

ハイブリッド平板構造の位相と張力の最適化
(その2) スtringの張力と位相の同時最適化

Shape and Tension Optimization for Hybrid Flat Structure
(Part 2) Optimization of Both Tension and Phase of Strings

○奥平康祐³, 宮里直也¹, 岡田章², 廣石秀造¹, 鴛海昂¹

*Kosuke Okudaira³, Naoya Miyasato¹, Akira Okada², Shuzo Hiroishi¹, Akira Oshiumi¹

Abstract: In previous report (Part1), an optimization method for strut placement and thrust force is proposed and validated by numerical analysis. In this report, an optimization method for string tension and placement is proposed and validated by numerical analysis, aiming at a simple structure and reduced weight. The ground structure method is used as the string optimisation method. The ground structure is placed at the four corners of the flat plate, under each strut and at the nodes on the boundary edges, based on the strut placement obtained in previous report. The method aims to minimise the sum of the products of the axial force T_i and the length L_i of each member, $\sum T_i \times L_i$, while removing the compression member to account for the non-compression resistance of the strings and applying a penalty for a simple phase in order to achieve a simple structure and low weight.

1. はじめに

前報(その1)では, 束位置と突上力の最適化手法を提案し, 数値解析により妥当性の検証を行った. 本報(その2)では, 前報の結果を基に, 単純な架構かつ軽量化を目的として, Stringの張力と位相の最適化手法の提案, および数値解析による妥当性の検証を行う.

2. 提案手法

Stringの最適化手法には, グランドストラクチャ法を用いる. 前報で求めた束配置を基準に, 平板の四隅, 各束下, および境界边上の節点に, Stringによるグランドストラクチャを配置する.

本手法では, 単純な架構かつ軽量化を目的とするため, Stringの非抗圧性を考慮して圧縮材を削除しつつ, 単純な位相に向けてペナルティを付与しながら, 各部材の張力 T_i と長さ L_i の積の合計値 $\sum T_i \times L_i$ の最小化を目指す.

手法の概略をFig. 1に示す. まず, 前報の手法を用いて各束の最適位置と最適突上力 P_i を求める (step 1). 求めた束位置に節点荷重を $-P_i$ として与え, 各Stringに初期張力 $T_{0,i}$ を与える (step 2). 次に, 圧縮力が発生するStringを削除する. これを, 圧縮材が発生しなくなるまで繰り返す (step 3). これにより, Stringの張力分布 T_i は, 常に各束に与えた最適突上力 P_i と釣り合う分布となる (step 4).

また, 架構の位相をより単純化するため, (1)式を目的関数にすることで, ペナルティによって張力が小さい部材の発生を抑制する.

$$f(t) = \sum_{i=1}^n t_i L_i \quad (1)$$

$$t_i = (T_i / std)^{pe}$$

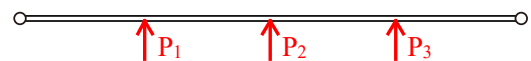
$$pe \leq 1.0$$

ただし, T_i : 部材 i の張力, std : 張力の基準値

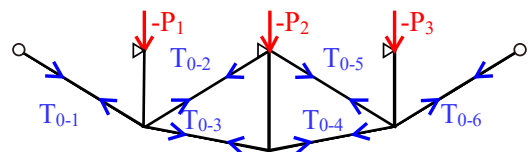
pe : ペナルティ, L_i : 部材 i の長さ

ここで, std は既報^[1]を参考に全部材張力の最大値 T_{max} より大きな値とし, (T_i / std) を1より十分小さい値とし

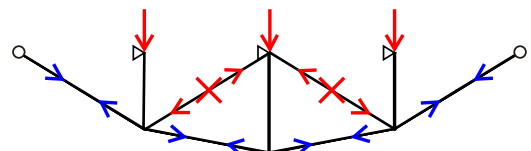
step 1. Optimal Strut Push-up Load



step 2. Input Reaction Force and Initial Tension



step 3. Delete Compressed Strings



step 4. Result of String Tension

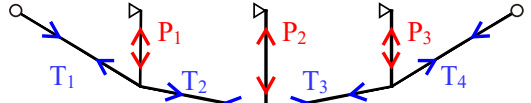


Figure 1. Stress diagram

1: 日大理工・教員・建築 2: 日大理工・上席研究員 3: 日大理工・院(前)・建築

た。この (T_i/std) を1より小さいペナルティ pe でべき乗することで張力が小さい部材を過大評価し、束突上力に寄与しない部材の発生を抑え、架構の位相を単純化する。

3. 数値解析例

本手法で得られる解の妥当性およびペナルティの有効性の検証を目的として、数値解析による検討を行った。最適化の概要をFig. 2に示す。本検討は前報の束9本のモデルの結果を基に、最適化手法を適用した。束の長さは最大長さ f を仮定し、周辺の束はカタナリー状に短く設定した。境界条件は、束上の節点を鉛直方向のみ自由のローラー支持とし、境界边上の点をピン支持とした。検討ケースは、ペナルティが $pe=1/1$, $1/3$ の2通り、最大束長さが $f=1m$, $2m$ の2通りとし、これらを組み合わせ合わせた計4通りとした。

最適化後のストリング配置と張力分布をFig.3に示す。なお、すべての部材の初期張力 T_{0i} を0とし、圧縮材を削除した場合、 $f=1m$ では $\sum T_i \times L_i = 1101.35kN \cdot m$, $f=2m$ では $\sum T_i \times L_i = 611.04 kN \cdot m$ となった。

Fig.3より、全ケースで $\sum T_i \times L_i$ は初期解に比べて低減されており、本手法を用いることでストリングの使用量を抑えられることが確認された。

$pe=1/1$ では、張力が小さい部材の発生が確認できる。一方で、 $pe=1/3$ では、張力が小さい部材の発生が抑制され、部材総長さ $\sum L$ が小さく、単純な位相を得られた。特に、 $f=1m$ では、 $pe=1/1$ に比べ、 $pe=1/3$ の方が部材本数が少なく、より単純な位相を得られた。一方で、 $\sum T_i \times L_i$ は $pe=1/3$ に比べ、 $pe=1/1$ の方が小さい値となった。以上より、ペナルティを与えることで、より単純な位相を得られることが確認された。また、位相の複雑性と部材体積はトレードオフの関係にあり、求める条件に合わせた適切な pe の設定が重要であると考えられる。

4. まとめ

本報では、ハイブリッド平板構造を対象として、ストリングの配置と張力の最適化を行った。本手法を用いることでストリングの使用量を抑えられることを確認した。また、張力が小さい部材にペナルティを与えることで、より単純な位相を得られることを確認した。

5. 参考文献

- [1] 小針匠, 他: 「グランドストラクチャ法によるハイブリッド・ケーブル構造の位相最適化(その1) ケーブル張力を変数にした最適化手法の提案」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.911-912, 2022.07

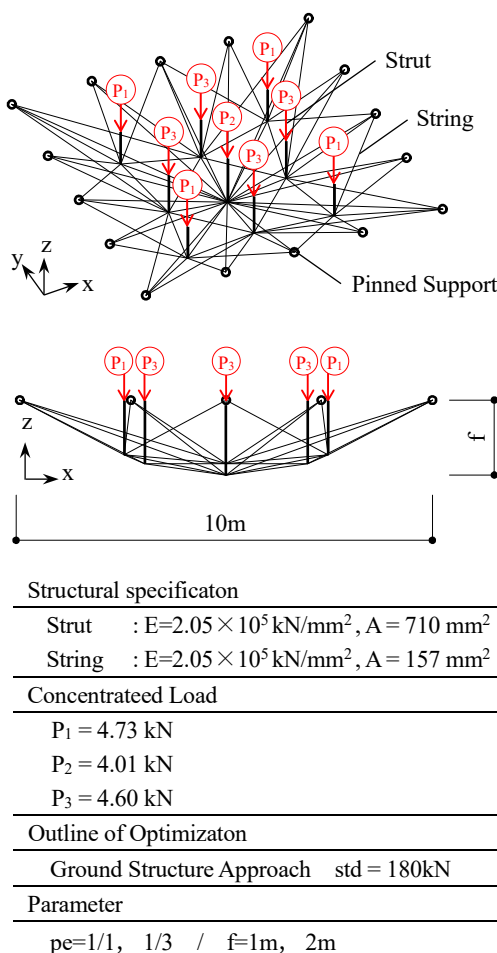


Figure 2. Optimization Overview

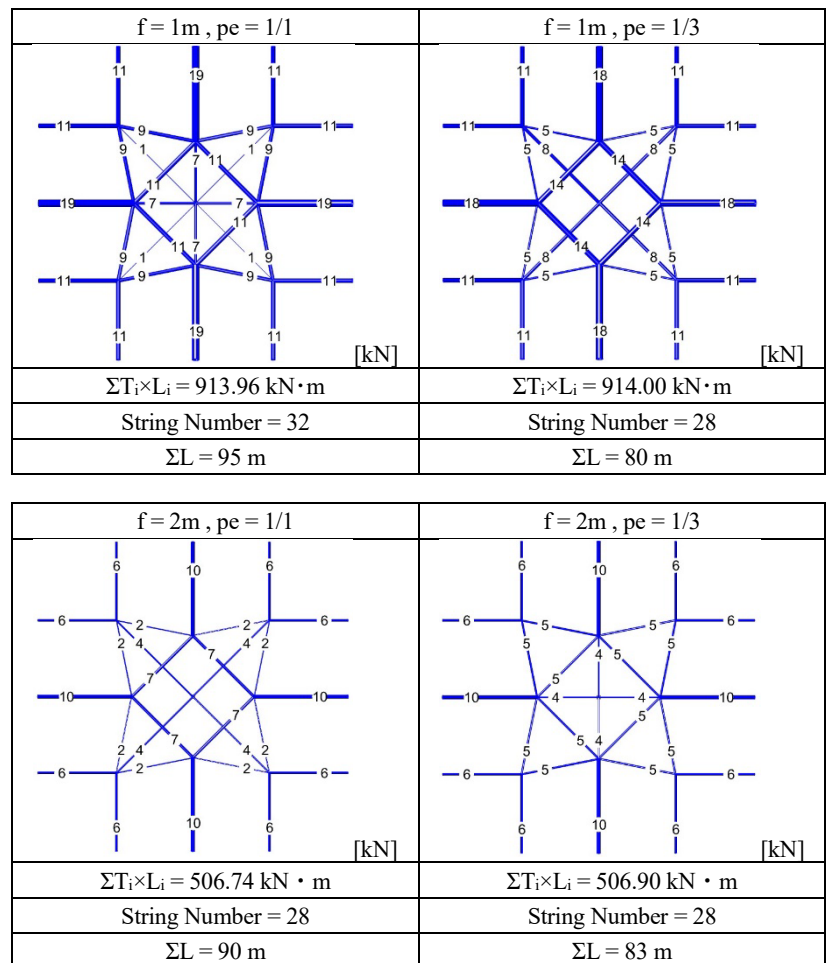


Figure 3. Optimization results