

新潟大学 正員 鶴飼恵三 正員 松野肇平 道路公団 正員 〇松田哲夫

1. まえがき

近年、高速道路や新幹線高架橋などに長大橋が数多く建設されているが、このような長大構造物は地震時に地動位相差の影響を受けるため、多支点・多入力をもつ系として解析せねばならない。著者のうちの一人は、すでに数径間の橋梁について橋脚をバネ、上部構と剛体と仮定して地動位相差も考慮した研究を発表しており、対象とした橋梁に関する限り位相差は重要な意味をもたないことを報告している。しかしながら、上部構と剛体と仮定できないような長大橋については事情は異なってくるものと思われる。本研究では、多径間長大連続橋ととりあげ、橋軸直角方向振動に対する位相差の影響について考察した。

2. 解析

解析を簡単にするために次のような仮定を設けた。①上部構は等スパン長・一樣断面の連続梁とし、橋脚はバネで置換した。橋脚下端は地盤と同一に動くものとした②橋脚の抵抗は慣性抵抗と曲げ抵抗のみである。橋脚の質量はその等値先頭質量を上部構の質量に加えた③入力波は軸方向に伝わる定常正弦波を用いた④変形は弾性範囲内にあるとした。以上の仮定のもとに、橋梁を図1のように、多数のバネで支えられる弾性梁としてモデル化した。この図で、 EI 及び $\frac{\gamma A}{g}$ は上部構(梁)の横方向曲げ剛性及び単位長あたりの質量、 l は1径間長、 l_0 は橋長、 K_p は橋脚の等価バネ定数、 M_p は橋脚の等値先頭質量である。また x, y 座標を図のようにとった。応答計算はマトリクス法と弾性床上の梁の振動理論によって行なった。

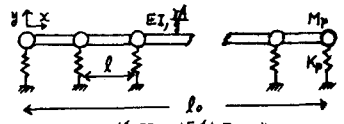


図1 橋梁の振動モデル

2.1 マトリクス法による解析^{3,4)} n 径間橋に対する運動方程式をマトリクス表示すると次のようになる。

$$M\ddot{y} + K y = F \quad \text{ただし, } F = \{f_0 \sin \omega t \quad f_0 \sin(\omega t - \phi) \cdots f_0 \sin(\omega t - n\phi)\}^T \quad (1)$$

ここで、 M 及び K は $(n+1)$ 次の質量及び剛性マトリクスであり、上部構と1径間づつ梁要素にわけ各々について質量・剛性マトリクスをつくり、各支点において外部モーメントが0である条件を用いて縮小した上、その対角要素に各々 M_p 及び K_p を加えたものである。 y は梁の各支点での変位ベクトルである。 F は入力を表すベクトルであり、 y が絶対変位の場合にはその $(i+1)$ 要素は $f_0 \sin(\omega t - \phi) = K_p Y_0 \sin(\omega t - \phi)$ となる。ここで、 Y_0 は橋脚下端の入力変位振幅、 ω は入力波の角振動数、 ϕ は1径間あたりの位相差であり、 $\phi = \frac{2\pi l}{L}$ (L は入力波の波長)と表わせる。(1)式の定常振動解は次のようになる。

$$y = (K - \omega^2 M)^{-1} F \quad (2)$$

2.2 弾性床上の梁の振動理論による解法 この方法は、図1のモデルを弾性床上の梁の曲げ振動方程式

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{\gamma A}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + K' y = F(x, t) \quad \text{ただし, } F(x, t) = f_0' \sin(\omega t - \frac{\phi}{L} x) \quad (3)$$

により解析するものである。ここで、 $\frac{\gamma A}{g}$ は梁の単位長さあたりの質量で M_p を含む。 K' は弾性床のバネ定数。境界条件は、梁の両端でモーメント0、せん断力は両端に K_p というバネを置いて考えた。これは、両端近傍の挙動が両端橋脚のバネによってかなり影響されるためである。 α は0.5~0.3にとればよい。

2.3 入力データ 計算例として図2(a)のような断面をもつ構造を考えた。径間数は30とし、諸元の数値を同図中に示した。入力波の ω は60~900 rad/secとし、位相差 ϕ は0.0~ π radの間で変化させた。

3. 計算結果と考察 (以下の計算はマトリクス法による。弾性床理論との比較は口頭で発表する)

モデルの固有角振動数と表1に示す。低次の相隣り合う固有振動数の差は小さいが、これは橋脚の剛性 K_p に比して梁の剛性 $\frac{EI}{l^3}$ がかなり小さいことによる。位相差 ϕ と最大応答変位 Y_p 、最大応答相対変位 Y_R (橋脚に生じるせん断力、モーメントを表わす)、梁の曲げモ

46.579	46.556	46.557	46.577	46.618	46.693	46.816	46.994	46.278
46.637	47.171	47.871	48.694	49.707	51.067	52.634	54.970	56.628
57.742	60.953	62.325	64.068	67.037	70.714	75.743	80.477	86.246
92.108	97.873	102.886	106.266					

表1 固有角振動数 (rad/sec)

メントとの関係の例を図3,4に示す。両図の Y_p , Y_R , M の値はすべて入力波の振幅で割ってある。また、 φ が大きくなると(2)式による計算値は実際の値と異なってくると思われるが、大体の傾向は表わしているであろう。曲線は ω が ω_0 (モデルの一次固有角振動数)より小か大かで大きく異なる。

すなわち、 $\omega < \omega_0$ のときには曲線は単調でありその形状はほぼ直観と一致するが、 $\omega > \omega_0$ のときには曲線は波動し複雑である。注意すべきことは、

図3のいずれの曲線もある φ でピーク値をとるということである。このピーク値を与える φ の近似的な値は、(3)式の特解の係数を無限大にするような諸定数の組合せより求め、 $\frac{\varphi_0}{\omega} = \sqrt{\frac{EA}{\rho} \frac{\omega^2 - K}{EI}}$ となる。これは弾性床上の梁内を伝播する正弦波の速度と振動数の関係を与える式である。つまり、入力波の速度と振動数がこの式を満たすとき応答はピーク値をとる。図3,4は中央支点についてのものであるが、種々の φ に対する計算値と比較すると、 $\omega < \omega_0$ のときには Y_p , Y_R , M のいずれも梁の中央部付近で最大値をとる(ある中に対しては、端部付近で最大となる場合がある)ことがわかった。

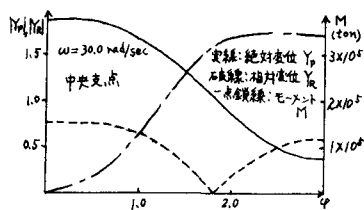


図3 最大応答曲線 ($\omega < \omega_0$)

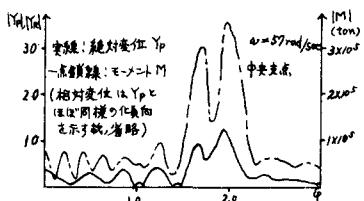


図4 最大応答曲線 ($\omega > \omega_0$)

図3,4は中央支点についてのものであるが、種々の φ に対する計算値と比較すると、 $\omega < \omega_0$ のときには Y_p , Y_R , M のいずれも梁の中央部付近で最大値をとる(ある中に対しては、端部付近で最大となる場合がある)ことがわかった。

4. 実例多径間連続橋に関する考察

実在する橋梁(高架橋)から数例を取り出し上記の結果を適用してみた。これらはいずれも径間あるいは4径間連続であるが、ここでは30径間あるものとして計算した。

二例についてその概略図を図2.(b),(c)に示す。同図中には ω_0

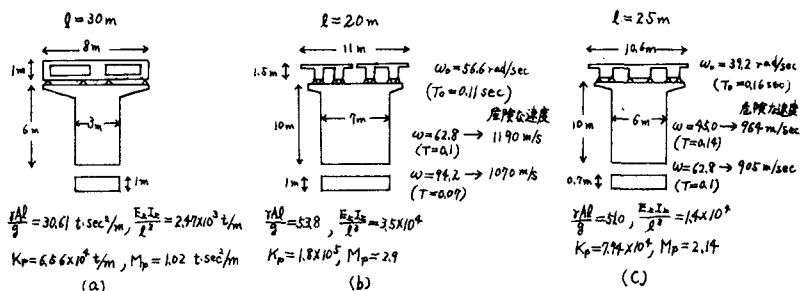


図2 30径間連続橋モデル及び実橋例

(周期 T_0)の値、ならびに入

力波の振動数が ω (周期 T)であるとき φ_0 の式より算出される入力波の波速も示した。図2.(a)のモデル及び実橋の例ではいずれも ω_0 が大きいため、通常の地震波に対しては図4のような極端なピークを生じる場合はないであろう。しかしながら、短周期成分が卓越する場合や、 ω_0 が小さい橋梁などではこのような場合が生じる危険性がある。このようなピークを避けるためには、橋軸直角方向の剛性を大きくすれば良いのであるが、橋梁のモデルは橋脚下端に一定変位を与えるという状況にあるため、剛性の増大により橋梁の内部に生じる応力も増大し、かえって危険になる可能性がある。これを防ぐには橋脚の剛性を大きくする一方、上部構の曲げ剛性を小さくしたりスパンを長くしたりする方法が考えられる。

5. 結論とあとがき

本研究により、長大構造物に対して入力波の位相差の影響を考慮することの重要性が示された。以上ではふまなかつたが、 $\omega < \omega_0$ の場合には静的問題として取り扱うことができる。橋梁のみならず長大構造物では、入力波の位相差も伴う変位(加速度ではなく)波とそれとはならない場合が多い。このような場合、慣性力が大きいときには、ある位相差により非常に大きな応答を示す。また慣性力が小さいときでも構造物とそれとを繋ぐ弾性床の剛性が大きくかつ似かよっている場合には内部に非常に大きな応力が発生する危険性がある。最後に、本研究を進めるにあたりお世話になった新潟大学卒業生、今井昇(富山県)、星野亨(東北大学)の両氏に感謝致します。

参考文献 1) 松野操平「各橋脚点に到達する……」土論188号, 1971, 2) 川井忠彦「マトリクス法振動及び応答」培風館, 3) 河島佑男「動的応答解析」培風館, 4) 尾坂淑本「神山」山陽新幹線…… Concrete Journal, 1970.10 など