

歩行による歩道橋の振動の観測と応答解析法の適用性について

和歌山大学システム工学部

西原真美

エスシー企画株式会社

正会員 ○山村 猛

和歌山工業高等専門学校

正会員 辻原 治

1. はじめに

歩道橋は、必要な時に安全な歩行場所を提供するものであるが、中には歩行者に不快感を与えるものが存在する。歩道橋の振動については「活荷重による主げた振動が利用者に不快感を与えないものでなければならない」¹⁾とされており、設計に関して明確な基準はない。

歩道橋の振動速度の実効値(振動波形の2乗平均値の平方根)と不快感との関係に言及した研究がある²⁾が、歩道橋の設計段階で振動を予測するためには、人の歩行を振動源とする応答解析が必要となる。応答解析には、一次元分布質量系の移動荷重によるモード解析法等の適用が考えられるが、実測と解析結果との整合性を検討した研究はほとんどない。

本研究は歩道橋の振動に対してより明確な基準を作成することを目指すものであり、その基礎的な研究として、歩道橋の振動解析法の適用性について検討することを目的とする。

2. 解析法

図-1に示すように、歩道橋を単純ばりとしてモデル化し、モード解析法を適用すると、支点より x の位置の時刻 t におけるモデルの振動変位 y は次式で表される。

$$y(x,t) = \sum_{s=1}^{\infty} \psi_s(t) X_s(x) \quad (1)$$

ここに、 $\psi_s(t)$ と $X_s(x)$ はそれぞれ単純ばりの s 次モードの基準座標と振動形を表す。 $\psi_s(t)$ は、式(2)を解くことで得られる。

$$\ddot{\psi}_s + 2h_s n_s \dot{\psi}_s + n_s^2 \psi_s = \frac{Q_s}{M_s} \quad (2)$$

ここに、 h_s 、 n_s はそれぞれモード減衰定数とモード固有円振動数である。また、 M_s 、 Q_s はそれぞれ橋桁の換算質量、換算外力である。換算質量は橋桁の質量の 1/2 で表される。換算外力については、人が通行するときの荷重を、移動荷重と腰部の上下動による慣性力の和として表し、次式を用いる。

$$Q_s = w_p \sin \frac{s\pi v_p t}{l} + w_p \frac{a}{g} \sin \frac{s\pi v_p t}{l} \cos \omega_p t \quad (3)$$

上式において、 w_p 、 v_p 、 ω_p 、 g 、 l はそれぞれ人の体重、移動速度、歩調、重力加速度、橋桁の長さを表す。また、 a は腰部の上下動による慣性力を正弦波として近似したときの上下方向の加速度振幅であり、ここでは $0.4g$ とした²⁾。

3. 解析結果および考察

和歌山県日高町にある内原歩道橋(写真-1参照)において、歩行者が一定の速度で歩いたときの振動と、そのときの歩数および速度を観測した。歩道橋の上下振動を観測するために、速度計を支間の中央に設置した。解析に用いた歩道橋および歩行者の諸元を表-1に示す。

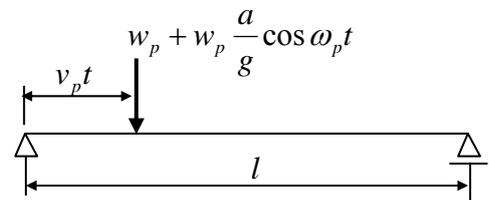


図-1 歩道橋と歩行者の解析モデル



写真-1 内原歩道橋

歩道橋の一次モードの減衰定数と固有振動数については、歩道橋の中央付近で人が数回ジャンプした後の歩道橋の自由振動を観測し、それより推定した値を用いている。解析においては、一次および二次の振動モードを考慮することとしたが、二次モードの固有振動数は、等断面単純ばりでは n_2/n_1 が 4.0 であることを利用して求めた。二次モードの減衰定数については、一次モードのそれと同じ値を用いている。

歩道橋の重量は、主桁の重量と高欄および付属の標識の重量を合算して求めている。

また、一人が歩道橋を歩行した場合の観測波形と計算で得られた波形を比較して図-2 に示す。横軸は歩き始めてからの時間で、縦軸は振動速度である。図-2 より、観測値と計算値がよく対応しているといえる。なお、観測波形は、歩行者の歩調を含む周波数帯でフィルター処理を行っている。内原歩道橋を表-1 に示す条件で歩行したときの振動速度の実効値は 0.0458cm/sec であり不快と感じるレベルではなかった²⁾。

つぎに、二人がそれぞれ歩道橋の両端から向かい合って同時に歩行したときの観測波形と計算値を比較して図-3 に示す。歩行した二人の体重などの諸元を表-2 に示す。その他、構造等の諸元は表-1 に示す値を用いている。同図より、解析による歩道橋の振動波形は観測波形をかなり精度よく再現しているといえる。

4. おわりに

歩道橋を単純ばりとして、また人の歩行による荷重を移動集中荷重と移動慣性力としてモデル化し、モード解析法を適用することによって歩道橋の上下振動の応答解析を行った。一人で歩行する場合と二人で歩行する場合について、それぞれ実測値と比較した結果、両者はよく対応することがわかり、モデル化の妥当性および応答解析法の適用性を確認することができた。

参考文献

- 1) 立体横断施設技術基準・同解説, (社) 日本道路協会, pp.35-37, 1979.
- 2) 小堀為雄, 梶川康男, 城戸隆良, 振動感覚を考慮した歩道橋の設計, 橋梁と基礎, 74-12, pp.23-29, 1974.

表-1 解析条件

支間長 L(m)	15.4
歩道橋の重量 W_B (kg)	12,831
歩道橋の一次固有振動数 f (Hz)	7.13
減衰定数 h	0.022
測定装置の場所 x(m)	7.7
振動モード	1次及び2次
解析の時間ステップ Δt (sec)	0.01
歩行者の体重 W_p (kg)	95.4
歩行速度 V_p (m/sec)	1.621
歩調 (歩/sec)	2.08

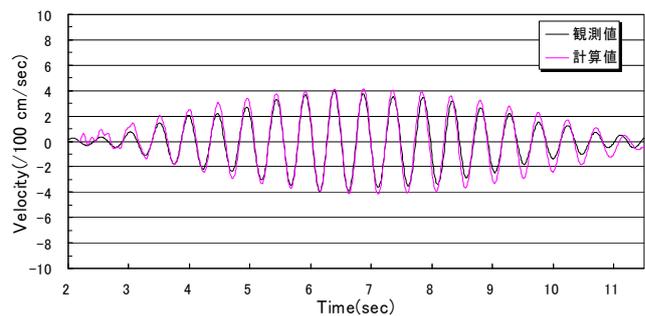


図-2 一人が歩行した場合の計算結果と観測波形の比較

表-2 二人歩行の諸元

歩行者の体重 W_{p1} (kg)	77.4
歩行者の体重 W_{p2} (kg)	95.4
歩行速度 V_{p1} (m/sec)	1.649
歩行速度 V_{p2} (m/sec)	1.347
歩調 1 (歩/sec)	2.09
歩調 2 (歩/sec)	1.80

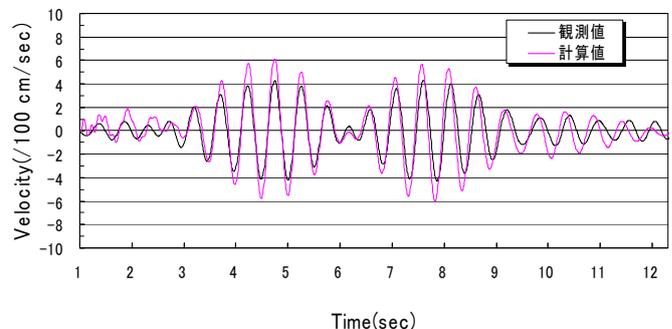


図-3 二人が両端から向かい合って歩行した場合の計算結果と観測波形の比較