

トポロジー最適化手法を用いた非溶接橋梁用ブラケットの開発

ヒノデホールディングス(株) 正会員 ○土手 一郎, 北田 幸夫, 甲斐 信博
 日之出水道機器(株) 野村 和孝, 酒井 成史
 瀧上工業(株) 正会員 松村 寿男, 中村 将章
 名古屋大学大学院 正会員 加藤 準治

1. はじめに 老朽化インフラが急増している中、橋梁分野においては、特に大規模更新工事に伴う桁補強など保全事業の急速な拡大に伴い、取替えおよび新設の付属物の需要が高まっている。過去の道路橋において、落橋防止装置等の溶接品質の信頼を失う事象例があった¹⁾が、落橋防止装置のブラケットのような橋梁のアクセサリ製品は、鋼板を組み合わせて溶接接合する小型の製品が多く、厚板での溶接工程を主体とする橋梁製作工場では生産性向上に限りがある。一方、近年ではデジタル技術としてトポロジー最適化や3Dプリンティング技術が急速に進歩しており、複雑な形状でも溶接レスの一体製造が可能となってきている。本研究は、今後急増する老朽化したインフラの効率的かつ効果的な改築等に資することを目的に、橋梁の落橋防止構造に用いられるブラケット部材を対象として、溶接を使用しない鋳物製による軽量化かつ高剛性な形状をトポロジー最適化手法により導出し、3Dプリンティング技術を用いて製作する、新しい落橋防止ブラケットを提案する。

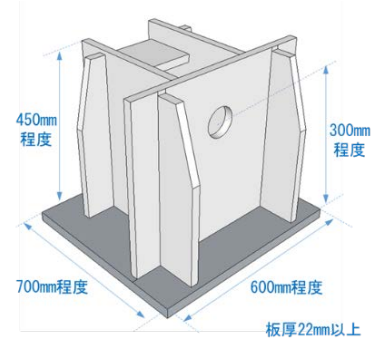


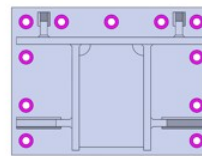
図-1 ブラケット一般的寸法

2. トポロジー最適化手法による形状検討及び結果

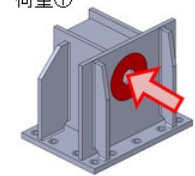
2.1 落橋防止ブラケットの現状 落橋防止ブラケットは図-1のような寸法が一般的である。剛性を確保するために最小板厚は22mmが主流であり、設計荷重が大きい場合は板厚を大きくする場合もある。ただし、一様板厚かつ平面であるため、部分的に断面と強度に余裕がある形状となっている。施工性を配慮しない、簡易計算（本稿では省略）では、これらの断面余裕を削除することで、20%程度の軽量化ができる可能性があることがわかっている。

2.2 最適形状案の検討 ブラケットの一般的な寸法をベースに、トポロジー最適化手法を用いるための解析条件を図-2のように設定した。この時、軸方向の設計荷重は500kNである。まずは本条件にて既存形状のFEM解析を実施し、その結果を比較対象のベースとしてトポロジー解析を実施した（使用ソフト：Hirameki Works）。製造手法は、一体化で自由形状が可能な鋳造品とし、材料はFCD600材とした。検討条件としては、設計荷重500kN時に剛性が既存形状と同等以上であることと、弾性領域であることとした。しかし、これらは設計上の条件であり、現実に起こる可能性がある荷重の不確かさ、荷重方向のバラツキなどは考慮されていない^{2,3)}。そこで本開発では、これらの想定外をある程度カバーする安全率を設定し、設計外力に対して許容できる製品として形状を検討した。軽量化は、実現可能性がある20%程度をベースとし、

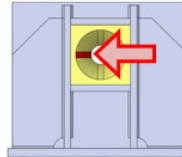
1) 拘束条件



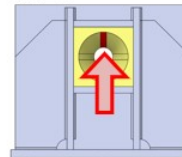
2) 荷重条件



荷重②



荷重③



荷重④

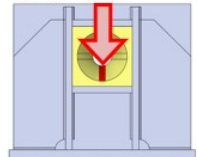


図-2 解析条件

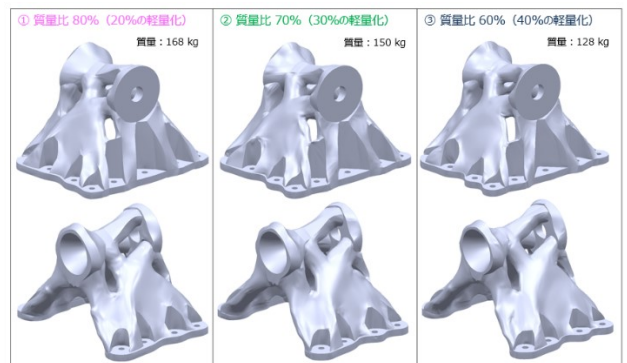


図-3 最適化形状案 (3パターン)

キーワード 最適化設計, トポロジー, 落橋防止ブラケット, 鋳鉄

連絡先 〒849-0101 佐賀県三養基郡みやき町大字原古賀字岩崎 R&D 総合センター TEL 0942-94-5600(代)

更なる軽量化も視野に入れた現実的な案を検討した。具体的には、質量を既存品の80%（既存品の20%軽量化）、70%（同30%軽量化）、60%（同40%軽量化）とし、それぞれで剛性が最大となる形状を導出した（図-3）。結果、3条件とも剛性、弾性範囲ともに既存品を上回る性能を示した。しかし、これらの3条件の共通課題は、最大肉厚が60mm～80mm程度と厚い事であり、これらは製造上の課題となる。

2.3 製造性を考慮した最適形状の検討

以上の検討に加え、性能と製造性を考慮した設計条件を再設定し、これらを満足する形状を導出した。

- ・ 目標質量：既存製品の70%程度
- ・ 目標剛性：既存品同等以上
- ・ 目標耐力：2500kN 程度
(設定荷重 500kN の5倍程度に設定)
- ・ 想定材料：FCD600
- ・ 最大肉厚：40mm 程度

図-4 に検討ケース全ての荷重-変位曲線を示す。本結果は質量比70%形状に対して、やや緩やかなカーブを描いているが、目標耐力である2500kNは満足している。また、剛性も既存品よりも高いため、設計条件をすべて満足しているといえよう。

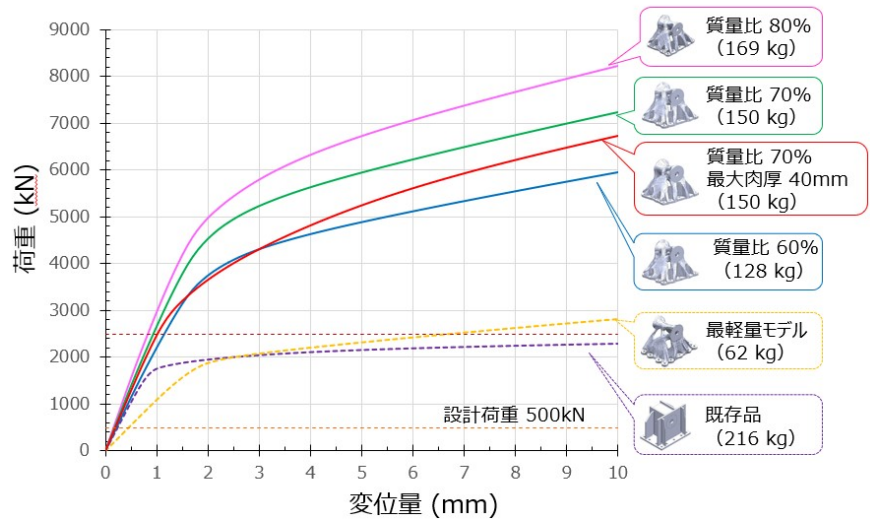


図-4 荷重-変位



写真-1 モックアップ

2.4 生産性向上の検討 生産性の向上に関して、従来構造は鋼材搬入、原板切断、孔明け、板組溶接、完全溶け込み溶接の工程で3ヶ月程度の製作期間を要する。一方、本稿で検討した3Dプリンティング技術による直接鋳型を造型する製造手法では、専用ラインでの一元管理や完全溶け込み溶接およびその検査が不要となるため、製造期間が2.4ヶ月程度となる。よって、20%程度の製造リードタイムの短縮が実現できる見込みである。加えて、3Dプリンティング技術の一つである3D砂型積層造技術を用いて実物大モックアップを製作した（写真-1）。

3. まとめ

橋梁構造物へのデジタル技術の適用として、トポロジー最適化手法を用いて設計を行い、従来の落橋防止ブラケットから約30%の軽量化を実現できた。耐荷重性能においては設計荷重に対して5倍程度の耐力を有することも確認できた。また、3Dプリンティング技術を用いた砂型造型により複雑形状の鋳鉄製品製造の紹介を行い、従来の溶接構造に対して生産性や品質の向上が可能であることを示した。今後は、ロバスト性を考慮した上で、安全率を含めた設計条件を検討するとともに形状を改善し、詳細設計を行う。さらに、設計手法の確立や実験的検証も行い、製品の安全性を検証し、製品化に結び付けていく。

謝辞：本研究は国土交通省の建設技術研究開発助成制度 JPJ000094 の助成（研究代表者：野村和孝）の研究助成金を用いて実施した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 例えば、国土交通省ホームページ報道発表資料「落橋防止装置等の溶接不良について」,2015.
- 2) 鎌田浩基, 加藤準治, 京谷孝史, 日本計算工学会論文集, Paper No.20200006, 2020.
- 3) 西野崇行, 加藤準治, 京谷孝史, 日本計算工学会論文集, Paper No.20190004, 2019.