

構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR を使用した形状最適化の事例紹介

清野 多美子*

Study of shape optimization using structural analysis software Advance/FrontSTR

Tamiko Seino*

近年、構造物の設計を行う際に構造解析などのシミュレーションを利用して対象物の最適化を行うことが一般化されて来ている。本稿では、構造解析ソフト Advance/FrontSTR を使用し、トラス橋の形状最適化の自動化を行った事例を紹介する。最適化のツールとして Python の `scipy.optimize` [1] を利用した。

Keywords: シミュレーション、ソフトウェア、構造解析、最適化

1. はじめに

近年の構造物設計において構造解析などのシミュレーションを利用し、許容応力などの制限を満たしつつコストを最小限に抑えるためなどの理由により形状最適化を実施する方法が一般化されてきている。しかし最適化のために数多くの試行が必要となり、その解析実行に過大なコストを要し、最適化の実施のために高価な最適化ソフトを必要とするなどの課題が生じることがある。本稿では汎用構造解析ソフトである Advance/FrontSTR を使用し、既存の Python 最適化ライブラリを利用することにより、最適化のための試行を自動化し、低コストで最適化を実施するテストを行ったため、その内容を報告する。

2. 最適化の実行方法

最適化実行のための Python スクリプトのフローチャートを図 1 に示す。Advance/FrontSTR の入力ファイルであるメッシュファイルと解析制御ファイルは、変数値を更新しながら Python スクリプトにより作成する。作成したファイルを使用し構造解析が実行された後、解析結果として変位・応力などの値を取得する。取得した解析結果から、目的関数の値を算出し最適解の収束判定を実施している。最適化のツールとして Python の `scipy.optimize` [1] を使用した。

*アドバンスソフト株式会社 第 1 事業部

1st Computational Science and Engineering Group,
AdvanceSoft Corporation

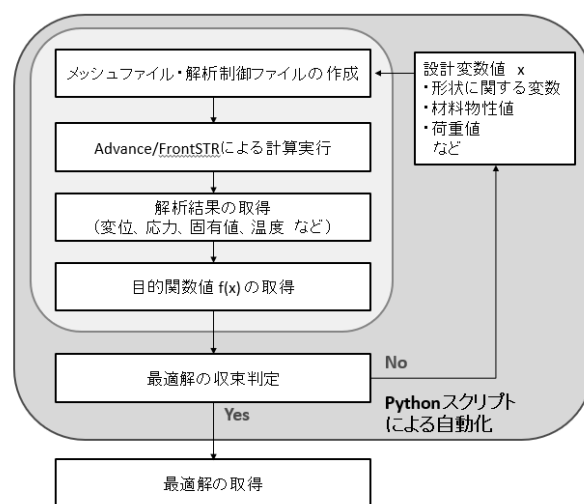


図 1 最適化実行スクリプトのフローチャート

3. 構造解析条件

3.1. 対象形状

平行弦ワーレントラス橋を梁要素でモデル化した形状を対象とする。対象となる橋の形状を図 2 に示す。トラス構造の数は一定とし、部材の断面形状と橋の高さを変数として最適化を実施する。

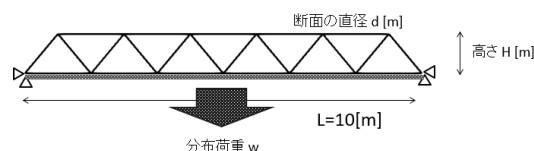


図 2 対象形状図

3.2. 既定条件

- 梁の断面形状は円形とする
- 拘束条件：両端部を完全固定
- 荷重条件：下弦全体に等分布荷重 $w[N]$ を負荷

- 材料物性値
 - ヤング率： $2.05 \times 10^{11} [\text{Pa}]$
 - ポアソン比：0.3
 - 許容応力： $3.0 \times 10^8 [\text{Pa}]$

4. 最適化の実行結果

部材をすべて同じ径とした場合と、下弦材・上弦材・斜材で異なる径とした場合の2ケースの最適化を実施した結果を示す。共通の最適化設計条件は以下の通りである。

設計変数	・高さ H ・部材断面の直径 d
目的関数	・部材の総質量を最小にする
制約条件	・部材のミーゼス応力を許容応力以下とする ・下弦のたわみ量を 0.03m 以下とする

最適化のアルゴリズムには、線形近似による制約付き最適化 minimize (method='COBYLA')を使用した。

4.1. すべての部材を一様断面とした場合

- 設計変数の制限値
 - 部材の直径 $0.001 \leq d \leq 1.0$
 - 橋の高さ $0.1 \leq H \leq 2.0$

初期値(d, H)=(0.001, 0.1)として最適化を実施した場合デフォルトの試行回数 1000 回で収束解を得ることができなかった。初期値(d, H)=(0.005, 1.0)とした場合には、試行回数 153 回で最適解(d, H)=(0.0103, 1.296)を得ることができた。この時のミーゼス応力分布図を図 3 に、たわみ量の分布図を図 4 に示す。ミーゼス応力およびたわみ量ともに制約条件を満たしていることが確認できる。

4.2. 下弦材,上弦材,斜材で異なる断面とした場合

- 設計変数の制限値
 - 下弦材の直径 $0.005 \leq d_1 \leq 0.02$
 - 上弦材の直径 $0.005 \leq d_2 \leq 0.02$
 - 斜材の直径 $0.005 \leq d_3 \leq 0.02$
 - 橋の高さ $0.5 \leq H \leq 1.4$

初期値(d_1, d_2, d_3, H)=(0.01, 0.01, 0.01, 1.3)として最適化を実施した場合、試行回数 52 回で最適解(d_1, d_2, d_3, H)=(0.0110, 0.0114, 0.0077, 1.330)を得る

ことができた。この時のミーゼス応力分布図を図 5 に示す。図 3 と比較すると、最大応力値に変化はないが、全体の応力分布が異なっていることが確認できる。また部位ごとに異なる直径を使用することで、部材の総質量は一様断面のケースに対し 87%に削減できた。

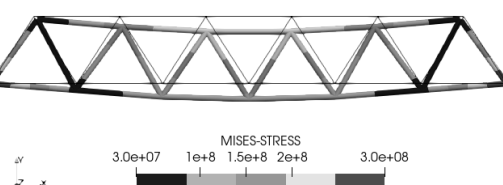


図 3 ミーゼス応力分布図 (変形×10)

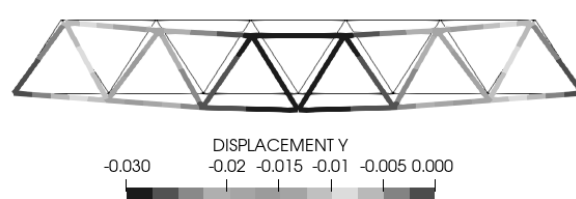


図 4 たわみ量分布図 (変形×10)



図 5 ミーゼス応力分布図 (変形×10)

5. まとめ

Advance/FrontSTR の構造解析により、平行弦ワーレントラス橋の形状最適化を行った事例を紹介した。Python 最適化ライブラリを使用して自動化スクリプトを作成することで、より低コストでの形状最適化が実行可能となった。また設計変数を細かく定義することで、より最適な解を得ることができた。ただしアルゴリズムの選定や初期値の設定などによりコストは左右される。

参考文献

- [1] <http://scipy.github.io/devdocs/reference/optimize.html#module-scipy.optimize>

※ 技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、PDF ファイル (カラー版) がダウンロードできます。(ダウンロードしていただくには、アドバンスシミュレーションフォーラム会員登録が必要です。)