

鹿児島大学工学部 正員 ○河野 健二
鹿児島大学工学部 正員 吉原 進
鹿児島大学工学部 大塚 玲都

1. まえがき

中央径間が数百メートルとなるような斜張橋の地震応答解析では、各支点での入力位相差が応答に及ぼす影響を明確にしておく必要があると考えられる。構造物の各支点での入力地震動の特性が十分に解明されていないため地震応答解析においては応答スペクトルが多く利用されている。本研究ではこのような構造物の地震応答解析に応答スペクトルを利用するとき、各支点での入力位相差の導入法について考察し、斜張橋の応答特性に及ぼす影響について検討を加えた。

2. 入力位相差が地震応答解析に及ぼす影響

斜張橋は主桁、主塔およびケーブルにより構成されるためその振動特性は複雑であり、解析においては正確なモデル化が必要になる。本研究では Fig.1 に示すような斜張橋の振動モデルを用いて橋軸直方向の振動に注目し、マトリックス法により解析を行なう。質量マトリックスは集中質量として扱い、各支点は地盤に固定されているものとする。各支点に入力される地震動の構造物各点での大きさは影響マトリックスを用いて評価される。Fig.1 に示される斜張橋は中央径間が350mで全長が600mをこえるため各支点での入力地震動は必ずしも同じものとは考えられない。そこで斜張橋が進行性の地震波を橋軸直方向に受ける場合を想定し各支点にある位相差をもって作用するものとする。このような場合、応答スペクトルを用いて解析を行なうと、入力位相差の扱いが問題となる。応答スペクトルによる地震応答解析に入力位相差の影響を導入するため、入力地震動のパワー・スペクトル密度が

$$S(\omega) = S_0 \exp(-\alpha d + i\omega\beta) \quad (1)$$

と表わされる場合を考える。ここに S_0 は入力の強度であり、 α は支点間の地震波の伝播にともなう減衰定数の大きさを、 β は支点間の入力位相差をそれぞれ表わしている。 j 次の振動モードに対する最大応答を2乗平均の形で表わすと

$$g_j = S_V(\omega_j, \omega_j) \cdot \omega_j \quad (2)$$

$$\omega_j = \left[\sum_{i=1}^N \{ \exp(-\beta_i \omega_j \omega_j') (\cos \gamma + \beta_j' \sin \gamma) \}^2 \right]^{1/2}$$

$$\gamma = \beta_2 \omega_j \sqrt{1 - \beta_j'^2}, \quad \beta_j' = \beta_j / \sqrt{1 - \beta_j'^2}$$

となる。ただし S_V は減衰定数 β_j 、固有振動数 ω_j に関する速度応答スペクトルであり、 N は支点数を表わしており、 α の影響は無視している。これより運動方程式を求め固有値解析を行なうと、各次振動モードごとの応答

を用いて入力位相差を考慮した場合の地震応答解析を行なうことが出来る。本解析では各次モードの減衰定数として2%を用いている。入力位相差が応答に及ぼす影響は式(2)に示したように各次振動モードごとの刺激係数を用いて表わされる。Fig.2 は刺激係数の値が入力位相差によって変化する様子を示したものである。1次の刺激係数が最も大きく、位相速度が大きくなり入力位相差が小さくなるに従って応答に及ぼす影響が大きくなることがわかる。1次振動は主桁と主塔の連成振動であり、応答に及ぼす影響が最も大きいと考えられる。次に5次の刺激係数の影響が大きい。特に入力位相差が大きいと応答に及ぼす影響が増加することがわかる。5次振動は主桁と主塔の

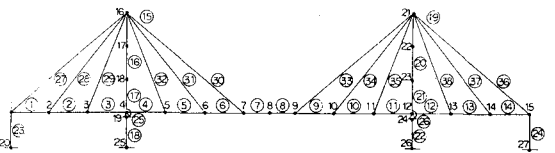


Fig.1 解析モデル

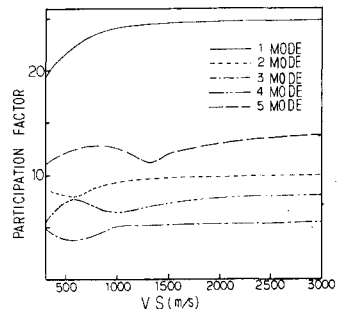


Fig.2 入力位相差が刺激係数に及ぼす影響

連成振動であり、主塔の振動であるが、2次、3次の振動よりも入力位相差が応答に及ぼす影響は大きいことがわかる。

Fig. 3 は入力位相差を考慮した場合の主桁部の変位応答を示したものである。細線は EL-CENTRO 1940 EW から求めた応答スペクトルを用いて得られた変位応答であり、太線は同地震波に対する応答を β 法を用いて直接求めており、入力地震波の最大値は 200 gal である。主桁中央部の応答は 1 次振動が卓越しており、入力波の位相速度が 500 m/s から 1500 m/s にかけて入力位相差の影響が表れている。また応答スペクトルを用いる場合、式(2)に示したような形で入力位相差の影響は近似されることがわかる。一方側径間の応答は 2 次以上の振動が大きく影響しており、入力位相差によって応答の変動がみられる。主桁部の応答に及ぼす入力位相差の影響は応答スペクトルを用いた場合においても近似できると思われる。

Fig. 4 は同様に主塔部の応答に対する入力位相差の影響を示したものである。主塔頂部の変位応答は応答スペクトル法を利用する場合、主に 2 次振動の影響が大きく表れており、位相速度が 500 m/s から 1000 m/s で大きな相違を示している。しかし主塔の頂部以外では入力位相差が変位応答に及ぼす影響は応答スペクトル法を用いて近似されることがわかる。

Fig. 5 は主桁および主塔部の曲げモーメント応答に及ぼす入力位相差の影響を示したものである。細線で示した応答スペクトルを用いて求めた応答は全体的に β 法により直接的に求めた応答より大きな値を示している。主桁中央部の応答は 1 次振動が卓越しており入力位相差が応答に及ぼす影響も 1 次振動の刺激係数と類似した傾向を示している。この場合、応答スペクトルを用いた応答は β 法とよく一致した値を示している。また主桁端部の応答は 2 次振動以上の影響を受けており、入力位相差が応答に及ぼす影響が大きいことがわかる。主塔部の応答は入力位相差によって変動するが、位相速度が 500 m/s から 1000 m/s に相当する入力位相差で同位相入力に比べて大きな応答を示す場合もあることがわかる。

Fig. 6 は入力位相差が主桁の変位応答に及ぼす影響を示したものである。太線は β 法により直接的に求めた応答であり、破線は式(2)に示したように、式(1)の伝播特性を有する場合の 2 重平均応答から応答スペクトルを用いて求めたものである。また点線は応答スペクトルに直接入力位相差を導入して求めた応答である¹⁾。応答スペクトルを用いる場合、入力位相差の影響は類似した傾向を示しているが、入力位相差が大きいとき応答の相違が増加することがわかる。

3. あとがき

斜張橋の地震応答解析に及ぼす入力位相差の影響を応答スペクトルを用いて表した場合、主塔部の変位応答や断面力応答に関してさらに検討を加える必要がある。

1) 吉原・河村；第6回日本地震工学シンポジウム，1992，pp. 1201-1209，

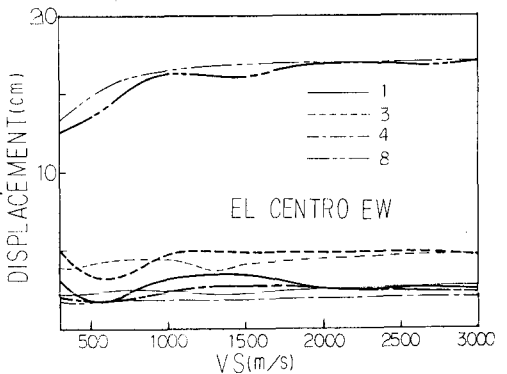


Fig. 3 入力位相差による主桁部の変位応答

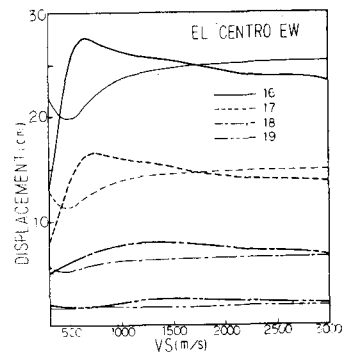


Fig. 4 入力位相差による主塔部の変位応答

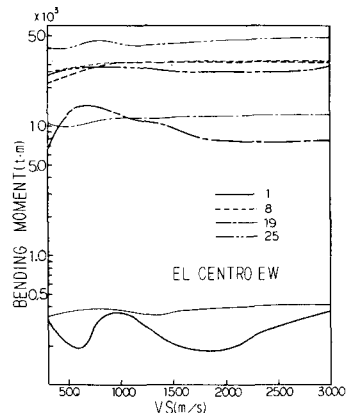


Fig. 5 入力位相差による曲げモーメント応答

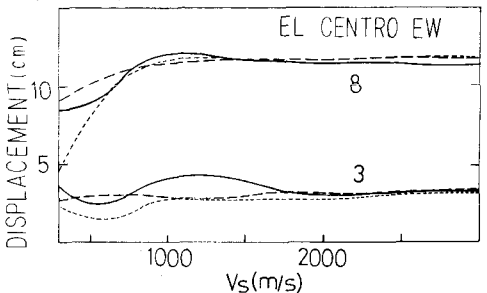


Fig. 6 入力位相差による変位応答