

架設橋を構成する基本モジュール試作のための設計方法

東北学院大学工学部 正会員 ○中沢 正利

1. まえがき

洪水や地震などの被災時に、橋梁などのライフラインを復旧するいくつかの方法があるが、動力が期待できない現場では自衛隊の仮橋のように人力による架設が望ましい。そのためには、基本モジュールをつなぎ合わせた周期性構造橋梁が合理的・効率的であると考えられる。これまでの継続的な研究により、二次元最適形状をトポロジー最適化解析により検討し、2案の最適形状モデルを提案した。今回は、この基本モジュールを3Dプリンタで試作し、それらを連結させた試作橋梁を試作する。この試作のために基本モジュールの三次元形状を決定する必要があるため、寸法最適化を導入した設計の流れについて報告する。

2. トポロジー形状最適化解析による基本モジュール形状

二次元領域を対象としたトポロジー形状最適化解析により、既報^{1),2)}に公表したように2案の基本モジュール形状が得られており、これらを図-1に示す。(a)案は二次元領域の支点を高さ中央位置とし、等分布荷重も高さ中央に載荷した場合に得られるアーチ+逆アーチ形状を基に補強材を追加したものである。(b)案は二次元領域の支点を上端、等分布荷重も上端に載荷した場合に得られる逆アーチ形状とその逆を重ね合わせたものを基本としているが、これら2つは水平方向に1/4幅ほど位相がずれたものと解釈することもできる。

3. 三次元試設計モデル構築のための寸法最適化解析モデル

上記の基本モジュールを試作するためには、三次元の試設計モデルを構築する必要がある。そこで、得られている二次元骨組形状に基づいて具体的な部材寸法を決定する寸法最適化解析を行う。この時、基本モジュール同士の接合容易性を考慮して、各骨組み部材の断面形状を図-2左に示すT形はり断面とする。ボルト接合を基本として考えると、T形断面のフランジの任意位置にボルト孔を開けることが可能となることが採用した理由である。図-2右に示す寸法最適化解析モデルでは、単純支持ばりを想定して、高さ中央位置での支点をヒンジとローラーとする。等分布荷重は、水平部材

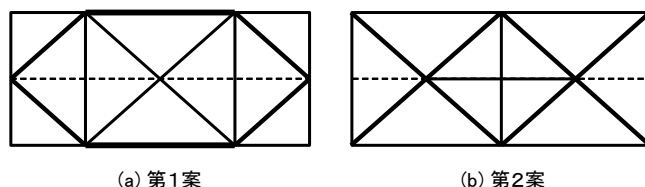


図-1 2案の二次元基本モジュール形状

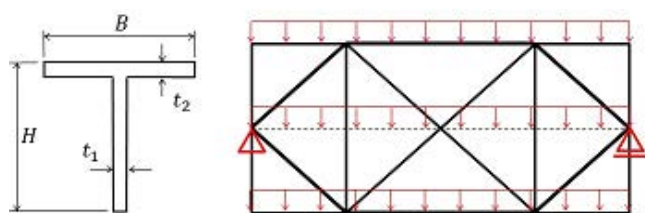


図-2 T形はり断面と三次元試設計モデル構築のための寸法最適化解析モデル

に対する必要曲げ剛性を確保する目的で、載荷位置の任意性を考慮して、高さ方向の上端、高さ中央及び下端の3か所に同時に載荷し、道示の群衆荷重を参考にして分布荷重強度を3.5 N/mmと設定する。3次元FEM構造解析により各部材の最大応力を照査し、発生応力の局所集中が生じないこと、最大応力が同時に複数個所で生じることなどにより、部材配置が最適に近いことを確認した。

4. 変断面T形はり部材による試設計モデル

形状最適化解析によって二次元での最適曲げ剛性分布が得られている。この値を参考として、はりの高さ寸法が部材位置によって変化する変断面部材として試設計モデルを作成し、3次元FEM構造解析により各部材の最大応力を照査した。この結果を図-3に示す。このモデルでは、形状最適化解析で得られた剛性分布がそのまま採用できるという意味で、3Dプリンタを使用するならば最適な試設計モデルである。この(a)試設計モデルの応力解析によれば、最大曲げ応力は中央水平材で生じ、左支間中央で56 N/mm²、右支間中央で45 N/mm²であった。

同様に、(b)試設計モデルについては図-4に示すが、最大曲げ応力は上端水平材で生じ、左支間中央で54 N/mm²と右支間中央で55 N/mm²であった。

Key Words: Erection Bridge, Periodic Structures, Fundamental Module, Prototype, Shape Optimization

〒985-8537 多賀城市中央一丁目13-1・TEL 022-368-7444・FAX 022-368-7070

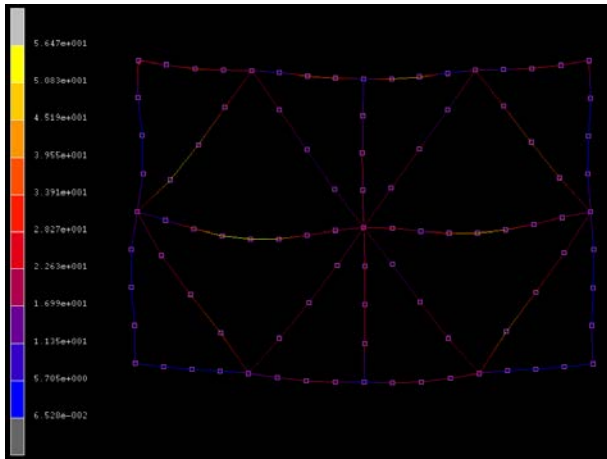


図-3 変断面 T 形はり部材による (a) 試設計モデルと応力解析結果

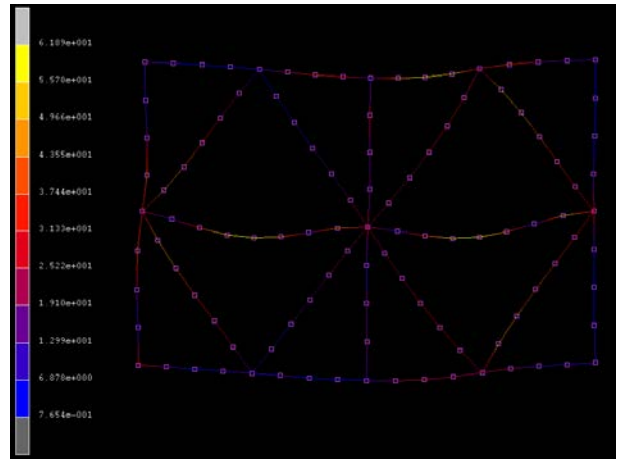


図-5 等断面 T 形はり部材による (a) 試設計モデルと応力解析結果

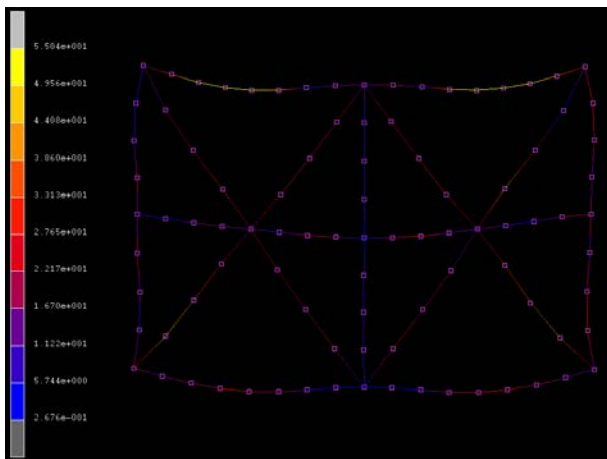


図-4 変断面 T 形はり部材による (b) 試設計モデルと応力解析結果

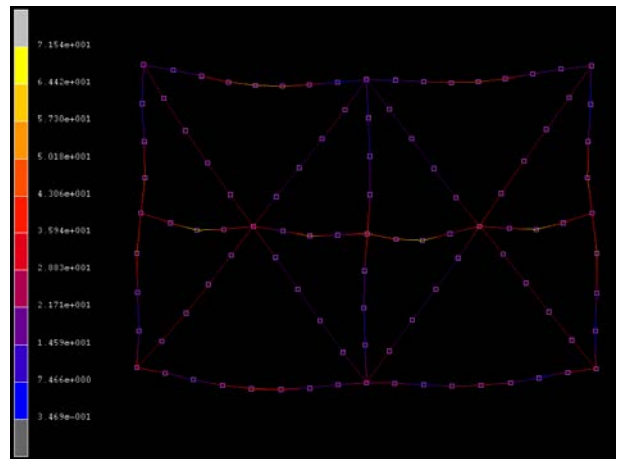


図-6 等断面 T 形はり部材による (b) 試設計モデルと応力解析結果

5. 等断面 T 形はり部材による試設計モデル

現実的な設計では、モデルの外枠、水平材、斜材、垂直材の部材ごとに T 形はり断面形一定の等断面とするのが自然であり、部材調達も容易である。このような制約条件で、水平部材のうち最大支間を有する部材中央部での曲げ剛性を代表曲げ剛性に採用することで、基本モジュールの試設計モデルを作成した。その (a) 試設計モデルについて応力解析を実施した結果、図-5に示すように最大曲げ応力は中央水平材と上端水平材右で生じ、中央水平材左支間中央で 61 N/mm^2 と右支間中央で 60 N/mm^2 、上端水平材右で 56 N/mm^2 であった。同様に、(b) 試設計モデルについて図-6に示すが、最大曲げ応力は中央水平材で3か所に生じ、左支間左で 71 N/mm^2 と右支間左で 71 N/mm^2 、右支間右で 69 N/mm^2 であった。

最後に、これらの試設計された (b) 基本モジュールの3次元寸法を3D CADで図面化し(写真-1)、そのデータを使って3Dプリンタでプロトタイプを積層製作した。

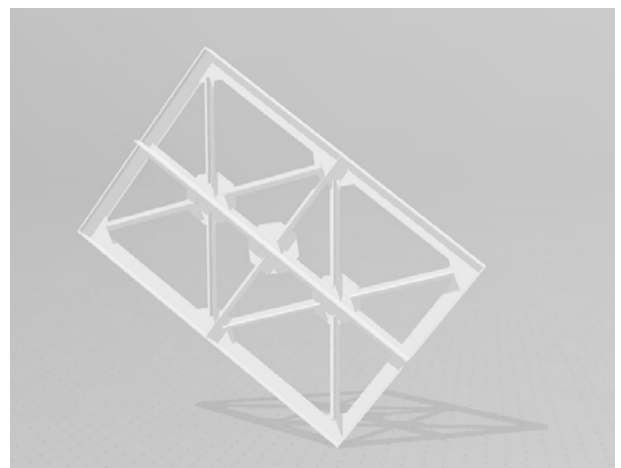


写真-1 3D プリンタ用試設計モデル

参考文献

- 1) 中沢正利：架設橋のトポロジー最適化解析、土木学会東北支部技術研究発表会、I-32、2019.3.
- 2) 中沢正利：架設橋を構成する基本モジュールの最適構造、土木学会東北支部技術研究発表会、I-20、2020.3.