

周期性構造を有するモジュール橋の最適パネル形状に関する一検討

○信州大学 学生員 小池透之
信州大学 正会員 近広雄希

1. はじめに

Bailey 橋をはじめとするモジュール橋は、橋梁部材の一部を予めパネル形状で構築することで架橋時間が短縮されるため、災害後の復旧活動に有効である。中沢らは、単純梁と連続梁に対するトポロジー最適化から最適なパネル形状を提案したが¹⁾、パネル橋の周期性までは考慮されていなかった。よって本研究では、周期性を加味したトポロジー最適化をグランドストラクチャー法から行い、モジュール橋の最適なパネル形状を明らかにすることを目的とする。

材断面に依存せず力の釣合いのみで算定することができ、次式のように定式化される。

$$\begin{aligned} \text{Min.} \quad & f = l^T N_+ + l^T N_- \\ \text{s.t.} \quad & P = B N_+ - B N_- \end{aligned}$$

ここで、 f は部材の要素剛性行列 $k (\in \mathcal{R}^{m \times m})$ の逆行列、 $l (= \{l_1, \dots, l_m\}^T)$ は部材長ベクトル、 $N (\in \mathcal{R}^m)$ は部材の軸方向力ベクトル、 $P (\in \mathcal{R}^d)$ は節点の荷重ベクトル、 $B (\in \mathcal{R}^{d \times m})$ は釣合行列をそれぞれ表す。

2. トポロジー最適化の概要

2.1 最適化アルゴリズム

本研究では、グランドストラクチャー法によるトポロジー最適化を行うために数式処理システム Mathematica12.1 を用いた。グランドストラクチャー法は、グランドストラクチャーと呼ばれる下地構造(図-1 参照)に対して、数学的な最適化手法によって不要な要素を除き残った形状が最適位相となるものである。本研究では、文献 2) に基づく部材総体積とコンプライアンスを目的としたトポロジー最適化を行った。この手法は、パレート最適解となる応力制約下の最小体積下のトラス構造物のパレート最適解を部

2.2 解析条件

本研究では、モジュール橋の格間数とグランドストラクチャーのメッシュ分割数に着目し、最適なパネル形状に与える影響を検討する。図-1 に単位パネルの境界条件を示す。グランドストラクチャーのパネル下部はピン支持とし、パネル上側に単位荷重からなる等分布荷重を与えた。単位パネルは 1 辺を 2~4 節点で当分割し、節点間距離を 1m とした。また格間数は橋軸方向に 1~6 格間で変化させた計 18 ケースで検討した。2 格間のモジュール橋を例とし、最適なパネル形状を求める手順を以下に述べる。

- 1) トポロジー最適化を行い、任意の軸力 N_0 以上の軸力 N が生じる部材を選定する(図-2(a)参照)
- 2) 選定した部材をすべての格間のグランドストラクチャー内の対応する箇所に配置し(図-2(b)参照)、ESO 法により新しいグランドストラクチャーへと更新する(図-2(c)参照)
- 3) グランドストラクチャー内に任意の軸力 N_0 未満

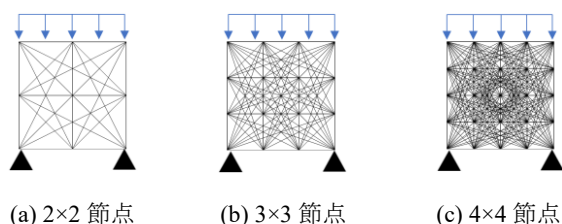


図-1 単位パネルの境界条件

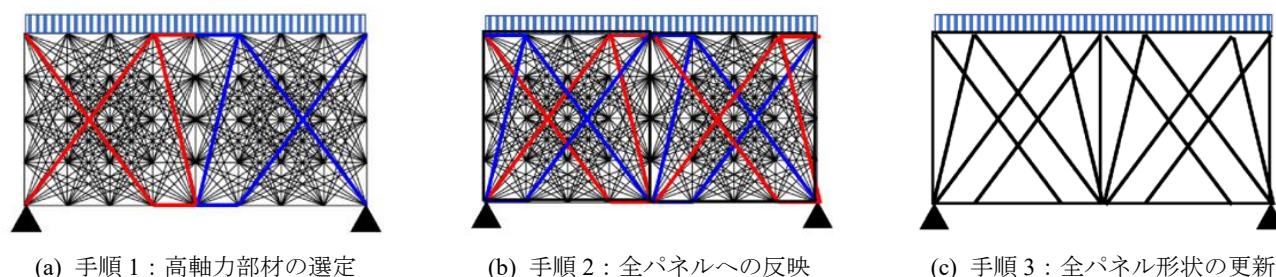


図-2 最適化におけるパネル形状の更新手順

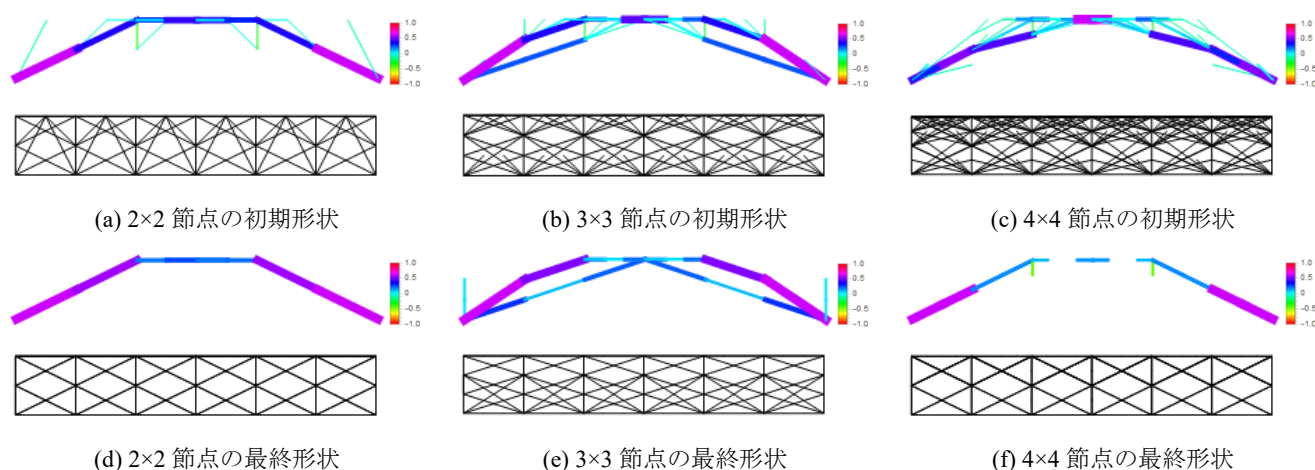


図-3 6 格間のモジュール橋を対象としたトポロジー最適化の結果

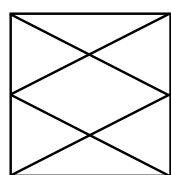


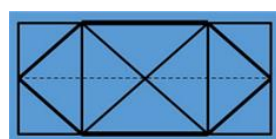
図-4 単位パネルの最適形状案

の部材がなくなり、トポロジー最適化における目的関数の値が収束するまで 1), 2) を繰り返す

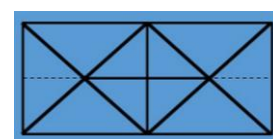
3. トポロジー最適化の結果と考察

前節までの手順に従い最適なパネル形状を検討した。代表例として 6 格間のモジュール橋を対象としたトポロジー最適化の結果を図-3 に示す。図-3 (a), (b), (c) は初期ステップで得られた軸力分布図とパネル形状を、図-3(d), (e), (f) は最終ステップで得られた軸力分布図とパネル形状をそれぞれ示す。なお、軸力分布図の凡例は最大軸力で無次元化している。

図-3(a), (d) では初期ステップで目的関数が 277kNm、総部材数が 20 本であり、最終ステップで目的関数が 316kNm、総部材数が 10 本であった。繰り返し計算の過程で総部材数を 50% 削減することができ、目的関数の増加は 14% に留まった。同様に図-3(b), (e) では、総部材数を 42% 削減、目的関数の増加は 21%、図-3(c), (f) では、総部材数を 75% 削減、目的関数の増加は 28% であった。最適なパネル形状を検討するにあたり、目的関数を抑えつつ、極力部材数の少ない単純な形状が好ましい。図-3 で得られたパネル形状を踏まえると、図-4 のようなパネル形状案が现阶段では効率的と考えられる。図-5 に示す既往のパネル形状案¹⁾と比べると、縦横比の違いはあるが水平材や鉛



(a) 案 1



(b) 案 2

図-5 縦横比 1.5 のパネル形状案¹⁾

直材よりも斜材でパネル形状を構成される結果であった。また、図-4 のパネル形状を 90 度回転させると、図-5 のパネル形と類似することから、今後は、支点位置や単位パネルの縦横比などに着目し、最適なパネル形状を総合的に評価する必要がある。

4. おわりに

本研究で明らかになったことを以下に示す。

- 1) モジュール橋の格間数、ならびにグランドストラクチャーのメッシュ分割数に着目し、斜材のみで構成されるパネル形状を提案した。
- 2) 提案したパネル形状を 90 度回転させると、周期性を考慮していないトポロジー最適化から得られたパネル形に類似した。

参考文献

- 1) 中沢正利, 近広雄希, 有尾一朗: 周期性構造橋梁を構成する基本モジュールとカンチレバー形式橋梁のトポロジー最適化, 構造工学論文集 67A, pp.90-98, 2021.
- 2) 高田豊文, 松岡貴士: 体積とコンプライアンスを目的関数としたトラス・トポロジー最適化問題への線形計画法の適用, 日本建築学会構造系論文集, 70(598), pp.87-91, 2005.