

I-147 振動使用性を考慮した歩道橋の多目的最適設計システムについて

室蘭工業大学 学生員 越谷 学 正員 杉本博之  
金沢大学 正員 梶川康男

1. まえがき 多目的構造最適設計を解くための手法として改良型満足化トレードオフ法<sup>1)</sup>が提案されている。この手法においては、満足度パラメータが導入されており、これは設計者があらかじめ持っている要求に応じた設計をある程度可能にし、設計の効率等を向上させる役割を担っている。この満足度パラメータの効果について検討した結果、この手法における満足度パラメータの導入という意味からも満足度パラメータを設定しないで得られるパレート解は、どの目的の希求水準に対してもその不足達成量(超過達成量)が同じであることが望ましいと考えられた。そこで改良型満足化トレードオフ法を新しく定式化し直した。

本研究においては、歩道橋の多目的最適設計システム<sup>2)</sup>にこの新定式化を組み込み、実際に数値計算を行って、満足度パラメータの効果について検討し、考察を加えている。

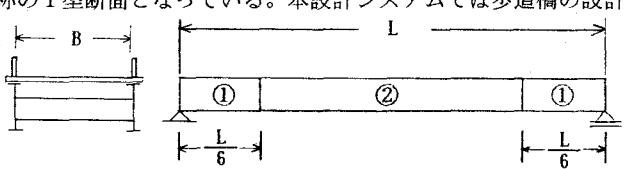
2. 振動使用性を考慮した歩道橋の多目的最適設計問題 この設計における歩道橋の構造は図-1のようになっている。また主桁断面は上下、左右対称のI型断面となっている。本設計システムでは歩道橋の設計を多目的最適化問題として取り扱うに当たり、 目的関数として鋼桁容積、振動感覚、および桁の固有振動数を考えている。それらの目的関数と制約条件等は以下のように定義されている。

図-1 歩道橋の構造

- 目的関数 :  $F_1 = V/10000 L \rightarrow \min$  (単位長さ当りの鋼桁容積,  $m^3/m$ ) (1)
- $F_2 = \{\gamma_s \cdot \gamma_r \cdot S^*/\gamma_R\}_{sw} \rightarrow \min$  (単独歩行の受ける刺激量,  $cm/sec$ ) (2)
- $F_3 = \{\gamma_s \cdot \gamma_r \cdot S^*/\gamma_R\}_{cw} \rightarrow \min$  (群集歩行の受ける刺激量,  $cm/sec$ ) (3)
- $F_4 = \{\gamma_s \cdot \gamma_r \cdot S^*/\gamma_R\}_{sr} \rightarrow \min$  (単独走行の受ける刺激量,  $cm/sec$ ) (4)
- $F_5 = |1.9 - f_B| \rightarrow \max$  (固有振動数,  $Hz$ ) (5)
- 制約条件 :  $g^{(1)}_i = \sigma_i - \sigma_{ai} \leq 0$  ,  $g^{(2)}_i = b^L - b_i$  } (  $i = 1 \sim n$  ) (6)
- $g^{(3)}_i = b_i/32 - t_i$  (7)
- $g^{(4)}_i = \delta - L/600$  あるいは  $g^{(4)}_i = \delta - L/400$  (7)
- 上下限值 :  $t^L \leq t_i \leq t^U$  (  $i = 1 \sim n$  ) ,  $h^L \leq h \leq h^U$  (8)
- 設計変数 :  $\{X_1 X_2 X_3\} = \{I_1 I_2 h\}$  (9)

ここで、式中におけるVは鋼桁容積( $cm^3$ )、Lは支間長( $cm$ )、iは部材番号、nは部材数、 $\sigma_i$ は応力度( $kgf/cm^2$ )、 $\sigma_{ai}$ は許容応力度( $kgf/cm^2$ )、 $b_i$ 、 $b^L$ はそれぞれフランジ幅およびその下限値( $cm$ )、 $t_i$ 、 $t^U$ 、 $t^L$ はそれぞれフランジ厚およびその上下限值( $cm$ )、 $h$ 、 $h^U$ 、 $h^L$ はそれぞれ腹板高およびその上下限值( $cm$ )、 $\delta$ は活荷重による最大たわみ( $cm$ )である。振動使用性の目的関数( $F_2 \sim F_4$ )において、 $S^*$ は歩行者が受ける振動刺激量の基準値( $cm/sec$ )、 $\gamma_s$ は載荷状態係数、 $\gamma_r$ は振動数係数、 $\gamma_R$ は振動による限度の変動性を考慮する反応係数である。目的関数 $F_5$ については、桁の固有振動数ができるだけ1.5~2.3( $Hz$ )の中間値である1.9( $Hz$ )より離れることを目的として設定されている。

3. 補助的スカラー化問題の新定式化 本研究の補助的スカラー化問題は、次のように定義される。

目的関数  $Z \rightarrow \min$  (10)

制約条件  $g_j(X) \leq 0$  (  $j = 1 \sim m$  ) (11)

$(f_i(X) - \hat{f}_i) / |f_i| - (1 - \xi_i) Z \leq 0$  (  $i = 1 \sim r$  ) (12)

設計変数  $X = \{X_1 X_2 \dots X_n\}$  (13)

ここで、 $f_i(X)$ は原問題の目的関数、 $\hat{f}_i$ は希求水準、 $\xi_i$ は満足度パラメータを表している。

この定式化により、必ずしも容易でなかった理想点、最悪点の設定が不要になったこと、また、初期パレート解の各目的関数に対する不足達成量をほぼ均一にすることが可能になり、満足度パラメータの効果を十分発揮することが可能になる。

**4. システムの構成** 本研究で使用した歩道橋の多目的最適設計システムの構成を図-2に示す。設計がスタートすると、まず最初に歩道橋の設計条件、目的関数の選定等の入力関係の手続きを行い、これが終了すると、補助的スカラー化問題の最適化が行われ、パレート解の1候補が計算される。設計者はこの最適化計算の結果を受け入れるかどうか検討し、受け入れない場合は必要に応じて最適化手法、初期値、内部パラメータを変更して、再度最適化計算が実行される。受け入れられた場合は、今度はパレート解として受け入れるかどうかを検討し、受け入れれば設計は終了する。もし受け入れられない場合は新希求水準を設定してのトレードオフを行うか、満足度パラメータを変更しての最適化計算が実行される。そして最終的に設計者がすべての目的関数間のバランス等に満足するまで繰り返される。

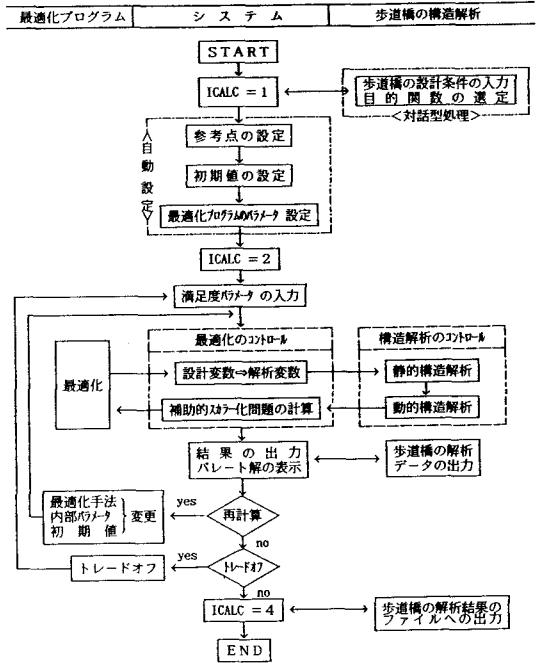


図-2 歩道橋の多目的最適設計システムの構成

**5. 数値計算例** ここでは、満足度パラメータの効果について検討した。まず、設計条件としては架設目的は公園内記念歩道橋、橋長40.0(m)、幅員2.25(m)、床版形式は鋼床版、鋼材SS41、腹板厚0.9(cm)、目的関数は鋼桁容積、振動感覚、および固有振動数としている。この最適化計算の結果は表-1に示す。まず表-1における①が満足度を設定しない場合の結果である。これを見ると振動感覚における3目的は希求水準を満足しているので問題はないが、鋼桁容積と固有振動数は希求水準を満たしていない。そこでこの2目的の希求水準に対する不足率を計算すると容積では24.5%、振動数では23.5%となり、容積、振動数のどちらにもほぼ片寄りのない解が得られることになる。次に②は振動数を改善しようとして振動数のパラメータを0.9に設定して最適化計算を行った結果である。この結果を見ると、振動数の不足率が5.3%、また振動感覚の3目的も同時に改善されている。そしてこのときの容積の不足率は53.0%となっている。

表-1 満足度パラメータの効果

	鋼桁容積 (m <sup>3</sup> /m)	単独歩行 (cm/sec)	単独走行 (cm/sec)	群集歩行 (cm/sec)	振動数 (Hz)
希求水準	0.0200	1.7000	2.7000	1.7000	1.500
設計条件					
満足度	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pareto 解	0.0249	0.6418	0.7030	1.4326	1.594
不足率(%)	24.5				23.5
(cm) 単位					
部材断面①	フランジ幅	フランジ厚	腹板高	腹板厚	
①	34.84	1.30	108.50	0.9	
②	47.76	1.90			
設計条件					
満足度	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
Pareto 解	0.0306	0.4118	0.6742	0.8840	1.521
不足率(%)	53.0				5.3
(cm) 単位					
部材断面①	フランジ幅	フランジ厚	腹板高	腹板厚	
①	25.61	2.70	90.31	0.90	
②	35.23	3.80			

**6. あとがき** 振動使用性を考慮した歩道橋の設計を多目的最適化手法で行うことを提案し、そのためのシステムを示した。経済性、使用性、および剛性を同時に考慮した設計が可能であり、より合理的な設計システムができたと考えられる。

**7. 参考文献** 1) 亀廻井寿明・杉本博之・中山弘隆：構造最適設計のための改良型満足化トレードオフ法に関する研究、土木学会論文集、No. 441/I-18、1992。2) 杉本博之・亀廻井寿明・梶川康男・中山弘隆：歩道橋の多目的最適化システムの開発について、土木学会北海道支部論文報告集、第48号、1992