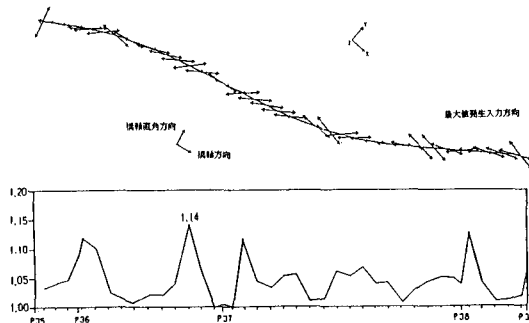


図-2 主桁面内曲げモーメント最大応答値の比率
（最大値発生方向入力／橋軸方向入力）

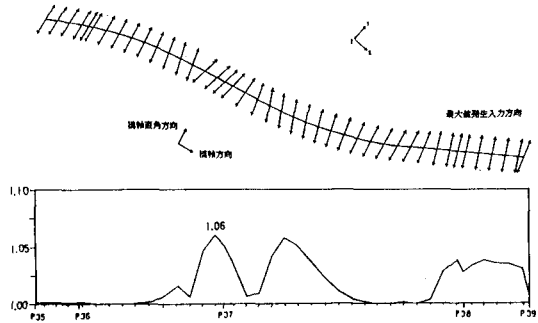


図-3 主桁面外曲げモーメント最大応答値の比率
（最大値発生方向入力／橋軸直角方向入力）

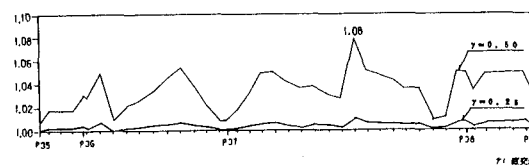


図-5 主桁面内曲げモーメント最大応答値の比率
（直交2方向入力／1方向入力）

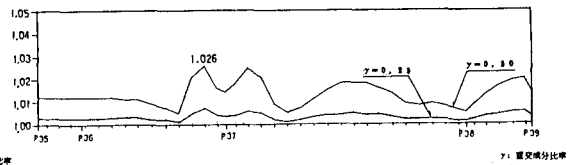


図-6 主桁面内曲げモーメント最大応答値の比率
（直交2方向入力／1方向入力）