

歩行者によって誘起される吊床版橋の設計用使用性評価式

近畿大学理工学部 正会員 米田昌弘

1. はじめに 周知の如く、単純桁形式歩道橋については、田中・加藤¹⁾によって簡易な使用性評価式が与えられている。これに対し、歩調域内に多数の振動モードが存在する吊床版橋については、未だ実務設計用の使用性評価式が提示されていないのが現状である。そこで、本研究では、固有振動解析結果と表計算ソフトを利用すれば、比較的簡単にしかも比較的精度良く、吊床版橋のたわみ振動やねじれ振動に対する使用性を評価できる設計式について検討することとした。

2. 吊床版橋の使用性評価式

(1) たわみ振動 まず、歩行者によって誘起される吊床版橋の応答特性を把握するため、動的応答解析を実施した。その結果、吊床版橋のように歩調付近に多くの振動モードが比較的接近して存在しても、近接モードは動的応答の最大値にほとんど影響しないことがわかった。この知見を踏まえ、本研究では、歩行者が吊床版橋の鉛直たわみ i 次振動と共振歩行する場合、その動的最大変位 $y_{i,\max}$ (高次振動であれば、最大の腹の位置における値) は次式で推定できるものと仮定した。

$$y_{i,\max} = \frac{1}{M_{v,i}} \frac{2F_0}{\sqrt{(\omega_i^2 - \Omega_m^2)^2 + 4h_i^2 \omega_i^2 \Omega_m^2}} \times d \quad (1)$$

ここに、 F_0 は梶川の最大歩行外力、 ω_i は i 次の固有円振動数、 h_i は i 次モードの減衰定数である。また、 Ω_m は、 ω を共振歩調に対応する円振動数、 v を共振歩調時の歩行速度とすれば、

$$\Omega_m = \frac{\pi v}{\ell_{eq}} - \omega \quad (2)$$

と表示される。ただし、 ℓ_{eq} は単純桁歩道橋では ℓ/i (ℓ は支間長) で与えられるのに対し、吊床版橋では、固有振動解析で得られた振動モードにおいて最大の半波長を与える長さを用いるものとする。さらに、 d は補正係数で、単純桁歩道橋から算定した次式を用いるものとする。

$$d = 0.0152 \times x_{np}^4 - 0.1637 \times x_{np}^3 + 0.6573 \times x_{np}^2 - 1.2092 \times x_{np} + 1.8981 \quad (3)$$

ここに、 x_{np} は、歩行者が歩道橋を渡り終えるまでに加振する回数を表す無次元パラメータで、次式で与えられる。

$$x_{np} = \frac{\omega_1 \times \ell}{10v} \times \delta \quad (4)$$

なお、式(3)の適用範囲は $0.1 \leq x_{np} \leq 3.5$ であり、 $3.5 \leq x_{np} \leq 8.0$ の範囲では $d = 1.8981$ を用いれば良い。

一方、式(1)において、 $M_{v,i}$ は吊床版橋の鉛直たわみ i 次振動に関与する全質量で、単位長さ当たりの重量を w 、固有振動解析で得られた i 次の鉛直たわみ振動モードを $\phi_{v,i}$ (最大値は 1.0) とすれば、次式で評価できるものとする。

$$M_{v,i} = \int_0^\ell (w/g) \times \phi_{v,i}^2 dx \quad (5)$$

(2) ねじれ振動 吊床版橋を対象とした場合、ねじれ対称 1 次モードで振動する場合には水平振動が必ず連成することから、簡易式の検討にあたっては連成の影響を考慮する必要がある。すなわち、吊床版橋のねじれ振動に対する最大応答変位(歩行位置における値)は、水平振動にともなう質量効果 $M_{h,i}$ を加味した次式を適用する必要がある。

$$y_{i,\max} = \frac{1}{(I_{\theta i}/r^2 + M_{h,i})} \frac{2F_0}{\sqrt{(\omega_i^2 - \Omega_m^2)^2 + 4h_i^2 \omega_i^2 \Omega_m^2}} \times d \quad (6)$$

キーワード：吊床版橋、振動使用性、簡易評価式

連絡 先：〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1 TEL 06-6721-2332 FAX 0729-95-5192

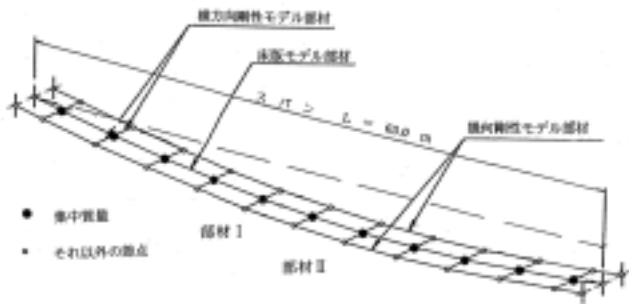


図 - 1 対象とした吊床版橋

ここに、 r は橋面の中央部から測った歩行位置である。また、 $I_{\theta i}$ は i 次モードに対応する一般化極慣性モーメントで、単位長さ当たりの極慣性モーメントを I_{θ} 、歩行位置 r での鉛直モード成分の最大値が 1.0 となるように調整した鉛直モード成分を $\phi_{v,i}$ とすれば、

$$I_{\theta i} = \int_0^l (I_{\theta} / r^2) \times \phi_{v,i}^2 dx \quad (7)$$

で計算される。

3. 数値計算例 数値計算例で対象とした橋梁は、文献 2) の吊床版橋である。固有振動解析にあたっては、図 - 1 に示すように、ケーブル緊張力による幾何学的な復元力を部材（張力は 3272kN=333.7tf）で、床版部分の曲げ剛性や伸び剛性を部材でモデル化した。ここに、部材と部材の間隔は $b=0.763\text{m}$ であるが、これは多数のケーブルを 2 本の部材に置換した場合の等価間隔に相当する。なお、部材は、部材と部材を結ぶダミー部材である。対象とした吊床版橋の固有振動数（計算値）を表 - 1 にまとめる。なお、本吊床版橋でも、水平（橋軸直角）成分の連成方向が相異なる 2 つのねじれ対称 1 次モードが 4 次と 6 次に認められた。それゆえ、本文では、必要に応じ、4 次をねじれ対称 1 次(1)、6 次をねじれ対称 1 次(2)と記すこととした。

簡易式による推定結果と動的応答解析による結果を比較して図 - 2 に示す。ただし、動的応答解析は 1 次～6 次までの固有振動モードを使用し、いずれの振動モードに対応する共振歩行状態であってもすべての振動モードで同一の構造対数減衰率（ $\delta_i=0.01, 0.03, 0.05, 0.10$ の 4 ケース）を用いている。図 - 2 からわかるように、6 次のねじれ対称 1 次(2)では推定精度が最大で -5% 程度となっているが、その他の振動モードについては構造減衰が $\delta_i=0.01 \sim 0.10$ の範囲内で +1% ～ +20% 程度の推定精度となっており、本簡易式は動的応答解析結果と概ね一致すると言える。

4. まとめ 本文では、吊床版橋の使用性を評価できる簡易推定式を提案した。本提案式は概ね妥当で、初期の実務設計において十分に適用できることがわかった。

【参考文献】

- 1) 田中信治，加藤雅史：設計時における歩道橋の振動使用性照査法，土木学会論文集，第 471 号 / I-24，1993 年 7 月。
- 2) 梶川康男，津村直宜，角本周：PC 吊床版歩道橋の振動とその使用性，構造工学論文集，Vol.36A，1990 年 3 月。

表 - 1 固有振動数（計算値）

次数	振動モード	固有振動数（Hz）
1	たわみ逆対称 1 次	1.25
2	たわみ対称 1 次	1.56
3	たわみ対称 2 次	2.24
4	ねじれ対称 1 次(1)	2.46
5	たわみ逆対称 2 次	3.03
6	ねじれ対称 1 次(2)	3.45

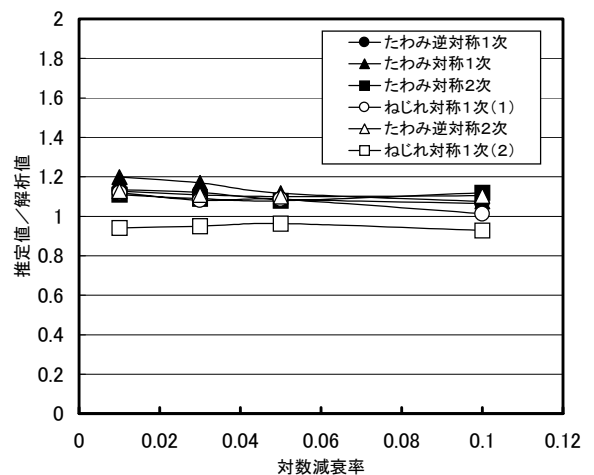


図 - 2 推定精度