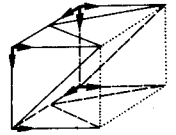


大阪大学工学部 正員 西村宣男
 大阪大学工学部 正員 小松定夫
 大阪大学大学院 学生員 大前明未

1. まえがき 近年、巻大橋をはじめとして相次いで長大トラス橋が架設されている。また本四連絡橋（見島一坂ルート）では本邦に最初の道路鉄道併用ダブルデッキートラスの建設が計画されている。この種のトラス橋の横つなぎ材（上下横構、対横構、橋門構）の設計には地震時の応力・変位が支配的になることが知られている。¹⁾ 本研究はトラス各構成要素の剛性の合理的配置に対する設計指針を見出すことを目的としている。地震時の動的応答解析は基礎地盤系の影響を考慮するべきであるが、今回はトラス自体の動的特性に視点を置いているので、支承から上の上部構のみを対象としている。動的応答解析はモーデルアナリシスによる。固有値、固有モードの計算は一般変形法に自由度低減手法を導入して行なった。また薄肉弾性はり理論に基づいて誘導した振動方程式より、トラスの立体振動特性に関係したパラメーターを見出し、変形法による動的応答計算の結果を整理している。

2. 自由度低減を考慮した変形法による立体振動解析 固有振動数および固有モードの計算に用いている変形法は一般に用いられている任意変形法に(1) Substructuring (主に複雑な骨組の対横構の自由度低減に用いる)、(2) Condensation (Kトラスの交点の変位消去)



(3) Representation (垂直材や横構水平支材の両端の変位を一端の変位で代表し自由度を低減する)などの工夫を導入している。そして図1に示すように1つの対横構面に7つの変位自由度を標準として1パネルについて剛性マトリックスを作成し、全体系にアセンブルする。一方、質量マトリックスは断面4隅の節点の12個の変位ベクトルに対して標準型を作成してあり、解析モデルに応じて剛性マトリックスと同様にRepresentationを用いて自由度を低減する。

3. 薄肉弾性はり理論による無次元パラメーターの探索 トラス橋の振動特性を把握するためにはトラスの立体的構造特性を表す無次元パラメーターおよび固有値の無次元表示法を見出しておくことがよい。そこでトラスを薄肉弾性はりに置換し、微分方程式の解を経めることにより、以下のように無次元パラメーターを見出した。(微分方程式および記号の詳細は文献2)を参照されたい。)

(1) 曲げ振動に関する振動方程式は $EI_y \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \frac{m}{g} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - \left(\frac{\tilde{\gamma}}{g} + \frac{\kappa EI_y}{GA_z} \right) \frac{\partial^2 v}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\tilde{\gamma}_2 \kappa m}{g GA_z} \frac{\partial^2 v}{\partial t^4} = 0$ (Timoshenko beam)
 単純ばりの基本固有振動数を無次元表示すると $\omega \sqrt{\frac{m l^4}{g EI_y}} = \frac{\pi^2}{\sqrt{1 + \xi \pi^2 + \zeta \pi^2}} \dots \textcircled{1}$ 　ここに $\xi = \frac{\kappa EI_y}{GA_z l^2}$, $\zeta = \frac{\tilde{\gamma}_2}{m l^2}$

(2) 断面変形を含むおじり振動方程式は $A \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - b_1 w - b_2 \frac{\partial \varphi}{\partial x} - b_3 \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{m_0}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$, $-b_2 \frac{\partial w}{\partial x} - b_1 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - b_2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = -\frac{m_0}{g} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{m_0}{g} \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2}$, $-b_3 \frac{\partial w}{\partial x} - b_2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - b_2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = -\frac{m_0}{g} \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} - \frac{m_0}{g} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$ 。単純のために低次の固有振動数に対しては影響が少ないおじりに関する慣性項 m_0 を省略すると単純はりに対する基本固有振動数は

$$\omega \sqrt{\frac{m_0 l^2}{g G J}} = \pi \sqrt{\frac{B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}} \textcircled{2} ; \quad \mu l = \sqrt{\frac{G J}{A}} l, \quad r l = \sqrt{\frac{I}{2 G J}} l, \quad \rho = \frac{G J}{b_1}$$

$$\text{ここに } A = \{1 + \beta \left(\frac{\pi}{\mu l} \right)^2\} (1 - \gamma^2), \quad B = 1 + 2 \{1 + \beta \left(\frac{\pi}{\mu l} \right)^2\} \left(\frac{r l}{\mu l} \right)^2 + 2 \left(\frac{\mu l}{r l} \right)^2 \{1 - \gamma \beta\}$$

$$C = \left(\frac{\pi}{\mu l} \right)^2 \{1 + 2 \left(\frac{r l}{\mu l} \right)^2\} + 2 \left(\frac{r l}{\mu l} \right)^2, \quad \gamma = m_0 / m_0$$

(3) 端対横構の変形の影響、式②、③は端対横構の変形を考慮していないので水平たわみとおじり振動とは独立である。実際のトラス橋では、

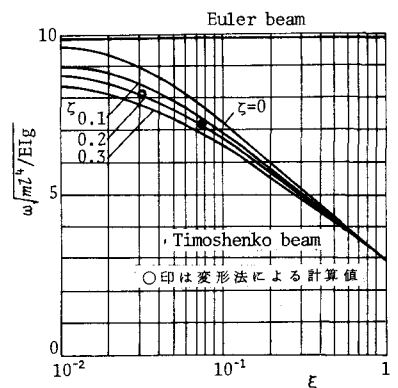


図2 曲げ基本振動数

端封傾構にかなりのせん断変形が生じるので水平にわみ振動とねじれずれ振動は連成する。このような振動に対する端封傾構剛性は、理想化したダブルデツヤトラ入のモデル(図5)に対して梁式を評価するこゝがむさる。

$$S_1 = (rl)^2(\mu l)^2/4, \quad S_2 = c \cdot S_1,$$

$$S_3 = z(1 + \sqrt{1 - \beta}) / (\mu l)^2, \quad c_{\text{max}} = \Gamma_0 / \delta l$$

とすれば

$$\omega \sqrt{\frac{m_p l^2}{gEI_y}} = \sqrt{1 + \frac{4\pi^4 + S_2\pi^2}{S_2 \cdot S_3 + 4\pi^2 S_3 + \frac{S_2^2}{\pi^2} + \theta + \frac{2\pi^4}{S_2}}} \quad \textcircled{3}$$

たにどう $f - 7 - 2 \text{ 1 1 5 } \mu l, p, rl,$

Cおよび γ が重要である。式①, ②, ③の振動数とパラメータの関係を図2~4に示す。

4. 動的応答計算

構造物の耐震設計法としては一般に (1) 強震記録に対する応答, (2) 平均応

答スペクトル (2) 調和地盤に対する応答解析が用いられる。トラスの振動特性のパラメータ解析を目的とした本研究では、調和地盤周波数 ω_0 を入力パラメータと考えることとして、上記の (2) を中心とし (2) の平均応答スペクトルを用いた解析を補足的に用いている。例えば、normal coordinate q_k に関する振動方程式は $\ddot{q}_k + 2\beta_k \omega_k \dot{q}_k + \omega_k^2 q_k = -\alpha_k \ddot{g}_0$ 、地盤動 $g_0 = a \sin \omega_0 t$ と与えられたときの定常解は $q_k = \alpha_k \omega_k^2 / \sqrt{(\omega_k^2 - \omega_0^2)^2 + (2\beta_k \omega_k \omega_0)^2} \sin(\omega_0 t + c)$ 、 q_k に属する変位ベクトルあるいは部材力の最大値を f_{kmax} と表わすと、一般に用いられている二乗平均値にて最大応答値を評価する。 $(\sqrt{\sum f_{kmax}^2})$ 平均応答スペクトルに対しても同様の計算を行っている。

5. 動的応答とパラメーターとの関係 まず入力地動の加速度を一定とした場合、図6のようなダブルデッキトラスモデルの周波数応答曲線の一例を図7に示す。橋軸直交方向水平地動に対する動的応答はこのモデルでは1次の横わみ型振動(勾配、ねじれ、ずれ変形含む)が卓越している。パラメーター rl と c に着目し最大応答値の変動を表現したのが図8,9である。変位と部材力を同じ図に表わすために基本モデルとして($rl=3, \mu=3, \rho=0.5, c=0.5$ の組合せ)を考え、 rl, c を変動させた場合、応答値と基本モデルの応答値の比を縦軸にとっている。太線は調和地動に対する応答、細線は平均応答スペクトル(建設省土木研究所)に対する応答を示す。 rl 値が小さく基本振動数が相対的に小さくなる場合は応答スペクトルの特性から加速度一定とした調和地動に対する応答が大きくなるが、一般的な傾向としては両者は一致した傾向を示している。

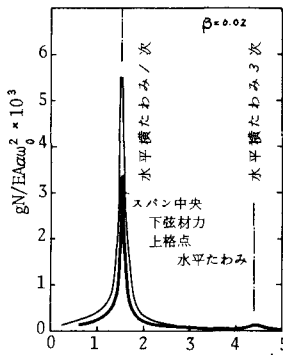


図7 基本モデルの共振周波数

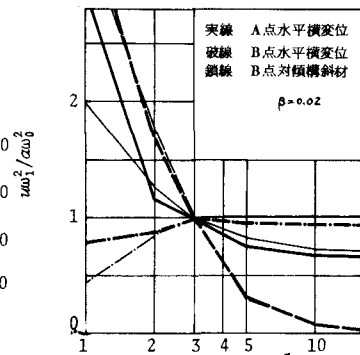


圖8 1074-7-rl^{rl}影響

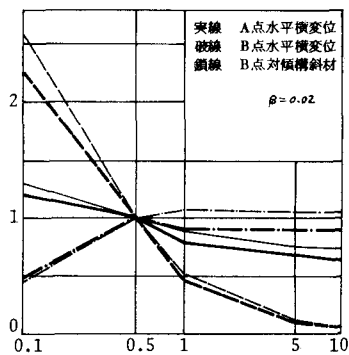


図9 パラメータCの影響

参考文献 1)阪神高速道路公団：港大橋工事誌 2).小松、西村：薄肉弾性はり理論によるトラスの立体解析、土木学会論文報告集、No. 238, 1975