

I-38 一柱式橋脚の連成振動と地震応答に関する研究

京都大学工学部 正員 工博 後藤 尚男
 京都大学大学院 学生員 〇 亀田 弘行
 西松建設 KK 正員 藤原 猛仁

1. まえがき 都市高架高速道路などの下部構造として近時注目され、わが国でも採用され始めている一柱式橋脚の耐震性について、われわれは動力学的な立場から研究し、発表してきたが^{1),2)}、そこでは、橋脚を質量のない板バネとみなしていた。その後、橋脚の質量を考慮した場合についても解析的・実験的に研究を行ない、さらに、橋脚基礎工躯体の変形をも考慮した場合における地震応答を求めるために、数個の集中質量を有する *discrete system* を考え、これに対する振動解析を行なったので、これらの要点を述べる。

2. 剛体基礎工を有する場合の連成固有振動数

図-1のような一柱式橋脚に対し、図-2のような振動モデルを考える。ここに、上部構造および基礎工躯体は、これまでと同様に剛体とみなされている。 k_1, k_2 は弾性地盤を表わすバネ定数である。振動中の橋脚のたわみ曲線をつぎの3次式で近似する。

$$y = \{-2y_1 + 2y_2 + k_1\varphi_1 + (k_1 + 2\alpha')\varphi_2\} \frac{x^3}{6} + \{3y_1 - 3y_2 - k_1\varphi_1 - (2k_1 + 3\alpha')\varphi_2\} \frac{x^2}{2}$$

しからば、この振動モデルの運動エネルギー T およびひすみエネルギー V は、

$$T = \frac{1}{2} m_1 (\dot{y}_1 + e\dot{\varphi}_1)^2 + \frac{1}{2} m_1 r_1^2 \dot{\varphi}_1^2 + \frac{m_p}{2} \int_0^R \left\{ \dot{y} + \dot{y}_2 + (\alpha' + x)\dot{\varphi}_2 \right\}^2 dx$$

$$+ \frac{m_p r^2}{2} \int_0^R \left\{ \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) + \dot{\varphi}_2 \right\}^2 dx + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 (\dot{y}_2 + \alpha''\dot{\varphi}_2)^2 + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \dot{\varphi}_2^2$$

$$V = \frac{EI}{2} \int_0^R \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{1}{2} k_1 y_2^2 + \frac{1}{2} k_1 \varphi_1^2$$

ここに、 m_1, m_2 : 上部構造・基礎躯体の質量、 m_p : 橋脚単位長さの質量、 r_1, r_2 : 上部構造・基礎躯体重心軸まわりの回転半径。これらを減衰と外力がないときの *Lagrange* の運動方程式に代入して計算すると、自由振動の運動方程式として $M\ddot{y} + Ky = 0$ とする。

これより、固有円振動数 $\omega = \sqrt{\lambda}$ は、

$$\det(\lambda M - K) = 0$$

から算出される。ここに M, K は4次の対称行列である。

以上の結果を、図-1に示した実橋脚の、橋桁架設前の状態に適用して数値計算を行なうと、現地の実物において振動実験を行ない、表-1のような結果を得た。この場合の水平地盤係数 K は、現地盤調査の結果などから3~5 kg/cm 程度と推定されるので、連成振動としての理論値と実験値とはよく対応しているといえる。

表-1 固有周期(sec)

実験値		0.206
理論値	連成 $K=4 \text{ kg/cm}$	0.209
	1次 $K=\infty$	0.174
値	自由/自由/橋脚質量考慮	0.153
	質点系/橋脚質量無視	0.193

3. discrete system に対する振動解析

一方図-1の振動モデルとして図-3を考えた。すなわち、上部構造のみを分布質量を持つ剛体とみなし、橋脚および基礎工の質量は、各節点に集中しているものとした。また橋脚および基礎躯体は相異なる剛性を持ち、地盤の水平バネ定数は、各節点間における水平地盤係数の関数として等価的に表わされるものとする。このような8自由度の振動系に対して、変位ベクトル y 、地動加速度ベクトル $\ddot{x}$ 、質量マトリックス M 、復元カマトリックス K および減衰特性マトリックス C を用いると、運動方程式は次式で書ける。

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = -M\ddot{x}$$

これに Normalized modal matrix V を用いて $y = V\eta$ なる変換を行なうと、

$$I\ddot{\eta} + D\dot{\eta} + A\eta = -VM\ddot{x}$$

ただし $ID = V'CV$ 、 A は spectral matrix である。もし ID が対角行列であれば、上式において各振動モードが分離され、modal analysis が可能である。これより逆に、対角行列 ID が与えられれば、 C は $C = VMIDM'$ により与えられる。

以上の理論解析の数値計算結果(京都大学電子計算機 KDC-1 使用)は、講演時に示す。

- 1) 地震工学国内シンポジウム(1962), 講演集 pp. 141~146.
- 2) 土木学会年次学術講演会(昭. 38. 5.) 講演概要, I - 70.

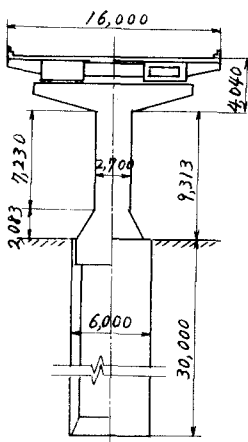


図-1 一柱式橋脚の概用断面(単位mm)
(阪神高速道路大阪ノ号参照)

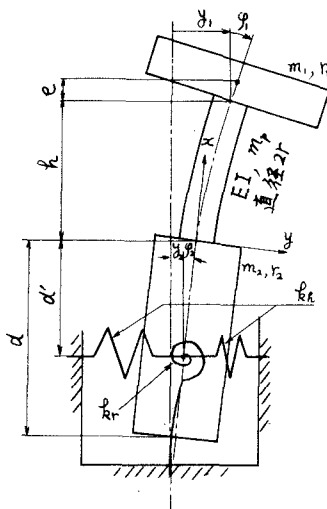


図-2 振動モデル(I)

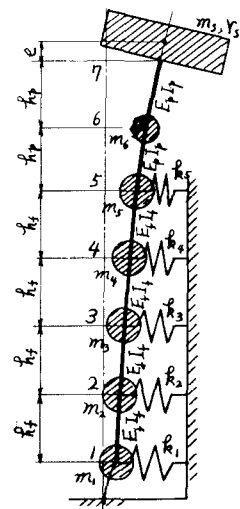


図-3 振動モデル(II)