

振動感覚を考慮した歩道橋の設計

金沢大学工学部 正員 小堀 為雄

福井工業大学 正員 梶川 康男

金沢大学工学部 正員 城戸 隆良

1. まえがき 従来の歩道橋は設計条件を満足しているという意味で一応安全な構造物であるといえるが、一般に大規模な歩道橋はゲタ下空間や取付道路などの制約からゲタ高が低く、スレンダーな構造でできており振動の減衰性能は低いといわれている。また、歩行者の通行中（特に歩行者の歩調と橋の固有振動数とが近い場合）に比較的に振動が発生することが予想される。そして一部の歩道橋では歩行者に対し不快感を与えるような振動が発生していることが報告されている。このことから大規模歩道橋の設計において、歩道橋の振動により歩行者がうける影響も考慮し、この種の振動を軽減するにはどう対処すべきであるかを考えておかねばならない。そこで歩行者の特性を把握する。

2. 歩行者の特性 (1)振動による心理的影響：ここで、問題とする人間が歩行中において上下振動を受けた際の心理的影響については文献(2)(3)で発表した。表1にその一結果をあげる。

(2)歩調：測定結果(図1)は松本らの結果とはほぼ同じく平均歩調は約2歩/秒であった。また、平均歩行速度は1.43 m/sec, 平均値に対する標準偏差は0.184 m/secで分布は正規分布とみなしうるものであった。振動の周期が歩調に及ぼす影響については実験結果からはほとんど影響はみられなかった。

表1 各カテゴリの生ずる刺激量

カテゴリの内容	振動速度(実効値 m/sec)
少し感じた	0.42
大いに感じた	0.85
少し歩きにくい	1.7
大いに歩きにくい	2.7

(3)歩行衝撃力：従来の研究では歩行者が橋に及ぼす力はその人の重量と慣性力であり、その周期は歩調であるとして人体の重心と考えられる腰部の加速度を測定している。この妥当性については実験結果より一応の近似を与えることがわかった。また、図2のような関係を見ることができた。

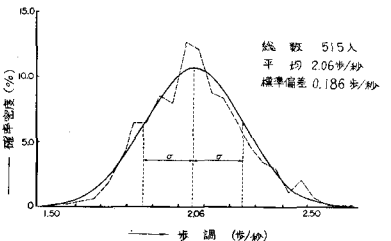


図1 一般道路における歩行者の歩調分布

3. 各種歩道橋の設計 まず歩道橋の活荷重による最大タワミと動的応答の一般傾向をみるために、横断歩道橋設計指針と道路橋示方書に準じて設計した(図3参照)。設計条件は表2のとおりであり変数は橋梁形式・支間長・床構造・腹板高をとることとした。断面決定を終えた歩道橋について変断面バリとしてトランス・マトリックス法によって活荷重による最大タワミ(δ_{max})を求め、また同様に変断面バリとしてトランス・マトリックス法によってゲ

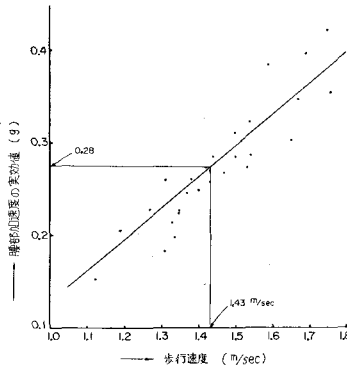


図2 歩行速度と腰部加速度の関係

表2 歩道橋の設計条件

形式	単純ゲタ・等2径間連続ゲタ
支間長	20・30・40・50 m
有効幅員	4 m
床構造	鉄筋コンクリート床版・鋼床版
主ゲタ	I型プレートガーダー2本
腹板高	ϕ の1/50 ~ 1/20
腹板厚	水平補剛材なし $\phi \geq 152$
鋼材	S541 (板厚 8~22 mm)

- 主ゲタ設計に対する活荷重 350 kg/m²
- 許容応力度 15%割増
- 現行たわみ制限 $\delta/400$

タの固有振動数と振動モードを求めた。図4に (δ_{max}/l) と (h/l) の関係の一例($l=20m$)を示す(他支間長でもほぼ同じ傾向である)。

4. 動的応答 歩道橋での歩行者の載荷確率は利用度によって異なると思われるが、本報告では一応の目安として、1人の歩行者が通過する際に生ずる振動を歩行者本人が感じないようにすることを考えることにした。そのためには振動の大きさ(VG)にして0.3(刺激としては $0.42cm/sec$)以下にするのが望ましい(表1参照)。そこで、2.での特性を考え歩行衝撃力として粗い近似であるが

$$F(t) = \frac{W}{g} A \cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

ここで、W:体重、g:重力加速度、A:腰部加速度の振幅
 ω :歩調、 φ :初期位相

を用いるとして、モーダルアナリシスの手法を用いて歩道橋の動的応答解析を行った。振動の刺激として振動速度応答 $\dot{y}(t, x)$ の2乗平均値の平方根(実効値) σ_v を考え

$$\dot{y}(t, x) = \sum_n \dot{Q}_n(t) \cdot \phi_n(x), \quad n=1, 2 \quad (2)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \dot{y}(t, x)^2 dt}, \quad \text{ただし } T: \text{歩行者通過時間} \quad (3)$$

を求め文献3)によってVGを計算した。図5にその一例を示す。ただし、本解析では減衰は無視しうるものとし、また振動次数は2次までを考慮した。この結果によって3.で設計したものについてどの断面を使用するかの検討を行う。すなわち、歩道橋で歩行中に歩行者が振動を感じないようにするためにはVGにして0.3(刺激にして $0.42cm/sec$)以下の値を示すゲタ高を図5のような結果から求めて断面決定する。

5. むすび 歩道橋の振動を小さくするためには、歩行者の歩調と橋の固有振動数とをできるだけ離すことが最も有効である。また、単純ゲタで鋼床版を用いた場合、たわみ制限($l/400$)を守るためには h/l が $1/25$ 以上必要であり実際には $h/l \leq 20$ の断面が使用されていることを考え合わせると $l=50m$ 前後についてこの種の振動問題が生ずるであろう。このようにして、設計段階に主ゲタの腹板高や床構造などの適切な組合せを考えることによって対処することができる。

参考文献

- 1) 松本他3名: 歩行者の特性を考慮した歩道橋の動的設計に関する研究, 土木学会論文集 第205号, 1972.
- 2) 小堀・梶川: 道路橋の振動とその振動感覚, 土木学会論文集 第222号, 1974.
- 3) 小堀・梶川: 橋梁振動の人間工学的評価法, 土木学会論文集 第230号, 1974.
- 4) 小堀・梶川・城戸: 振動感覚を考慮した歩道橋の設計, 橋梁と基礎 8巻12号, 74.

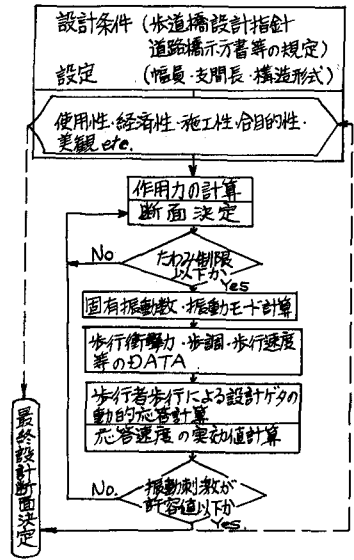


図3 振動感覚を考慮した歩道橋の設計フローチャート

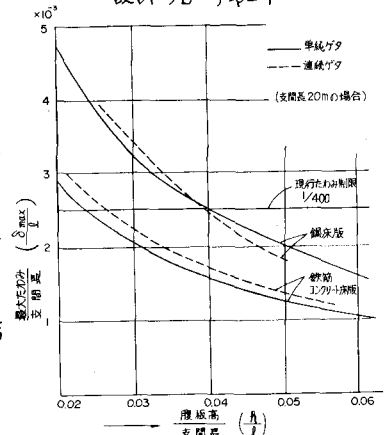


図4 活荷重による最大たわみと腹板高の関係(許容応力度に達する断面決定した場合)

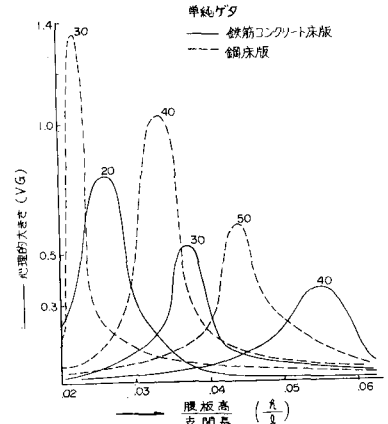


図5 振動の心理的大きさ
 *図中の数字は支間長を示す