

1. はじめに

周知の如く、ミレニアムブリッジで引き込み現象が生じて大きな水平振動が発生したが、これは歩行者と構造物の間に生じた一種の動的相互作用であると言える。ちなみに、人と構造物の動的相互作用は鉛直振動でも生じ、人は静止時（立位の場合と座位の場合）において TMD 効果を呈することが知られているが、著者の知る限り、わが国では静止者の TMD 効果に関する確認実験は実施されていない¹⁾。そこで、本研究では実在の歩道橋を対象として振動実験を実施し、歩道橋の振動特性とりわけ構造減衰に及ぼす静止者の影響について検討を加えた。

2. 対象とした歩道橋

対象とした歩道橋を写真-1 に示す。この歩道橋は大阪府八尾市に架設されており、実験で対象とした区間の支間長は約 33m、有効幅員は 1.5m である。ちなみに、写真では連続桁橋に見えるが中間橋脚上の桁部はヒンジとなっており、構造的には単純桁形式である。なお、標準設計された歩道橋（有効幅員は本歩道橋と同じく 1.5m）の重量調査結果をもとに、本橋の単位長さあたりの重量を 7.35kN/m/Br. と仮定した。一方、対象とした歩道橋の桁高とフランジ厚を測定し、断面 2 次モーメントを計算したところ、 $I=0.0135\text{m}^4/\text{Br.}$ となったが、実際の値は高欄などの剛性も寄与してこの値よりも幾分大きくなると考えられる。そこで、基本振動数の実測値を 2.84Hz （桁上に 1-2 名が居る状態の実測値）とし、単純梁の理論式（重量は 7.35kN/m/Br. と仮定）を適用して断面 2 次モーメントを逆算したところ、 $I=0.0141\text{m}^4/\text{Br.}$ となった。この値は断面 2 次モーメントの計算値と比較して幾分大きい程度であり、概ね妥当であると考えられた。以上より、本研究では、歩道橋の諸元として、支間長を $L=33\text{m}$ 、断面 2 次モーメントを $I=0.0141\text{m}^4/\text{Br.}$ 、重量を 7.35kN/m/Br. に設定することとした。

3. 実験結果と考察

(1) 実験概要

実験に参加した被験者は著者自身と著者の研究室に所属した学生（4 年生が 7 人、3 年生が 6 人）の合計



写真-1 対象とした歩道橋

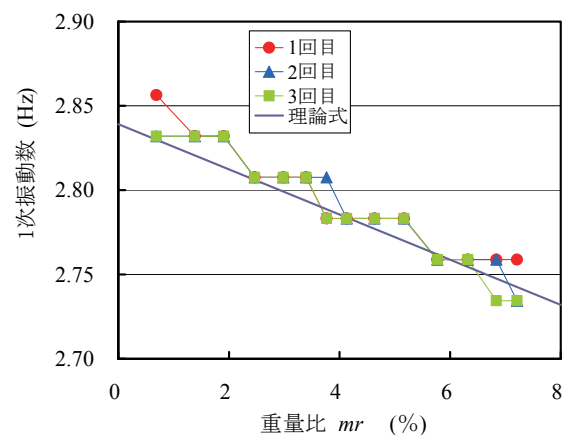


図-1 1次振動数と重量比の関係（立位）

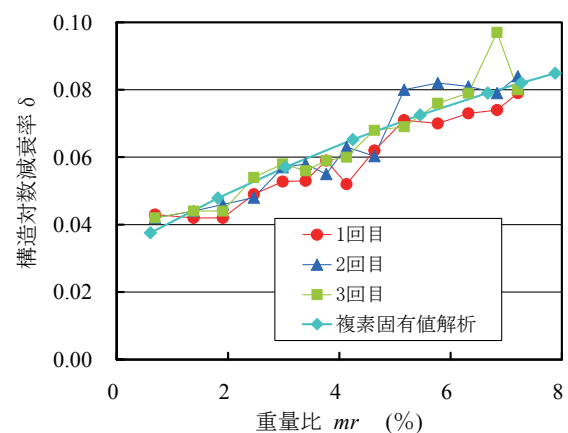


図-2 対数減衰率の実測値（立位）と解析値

表-1 静止者(2 自由度系)の諸元

要素	重量 (N)	剛性 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	振動数 (Hz)
1	607.6	62.0	1.46	5.03
2	127.4	80.0	0.93	12.49

14 人であり、体重の合計は 8,742N である。ちなみに、対象とした歩道橋について、モード振幅の最大値を 1.0 としてモード重量を計算すれば $7,350\text{N/m/Br.} \times 33\text{m} \times 1/2 = 121,275\text{N}$ となった。したがって、被験者（中央点での静止者）14 人と歩道橋のモード重量比 mr を計算すれば $8,742/121,275 \times 100 = 7.21\%$ となる。

実験では、桁中央点に加速度計を設置し、中央点で静止者を一人ずつ増加させながら、加振者一人が屈伸運動を行って減衰自由振動波形（サンプリングタイム Δt は $\Delta t = 0.005\text{sec}$ 、10Hz アナログローパスフィルタ）を誘起させ、2.3Hz と 3.3Hz のローパスフィルタ処理した波形から対数減衰率 δ を、FFT で算出したパワースペクトルのピークから卓越振動数（1 次振動数）を算出するものとした。

(2) 1 次振動数

1 次振動数と重量比の関係（立位）を図-1 に示す。なお、この図には理論式による振動数の低下も付記しているが、これは基本的に単純梁（長さは ℓ 、曲げ剛性は EI ）を 1 質点系に置換してそのばね定数 k を

$$k = \frac{48EI}{\ell^3} \quad (1)$$

とし、振動数の変化を

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{48EI}{m\ell^3}} \quad (2)$$

で評価しようとしたものである。ただし、式(2)を適用した振動数は、 w を単位長さあたりの重量、 g を重力加速度とした梁理論に基づく解析解である

$$f = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{w/g}} \quad (3)$$

による算定結果と比較して 0.7-0.8% 程度小さな値を呈することから、実際には、

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{(1.008)^2 \times \frac{48EI}{m\ell^3}} \quad (4)$$

を適用して振動数の低下を推定している。

図-1 より、理論式にもとづく振動数の低下割合は実

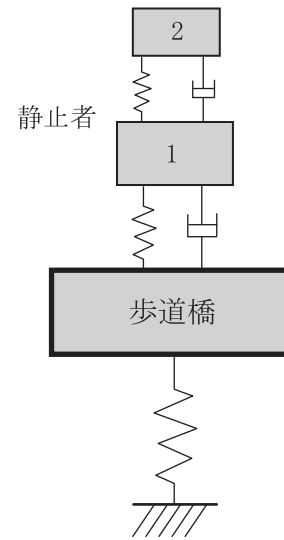


図-3 歩道橋と静止者（2 自由度系）のモデル化

測値とほぼ等しく、本歩道橋の重量と断面 2 次モーメントの仮定値はほぼ妥当であったと言える。

(3) 対数減衰率

対数減衰率と重量比の関係を図-2 に示す。この図より、少しバラツキはあるが、重量比が大きくなるにつれて、対数減衰率 δ が増加していることがわかる。また、図-2 には、静止者を表-1 の諸元を有する 2 自由度系モデル（ISO5982 : 1981 の立位用 2 自由度系モデル）に置換し、図-3 のモデルに対する複素固有値解析結果（対数減衰率の計算値 + 静止者 0 人での推定値である 0.032）も付記しているが、この図より、対数減衰率の実測値と解析値は比較的良好に一致していることがわかる。

4. まとめ

本研究により、歩道橋の構造減衰に及ぼす静止者の TMD 効果を具体的に確認できたことから、今後は振動数が異なるその他の歩道橋についても振動実験を実施し、歩道橋の構造減衰に及ぼす静止者の TMD 効果について調査する予定である。

参考文献

- 1) Tianjian JI : On the combination of structural dynamics and biodynamics methods in the study of human-structure interaction, Institute of Sound and Vibration Research, Vol.1, University of Southampton, England, pp.183-194, 2000.9.
- 2) International Organisation for Standardisation: Vibration and shock-Mechanical driving point impedance of the human body, ISO 5982, 1981.