

**不確かな作用荷重を考慮した落橋防止ブラケットの
ロバストトポロジー最適化（シンポジウム講演概要）**
Robust Topology Optimization of Falling Bridge Prevention Brackets
Considering Uncertain Acting Loads
(Proceedings of Symposium on Applied Mechanics)

天野 承介（名古屋大・工） 干場 大也（名古屋大・工） 西口 浩司（名古屋大・工）
加藤 準治（名古屋大・工）
Josuke AMANO, Nagoya University
Hiroya HOSHIBA, Nagoya University
Koji NISHIGUCHI, Nagoya University
Junji KATO, Nagoya University
E-mail: amano.josuke.d9@s.mail.nagoya-u.ac.jp

Bridge fall prevention brackets are designed to resist forces in the direction of the bridge axis. However, they were damaged by the Kumamoto earthquake in April 2008, and the cause is considered to be the action of forces perpendicular to the bridge axis, which was not assumed in the design. Therefore, it is necessary for bridges to be robust enough to withstand loads other than the design loads to some extent. In this study, the optimal structure of a bridge fall prevention bracket under uncertain loading conditions is obtained by a topology optimization method.

1. はじめに

近年、トポロジー最適化が着目されているが、実構造物において作用する荷重条件などは不確かに変化することが多い。これら不確かな条件を考慮した設計のことをロバスト設計と呼ぶ。このロバスト性を考慮したトポロジー最適化手法として、Zhao ら¹⁾は、外荷重の大きさと方向を正規分布に従う確率変数と仮定し、平均コンプライアンスの期待値と標準偏差の推定の一部にモンテカルロシミュレーションを利用した方法を提案するとともに、最適構造を示している。また、本研究で対象とする落橋防止ブラケットは、橋軸方向の力に抵抗することを想定して設計されている。しかし、平成 28 年 4 月の熊本地震により損傷した事例があり、原因は設計では想定していない橋軸直角方向の力の作用であると考えられている。²⁾したがって、設計荷重以外の荷重でもある程度耐えうるようなロバスト性が必要である。そこで本研究では、落橋防止ブラケットを対象として、不確かな荷重条件を想定した場合の最適構造を上記のトポロジー最適化手法によって求める。

2. 最適化問題の設定

本研究では、剛性最大化を目的としているため、荷重ベクトル $\mathbf{f}_{\text{ext}}$ と節点変位ベクトルの内積 $\mathbf{d}$ 、つまり外力仕事（コンプライアンス）を最小化することを考える。荷重の大きさ p と方向 θ を不確かな条件としたときの目的関数 C_R を以下のように定義する。

$$\min C_R(s) = E[C(s, p, \theta, \phi)] + \alpha \sqrt{V[C(s, p, \theta, \phi)]} \quad (1)$$

$E[C(s, p, \theta, \phi)]$ と $V[C(s, p, \theta, \phi)]$ はそれぞれコンプライアンスの期待値と分散、 s は設計変数、 α は標準偏差の重み係数を示している。

3. コンプライアンスの期待値と標準偏差の推定

不確かなコンプライアンスの期待値と分散を以下に示す。

$$E[C] = \sum_{i,j=0}^{M-1} E[\xi_i \xi_j] \mathbf{f}_i^T \mathbf{d}_j \quad (2)$$

$$V[C] = \sum_{i,j,k,l=0}^{M-1} V[\xi_i \xi_j \xi_k \xi_l] \mathbf{f}_i^T \mathbf{d}_j \mathbf{f}_k^T \mathbf{d}_l \quad (3)$$

ここで、 i, j, k, l, M は確率変数の数、 $E[\xi_i \xi_j]$ および $V[\xi_i \xi_j \xi_k \xi_l]$ はそれぞれ確率変数 ξ の期待値と分散、 ξ は p, θ, ϕ の関数であり、直交座標系に沿って定義し直した確率変数である。

4. 設計感度の導出

随伴ベクトル λ_i を用いて、新たな目的関数として以下のように定義する。

$$C_R = E[C] + \alpha \sqrt{V[C]} + \sum_{i=0}^{M-1} \lambda_i (\mathbf{K} \mathbf{d}_i - \mathbf{f}_i) \quad (4)$$

上式を設計変数 s_e により微分操作を行い、整理すると最終的な解析的感度式は以下のように表すことができる。

$$\frac{\partial C_R}{\partial s_e} = \sum_{i,j=0}^{M-1} \lambda_i^T \frac{\partial \mathbf{K}}{\partial s_e} \mathbf{d}_j \quad (5)$$

5. 結論

本研究では、不確かな作用荷重を考慮した落橋防止ブラケットのロバストトポロジー最適化手法を構築し、得られた解析的感度の精度検証および最適化結果の考察を行った。詳細な結果については講演会当日に示す。

参考文献

- 1) J. Zhao and C. Wang: Robust topology optimization under loading uncertainty based on linear elastic theory and orthogonal diagonalization of symmetric matrices, Comput.Methods Appl.Mech.Engrg, 273, pp.204-218, 2014.
- 2) 北田幸夫, 土手一郎, 松村寿男, 中村将章, 加藤準治: トポロジー最適化を用いた落橋防止ブラケットの形状導出, 土木構造・材料論文集第 38 号, 2022.