

室蘭工業大学 正員 杉本博之
金沢大学 正員 梶川康男
ビーシー橋梁 大橋裕嗣

1. まえがき 横断歩道橋の振動使用性照査法は、梶川¹⁾により提案され、実設計においても、特に標準設計²⁾に無いスパンの歩道橋の設計に用いられている。

著者達は、その振動使用性照査法による歩道橋の設計に、著者の1人のはり構造の最小重量設計法^{3) 4)}を応用し、標準設計との比較、スパンが長い場合の最適性等に考察を加えたので、ここにその概要を説明する。

2. 歩道橋の振動使用性照査法 設計

の対象とした構造は、Fig. 1 に示す変断面単純桁の歩道橋である。断面は、Fig. 2 の上下・左右対称のI形断面である。

最適化の過程では、多くの構造解析を要するため、次のような近似法を用いて、文献1) に基づく振動照査を行った。

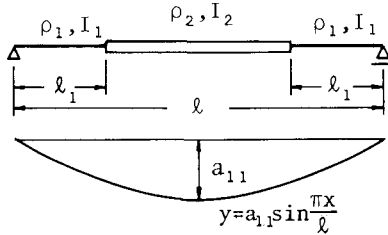


Fig. 1

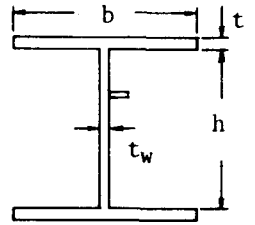


Fig. 2 Beam section.

(1) 変断面ばりの固有振動数: Fig. 1 のようなはりの1次固有振動数(ω_1)を、振動モードはFig. 1 のような正弦波で表されるものとして、レーレー法で求めた。

$\omega_0^2 = \frac{EI_2}{\rho_2} \left(\frac{\pi}{l}\right)^4$, $\alpha = \frac{l_1}{l}$, $\beta = \frac{I_1}{I_2}$, $\gamma = \frac{\rho_1}{\rho_2}$, $\phi = \frac{\sin 2\pi\alpha}{\pi} - 2\alpha$ とするとき、 $\phi = \frac{(1-\beta)\phi + 1}{(1-\gamma)\phi + 1}$ として、 $\omega_1^2 = \phi \omega_0^2$

(2) 動的応答係数による最大応答変位振幅: 歩行者の歩調が1次振動数と一致し共振した場合、支間中央点での最大変位振幅は次式で表される¹⁾。ただし、振動モードは $\sum_{m=1}^{\infty} a_{nm} \sin \frac{m\pi x}{l}$ ($\sum_{m=1}^{\infty} a_{nm}^2 = \frac{2}{\rho_2 l}$) で表されるものとする。

$$y_1 = K y_s \psi, \quad K = \frac{1}{\omega_1^2} \left(\sum_{m=1}^{\infty} a_{1m} \right)^2 / \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_n^2} \left(\sum_{m=1}^{\infty} a_{nm} \right)^2, \quad y_s = \frac{1}{\phi n} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{W_B}{\omega_n^2} \left(\sum_{m=1}^{\infty} a_{nm} \right)^2, \quad \psi = \frac{\alpha_A}{2} [R_D] \omega_1^2$$

ここで、 W_B は歩行者の体重(今回60kgf)、 α_A は歩行による衝撃加速度比である。なお、 $[R_D]$ は最大変位応答スペクトルであるが、今回、移動する周期外力による定常応答項のみを考慮して最大応答値を求めた。

(3) 振動使用性の照査: 歩道橋への载荷状態として、単独歩行・群集(到着率0.5人/秒)・単独走行の3状態を考えた。最適設計の制約条件は、各载荷状態に対して次式とした。

$$g = (\gamma_s \gamma_f S^* / \gamma_R R^*) - 1 < 0$$

ここで、 S^* は歩行者が受ける振動刺激量であり、 $S^* = 0.3 y_1 \omega_1$ (振動速度の実行値)で与えられる。なお、各係数 γ_s 、 γ_f 、 γ_R 、 R^* はTable 1¹⁾ に示す通りである。

3. 最小重量設計

以下のように定式化される。

目的関数: $2 \rho_1 A_1 + (\rho_1 - 2 \rho_1) A_2 \longrightarrow \min$

ただし、 $A_1 = 2 b_1 \cdot t_1 + t_w \cdot h$

制約条件式: 断面変化点及び支間中央点の応力度が許容応力度以下 (g_1 、 g_2)。

活荷重による支間中央点のたわみが $l/600$ 以下 (g_3)。

それぞれの载荷状態における振動刺激量が、振動じり限度以下 (g_4 、 g_5 、 g_6)。

Table 1 Values of factors and loading conditions for each situation.

荷重状態	単独歩行状態	群集载荷状態	単独走行状態
適用振動数 f_B	1.0~3.0 Hz	1.0~3.0 Hz	2.0~4.0 Hz
振動じり限度 R^*		1.7 cm/s (RMS) (少し歩みにくい)	2.7 cm/s (RMS) (大いに歩みにくい)
反応係数 r_R	$1 - k_R V_R$	$\frac{1}{2T} \leq 5$ $\frac{1}{2T} > 5$	1.0
目標とする確率・指標値 p_a, β_d	5~10%	5~10%, 1.65~1.3	考慮しない
歩(走)行者数	1人	設計到着率 λ 人/秒	1人
载荷状態係数 r_S	1.0	$\frac{1}{2T} \leq 5$ $\frac{1}{2T} > 5$	1.0
刺激を求めるときの外力振幅 (W_B : 体重)		0.4 W_B	$f_B = \begin{cases} 2.0 \text{ Hz} & 0.4 W_B \\ 2.5 \text{ Hz} & 1.0 W_B \\ 3.0 \text{ Hz} & 1.6 W_B \\ 4.0 \text{ Hz} & 2.0 W_B \end{cases}$ f_B の途中は直線近似
歩(走)行速度 v	0.7 f_B m/s	1.4 m/s	1.4 f_B m/s
振動数係数 r_f		$\sqrt{\sigma \left(\frac{f_R}{2} - 1 \right) / \sigma(0)}$, ただし $S^* \leq R^*$	1.0
備考	$V_R = 0.35$, $V_R^* = 0.5$, $\alpha = 0.85$, $\sigma(\cdot)$: 標準正規確率密度関数 $V_S^* = \sqrt{3/(2T+1)}$, $k_R = 0.84$ (5%), 0.25 (10%)		

設計変数 : b_1, t_1, b_2, t_2, h

以上の最小重量設計問題を、はり構造のための最小重量設計法^{3) 4)}を用いて解いた。

Table 1 に示されているように、振動感覚に関する制約条件は限られた振動数の範囲しか考慮されない。その結果、制約条件式の g_4, g_5, g_6 は、1 次の微係数はもとより関数値も不連続になる可能性がある。そのままでは、最適化計算の収束性が悪くなるので、少なくとも関数値は連続になるような工夫がなされている。

4. 計算例 幅員は1.5m、床版形式はデッキプレートと鋼床版、制約条件式は振動感覚を考慮しない従来の設計法⁵⁾ ($g_1 \sim g_3$) と考慮する梶川の方法 ($g_1 \sim g_6$) のそれぞれの計算を行った。鋼種はSS41であり、死荷重は文献2) の結果を用いた。

結果の一部を、Fig.3 (a)~(c)に示した。図はすべて総容積と支間長の関係を表している。(a) はデッキプレート、(b) は鋼床版の結果である。標準設計²⁾ (standard design) は等断面であるので、単純な比較はできないが、デッキプレートあるいは支間長が25m までの鋼床版では、3者はほとんど同じであり、経済性あるいは振動感覚の点からも、標準設計あるいは従来の設計法に大きな問題はないことがわかり、また文献1) の照査法の妥当性が裏づけられた。しかし、支間長が長い範囲では、振動感覚を考慮した場合としない場合とでは大きな差があり、従来の設計法のみでは問題が生じ得ることを示している。これは鋼床版の方より顕著である。

(c) は、デッキプレートと鋼床版の結果を比較した図である。振動感覚を考慮しない場合は、鋼床版の方が全支間長を通じて経済的(総容積が少ない)であるが、振動感覚を考慮する場合は、支間長が25m より大きい範囲では、逆にデッキプレートの方が経済的になった。

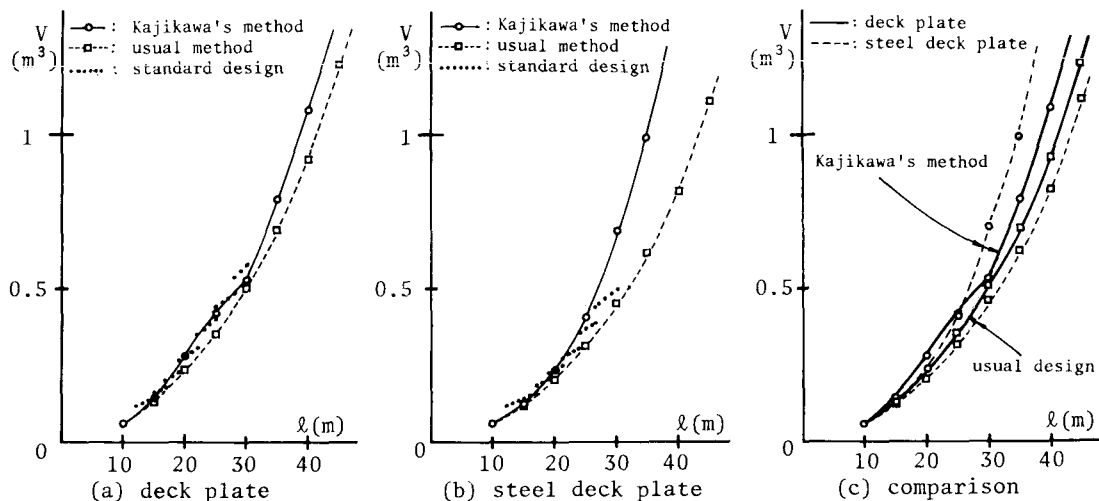


Fig.3 V-l relationship of optimization results.

5. あとがき 振動感覚を考慮した歩道橋の設計に、最小重量設計法を応用し、結果に若干の考察を加えた。単純桁であるので、最小重量設計法を応用する利点は少なく、常識的な結果が多かったが、今後これらの基礎的な事項及び景観等を考慮して、連続桁あるいはラーメン形式の歩道橋の振動問題に考察を加えていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 梶川康男: 振動感覚を考慮した歩道橋の使用性照査法に関する考察, 土木学会論文報告集、第352号、pp.23-33、1982。
- 2) 建設省: 土木構造物標準設計 第5巻 立体横断施設 横断歩道橋、全日本建設技術協会、1985。
- 3) 杉本博之: 格子構造の効率的な最小重量設計について、第10回構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、1986。
- 4) 吉岡修治・杉本博之: はり構造の最小重量設計に関する一考察、土木学会第41回年次学術講演会講演概要集、1986。
- 5) 日本道路協会: 立体横断施設技術基準、1979。